



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS VII – GOVERNADOR ANTÔNIO MARIZ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E SOCIAIS APLICADAS – CCEA
CURSO DE LICENCIATURA PLENA EM FÍSICA**

JOSÉ ANTÔNIO FERREIRA DE ARAÚJO

O VIOLÃO: HISTÓRIA, ESTRUTURA E OS FENÔMENOS FÍSICOS ASSOCIADOS

**PATOS-PB
2021**

JOSÉ ANTÔNIO FERREIRA DE ARAÚJO

O VIOLÃO: HISTÓRIA, ESTRUTURA E OS FENÔMENOS FÍSICOS ASSOCIADOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento do Curso de Licenciatura Plena em Física da Universidade Estadual da Paraíba como requisito parcial à obtenção do título de Licenciado em Física.

Área de concentração: Física.

Orientador: Prof. Dr. Everton Cavalcante

**PATOS-PB
2021**

JOSÉ ANTÔNIO FERREIRA DE ARAÚJO

O VIOLÃO: HISTÓRIA, ESTRUTURA E OS FENÔMENOS FÍSICOS ASSOCIADOS

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo) apresentado a Coordenação do Curso de Física da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de licenciado em Física.

Área de concentração: Física.

Aprovada em: 04/10/2021.

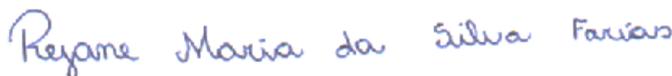
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Everton Cavalcante
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Valdeci Mestre da Silva Júnior
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Me. Rejane Maria da Silva Farias
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

A663v Araújo, Jose Antonio Ferreira de.
O violão [manuscrito] : história, estrutura e os fenômenos físicos associados / Jose Antonio Ferreira de Araujo. - 2021.
28 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas , 2022.

"Orientação : Prof. Dr. Everton Cavalcante , Departamento de Física - CCT."

1. Ondas. 2. Acústica. 3. Música na Física. 4. Violão. I.

Título

21. ed. CDD 781.23

AGRADECIMENTOS

De início, quero agradecer ao meu Deus, no qual sou dependente de sua graça e bondade, que até aqui sempre esteve ao meu lado, nunca me deixando sozinho. O meu Deus conhece meu coração e sabe dos meus maiores medos, e chegar aonde cheguei, conquistando esse objetivo de uma formatura, sem dúvidas, foi sua misericórdia e bondade para comigo. Sou imensamente grato a meu SENHOR por tudo que me proporcionou, que toda honra e glória seja para ele.

A minha mãe Maria Madalena Epifânio Araújo, com seu jeito simples e carinhoso sempre esteve torcendo por mim, me dando forças, conselhos, e que sempre se preocupou em proporcionar seu melhor, obrigado mãe por tudo. Agora, não menos importante, meu pai José Ferreira de Araújo, com seu jeito simples e humilde, me ajudou em tudo que estivesse ao seu alcance, aconselhando-me e me dando ânimo para estudar, lembro dos momentos que estava estudando e ele chagava do meu lado, fica olhando e falava “estude meu filho, um dia você vai ver o fruto do seu esforço”, pena que tão pertinho de concluir o curso, ele se foi, deixando saudade, queria muito que ele me visse formado, mas meu Deus não permitiu, obrigado pai por tudo e espero que tenha se orgulhado de mim. Agradeço também aos meus irmãos Genilson, Gean, Ivoneide, Janicleide, Gilvan, Naldijânia e Luzivânia, que sempre me deram apoio e incentivo.

A minha noiva Valéria Nogueira Sousa, que sempre cuidou e me apoiou nos momentos difíceis, em que estava muito preocupado, acompanhando cada momento desse trabalho de perto. Valéria obrigado por toda paciência, compreensão e contribuição na minha vida.

Aos meus amigos do curso em especial; Samuel Batista Lopes, Jonas Mendes de Farias, Erica Mamede Alves dos Santos, Ana Paula Pereira Tenório, Juliene Leite Araújo, Mitânio Vicente da Silva, Valdielle Dos Santos Trajano, Ronaldo Marques Mendonça, Leonardo de Almeida Nóbrega, José Albuino Terto, Gessica Santos Souza e Lucimar Pereira de Souza, que ajudaram e contribuíram na minha formação e vida pessoal. Aqueles amigos que não cursam mesmo curso, mas estão presente no meu dia a dia, compartilhando momentos felizes, agradeço de forma especial Sauro Alves, Sara Alves, Ismar Bernardes,

Ivoneite e Severino (meus segundos pais), Bruna Gonçalves, Eduardo Mendes, Thielma Mendes, Sara Luanny, e entre tantos outros amigos. Obrigado todos vocês.

A meu orientador Prof. Dr. Everton Cavalcante, por compartilhar seus conhecimentos durante todo o curso, e que durante este trabalho depositou confiança em mim, se empenhando em ajudar, com sugestões e correções. Obrigado por sua competência e dedicação com meu trabalho.

A todos os professores do curso de física da UEPB, que contribuíram na minha formação, compartilhando seus conhecimentos.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – O instrumento musical alaúde árabe	13
Figura 2 – Instrumento musical chamado “cítara romana”	14
Figura 3 – Visão do violão explodido sem as cordas. As partes indicadas são: 1 fundo, 2 laterais, 3 tampo, 4 cavalete, 5 rastilho, 6 pestana, 7 mão, 8 braço, 9 escala, 10 salto e 11 boca	15
Figura 4 – Visão da estrutura interna do violão na ausência do tampo, fundo e laterais. As partes indicadas são: 1 taco, 2 barras transversais, 3 barras longitudinais, 4 estrutura de barras do fundo, 5 contracavalete, 6 contrafaixa e 7 barras de fechamento. O leque da estrutura em questão é o modelo Torres.....	15
Figura 5 – Visão completa do violão com os detalhes de algumas partes	16
Figura 6 – Onda transversal.....	18
Figura 7 – Onda longitudinal.....	18
Figura 8 – Na onda (a) o valor da constante de fase é igual a $\varphi = 0$; na onda (b) o valor da constante de fase é igual a $\varphi = \pi/2$	19
Figura 9 – (A) Interferência Construtiva; (B) Interferência Destrutiva	20
Figura 10 – Modos de vibrações.....	21
Figura 11 – Taça estilhaçada por ressonância	23
Figura 12 – Gráfico da ressonância	23
Figura 13 – Escala natural de Dó maior.....	25
Figura 14 – Ondas produzidas por diferentes fontes	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MHS Movimento Harmônico Simples

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 CONHECENDO UM POUCO DO VIOLÃO.....	13
2.1 História do Violão	13
2.2 Descrição do Violão	14
3 A FÍSICA APLICADA NO VIOLÃO	17
3.1 Ondas	17
3.2 Princípio da Superposição	19
3.3 Onda Estacionária em uma Corda.....	20
3.4 Corda Vibrante	21
3.5 Ressonância	22
4 QUALIDADE DO SOM.....	24
4.1 Altura.....	24
4.2 Intensidade	25
4.3 Timbre	26
4 CONCLUSÃO	26
REFERÊNCIAS	28

O VIOLÃO: HISTÓRIA, ESTRUTURA E OS FENÔMENOS FÍSICOS ASSOCIADOS

THE GUITAR: HISTORY, STRUCTURE AND ASSOCIATED PHYSICAL PHENOMENA

José Antônio Ferreira de Araújo¹
Prof. Dr. Everton Cavalcante²

RESUMO

Quando paramos para pensar a música é uma das coisas que estão mais presentes na nossa sociedade, sua origem nos remonta a períodos muito antigos na história do homem e sua evolução ao longo desse tempo foi extremamente considerável, com a criação de diversos instrumentos musicais afim de produzir sonoridades cada vez mais específicas e, com isso, possibilitar uma ampla forma de se expressar. Um dos instrumentos que mais se popularizou e se tornou acessível para várias classes sociais foi o violão, no qual possui uma própria história e características específicas do instrumento. Através desse instrumento vamos compreender alguns fenômenos físicos que estão diretamente associados ao mesmo, mas também a uma parte do universo musical, pois é através desses conhecimentos sobre os fenômenos físicos que muitas variações musicais são produzidas com o intuito de melhorar a qualidade do som, de ampliar a projeção do som e dar características bastante específicas a um instrumento, como por exemplo a caixa de ressonância do violão, que faz a projeção desse som, além das características que vai estar associada a suas ondas sonoras. Para assim, podermos tanto compreender um pouco sobre o universo musical quanto também as contribuições que a física pode trazer para esta área.

Palavras-Chave: Ondas. Acústica. Música. Violão.

¹ Estudante do curso de Licenciatura Plena em Física pela Universidade Estadual da Paraíba Campus VII, antoniouepb0@gmail.com

² Professor do curso de Licenciatura Plena em Física pela Universidade Estadual da Paraíba Campus I, evertonacademico@gmail.com

ABSTRACT

When we stop to think that music is one of the things that are most present in our society, its origin goes back to very ancient periods in human history and its evolution over that time was extremely considerable, with the creation of various musical instruments in order to produce increasingly specific sounds and, with that, allow a wide way to express themselves. One of the instruments that became more popular and accessible to various social classes was the guitar, which has its own history and specific characteristics of the instrument. Through this instrument we will understand some physical phenomena that are directly associated with it, but also with a part of the musical universe, as it is through this knowledge about physical phenomena that many musical variations are produced in order to improve the quality of sound, to expand the sound projection and give very specific characteristics to an instrument, such as the soundboard of the guitar, which projects this sound, in addition to the characteristics that will be associated with its sound waves. So, we can both understand a little about the musical universe as well as the contributions that physics can bring to this area.

Keywords: Waves. Acoustics. Music. Guitar.

1 INTRODUÇÃO

A música sempre existiu no mundo como uma forma de manifestação cultural, desde os tempos antigos até os dias atuais, assim, caracterizando diversos costumes regionais. Se pararmos para observar, percebemos que está presente no nosso cotidiano em múltiplas formas, como quando batucamos, cantamos ou até mesmo quando ligamos um rádio. A música se tornou uma linguagem de comunicação, alcançando o público no qual pretende divulgar ou “sensibilizar” de acordo com a intenção de quem anuncie. É evidente que ela é diretamente influenciada pela economia local e a cultura da sociedade, assim, havendo capacidade de traduzir os sentimentos, os comportamentos e os valores culturais de um povo ou nação, se tornando uma linguagem local ou global.

Nas sociedades primitivas o homem buscava produzir a música da forma que lhe era relevante se tornando a arte no qual ele desfrutava para expressar seus medos, suas alegrias e sensações. Segundo Frederico (1999, p. 7):

A origem da música foi sensorial e vocal. O sensorio é a parte do cérebro considerada o centro comum de todas as sensações. Quando o sentimento e a emoção mexem com o sistema muscular, ele, estimulado pelo prazer ou pela alegria, produz uma contração do peito, da laringe e das cordas vocais. A voz acaba sendo um gesto, e a arte musical veio das exclamações que o homem primitivo usou como sinais [1].

Em diversos estudos arqueológicos foram encontradas pinturas rupestres, gravuras em pedras, imagens que assimilavam homens como dançarinos em atividades, músicos e algo que parecia com uma espécie de instrumento musical [2].

No Brasil, por ser um país de dimensões continentais temos diferentes costumes presentes, devido a isso existe vários ritmos e gêneros musicais, onde cada um se caracteriza pela forma como se é produzido e os instrumentos usados. Quando falamos de instrumentos existe uma infinidade deles, desde do mais conhecido e mais acessível, até aqueles mais restritos e mais complexos de serem usados. Um dos instrumentos que mais se é usado é o violão, por ser de fácil manuseio e produzir um belo som.

Os instrumentos musicais foram tomando formas, sendo aperfeiçoados com o passar dos anos, assim, surgindo novos instrumentos com características distintas. Desse modo, os instrumentos musicais são classificados por quatro grupos, que são divididos pela produção dos sons como: instrumentos de corda, instrumentos de sopro, instrumentos de percussão e instrumentos que utilizam da corrente elétrica [3]. Os instrumentos de cordas são caracterizados pela produção de som por vibrações de uma corda tensionada, no qual está presa em suas extremidades, deste modo, fazendo-se parte da classe dos chamados cordofones. Já os instrumentos de sopro são caracterizados pela produção do som através da vibração do ar, sendo chamados de aerofones; os instrumentos de percussão são divididos em duas classes os denominados membranofones que produzem o som a partir da vibração de uma membrana, como os tambores, e os idiofones que produzem o som pela vibração do corpo do instrumento, como os pratos de uma bateria; e por fim temos os instrumentos que produzem som utilizando a corrente elétrica, como um teclado elétrico [3].

No presente trabalho vamos analisar melhor o violão, esse importante instrumento musical, pois é um dos que se tornou muito popular e bastante acessível para diversas classes sociais, para mostrar a física que tem por trás desse instrumento e no próprio mundo da música que muitas pessoas não conseguem perceber como a física trouxe várias contribuições nessa área da sociedade. Tendo como objetivo compreender toda a física que está por trás de quando um indivíduo usa o violão para produzir som, como esse instrumento surgiu, como é a sua estrutura e como é o som produzido pelo mesmo.

Esse trabalho se baseia em um estudo teórico, levando em consideração aspectos do violão como a sua história e os fenômenos físicos que podemos observar através desse instrumento. Para assim, podermos ver de forma ampla o instrumento e os fenômenos físicos que estão diretamente ligados a ele e a uma parte do mundo musical.

Inicialmente, será abordado de forma breve a história e a descrição do instrumento para compreendermos a sua origem e a sua estrutura. Em seguida, trataremos sobre os fenômenos físicos mais relevantes que podemos observar nesse instrumento, expondo cada tópico de forma individual, como: ondas, a natureza do som e a ressonância acústica. Para assim, observarmos as abrangentes informações de um simples instrumento musical e os fenômenos físicos que o mesmo apresenta, compreendendo uma parte desse universo musical.

2 CONHECENDO UM POUCO DO VIOLÃO

Para proporcionar uma melhor compreensão dos estudos sobre o violão, será feita uma breve descrição da sua história e da estrutura física do mesmo para obtermos uma visão ampla do instrumento.

2.1 História do Violão

O nome violão é um termo dado no Brasil a um instrumento musical da classe dos cordofones e possui na sua versão mais tradicional seis cordas, que dependendo da região também pode ser conhecido por guitarra clássica ou viola, sua construção é na versão acústica contando com cordas de nylon ou alguns casos com cordas de aço. Segundo Dalmacio (2013, p.52), ao longo da história o violão passou por diversas transformações até chegar no estado atual,

Não obstante a longa história da guitarra, que pode ser rastreada com esse nome e como antecessor direto do instrumento moderno, pelo menos até o século XVI, esta foi sofrendo numerosas transformações até chegar ao formato que foi tomado como padrão a partir dos modelos que o construtor espanhol Antonio Torres Jurado (1817-1892) criou na década de 1850. [4].

A origem do violão ou guitarra clássica é uma incógnita, pois não se sabe em qual período o instrumento surgiu, no entanto, existem duas hipóteses que são consideravelmente aceitas pelos pesquisadores. A primeira diz que o violão surgiu de um antigo instrumento musical cujo nome é alaúde árabe ou Oud (Figura 1), instrumento importante para a cultura europeia e muito utilizado pelas cortes. Já a segunda teoria é que o violão é derivado da “cintara romana” (Figura 2), instrumento usado pelos romanos na sua música tradicional, desta forma, havendo tal semelhança entre os instrumentos, fortalece a hipótese de que o violão é derivado, com a diferença na afinação e quantidade de cordas [5].

Figura 1 – O instrumento musical alaúde árabe



Fonte: Referência [6].

Figura 2 – Instrumento musical chamado “cítara romana”



Fonte: Referência [7].

De acordo com Dalmacio (2013), a importância das transformações dos instrumentos musicais antigos ajuda surgir novas possibilidades de técnicas, que despertam interesse de compositores e intérpretes para desenvolvê-la, assim, criando estilos e repertórios específicos do instrumento. O luthier Antonio Torres Jurado (1817-1892) contribuiu na transformação da guitarra clássica, melhorando a caixa de ressonância, ajustando o tamanho do corpo, o braço do violão e diminuindo a quantidade das cordas, além dele outros luthiers tentaram contribuir de forma mais expressiva, mas não tiveram tanto impacto quanto ele, deste modo, as transformações feitas por Antonio Torres são as mais próximas do modelo atual do violão [4]. Contudo, ainda houve outras tentativas de transformar o instrumento

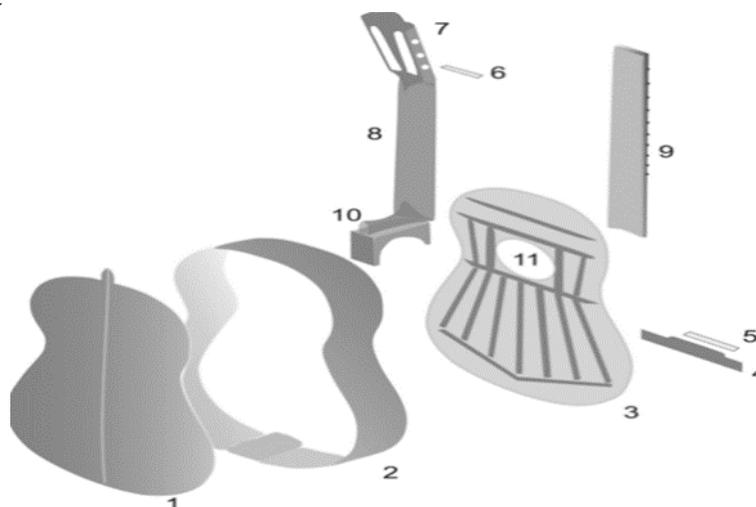
Em meados do séc. XIX, o luthier espanhol Antonio Torres Jurado (13/6/1817 – 19/11/1892) definiu a forma do violão clássico. A partir de então, “outras tentativas inovadoras ainda foram feitas, tais como violões com dois braços, com cordas atravessadas sobre o tampo e violões com ou sem trastes móveis”. (PERREIRA, 2010 p. 5 apud JORDÃO, 2015, p. 4). [8].

Em busca de um melhor som, as mudanças foram frequentes no instrumento ao passar dos anos, de acordo com De Castro (2007, p. 2), “Ela vem da demanda de músicos e inventores por um violão com um som mais intenso, com mais amplificação e alguma singularidade.” [9]. Para conseguir um violão de alta intensidade, os luthiers passaram a construir o instrumento com novos materiais como cordas de aço, com madeiras mais fortes (para suportar as tensões exercidas pelas cordas) e utilização da palheta. Com a criação de clubes de danças e shows em ambientes abertos, foi necessário a adaptação de diversos instrumentos com captação elétrica, surgindo o violão acústico elétrico e a guitarra elétrica e entre outros.

2.2 Descrição do Violão

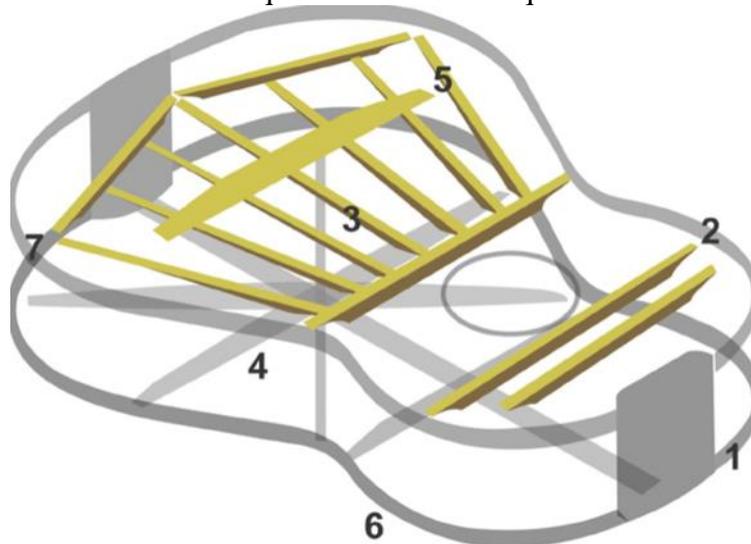
Veremos agora cada uma das principais partes do violão, para começar entender um pouco sobre o funcionamento e a construção desse magnífico instrumento, faremos algumas observações. O violão é um dos instrumentos musicais mais populares em todo o mundo, ele possui cordas de diferentes calibres que são presas em duas extremidades, assim, as cordas transmitem vibrações para o violão e o corpo dele amplifica e projeta o som. Nas Figuras 3 e 4 é possível observar as divisões do corpo.

Figura 3 – Visão do violão explodido sem as cordas. As partes indicadas são: 1 fundo, 2 laterais, 3 tampo, 4 cavalete, 5 rastilho, 6 pestana, 7 mão, 8 braço, 9 escala, 10 salto e 11 boca



Fonte: Referência [10].

Figura 4 – Visão da estrutura interna do violão na ausência do tampo, fundo e laterais. As partes indicadas são: 1 taco, 2 barras transversais, 3 barras longitudinais, 4 estrutura de barras do fundo, 5 contracavalete, 6 contrafaixa e 7 barras de fechamento. O leque da estrutura em questão é o modelo Torres



Fonte: Referência [10].

Tendo já observado a estrutura do corpo do violão, agora vamos observar ele de forma completa com os detalhes sobre algumas partes que precisam ser analisadas na figura 5.

Figura 5 – Visão completa do violão com os detalhes de algumas partes



Fonte: Referência [11].

O instrumento é composto por seis cordas com comprimento de 65 cm (distância entre o rastilho e a pestana), com afinação padrão com as notas 1ª corda MI, 2ª corda SI, 3ª corda SOL, 4ª corda RÉ, 5ª corda LÁ, 6ª corda MI (ordens das cordas de baixo para cima) com frequência aproximada de 330 Hz, 247Hz, 196 Hz, 146 Hz, 110 Hz e 82 Hz, respectivamente, vale ressaltar que pode haver outros tipos de afinações [12]. Existem violões com cordas de nylon e existem violões com cordas de aço. Contudo, o instrumento é composto por três partes básicas que são headstok (ou mão), o braço e o corpo, como visto na figura 5. O material mais utilizado na sua confecção é a madeira, mas alguns podem ser feitos de metal, fibra de vidro ou com parte de acrílico, sendo possível utilizar mais de um material para se construir as partes do instrumento, no caso da madeira é muito comum uma combinação de diferentes espécies para obtenção de sonoridades específicas e para tornar determinada parte do instrumento mais resistente ou esteticamente mais atraente [13].

Na mão, ficam as tarraxas, elas têm engrenagens feitas de metal ou plástico e tem a principal função de esticar, afrouxar e manter a corda na afinação correta. Seguindo para o encaixe da mão com o braço temos a pestana ou nut, que pode ser feita de vários materiais, os mais comuns são osso, plástico e metal; e suas principais funções são a de guiar as cordas para que cheguem corretamente nas tarraxas, determinar o espaço entre as cordas, a altura no começo do braço do violão e, por fim, manter o instrumento bem afinado [13].

No braço, temos a escala que também pode ser chamada de espelho, é uma superfície que fica no braço do instrumento que sustenta os trastes, pequenas barras de metal dispostas em toda a escala, são posicionados de forma que separa as notas em semitons e servem para indicar onde cada nota vai ser tocada, os espaços entre os trastes são chamados de casas e as marcações da escala servem para nos guiar no braço do violão, alguns instrumentos não têm marcações. O tensor é uma haste que fica dentro do braço do instrumento que pode ser feita de metal, fibra de carbono ou de madeira rígida, a função do tensor é reforçar o braço para que ele sofra menos com a tensão das cordas e ajustar a curvatura, desta forma, facilitando a regulação do instrumento [13].

No tampo do violão, temos a abertura conhecida como boca, uma das partes mais importantes para projeção do som do instrumento, ao redor dela fica um mosaico ou roseta que tem uma função de decoração e alguns violões têm o cutway que é um corte feito na parte

inferior do corpo para dar mais conforto na hora de tocar as casas que estão bem à frente na escala, próximas a boca do instrumento. Continuando, o rastilho pode ser feito de materiais diferentes sendo os mais comuns o osso, plástico ou metal, tem a função de transmitir a vibração das cordas, apoiar as cordas e ajudar na regulagem da altura. O cavalete é uma parte de madeira que recebe as vibrações do rastilho e transmite para o tampo do violão, ele também é o suporte das cordas e do próprio rastilho. A roldana ou pino é a parte em que se coloca a correia para pendurar violão, alguns violões vêm com sistema de jack roldanas que é uma combinação entre a roldana e a entrada do cabo, para ligar o violão na caixa amplificadora numa mesma peça, o jack é onde encaixamos o cabo para ligar violão na caixa, presente apenas em violões elétricos e eletroacústicos, nesse tipo de violão é comum o equalizador e pré-amplificador que essa parte onde fazemos ajustes no som do violão plugado, por fim, temos o leque harmônico que fica no interior do violão e sua função é de suportar as tensões de todas as cordas para que não haja alteração na estrutura e possa projetar o som com melhor qualidade [13].

Através dessa descrição podemos observar como o violão tem uma construção complexa, mas pensado e produzido para promover um som com qualidade e projeção acústica.

3 A FÍSICA APLICADA NO VIOLÃO

Após uma breve esplanada sobre a história e a estrutura do violão, podemos dar início a descrição da física aplicada ao mesmo, desta forma, para melhor compreensão vamos organizar nosso estudo em etapas, assim, ajudando na formulação da ideia do nosso estudo.

3.1 Ondas

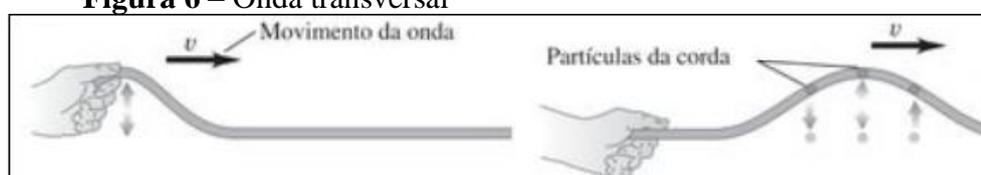
Os fenômenos ondulatórios estão presentes no nosso cotidiano em diversas formas, muitas vezes ou na maioria dos casos, as pessoas leigas sem conhecimentos da física não consegue compreender tudo o que está acontecendo, o porquê de uma ou outra ação produzida pelo instrumento, devido a isso vamos está descrevendo alguns fenômenos como por exemplo (Ondas): A perturbação em um lago, sons (músicas, buzinas, vozes etc.), a luz entre outros. A onda é uma perturbação oscilante que se propaga em um meio (líquido, sólido ou gasoso) ou até mesmo no vácuo, dependendo da sua natureza, que transporta energia de um ponto para outro e não transporta a matéria.

[...] uma onda é qualquer sinal que se transmite de um ponto a outro de um meio, com velocidade definida. Em geral, fala-se de onda quando a transmissão do sinal entre dois pontos distantes ocorre sem que haja transporte direto de matéria de um ponto desses para outro. (NUSSENZVEIG, 2018, p.98) [14].

O surgimento de uma onda pode ser dado por perturbações em uma corda (meio), no qual, uma das extremidades estando fixa na parede e a outra na mão de uma pessoa, movimentando-se a corda para cima e para baixo gerando pulsos de onda, que vão se propagando em direção a parede, deste modo, a matéria somente oscila de baixo para cima e vice-versa, mas não se transporta. O pulso de onda é uma única perturbação que se propaga no meio, ou seja, ao balançar a corda uma única vez produz um pulso e logo depois a corda volta ao seu ponto de equilíbrio, mas criando uma sequência de pulsos periódicos de forma que tenha o intervalo de tempo bem definido entre um e outro, forma-se a onda [15].

Possuindo essas informações será simples na identificação de uma onda ou entender algumas situações presente no dia a dia, como por exemplo: as ondas de rádio, o forno micro-ondas, wifi da internet, ouvir uma música, realizar um exame de ultrassonografia e assim por diante. Contudo, existem ondas de naturezas diferentes, ou seja, possuem propriedades distintas como as ondas mecânicas, que para se propagarem necessitam de um meio e as ondas eletromagnéticas que são capazes de se propagar no vácuo [15]. Prosseguindo nas características, temos a onda transversal (Figura 5) que sua oscilação acontece na vertical e sua propagação na horizontal, ou seja, suas vibrações (oscilações) são perpendiculares aos pulsos, dessa forma utilizando o exemplo da corda novamente, observa-se que ao balançar a corda de baixo para cima com movimentos verticais, as oscilações fazem um ângulo de $\alpha = 90^\circ$ com as perturbações que se deslocam na horizontal. A onda longitudinal (Figura 6) é aquela que suas vibrações são paralelas a sua propagação com ângulos de $\alpha = 180^\circ$ e $\alpha = 0^\circ$, em outros termos, as oscilações acontecem na horizontal com movimento para frente e para trás, assim, na mesma direção de propagação da onda [15].

Figura 6 – Onda transversal



Fonte: Referência [15].

Figura 7 – Onda longitudinal



Fonte: Referência [15].

Uma onda periódica transversal com um movimento harmônico simples (MHS) que possui frequência f , amplitude A , velocidade angular ω e período T , cuja, a sequência do movimento dos picos e o dos vales são simétricos é conhecida como onda senoidal. Portanto, a onda com MHS se propaga em fases, assim, avançando uma distância igual ao comprimento da onda λ no intervalo de um período T . De acordo com Young (2008, p.106) “Quando uma onda senoidal se propaga em um meio, cada partícula do meio executa um movimento harmônico simples com a mesma frequência” [15]. A onda periódica longitudinal se propaga de modo semelhante a onda senoidal com MHS, deste modo, sua frequência e amplitude são as mesmas na progressão da onda. Imaginemos que temos um tubo com um fluido, como na figura 6, e o seu pistão é movimentado para frente e para trás gerando pulsos de onda, desta forma, este movimento produz regiões dentro do tubo com pressões e densidades maiores ou menores aos seus valores de equilíbrio, ou seja, ocasionando uma compressão nas regiões com densidade elevadas e expansão em regiões com densidade reduzida. Portanto, sabendo identificar algumas características de uma onda será possível descrever sua propagação, levando em conta que o sistema no qual a onda está presente seja perfeito, assim, utilizando a equação (3.1) a seguir, pode-se conseguir acompanhar seu comportamento [15].

$$y(x,t) = A \sin(Kx - \omega t + \phi) \quad (3.1)$$

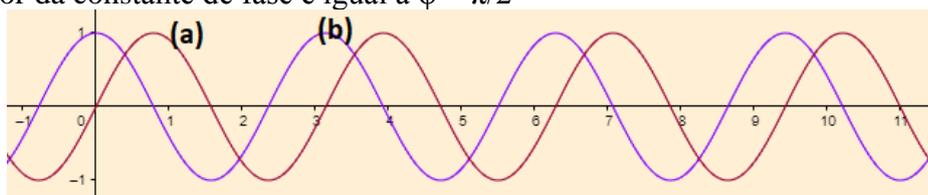
Através da equação da onda podemos calcular as propriedades e saber descrever de forma matemática como a onda está avançando no meio (corda), em função do tempo t e da

posição x . No entanto, toda onda senoidal pode ser descrita tanto em função de seno ou cosseno, sendo assim, adotamos a função do seno.

Como esta equação está escrita em termos de posição x , ela pode ser usada para calcular os deslocamentos de todos os elementos da corda em função do tempo. Assim, pode nos dizer qual é a forma da onda em qualquer instante de tempo e como esta forma varia quando a onda se move ao longo da corda". (Halliday, 2009, p.119) [16].

Agora vamos discutir as grandezas físicas que compõem a onda, desta maneira, nos ajudando compreender as partes que formam a equação. De início, digamos que uma corda esteja perfeitamente esticada na horizontal e não haja nenhuma perturbação (oscilação), ou seja, não está sendo produzido nenhum pulso de onda no meio, então, pode-se afirmar que todos os pontos da corda estão na posição de equilíbrio. Em um esquema que represente uma onda, semelhante a função seno, observa-se os picos (ponto mais alto da onda) e os vales (ponto mais baixo da onda) e a distância entre dois picos ou a distância entre alguns pontos semelhantes se dar o comprimento de onda λ . A amplitude A de uma onda é o módulo de deslocamento entre a posição de equilíbrio e o ponto máximo ou mínimo da onda. O argumento da função seno da equação 3.1 é chamada de fase, de acordo com a posição x que mudam em relação ao tempo t , os ângulos da função seno oscilam entre os picos (+1) e os vales (-1), ou seja, os pontos extremos da onda. A constante de fase ϕ indica o deslocamento da onda progressiva para a direita, sendo assim, o valor escolhido para o ϕ aplicado na função seno nos fornece o deslocamento e a inclinação da onda na posição $x=0$ e no tempo $t=0$, mas conservando os valores iniciais da amplitude A , período T , frequência f e a velocidade angular ω . Na figura 8, podemos observar o gráfico contendo a onda (a) e a onda (b), cujo, seus valores são idênticos e fornecidos pelas funções $y(x,t) = 1 \text{ sen}(2x - 2t)$ para onda (a) e $y(x,t) = 1 \text{ sen}(2x - 2t + \pi/2)$.

Figura 8 – Na onda (a) o valor da constante de fase é igual a $\phi = 0$; na onda (b) o valor da constante de fase é igual a $\phi = \pi/2$



Fonte: Autoria própria.

Note que suas posições no gráfico são diferentes em relação ao mesmo intervalo de tempo t , desse modo, afirma-se que elas estão fora de fase. Seguindo esse conceito pode-se compreender a diferença na equação (3.1) com o argumento seno ou cosseno, apenas o que muda é a posição onde inicia a propagação da onda.

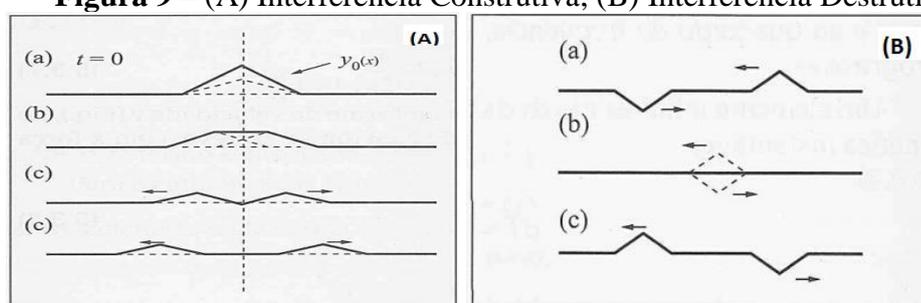
3.2 Princípio da Superposição

Suponha que você sai em um final de semana com seu companheiro(a) para um barzinho com banda ao vivo, para apreciar uma boa música, ou seja, você irá se deparar com vários instrumentos produzindo ondas que o vão de encontro com os ouvidos simultaneamente. Portanto, o princípio da superposição é a soma algébrica das amplitudes nos pontos que se encontram, sendo assim, havendo interferência entre os pulsos de ondas com sentidos opostos. Para melhor compreensão, imagine duas ondas se propagando em sentidos

opostos em uma corda em um determinado momento elas obrigatoriamente iram se cruzar é nesse instante que acontece a interferência, que decorre de dois tipos que são as construtivas e as destrutivas. A interferência construtiva acontece quando os pulsos de onda que se encontram possuem mesma fase, desta forma, o pico coincide com o outro pico e o vale com o outro vale, assim, a amplitude resultante será a soma das amplitudes de cada uma das ondas originais, mas após o final do cruzamento os pulsos seguem como se nunca tivesse ocorrido encontro, mantendo suas características originais. A interferência destrutiva acontece quando as ondas que se encontra estão em fases diferentes, por exemplo, picos coincidem com vales e sua amplitude resultante é dada pela diferença entre as amplitudes das ondas originais, se por acaso os valores das amplitudes sejam iguais a corda ficará em posição de equilíbrio, pois sua amplitude resultante será igual a zero. A soma das duas funções de ondas separadas resulta na função da onda resultante como podemos ver pela equação abaixo [14]:

$$y(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t) \quad (3.2)$$

Figura 9 – (A) Interferência Construtiva; (B) Interferência Destrutiva



Fonte: Referência [14].

3.3 Onda Estacionária em uma Corda

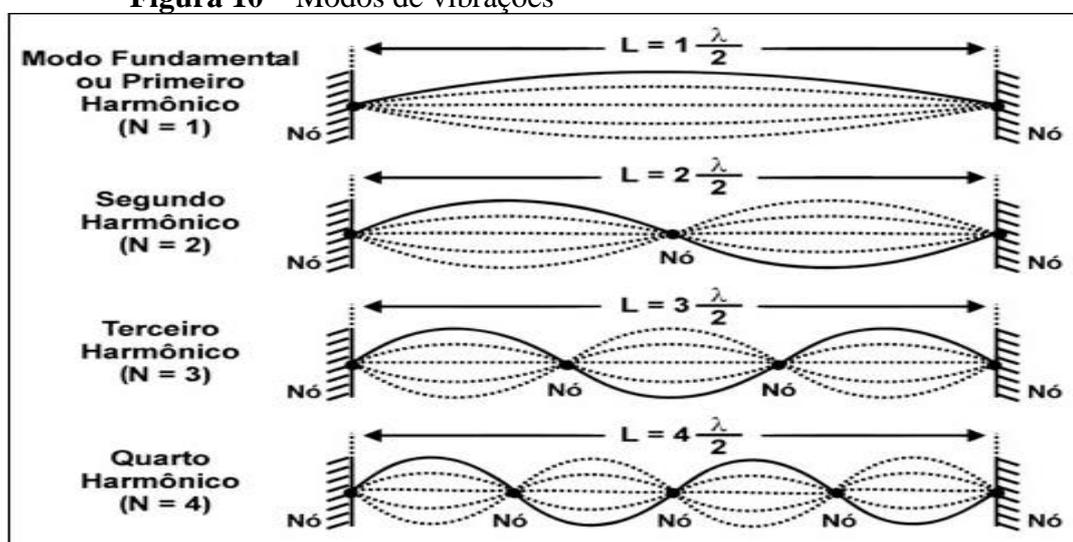
No decorrer deste trabalho foram vistas algumas situações e características de ondas senoidais se propagando no mesmo sentido, com comprimento de onda e amplitude iguais, mas quando elas estão em sentidos opostos surge uma onda resultante utilizando o princípio da superposição, cujo nome é ondas estacionárias.

Para a formação da onda estacionária em uma corda, temos que entender três fenômenos fundamentais como a reflexão, a interferência e a ressonância. Digamos que em uma extremidade da corda temos um oscilador, ou seja, a fonte que vai fazer com que a ela oscile no MHS e na outra extremidade a corda esta fixa, quando a onda se propaga até o final da corda ela reflete e retorna no sentido oposto, assim, cruzando com os pulsos contrários sofrendo interferência destrutiva ou construtiva, dependendo do momento.

Para que os nós (parte da onda que acontece a interferência destrutiva) fiquem sempre na mesma posição é preciso encontrar a frequência de ressonância, ou seja, a frequência que tem por objetivo manter uma boa sincronia entre as ondas que estão indo e as que estão voltando, sendo assim, as interferências destrutivas acontecem sempre na mesma posição, e para algumas frequências definidas a sincronia entre as ondas que se cruzam são ideais e pode-se dizer que estão em ressonância. Nos vales e picos da onda estacionária vai ocorrer a interferência construtiva, ou seja, as amplitudes de ambas vão ser somadas e resultar na amplitude resultante, assim ficarão alternando de modo que um momento está o pico resultante, no outro momento o vale resultante e momentos que está em uma interferência intermediária e por isso que a corda fica oscilando para cima e para baixo. Você pode associar o nome onda estacionária pelo simples fato dela está parada, mas não é verdade, ela possui

uma dada velocidade e o que caracteriza este fato é sua configuração fixa na corda, pois ao determinar uma frequência que irá produzir nós e ventres sempre no mesmo local, essa é a configuração estacionária que nomeia o tipo de onda. Portanto, esta configuração pode mudar quando encontramos uma outra frequência de ressonância que forma um outro número de nós e de ventres, desta forma, a corda (meio) vai se ajustando conforme a sintonia entre as ondas que se cruzam, surgindo mais nós e ventres ou menos nós e ventres na sua configuração, ou seja, cada frequência tem um perfil de vibração, formando-se os modos de vibração. Os modos de vibrações são associados a quantidade de ventres n que se estabeleceram em uma corda para uma determinada frequência, desta forma, para uma corda de comprimento L o seu primeiro modo de vibração no qual forma-se apenas um ventre, conhecida como modo fundamental, possui a menor frequência capaz de gerar uma onda estacionária, então, para $n=1$ temos o primeiro harmônio com 1 ventre e 2 nós, $n=2$ segundo harmônio com 2 ventres e 3 nós e assim, sucessivamente.

Figura 10 – Modos de vibrações



Fonte: Referência [17].

3.4 Corda Vibrante

Agora que possuímos informações sobre algumas características de uma onda estacionária vamos levar em conta as propriedades da corda que produz ondas com frequência fundamentais diferentes. Sabemos que existem vários instrumentos cordofones que possuem cordas feitas por materiais e espessura diferentes, que estão relacionados diretamente com os sons graves e sons agudos, como por exemplo o violão, viola e cavaquinho que tem seus encordoamentos finos e com frequência mais alta, ao contrário do contrabaixo que possui cordas mais grossas e frequência baixa.

Essa onda estacionária dá origem a uma onda sonora que se propaga no ar, com a frequência determinada pelas propriedades da corda. É por essa razão que os instrumentos com duas extremidades fixas são muito úteis para produzir música.”
(Young, 2008, p. 125) [15].

A velocidade das ondas estacionárias em uma corda tensionada não depende da frequência das ondas em propagação, mas das propriedades do meio. Portanto, como estamos interessados apenas nas cordas do violão, que são seis de comprimento L , mas com tensões e

espessuras diferentes, temos que entender que a densidade da corda tem um papel fundamental na velocidade de propagação da onda. A densidade (μ) é dada pela equação 3.3 e sua unidade de medida no Sistema Internacional (SI) é quilogramas por metro (Kg/m) [18].

$$\mu = \frac{m}{L} \quad (3.3)$$

Digamos que temos uma corda tensionada e flexível, e foi submetida ao um movimento forte que originou um pulso de onda e está se propagando, observa-se que sua forma não muda na medida que percorre toda a corda. Sendo assim, a velocidade (v) não depende da fonte que à originou e muito menos sua forma de propagação. A velocidade de uma onda em uma corda é dada pela equação 3.4 e sua unidade de medida é metro por segundo (m/s) [18].

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (3.4)$$

Observe na equação 3.4 que quanto maior for a densidade (μ) da corda, menor será a velocidade de propagação do pulso, ou seja, mais grossa a espessura da corda menor a velocidade do pulso. No entanto, quando maior for a força de tração (T), ou seja, quanto mais esticada a corda estiver, maior será a velocidade do pulso.

Como podemos observar a Figura 10, temos os modos de vibrações de uma onda estacionária, para cada harmônico temos uma frequência estabelecida que depende de quatro fatores que são os números do harmônico n , a densidade μ da corda, o comprimento L e a tração T no qual a corda está submetida. A frequência produzida em uma corda vibrante é dada pela equação 3.5, importante para que possamos entender o funcionamento do violão, desta forma, temos [18].

$$f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (3.5)$$

De acordo com a equação 3.5, vemos que o comprimento da corda é inversamente proporcional à frequência, ou seja, quando tocamos em uma corda do violão solta, ouvimos o som e temos uma frequência determinada de um harmônio n qualquer, mas quando vamos diminuindo o comprimento L , percebemos que o som produzido vai ficando cada vez mais agudo, dessa forma, podemos afirmar que a frequência está aumentando. Quando um músico está ajustando a afinação do seu violão, ele estará submetendo as cordas a uma tensão T no qual é proporcional à frequência, sendo assim, quanto maior seja a tensão T sobre a corda, maior será sua frequência e seu som cada vez mais agudo. Por último, temos a densidade (μ) da corda sendo inversamente proporcional, pois quanto mais grossa a espessura da corda, menor a frequência.

3.5 Ressonância

A caixa acústica de violão tem por finalidade amplificar o som produzido pelas cordas quando tocadas, desta maneira, nos possibilitando ouvir o som com maior intensidade e durabilidade. Do ponto de vista da física, todo sistema possui uma “frequência de ressonância natural”, que quando exposto a outra frequência externa igual ou muito próxima, o sistema

pode responder amplificando sua frequência de ressonância. Segundo o dicionário de português a palavra ressonância significa

“Ato ou efeito de ressonar, de repercutir; repercussão do som. Propriedade de aumentar a intensidade do som ou a duração do som: ressonância de uma sala. Grande aumento da amplitude de uma oscilação sob influência de impulsões regulares de igual frequência”. (Dicio, 2017). [19].

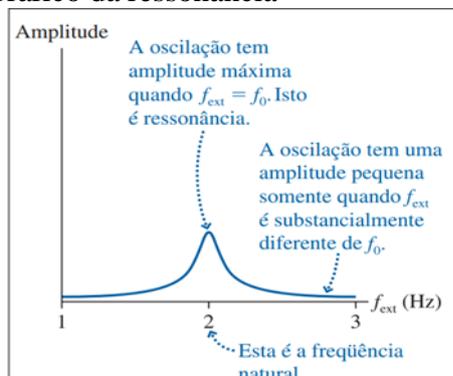
Em algum momento da sua vida, você deve ter ouvido falar que alguém tentou quebrar uma taça gritando, e se perguntou: O que aconteceu para que taça chegue a se quebrar? Por tanto, a taça tem uma frequência de ressonância natural, que ficando próxima de uma fonte sonora de mesma frequência ou semelhante, em resposta a taça vai ressonar aumentando sua frequência natural, assim, forçando-a a balançar ao ponto de estourar. Contudo, a taça tem uma propriedade diferente dos copos comuns, pois o cristal fino possui uma alta estrutura na organização espacial, que ao ser batida “soará” com mais facilidade, ao contrário dos copos comuns que tem o “som surdo”. De acordo com Knight (2009, p.433) “taça tem a constante de tempo muito maior do que a do copo. Isso, por sua vez, implica que a taça tem amortecimento muito fraco, enquanto o copo comum tem amortecimento muito forte” [20].

Figura 11 – Taça estilhaçada por ressonância



Fonte: Referência [20].

Figura 12 – Gráfico da ressonância



Fonte: Referência [20].

De forma análoga temos a caixa de ressonância do violão, que ao batermos nas cordas, elas iram vibrar e essas vibrações serão transmitidas para o ar que vibrará junto, assim, produzindo as ondas sonoras e ao chegar nos nossos ouvidos seremos capazes de identificar como um som. Por tanto, quando tocada a corda, o som (vibração) entra no violão pela boca (abertura do violão), ressonando com a caixa acústica, desta maneira, elevando os valores da

amplitude de ondas produzidas por cada acorde, ou seja, amplificando as energias produzidas pelas ondas sonoras, que tem como resultando uma intensidade maior.

Cada ressonador, para o nosso caso a caixa acústica do violão, dependendo do formato e materiais diferentes, privilegiará algumas frequências mais específicas [21]. Sabe-se que os preços de violões variam pelo material usada na sua confecção, que tem importante influencia na qualidade do som, ou seja, alguns violões são mais caros por conta da madeira usada no seu corpo, que oferecem mais qualidade na produção do som, pois sua frequência de ressonância favorece certas frequências. O tamanho do corpo do violão proporciona na intensidade do som, pois quando maior o corpo, maior a ressonância que ampliará a energia transportada pela onda sonora.

4 QUALIDADE DO SOM

O som é a sensação produzida no sistema auditivo, então, tudo que conseguimos ouvir é considerado como som. Entretanto, temos que entender os aspectos de um ruído “som indesejado”, que não possui periodicidade entre suas ondas, ou seja, suas frequências não têm conexão harmônica entre si, e essa “bagunça” é denominada como dissonância. Percebemos que, quando submetidos a um ruído, temos a sensação de desconforto, e quanto maior for a intensidade das ondas, maior será a sensação de estranheza. Por tanto, vamos entender como ruído todas aquelas situações que fizerem relações com a intensidade sonora e a falta de relações harmônicas entre as ondas sonoras.

A diferença entre som e ruído, pode não ser muito perceptível, porque, nós imaginamos que o som existe apenas enquanto utilizável em música, mas não é bem assim, as vezes um ruído que aparentemente é incomodo, pode ser organizado e transformado em música. Observe, que mesmo um ruído é possível de ser transformado em som musical, se ele for organizado para este objetivo, assim, podemos entender que a música é a organização do som.

O ruído pode ser observado na natureza de forma bem constante, como por exemplo nos trovões. Em outras vezes quando nos deparamos com equipamentos desajustados onde o mesmo está a emitir várias frequências ao mesmo tempo, isso acaba prejudicando a voz e a batida de uma música por exemplo, fazendo assim com que aja alteração nos sons que estão sendo produzidos por um aparelho que transmite som por exemplo.

Altura, intensidade e timbre, são qualidades fisiológicas e estão bem presentes no nosso dia a dia. Para que tenhamos um som de qualidade é necessário haver uma harmonia entre esses três.

4.1 Altura

O ouvido humano consegue diferenciar sons produzidos por fontes distintas a partir de três qualidades que são: altura, timbre e intensidade. Vamos começar pela altura de um som, que é comum associamos ao volume, mas está errado, pois a altura de um som é uma qualidade associada a frequência e não ao volume de um som, que quando a frequência é alta chamamos esse som de “alto” e quando a frequência do som é pequena chamamos de som “baixo”. Por exemplo, o homem costuma possuir uma frequência na sua voz entre 100 a 200 Hz, e as mulheres, entre 200 a 400 Hz, por isso, falamos que homens geralmente tem vozes mais graves, enquanto as mulheres tem vozes mais agudas. Interessante ressaltar que o ouvido

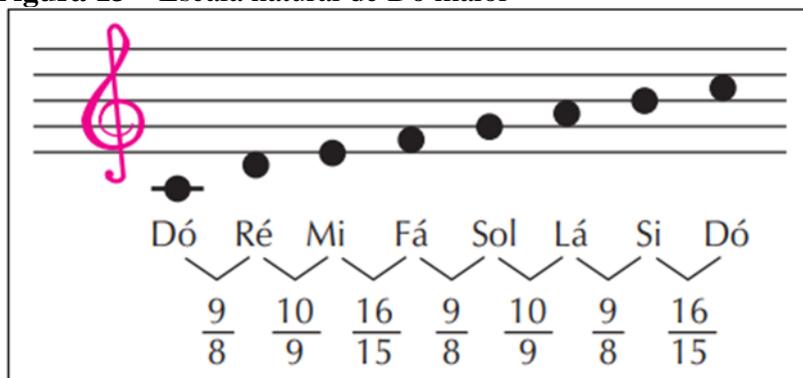
humano só consegue perceber sons com frequências entre 20 e 20.000 Hz, qualquer valor fora desse intervalo nós não conseguimos escutar [23].

Para que possamos determinar o intervalo entre dois sons com frequências diferente, onde $f_2 \geq f_1$, usamos a relação [18]:

$$i = \frac{f_2}{f_1} \quad (4.1)$$

No caso que as frequências sejam iguais $f_2 = f_1$, com intervalo $i = 1$, chamamos de uníssono, mas quando a frequência f_1 chegar ao dobro da f_2 , ou seja, com intervalo $i = 2$, chamamos de oitava. Esta relação dos intervalos entre duas frequências diferentes, são conhecidos na música como intervalos musicais, usados na organização das escalas musicais como tom maior, tom menor e semitom. Observe na Figura 13, os intervalos musicais da escala de Dó maior.

Figura 13 – Escala natural de Dó maior



Fonte: Referência [18].

4.2 Intensidade

A propriedade que nos permite identificar os sons fortes e os sons fracos, é denominada intensidade sonora I , que representa a potência disponível na área (região) onde a fonte sonora se encontra, ou seja, a quantidade média de energia transportada pelas ondas sonoras, na unidade de tempo, divididas pela área A . A unidade de medida no SI (sistema internacional) é dada em (W/m^2), e a relação entre essas grandezas físicas é dada por [18]:

$$I = \frac{\Delta E}{A \Delta t} \quad (4.2)$$

Sendo que a variação de energia ΔE dividida pelo intervalo de tempo Δt , conhecemos como potência Pot , desta forma, temos [18]:

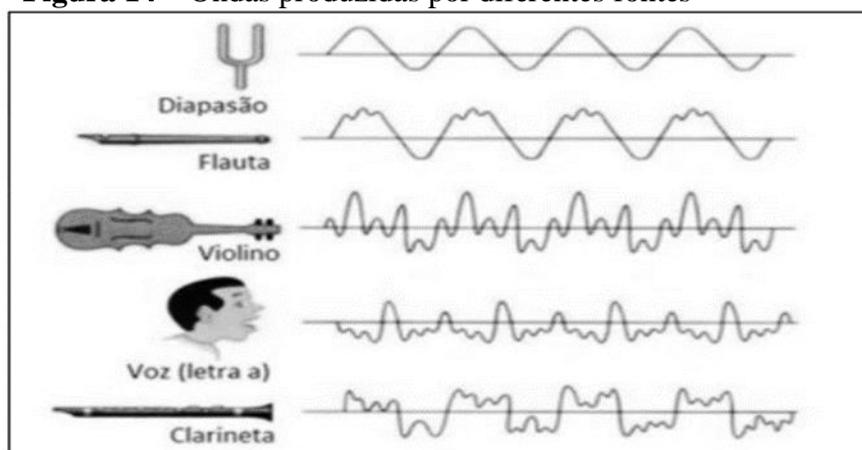
$$I = \frac{Pot}{A} \quad (4.3)$$

Sabemos que há uma faixa de frequências perceptíveis aos nossos ouvidos, logo, a intensidade sonora mínima audível para o humano é aproximadamente $[10]^{(-12)} W/m^2$. Porém, a intensidade sonora que ultrapasse o valor de $1 W/m^2$, causará dores no sistema auditivo [18].

4.3 Timbre

O timbre é a característica que o nosso ouvido tem de conseguir identificar sons por fontes sonoras diferentes. Portanto, é a propriedade que relaciona a forma das ondas produzidas por cada fonte. Por exemplo, quando você ouve uma música tocada por um piano, é diferente do som produzido por um violão ou uma flauta, mesmo que façam o mesmo acorde, podemos distinguir cada instrumento musical. Na Figura 14, vemos que os formatos de ondas são diferentes, assim, podemos afirmar que o timbre é a “impressão digital” de cada instrumento ou voz [23].

Figura 14 – Ondas produzidas por diferentes fontes



Fonte: Referência [22].

Digamos, que todos os instrumentos toquem a nota Dó, e que possuem mesma intensidade e frequência, mas o que diferencia o som é composição harmônica, que resulta uma onda sonora para cada instrumento, dependendo da própria vibração da estrutura do corpo, ou seja, fontes sonoras podem produzir notas de mesma frequência, mas com formato de ondas diferentes.

4 CONCLUSÃO

Através dessa pesquisa foi possível conhecer um pouco da história do violão, no qual apesar de não se ter uma precisão de quando ele surgiu é perceptível que ele foi desenvolvido a partir de instrumentos semelhantes desenvolvidos em épocas mais antigas, além disso a própria música teve seu surgimento em épocas bastante antigas que foram observadas em elementos históricos através dos estudos arqueológicos, contudo houve uma considerável evolução da música e dos instrumentos musicais até os dias atuais e isso se deve ao fato de muitos profissionais da música buscarem instrumentos com características cada vez mais específicas no som produzido pelos mesmos.

Além disso, foi possível compreender e mostrar a física que está por trás do uso deste equipamento musical. Esse trabalho mostrou desde do contexto histórico do violão e veio associando as suas funções com a física, dessa forma a presente pesquisa vai ajudar a pessoas com baixo conhecimento do surgimento do violão e também da física, sabendo que os conhecimentos físicos que estão no fato de simplesmente tocar um violão, muitas vezes são ignorados pelas pessoas, justamente por não terem um material base de como compreender.

Ao se conhecer a estrutura do violão podemos compreender a sua complexidade e os detalhes que caracterizam o instrumento, assim como, suas especificidades que o fazem produzir um som com qualidade e com a ampliação do som produzido através da sua caixa de

ressonância. Esses elementos básicos do instrumento estão diretamente associados aos fenômenos físicos que podemos compreender no presente trabalho e a própria produção musical pode se apropriar desses conhecimentos para produzir um som com melhor qualidade e uma gama de variações sonoras apenas analisando a estrutura das ondas sonoras que estão sendo produzidas, a fim de diminuir ruídos e melhorar a qualidade das frequências e a ressonância que um instrumento acústico como o violão pode projetar no seu som.

Ao se analisar a qualidade do som que é produzido na música, observamos que os elementos como a altura sonora tem grande importância, pois está diretamente ligada a frequência do som produzido dentro da faixa audível pelos humanos vamos de sons mais graves com menor frequência até sons mais agudos com maior frequência, havendo ainda essa variação do som através do seu timbre pois a onda vai ter uma característica para cada instrumento. Contudo, ainda é preciso se ter cuidado para que a intensidade sonora não seja além do limite que o ouvido humano consegue ouvir sem ser agredido, pois a uma exposição para além desse limite existe a possibilidade de dano ao ouvido.

Portanto, a música é uma área que traz muita fascinação por todo o impacto que ela traz para a sociedade e podemos entender como a física está aplicada dentro dela através dos fenômenos físicos associados a mesma e mais especificamente ao violão.

REFERÊNCIAS

- [1] FREDERICO, E. Música breve história. Irmãos Vitale, 1999.
- [2] BUCO, C. A. Indicadores da Prática Musical na Pré-história do Nordeste Brasileiro - Parque Nacional Serra da Capivara – PI. (Dissertação de Mestrado). Pernambuco: UFPE, 1999.
- [3] BALLESTÉ, A. O. Classificação de instrumentos musicais e sua aplicação no Museu Virtual Delgado de Carvalho. Encontro Nacional de Pesquisa em Ciência da Informação – XII ENANCIB. Rio de Janeiro, 2012. p.01 -18.
- [4] DALMACIO, M. P. A sonata para guitarra em Viena na época de Beethoven. Revista Vórtex, Curitiba, n.1, 2013, p.51-66.
- [5] LEITE, V. S.; SOUTO, L. H. A. Do Alaúde para o Violão: Recursos Idiomáticos Potencializadores da Expressividade Musical. Revista Vórtex, Curitiba, v. 8, n. 3, 2020, p.1-28.
- [6] Como são produzidos os violões. In: Minilua. 2016. Disponível em: <<https://minilua.com/como-sao-produzidos-violoes/>>. Acessado em 06 maio 2021.
- [7] La cítara. In: MusiTour. Disponível em: <<https://musitour.com/la-citara/>>. Acessado em 06 maio 2021.
- [8] JORDÃO, P. Teorias sobre as origens do violão de sete cordas: da Europa do séc. XVIII ao Brasil do séc. XX. V Simpósio Internacional de Musicologia, Pirenópolis v. 5, 2015, p. 1-8.
- [9] CASTRO, G. A. S. Guitarra Elétrica: entre o instrumento e a interface. In: XVII Congresso da Anppom, São Paulo, 2007.
- [10] História do Violão: aspectos acústicos, estruturais e históricos. In: MusiCosmos. Disponível em: <<https://musicosmos.com.br/historia-do-violao/>>. Acessado em 06 maio 2021.
- [11] Atividades de música. In: Pinterest – Alex Silva. Disponível em: <<https://br.pinterest.com/pin/737816351422344534/>>. Acessado em 06 maio 2021.
- [12] Afinações. In: Marcio Nigro. Disponível em: <<http://www.marcionigro.com.br/buraconigro/afinacoes/>>. Acessado em 06 maio 2021.
- [13] Nome das Partes do Violão e Suas Funções. In: Amor por violão. Disponível em: <<http://amorporviolao.com.br/nome-das-partes-do-violao/>>. Acessado em 06 maio 2021.
- [14] NUSSENZVEIG, H. M. Curso de Física Básica: fluidos, oscilações e ondas, calor. 5ª edição. São Paulo: Blucher, 2018.

- [15] YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. Sears & Zemansky Física II: termodinâmica e ondas. 12ª edição. São Paulo: Addison Wesley, 2008.
- [16] HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de física: volume 2: gravitação, ondas e termodinâmica. 8ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- [17] Ondas Estacionárias. In: Proenem. Disponível em: <<https://www.proenem.com.br/enem/fisica/ondas-estacionarias/>>. Acessado em 20 agosto 2021.
- [18] RAMALHO JUNIOR, F.; FERRARO, N. G., SOARES, P. A. T. Os Fundamentos da Física. Volume 2. 10 edição. São Paulo: Moderna, 2009.
- [19] Ressonância. In: Dicio Dicionário Online de Português. Disponível em: <<https://www.dicio.com.br/ressonancia/>>. Acessado em 08 setembro 2021.
- [20] KNIGHT, R. Física 1 – Uma abordagem estratégica. 2ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- [21] CABRITA, T. M. P. Ressonância(s): processos de escrita musical. (Dissertação de Mestrado). Lisboa: Instituto Politécnico de Lisboa (IPL), 2012.
- [22] Onda + Amplitude + Frequência + Harmônicos = Timbre? – Parte 2. In: santo angelo/blog. Disponível em: <<https://blog.santoangelo.com.br/onda-amplitude-frequencia-harmonicos-timbre-parte-2/>>. Acessado em 09 setembro 2021.
- [23] Interferência e acústica. In: Educação G1. Disponível em: <<http://educacao.globo.com/fisica/assunto/ondas-e-luz/interferencia-e-acustica.html>>. Acessado em 20 setembro 2021.