

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA
E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO SUL
CAMPUS BENTO GONÇALVES**

**A utilização de um aplicativo móvel na análise experimental de
tubos sonoros**

Diônatan Nadal

Bento Gonçalves, Dezembro de 2018

Diônatan Nadal

A utilização de um aplicativo móvel na análise experimental de tubos sonoros

Trabalho de Conclusão de curso apresentado junto ao curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, *Campus* Bento Gonçalves, como requisito parcial à obtenção do título de Licenciado em Física.

Orientador: Me. Tiago Belmonte Nascimento

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Vinícius dos Santos Rebeque

Bento Gonçalves, Dezembro de 2018

Diônatan Nadal

A utilização de um aplicativo móvel na análise experimental de tubos sonoros

Trabalho de Conclusão de curso apresentado junto ao curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, *Campus* Bento Gonçalves, como requisito parcial à obtenção do título de Licenciado em Física.

Orientador: Me. Tiago Belmonte Nascimento

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Vinícius dos Santos Rebeque

Aprovado em 04 de Dezembro de 2018.

Me. Tiago Belmonte Nascimento – Orientador

Prof. Dr. Paulo Vinícius dos Santos Rebeque - Coorientador

Maurício Henrique de Andrade – IFRS Campus Bento Gonçalves

Prof. Dr. Manuel Almeida Andrade Neto - IFRS Campus Bento Gonçalves

Agradecimentos

Gostaria de agradecer primeiramente aos meus pais, que não mediram esforços para que eu tivesse condições de cursar um curso superior.

A todos meus professores que contribuíram com seu conhecimento e dedicação para me proporcionar um curso de excelência.

Um agradecimento especial ao meu orientador Tiago Belmonte Nascimento, com quem pude aprender muito nesse último semestre, e que foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao meu Coorientador Paulo Vinícius dos Santos Rebeque, com quem tive a honra de conviver nesses últimos anos e que foi fundamental na minha trajetória dentro do curso.

Agradeço aos professores Maurício Henrique de Andrade e Manuel Almeida Andrade Neto por comporem a banca de avaliação e contribuírem com suas considerações para meu trabalho de conclusão de curso.

Um agradecimento especial aos meus amigos Rafael Farina, Jony Piovesan, Maurício José Testa, Tiago Schipp, Bruno Fogali, Thainara Rossi, Felipe Mercalli e Jennifer Rodrigues, que fizeram parte desta trajetória.

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso (TCC), apresenta uma proposta de atividade direcionada ao ensino médio, em que o experimento aliado à análise de aquisição de dados com o uso de *smartphones*, é utilizado como forma de verificação empírica do procedimento experimental desenvolvido. Com o reconhecimento de que as notas musicais se diferem por conta de suas determinadas frequências, utilizou-se dos conceitos físicos sobre a formação de ondas sonoras em tubos, para construir tubos sonoros abertos e fechados com base nas notas musicais da escala maior de Dó, complementada com sua oitava. Utilizando um aplicativo de afinador digital, buscou-se demonstrar como o *smartphone* pode ser utilizado, de modo a verificar se as frequências detectadas em cada tubo são correspondentes com o valor teórico esperado, dessa forma, evidenciando sua viabilidade no processo de aquisição e análise de dados experimentais. Esse TCC almeja também, evidenciar uma possibilidade para trabalhar o conteúdo de tubos sonoros, de forma mais prática, aliada ao uso da tecnologia ao seu favor.

Palavras-chave: Afinador digital; Ensino de Física; *Smartphone*; App; Tubos Sonoros.

ABSTRACT

The purpose of this final paper is presenting an activity to high school students, with the experiment combines the analysis of data acquisition with smartphones, as an empirical verification of the procedure that was developed. With the knowledge that each musical note are different because of their frequencies and using the physical base about the formation of sound waves in tubes, to develop open and closed sounds in a musical scale major C, complemented by its octave. Using a digital tuner application, it was looked for the demonstration of the smartphone use, in order to verify if the detected frequencies in each tube corresponds to the theory, evidencing the viability in the data acquisition and analytics process. This work also proposes the possibility of implementing tube sounds as a school activity, in a practical way, combining technology.

Keywords: digital tuner; physics teaching; *smartphones*; App; sound tubes.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1. Das atribuições do Ensino de Física no Ensino Médio	8
2. REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1. Tecnologia e a utilização de smartphones em sala de aula	10
2.2. O contexto em referência ao ensino em sala de aula:	11
2.3. O papel da experimentação em sala de aula:.....	13
3. FÍSICA E MÚSICA	15
3.1. Conceitos sobre música.....	15
3.2. Afinação Musical.....	18
3. METODOLOGIA	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5. CONCLUSÃO	36
6. REFERÊNCIAS.....	38

1. INTRODUÇÃO

1.1. Das atribuições do Ensino de Física no Ensino Médio

O conteúdo de Física no ensino médio, ganhou atribuições através dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) que orientam toda prática pedagógica. Trata-se de construir uma visão da Física que esteja voltada para a formação de um cidadão com as capacidades de compreender instrumentos, de forma a atuar e participar de sua realidade contemporânea. Temos ainda, como citam Junior e Neto (2017), que as Orientações Curriculares para o ensino médio e as Diretrizes Curriculares Nacionais, demonstram grande preocupação em relação a inserção da interdisciplinaridade em projetos e pesquisas pedagógicas no campo educacional, tendo proposto temas que possibilitem que tais integrações sejam possíveis.

As orientações Curriculares para o Ensino Médio (2006), através dos PCN's, propõem ainda a divisão da Física em seis temas estruturadores. O tema 3, Som, Imagem e Informação, sugere que as fontes sonoras sejam abordadas visando identificar objetos, sistemas e fenômenos que produzem sons para reconhecer as características que o diferenciam, bem como associar diferentes características de sons a grandezas físicas, tais como a frequência e a intensidade, para explicar, reproduzir, avaliar ou controlar a emissão de sons por instrumentos musicais ou outros semelhantes. (JUNIOR, NETO, p.2, 2017)

Neste cenário educacional, podemos perceber como as orientações em função da prática docente em sala de aula, abrangem contextos interdisciplinares para o ensino de acústica. “Normalmente o conteúdo de acústica é trabalhado no ensino médio de forma rápida e matematizada, sem relacionar com o cotidiano do aluno, aumentando assim o abismo existente entre o ensino de física e o mundo real” (JUNIOR, NETO, p1, 2017). Por isso, a preocupação em orientar práticas pedagógicas que integram outras áreas, como forma de evitar uma excessiva fragmentação no ensino de Física. Como citam Coelho e Machado (2015), segundo Piaget (1974, p. 22), no que se refere à interdisciplinaridade no ensino de ciências, os professores deveriam estar familiarizados à um espírito pedagógico bastante amplo, em que o estudante tenha condições de perceber, de forma continuada, as conexões relacionadas ao conjunto do sistema das ciências. Por isso, em função das possibilidades em que o conteúdo sobre ondas sonoras abrange para uma integração com outras áreas do conhecimento, como a música e a tecnologia, evidencia-se a possibilidade de uma atividade que consiga integrar tais temas, de forma a beneficiar a construção do conhecimento.

A tecnologia se tornou uma importante ferramenta no uso de aquisição de dados, e aliá-la ao ensino pode não ser uma tarefa fácil, seja por condições estruturais ou por conta da preparação limitada dos professores em meio às exigências do seu contexto. Evidencia-se também, uma atualização constante de práticas pedagógicas em função do desenvolvimento

tecnológico, que conseqüentemente acaba afetando o contexto de ensino. O presente TCC tem como objetivo, apresentar uma proposta que concilie a tecnologia aliada à física e música de forma experimental, com o intuito de demonstrar a viabilidade da utilização smartphones, como forma de contribuir para o desenvolvimento de novas metodologias no ensino de física, aproximando o aluno de seu contexto social e cultural. A proposta foi desenvolvida com o intuito de permitir a compreensão da formação de ondas estacionárias em tubos sonoros, de comparar os resultados experimentais com os valores teóricos e analisar a relação das frequências obtidas com a notas musicais através de uma atividade experimental.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Tecnologia e a utilização de smartphones em sala de aula

No atual cenário educacional, evidencia-se a necessidade de adaptações no ensino, por conta do constante desenvolvimento tecnológico, uma vez que a sala de aula não está isenta de influências que advém de seu contexto histórico e cultural. Segundo Fernandes et.al (2016), muitos trabalhos têm explorado o uso de novas tecnologias como ferramentas didáticas para auxiliar no processo de aprendizagem no ensino de física, como: trabalhos de modelagem computacional; simulação e experimentos virtuais; softwares e vídeo-análise; uso de *smartphones* e *tablets* como instrumentos de medida associados à experimentação. As tecnologias digitais ocupam cada vez mais o espaço em sala de aula, e estas por sua vez, acabam gerando incômodos por parte de alguns professores, por conta da dificuldade em conciliar o ensino à tecnologia.

Um bom exemplo de como a tecnologia acaba sendo inserida em sala de aula, é a grande utilização de *smartphones* pelos jovens. O desenvolvimento tecnológico evolui diariamente na sociedade e sua aplicação em aparelhos, como *smartphones*, acaba sendo inserido no ambiente escolar. Ainda em 2010, inúmeras pesquisas apontavam que naquela época já havia muito mais celulares do que habitantes no Brasil (MATEUS, BRITO, 2011). Acompanhar e aliar a tecnologia dentro de sala de aula pode ser um desafio, pois em uma sociedade voltada à informação, a docência acaba por apresentar demandas nem sempre absorvidas pelos professores ou nem mesmo utilizadas a favor de uma formação emancipadora (AMARAL ROSA, EICHLER, CATELLI, p. 86, 2015). É importante pensar em uma metodologia que seja viável em relação ao contexto que está sendo trabalhado, “o mundo atual está permeado pela tecnologia e, conjuntamente, por uma necessidade de repensarmos ativamente o papel da escola nesse contexto”. (MOTA, REZENDE JR, p.972, 2017) Analisando como os *smartphones* estão cada vez mais presentes na vida dos jovens, em que as demandas se alteram rapidamente em função do desenvolvimento tecnológico, é fundamental que os procedimentos de aprendizagem possam proporcionar ao indivíduo, uma capacitação que se adequa às exigências da sociedade moderna, pois nesse contexto, “surge novas maneiras de pensar, de conviver em sociedade e faz-se necessário compreender toda essa mutação contemporânea para então atuar nela”. (MATEUS, BRITO, p.9517, 2011)

É importante salientar, que o modo como a tecnologia é aplicada em sala de aula, influencia no processo de ensino e aprendizagem, uma vez que o aluno pode durante a aula

acabar se dispersando quando este recurso adquire um caráter de lazer, podendo prejudicar o objetivo que fora estabelecido, e conseqüentemente, reforçando erros conceituais que deveriam ser corretamente explorados:

Es fundamental tomar conciencia de que, aunque las aplicaciones tecnológicas ofrecen nuevas posibilidades y contextos, la mera utilización del recurso no garantiza la mejora del aprendizaje, es más, en ocasiones, la información ofrecida es erróneamente interpretada por los individuos y puede incluso reforzar sus errores conceptuales.(ARIZA, ARMENTEROS, p.103, 2014)

Desse modo, mais do que simplesmente aplicar procedimentos pedagógicos modernos em sala de aula, salienta-se a importância da capacidade que tal recurso didático implementado possa atribuir, de forma a beneficiar a construção do conhecimento. Vieira (2013) destaca que há bons motivos para a utilização de práticas de laboratório nos cursos de física, onde a ciência experimental lida com o mundo material, e por isso, a observação e manipulação de objetos reais acabam contribuindo para a construção do conhecimento. A tecnologia trouxe procedimentos de aquisição de dados que acabaram modificando o desenvolvimento de atividades experimentais.

A representação gráfica imediata dos resultados das medidas traz vantagens que vão além da economia de tempo e esforço. Com a visualização em tempo real fica muito mais fácil compreender o que está sendo obtido no experimento. (VIEIRA, p.8, 2013)

Reconhecer que a tecnologia pode ser usada em sala de aula como forma de complementar o processo de ensino e aprendizagem, pode ser um bom caminho para aliar o contexto em que o aluno está inserido, e associar o conteúdo que está sendo trabalhado com aplicações tecnológicas.

2.2. O contexto em referência ao ensino em sala de aula:

Atualmente, um dos problemas referentes ao ensino de Física, é a forma como o conteúdo é trabalhado em sala de aula, e como isso pode influenciar no processo de ensino e aprendizagem. São várias as dificuldades encontradas por docentes e alunos em relação ao ensino e aprendizado na disciplina de Física, a qual por ser uma ciência que necessita do uso de conteúdos muitas vezes abstratos, pode acabar criando algumas dificuldades em função do interesse do aluno em entender o conteúdo. Em meio à esta problemática, torna-se fundamental rever metodologias que visam uma aproximação da ciência com a realidade dos estudantes por meio da realização de experimentos didáticos, quando estes assumem um papel que beneficie o desenvolvimento do conteúdo (JUNIOR, NETO, 2017). O aluno dar significado ao que está aprendendo pode não ser uma tarefa fácil quando o conteúdo é tratado como algo

descontextualizado e desvirtuado de sua realidade. Desse modo, considera-se fundamental o reconhecimento de que os conceitos científicos são produtos de um contexto histórico e cultural:

Para Lev Vygotsky (1987, 1988), o desenvolvimento cognitivo não pode ser entendido sem referência ao contexto social, histórico e cultural em que ocorre. Para ele, os processos mentais superiores (pensamento, linguagem, comportamento voluntário) têm sua origem em processos sociais; o desenvolvimento cognitivo é a conversão de relações sociais em funções mentais. Nesse processo, toda relação/função aparece duas vezes, primeiro em nível social e depois em nível individual, primeiro entre pessoas (interpessoal, interpsicológica) e após no interior do sujeito (intrapessoal, intrapsicológica). (MOREIRA, CABALLERO, RODRIGUES, p.7, 1997)

Seguindo a linha de pensamento proposta por Vygostky, essa conversão de relações sociais em processos mentais superiores, em referência ao contexto envolvido, não é direta, ou seja, é mediada por instrumentos e signos. Podemos entender como instrumento, "algo que pode ser usado para fazer alguma coisa; e signo, como sendo algo que significa alguma coisa" (MOREIRA, CABALLERO, RODRIGUES, p.7, 1997), sendo possível identificar três tipos:

[...]indicadores são aqueles que têm uma relação de causa e efeito com aquilo que significam (fumaça por exemplo significa fogo por que é causada pelo fogo); icônicos são os que são imagens ou desenhos daquilo que significam; simbólicos são os que têm uma relação abstrata com o que significam. As palavras, por exemplo, são signos (simbólicos) lingüísticos; os números são signos (também simbólicos) matemáticos. A língua, falada ou escrita, e a matemática são sistemas de signos.(MOREIRA, CABALLERO, RODRIGUES, p.7 1997)

Desse modo, podemos entender que o processo de aquisição de significados que envolvem a construção de um saber, não está isolado de fatores externos, visto que estes são construídos socialmente. Deve-se levar em conta também, o modo como essa interação entre ambas as partes é realizada, e como os instrumentos são utilizados a fim de dar significado aos novos conceitos apresentados. O método de ensino experimental pode possibilitar uma participação mais ativa dos estudantes no processo de ensino e aprendizagem, e conseqüentemente na aquisição de novos significados, para que a construção do seu conhecimento científico seja suficiente, de forma que contribua para desenvolver um senso crítico relacionado ao contexto tecnológico em que o aluno está inserido, e assim, poder relacionar tais assuntos trabalhados ao seu contexto histórico e cultural. Vygostky caracteriza como sendo a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), que pode ser entendida como sendo a distância entre o nível determinado pela capacidade de resolver um problema de forma autônoma, e a série de informações que a pessoa pode potencialmente atingir sobre a orientação de outras pessoas:

Representando a ZDP a diferença entre o que o aprendiz pode fazer individualmente e aquilo que é capaz de fazer com a ajuda de pessoa mais experimentadas, como outros

aprendizes “especialistas na matéria”, ou o instrutor, essa formulação de Vygostky reforça, simultaneamente, a importância do sentido de prontidão, que implica a necessidade do aprendiz ter alcançado um determinado estado de aptidão para aprender determinado material cognitivo. (FINO, p.6, 2001)

Podemos entender que uma proposta de metodologia onde possibilite que o processo de construção do conhecimento seja desenvolvido de forma mais autônoma, pode contribuir para aquisição de conceitos científicos. Por isso, o conceito sobre o método de ensino experimental, pode ser trabalhado de forma a relacionar aproximadamente com o que Vygostky descreve como ZDP, e suas relações sociais como forma de beneficiar o desenvolvimento cognitivo.

2.3. O papel da experimentação em sala de aula:

Com o reconhecimento de que o papel do professor não está na mera transmissão de conteúdos prontos e inquestionáveis, mas na orientação e auxílio para o processo de construção do conhecimento, dentro do campo da pesquisa em educação, há vários estudos que buscam ferramentas que auxiliem o professor no planejamento e desenvolvimento de suas aulas. Quando se discute sobre o ensino de Física no Ensino Médio, o papel da experimentação ganha destaque em função da colaboração que esta tende a possuir:

A experimentação enquanto estratégia de ensino-aprendizagem tem sido defendida no ensino de Física há algumas décadas. Em especial nos anos 60-70 do século passado, a defesa por tal estratégia se intensificou, por meio da incorporação dos projetos de ensino nacionais ou internacionais nas escolas brasileiras. Desde então, tal incorporação tem ocorrido sob diferentes concepções de ciência, de ensino e de aprendizagem, por conta de que também tem sido objeto de pesquisas na área, sob diferentes referenciais teóricos. (HIGA, OLIVEIRA, 2012, p. 76)

Deve-se levar em conta que o uso da experimentação como ferramenta didática, deve ser favorável para a construção do conhecimento. “El papel relevante de las prácticas de laboratorio se puede justificar asumiendo que ayudan a entender la influencia de la experimentación en el desarrollo de conocimiento científico.(ARIZA, ARMENTEROS, p.104, 2014) . Ainda como cita Vieira (2013), atividades de laboratório quando propriamente planejadas, podem ajudar o estudante a compreender conceitos físicos aparentemente difíceis, que acabam entrando em conflito com noções intuitivas advindas do senso comum. Desse modo, podemos evidenciar que, “com diferentes visões de laboratórios didáticos e tipos de atividades, são desenvolvidas pesquisas com referenciais pressupondo diferentes paradigmas de aprendizagem” (HIGA, OLIVEIRA, 2012, p. 78).

Dessa forma, pressupondo um modelo didático em que se busca familiarizar o aluno ao “fazer ciência”, demonstrando como as teorias científicas são construídas através de modelos

científicos, busca-se desenvolver o pensamento crítico do aluno acerca do conhecimento que está sendo explorado.

Los modelos y las teorías científicas adquirirán relevancia para los estudiantes si les proporcionamos repetidas oportunidades de comprobar su utilidad y su potencial explicativo. Las prácticas de laboratorio han sido tradicionalmente empleadas en la enseñanza de las ciencias para demostrar las teorías científicas. Bien diseñadas, permiten cuestionar las ideas alternativas de los alumnos formuladas como hipótesis previas a los experimentos, así como encontrar sentido a las ideas científicas cuando son aplicadas para explicar fenómenos. (ARIZA, ARMENTEROS, p.103, 2014)

Mais do que apenas testar hipóteses acerca de um determinado conteúdo, a experimentação também busca desenvolver uma interpretação científica dos fenômenos que estão sendo explorados, uma vez que estes requerem uma aquisição de dados, que por sua vez, exigem uma análise crítica das informações que estão sendo observadas.

La adquisición e interpretación de datos son tareas básicas dentro de las metodologías científicas y, por tanto, familiarizar a los estudiantes con estos procesos no solo les ayuda a entender la forma en que la ciencia desarrolla conocimiento, sino también les permite encontrar sentido a muchas de las teorías científicas cuando ven que estas permiten describir y explicar muchos fenómenos naturales y cotidianos.(ARIZA, ARMENTEROS, p.104, 2014)

Dessa forma, considera-se que ao testar e interpretar um determinado modelo científico, o aluno deva associá-lo ao seu contexto, uma vez que tais modelos buscam explicações que representem satisfatoriamente ao mais próximo de sua realidade. Por isso, o emprego deste conceito em um contexto científico, deve ser debatido de forma a garantir a construção de novos significados em torno da compreensão acerca do significado de um modelo científico, uma vez que estes podem ser considerados representações mediadoras entre a teoria e a realidade (ARIZA, ARMENTEROS, 2014). Se torna importante salientar, que a tecnologia forneceu mudanças em relação às formas de abordar as práticas de laboratório, e por isso, familiarizar o aluno a esse contexto, é fundamental para desenvolver o conhecimento de forma mais condizente com a sua realidade. "As teorias, os princípios, os conceitos, são construções humanas e, portanto, sujeito a mudanças, reconstrução e reorganização". (MOREIRA, CABALLERO, RODRÍGUES, 1997, p.15). Desse modo, podemos considerar que os conhecimentos científicos são suscetíveis às mudanças, e por conta disso, salienta-se a importância de uma proximidade entre o conteúdo e a realidade em que o aluno está inserido, no qual, é suscetível às influências do desenvolvimento tecnológico.

3. FÍSICA E MÚSICA

3.1. Conceitos sobre música

Cotidianamente, pode-se perceber que fenômenos envolvendo corpos em vibração têm como uma de suas consequências a produção de ondas sonoras (CRUZ, DANTAS, p.1, 2018). Para que haja alguma percepção desse fenômeno, essas ondas sonoras devem se propagar de alguma forma a fim de atingir um determinado objeto ou receptor. As ondas sonoras podem ser entendidas, como deformações provocadas pela diferença de pressão em um meio elástico. A sensação causada por essas ondas sonoras é o que chamamos de som, porém, não são todas as variações de pressão que produzem a sensação de audição ao atingirem o ouvido humano. Essa sensação só ocorrerá quando a amplitude destas flutuações e a frequência com que elas se repetem estiverem dentro de determinada faixa de valores. A sensação auditiva do ser humano se caracteriza na faixa de frequência de 20Hz a 20kHz.

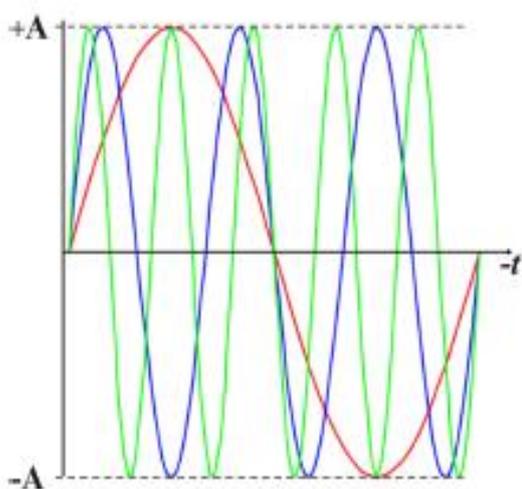


Figura 1: Ondas senoidais de diferentes frequências.

Fonte: CRUZ, DANTAS, 2018

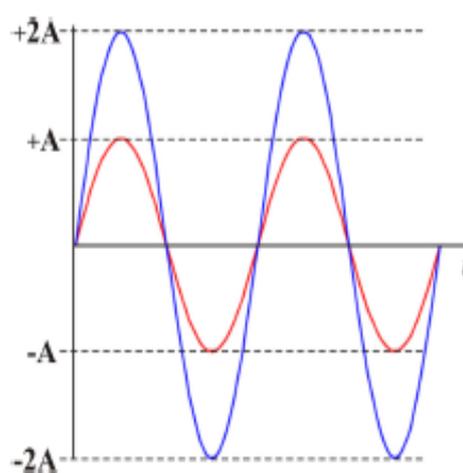


Figura 2: Ondas senoidais de amplitudes diferentes.

Fonte: CRUZ, DANTAS, 2018

As faixas acima e abaixo 20 Hz e 20kHz, são denominadas por ondas infrassônicas e ultrassônicas. Em acústica, podemos caracterizar o som através de suas qualidades fisiológicas, que são:

- Timbre: correspondente a forma de onda captada pelo nossos ouvidos, diferenciando cada fonte sonora;

- Intensidade: caracteriza-se som forte ou fraco, de acordo com sua amplitude. A intensidade do nível sonora é dada é decibéis. Esse conceito pode ser confundido com altura, uma vez que usualmente é utilizada a expressão “aumentar”, ou “baixar” o volume de um aparelho de som.
- Altura: caracteriza sua percepção como grave ou agudo. Um som de baixa frequência é grave (baixo), e um som de grande frequência é agudo (alto)

A música é composta de sons musicais, na qual, as diferentes notas musicais são constituídas por componentes de frequência que são relacionados harmonicamente (RAMOS, 2012). Como Almeida (2017) cita (PRIOLLI, (1956), música é a arte dos sons, combinados de acordo com as variações da altura proporcionados segundo a sua duração e ordenados sob as leis da estética. Tanto a linguagem da física, como a musical, acabam representando o mesmo fenômeno de maneiras distintas. Como destaca Monteiro Junior (2012), tanto no universo da acústica, como no da física, os estudos relativos ao entendimento dos fundamentos de construção e funcionamento de instrumentos musicais, bem como o entendimento das relações entre os sons musicais, utilizam-se de uma modelagem matemática para organização de suas ideias. Ainda como cita o autor acima, sabemos que a distinção auditiva em altura entre as notas ocorre pelo fato de que estas possuem frequências diferentes. “À sua escrita, através de artefatos ou sinais (pauta, claves), dá-se o nome de notação musical. Existem sete sons que representam as notas musicais, são eles: dó, ré, mi, fá, sol, lá, si” (ALMEIDA, p.20, 2017). Podemos definir o intervalo entre duas notas quaisquer como sendo a razão entre suas frequências. Assim temos:

$$I = \frac{f_2}{f_1} \quad (1)$$

Por exemplo, o intervalo de quinta justa ocorre quando $I=3/2$, o de quarta justa quando $I=4/3$ e o de oitava, quando $I = 2$.

Em música, entende-se que quando duas notas estão separadas por um intervalo de oitava, elas são iguais, e, toda escala musical começa e termina na mesma nota musical, separadas por um intervalo de oitava, ou seja, começa com uma nota de frequência f e termina com a mesma nota, agora com frequência $2f$. Essa estrutura harmônica é baseada nesse padrão de intervalos, conhecido como escala temperada ou escala cromática (MONTEIRO JUNIOR, 2012). Para construirmos a escala cromática, dividimos o intervalo de oitava, numa progressão geométrica de 13 termos criando-se, então, doze intervalos iguais em altura, chamados de semitons. Desse modo, a frequência de cada nota da escala cromática será da ordem de $^{12}\sqrt{2}$

vezes maior que a sua anterior. A figura abaixo demonstra como é feita a divisão em uma escala cromática.

Nota Musical	Símbolo	Termos da P.G. $\left(a_n = 220 \cdot (\sqrt[12]{2})^{(n-1)} \right)$	Frequência (Hz)	Nome do Intervalo
Lá	A ₃	$a_1 = 220$	220,000	Unísono
Lá sustenido/ Si bemol	A#/Bb ₃	$a_2 = 220 \cdot (\sqrt[12]{2}) = 233,081880\dots$	233,082	Segunda menor
Si	B ₃	$a_3 = 220 \cdot (\sqrt[12]{2})^2 = 246,941650\dots$	246,942	Segunda maior
Dó	C ₃	$a_4 = 220 \cdot (\sqrt[12]{2})^3 = 261,625565\dots$	261,626	Terça menor
Dó sustenido/ Ré bemol	C#/Db ₃	$a_5 = 220 \cdot (\sqrt[12]{2})^4 = 277,182630\dots$	277,183	Terça maior
Ré	D ₃	$a_6 = 220 \cdot (\sqrt[12]{2})^5 = 293,664767\dots$	293,665	Quarta justa
Ré sustenido/ Mi bemol	D#/Eb ₃	$a_7 = 220 \cdot (\sqrt[12]{2})^6 = 311,126983\dots$	311,127	Quarta aumentada/ Quinta diminuta
Mi	E ₄	$a_8 = 220 \cdot (\sqrt[12]{2})^7 = 329,627556\dots$	329,628	Quinta justa
Fá	F ₄	$a_9 = 220 \cdot (\sqrt[12]{2})^8 = 349,228231\dots$	349,228	Quinta aumentada/ Sexta menor
Fá sustenido/ Sol bemol	F#/Gb ₄	$a_{10} = 220 \cdot (\sqrt[12]{2})^9 = 369,994422\dots$	369,994	Sexta maior/ Sétima diminuta
Sol	G ₄	$a_{11} = 220 \cdot (\sqrt[12]{2})^{10} = 391,995435\dots$	391,995	Sétima menor
Sol sustenido/ Lá bemol	G#/Ab ₄	$a_{12} = 220 \cdot (\sqrt[12]{2})^{11} = 415,304697\dots$	415,305	Sétima maior
Lá	A ₄	$a_{13} = 220 \cdot (\sqrt[12]{2})^{12} = 440$	440,000	Oitava

Figura 3: Escala cromática em Lá.

Fonte: MONTEIRO JUNIOR, 2012

Pode-se observar “que o intervalo musical é definido como sendo a razão entre as frequências de duas notas, e não a diferença entre estas frequências “ (MONTEIRO JUNIOR, p.20, 2012). Na música ocidental, as notas de referência de uma escala, costumam ser

associadas aos seus primeiros harmônicos, ou harmônicos fundamentais. ”Quando uma série de notas segue sua ordem natural (dó – ré – mi – fá – sol - lá – si) tem-se uma escala ascendente, caso contrário, se executada a ordem inversa, tem-se uma escala descendente“ (ALMEIDA, p.20, 2017), sendo que depois das sete notas, quando repetida a primeira nota, dá-se o nome de oitava.

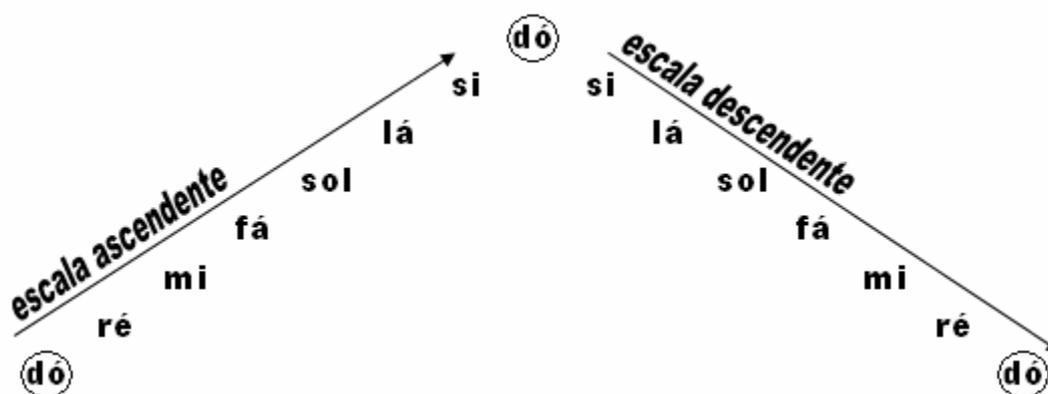


Figura 4: Tipos de escalas musicais.

Fonte: ALMEIDA, 2007

Como podemos analisar na figura 3, as frequências das notas musicais crescem exponencialmente e, a cada extensão de uma oitava, a frequência dobra (MONTEIRO JUNIOR, 2012). Em função disso, torna-se possível deduzir qual frequência será correspondente à uma determinada nota, permitindo verificar se um determinado instrumento se encontra afinado em função de sua nota evidenciada, analisando sua frequência correspondente, como por exemplo, verificando se cada corda de um violão está em sua frequência correspondente, uma vez que ele só pode ser tocado no tom para o qual foi afinado.

3.2. Afinação Musical

Para a utilização de um determinado instrumento musical, as frequências emitidas por estes, devem estar ajustadas de modo a formar uma harmonia agradável ao ouvido humano. Por isso, para que um instrumento musical esteja afinado, deve-se ajustar sua frequência com base em uma escala de valores bem definidos. Como Almeida (2017) destaca, a afinação corresponde ao processo de ajustar o instrumento musical para que ele produza som com altura equivalente ao de escalas musicais pré-definidas, através da comparação, podendo ser realizada tanto

aumentando ou diminuindo a tensão das cordas, em instrumentos de cordas, como variando o comprimento dos instrumentos de sopro.

Existem hoje, basicamente, dois tipos de métodos para analisar uma onda sonora: métodos contidos no domínio do tempo – série de amostras, e métodos contidos no domínio da frequência – série de frequências. Na maioria dos casos, os resultados podem ser alcançados por qualquer método de análise, mas a escolha certa leva a um resultado otimizado, por um caminho mais fácil. (ALMEIDA, p.11, 2017)

Atualmente, há muitos aplicativos de *smatphones* que possuem essa função, dentre eles, podemos destacar o afinador digital *Da Tuner (Lite)*¹, o qual, pode ser obtido gratuitamente através da playstore. “Esses tipos de afinadores eletrônicos funcionam basicamente recebendo um sinal sonoro, processando, e entregando a informação através de uma interface, que pode ser gráfica, como uma tela de LCD ou através de LEDs” (SOUZA, p.2, 2012). Segundo a descrição do aplicativo encontrado no site da Google Play, o aplicativo converte a frequência fundamental para a nota mais próxima correspondente. Embora seu foco seja para utilização em instrumentos de cordas, por conta de sua sensibilidade, pode-se também determinar qualquer frequência quando o som for emitido em uma escala de decibéis acima do limiar de captação do aplicativo, em torno de 45 decibéis.

Reconhecendo que a afinação está relacionada à altura, e que está relacionada à frequência, pode-se verificar se um instrumento está afinado ou não e analisar e identificar a frequência do som que foi gerado. Para utilização no experimento proposto, analisaremos as frequências em tubos sonoros com base na escala maior em Dó, como representada na escala ascendente na figura 4.

Quando ondas se propagam em sentidos opostos, temos o que chamamos de ondas estacionárias. Os comprimentos de onda para os quais isso acontece correspondem à frequência de ressonância, ou seja, quando onda sonora propagada possui a mesma frequência de vibração de sua fonte, fazendo com que haja um aumento de amplitude na onda estacionaria. Quando as ondas se propagam no interior de um tubo, são refletidas nas extremidades. (A reflexão ocorre mesmo que uma extremidade esteja aberta, embora, nesse caso, a reflexão não seja completa). Para certos comprimentos de ondas para os quais isso acontece, correspondem às frequências de ressonâncias do tubo. Nessas condições, o ar no interior do tubo passa a oscilar com grande amplitude, movimentando periodicamente o ar e produzindo uma onda sonora audível, com as

¹ <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.bork.dsp.datuna>

mesmas frequências que as oscilações do ar no tubo. (HALLIDAY, RESNICK, WALKER, 2009).

A figura 5 mostra a onda estacionária mais simples que pode ser produzida em um tubo com extremidades abertas. Existe um antinó de deslocamento em cada extremidade e um nó de deslocamento no ponto médio do tubo. Para facilitar a visualização, podemos representar uma onda longitudinal estacionária, como se fosse uma onda transversal gerada em uma corda. Esse caso pode ser entendido como modo fundamental ou primeiro harmônico. É oportuno frisar que a condição de que o ventre (regiões onde a oscilação é máxima) da onda ocorre exatamente no limite do tubo é apenas uma boa aproximação que torna possível analisar o modelo algebricamente. Rigorosamente, há uma diferença entre o comprimento real do tubo e o comprimento efetivo. Assim, a frequência do harmônico que se estabelece no tubo estará de acordo com a relação:

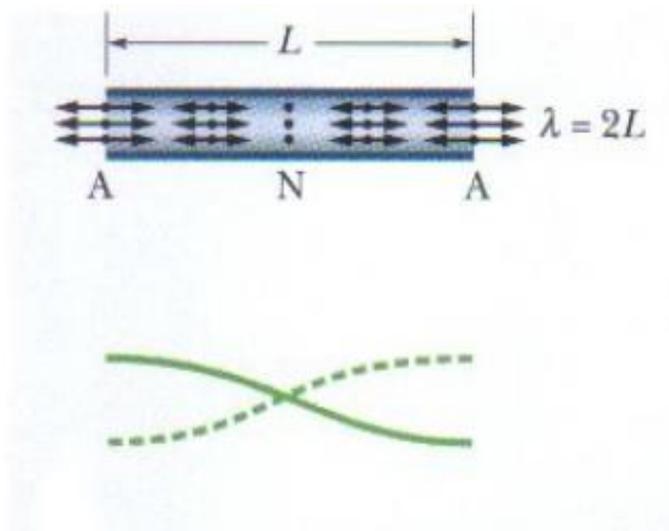


Figura 5: Padrão de deslocamento de uma onda estacionária em um tubo aberto.

Fonte: HALLIDAY, RESNICK, WALKER, 2009

Para esse estado fundamental, as ondas sonoras em um tubo L devem ter comprimento, tal que $\lambda = 2L$. A figura 6, mostra várias outras ondas sonoras, que podem ser produzidas em um tubo com as duas extremidades abertas. No caso do segundo harmônico, o comprimento das ondas sonoras é $\lambda = L$, no caso do terceiro harmônico é $\lambda = 2L/3$, e assim sucessivamente. Em um caso geral, as frequências de ressonância de um tubo de comprimento L , com as duas extremidades abertas, correspondem à comprimentos de ondas dados por:

$$\lambda(n) = \frac{2L}{n} \quad \text{para } n = 1, 2, 3, \dots, \quad (2)$$

onde n é o número do harmônico. Chamando v a velocidade do som, podemos escrever as frequências de ressonância de um tubo de extremidades abertas. A velocidade de propagação de uma onda sonora, depende do meio de propagação, sendo maior nos sólidos quando em comparação com líquidos e gases, tendo um valor aproximado no ar, de 340 m/s em uma temperatura média de 20° C. (HALLIDAY, RESNICK, WALKER, 2009). Assim, temos:

$$f(n) = \frac{v}{\lambda(n)} = n \frac{v}{2L} \quad \text{para } n = 1, 2, 3, \dots, \quad (3)$$

A figura abaixo mostra algumas ondas estacionárias que podem ser produzidas em tubos com as extremidades abertas:

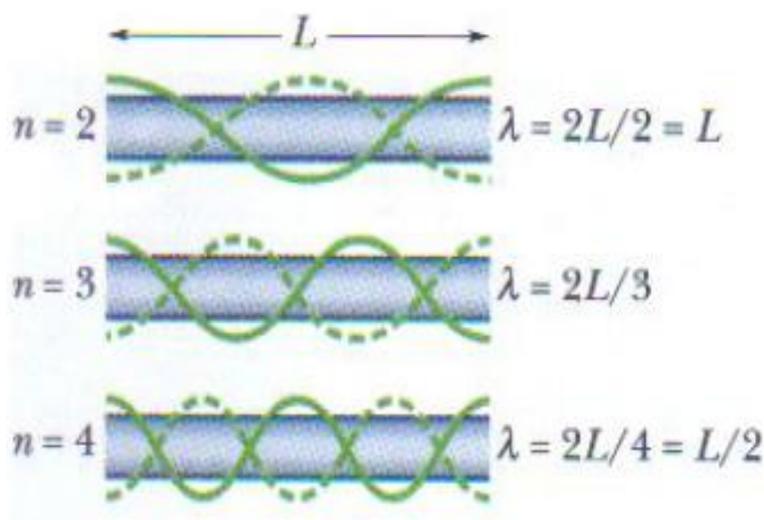


Figura 6: Ondas estacionárias em tubos abertos, representadas por curvas de pressão em função da posição.

Fonte: HALLIDAY, RESNICK, WALKER, 2009

No caso de tubos sonoros com uma extremidade fechada, existe um antinó de deslocamento na extremidade aberta e um nó de deslocamento na extremidade fechada. O modo mais simples, ou harmônico fundamental, é aquele no qual $\lambda = 4L$. No segundo mais simples, ou segundo harmônico, temos que $\lambda = 4L/3$.

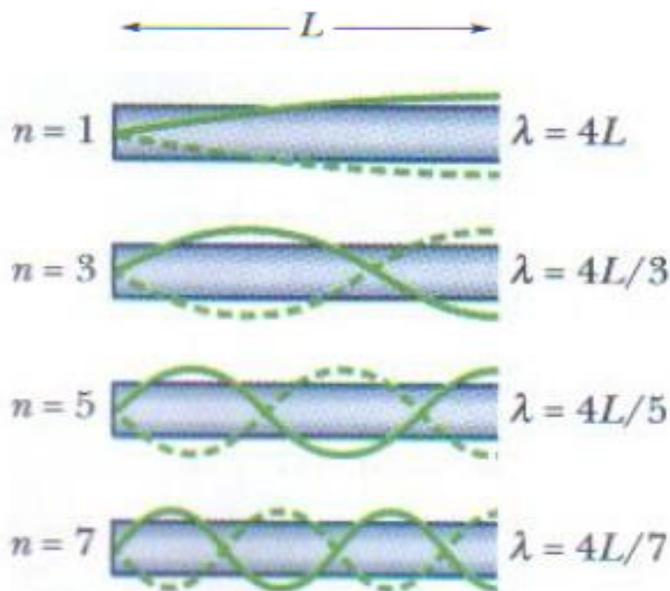


Figura 7: Representação de ondas estacionárias em tubos fechados em uma extremidade.

Fonte: HALLIDAY, RESNICK, WALKER, 2009

No caso geral, as frequências de ressonância de um tubo de comprimento L com uma das extremidades fechadas, correspondem a comprimentos de onda dados por:

$$\lambda(n) = \frac{4L}{n} \quad \text{para } n = 1,3,5 \dots, \quad (4)$$

Onde o número n é um número ímpar. As frequências de ressonância são dadas por:

$$f(n) = n \frac{v}{4l} \quad \text{para } n = 1,3,5 \dots, \quad (5)$$

Por meio dessas fórmulas, podemos associar a frequência propagada em função do comprimento para tubos sonoros abertos nas duas extremidades e fechados somente em uma das extremidades. Com base nas informações discutidas acima, podemos planejar a construção de tubos sonoros artesanais, possibilitando uma boa oportunidade para fazer estudos referentes à física envolvida na construção de instrumentos de sopro.

3. METODOLOGIA

O experimento proposto consiste na construção de tubos sonoros, abertos nas duas extremidades e fechados em uma das extremidades, para análise de suas respectivas frequências medidas com um afinador digital de *smartphone*. Para cálculo do comprimento L dos tubos sonoros abertos que seriam construídos, utilizou-se a equação (3). Em tubos com uma das extremidades fechadas, utilizou-se a equação (5). Para calcular as frequências que seriam obtidas para cada tubo em função do seu comprimento, utilizou-se a tabela 1 para tubos abertos, e a tabela 2 para tubos fechados, sendo que para cada nota, temos sua frequência correspondente. Considerando que a frequência medida com o *smartphone* seja a menor possível para um determinado comprimento do tubo, a onda estacionária é formada em seu modo fundamental; temos assim, que $n = 1$. Ainda, salienta-se a consideração de que a frequência obtida, corresponde ao seu primeiro harmônico referente ao estado de vibração do tubo, que ao entrar em ressonância com a onda sonora, acaba aumentando sua intensidade. Para a velocidade do som, podemos utilizar o valor teórico aproximado de 340 m/s à uma temperatura próxima à 20°C e umidade relativa do ar em 50%. Os valores foram organizados em tabelas, como demonstrado abaixo:

Tabela 1: Valores Teóricos de comprimento dos tubos sonoros abertos nas duas extremidades, em função das notas musicais.

Nota	Frequência Correspondente (Hz)	Comprimento do tubo aberto (m)
Dó	262	0,648
Ré	294	0,578
Mí	329	0,517
Fá	350	0,485
Sol	392	0,431
Lá	440	0,386
Sí	495	0,343
Dó	524	0,324

Tabela 2: Valores teóricos de comprimentos dos tubos fechados em uma extremidade, em função das notas musicais.

Nota	Frequência Correspondente (Hz)	Comprimento do tubo fechado (m)
Dó	262	0,324
Ré	294	0,289
Mí	329	0,258
Fá	350	0,242
Sol	392	0,216
Lá	440	0,193
Sí	524	0,162

Para construção dos tubos, foram utilizados canos de PVC-U², de 22 mm de diâmetro. Para fechar os tubos, colamos CAP de PVC, selado em uma das pontas de cada tubo com cola adesiva plástica para PVC. Os tubos foram lixados afim de tentar ajustar ao mais próximo do valor de L teórico.

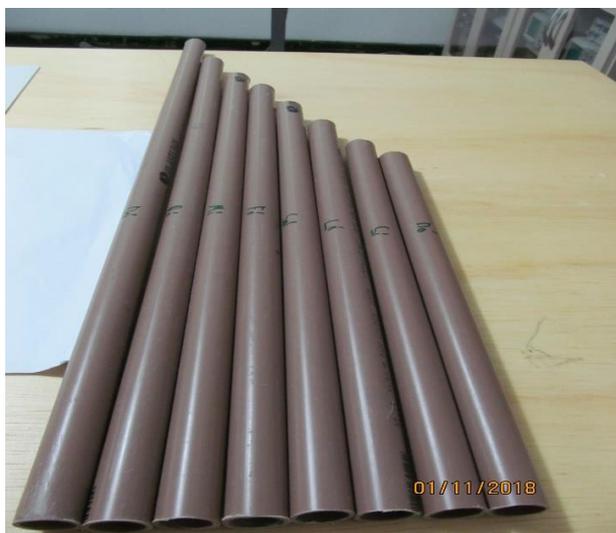


Figura 8: Tubos sonoros abertos nas duas extremidades.

Fonte: Do autor.



Figura 9: Tubos sonoros fechados em uma extremidade.

Fonte: Do autor.

A obtenção da frequência das ondas sonoras correspondentes produzidas em cada tubo, foi feita através do afinador digital *Da Tuner*, observando as notas apresentadas no visor. O

² O policloreto de polivinila (também conhecido como cloreto de vinila ou policloreto de vinil).

celular utilizado para verificação das notas, foi o Motorola G5S, com Processador octa-core e 32 GB de armazenamento³.

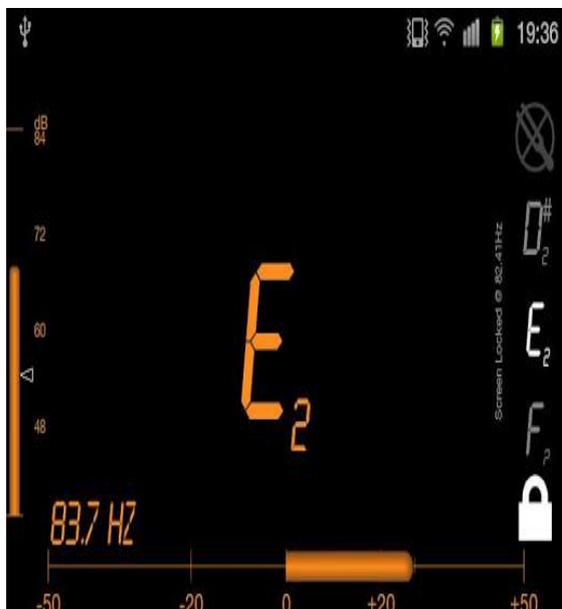


Figura 10: Representação da captação do aplicativo da nota Mí pelo aplicativo digital.

Fonte:

https://play.google.com/store/apps/details?id=com.bo rk.dsp.datuna&hl=pt_BR



Figura 11: Representação da captação do aplicativo da nota Lá pelo aplicativo digital.

Fonte:

https://play.google.com/store/apps/details?id=com.bo rk.dsp.datuna&hl=pt_BR

Para que a frequência do tubo possa ser observada, sopramos perpendicularmente em relação à superfície de uma das suas extremidades, em que a diferença de velocidade do ar ocasione uma pressão maior dentro do tubo, fazendo com que a coluna de ar que está em seu interior se movimente, ocasionando também a vibração do tubo, formando em seu interior uma onda estacionária de modo a entrar em ressonância com sua vibração natural, e consequentemente, aumentando a intensidade da onda sonora, tornando possível sua detecção. Para verificarmos se as frequências obtidas estavam de acordo com o que tinha sido proposto teoricamente, sopramos em média cinco vezes em uma das extremidades de cada tubo, analisando individualmente cada um, calculando um valor médio corresponde aos valores detectados pelo afinador digital. Os dados foram organizados, para posteriormente, ser possível calcular o erro experimental para cada análise. Para obter o erro experimental, utilizamos a seguinte equação:

$$E\% = \frac{|V_t - V_e|}{V_t} \times 100 \quad (6)$$

³ <https://www.tudocelular.com/Motorola/fichas-tecnicas/n3602/Motorola-Moto-G5S.html>.

Onde, V_t é o valor teórico e V_e o valor médio experimental. O objetivo do experimento consiste em verificar os resultados experimentais obtidos em comparação com os valores teóricos por meio do afinador digital, dessa forma, explorando os conceitos de acústica que envolve a construção de tubos sonoros.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para obtenção de dados, precisamos recorrer à uma sala mais silenciosa, uma vez que qualquer som externo acima de 45 decibéis é captado pelo aplicativo, podendo afetar significativamente o experimento. Em um contexto escolar, seria inviável a realização do experimento sem a colaboração dos alunos, por isso, uma possibilidade, seria deixar à cargo dos alunos encontrarem espaços ideais para realização das medidas, podendo inclusive, ser um trabalho extraclasse. Quando atingido o limiar de intensidade necessária para detectar o som, soprando em uma das extremidades do tubo, o visor marca a frequência correspondente e a mantém até que uma nova onda sonora seja detectada. Por isso, para cada situação, pode-se registrar exatamente qual a nota indicada pelo aplicativo. Analisando cada tubo aberto nas duas extremidades separadamente, organizamos os dados como é mostrado a seguir:

Tabela 3: Valores experimentais de frequências para as notas Dó e Ré, de tubos abertos nas duas extremidades.

Frequências registradas para Dó (Hz)	Valor experimental médio (Hz)	Frequências registradas para Ré (Hz)	Valor experimental médio (Hz)
261,6	261,6	292,7	292,44
261,4			
261,5			
261,6			
261,9			



Figura 12: Captação da nota Dó.
Fonte: Do autor.



Figura 13: Captação da nota Ré.
Fonte: Do autor.

Tabela 4: Valores experimentais de frequências paras as notas de Mí e Fá, de tubos abertos nas duas extremidades.

Frequências registradas para Mí (Hz)	Valor experimental médio (Hz)	Frequências registradas para Fá (Hz)	Valor experimental médio (Hz)
325,5	325,6	348,2	348,22
325,7		348,0	
325,4		348,6	
325,6		348,4	
325,8		347,9	



Figura 14: Captação da nota Mí.
Fonte: Do autor.



Figura 15: Captação da nota Fá.
Fonte: Do autor

Tabela 5: Valores de frequências experimentais para as notas Sol e Lá, de tubos abertos nas duas extremidades.

Frequências registradas para Sol (Hz)	Valor experimental médio	Frequências registradas para Lá	Valor experimental médio
390,2	390,44	430,7	430,46
390,5		430,5	
390,3		430,8	
390,8		430,2	
390,4		430,1	



Figura 16: Captação da nota Sol.

Fonte: Do autor



Figura 17: Captação da nota Lá.

Fonte: Do autor.

Tabela 6: Valores experimentais de frequências para as notas Sí e Dó, de tubos abertos nas duas extremidades.

Frequência registradas para Sí (Hz)	Valor experimental médio (Hz)	Frequências registradas para Dó	Valor experimental médio
481,7	481,44	514,13	514,26
481,5		513,17	
481,9		514,02	
480,5		514,8	
482,1		514,2	

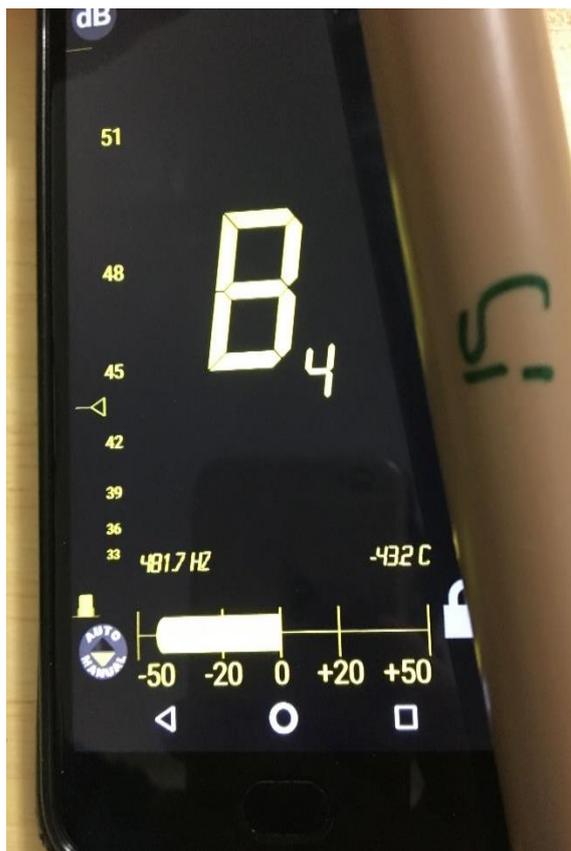


Figura 18: Captação da nota Sí.
Fonte: Do autor

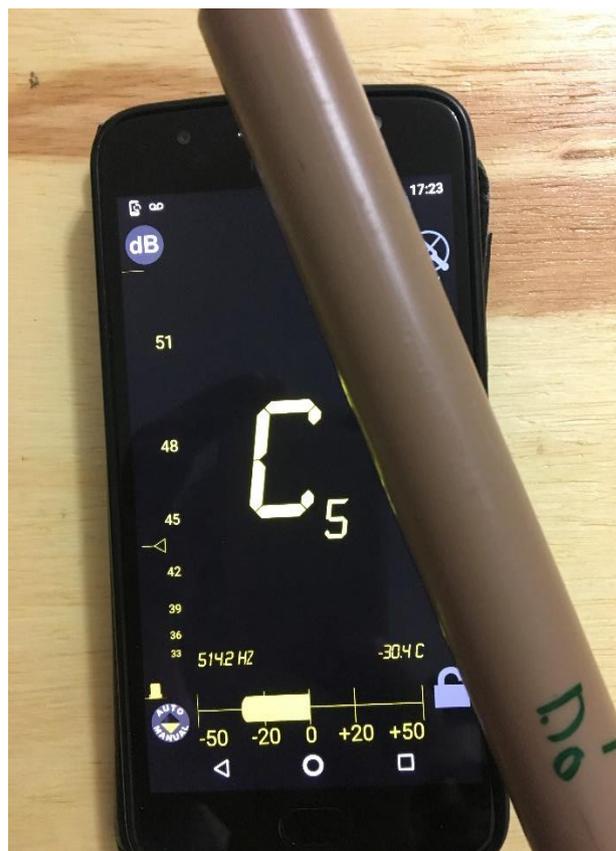


Figura 19: Captação da nota Dó.
Fonte: Do autor.

Tabela 7: Erros experimentais para os tubos sonoros abertos nas duas extremidades.

Nota	Erro experimental (%)
Dó	0,015
Ré	0,053
Mí	1,033
Fá	0,508
Sol	0,397
Lá	2,181
Sí	2,739
Dó	1,858

Para os tubos sonoros abertos nas duas extremidades, podemos observar que conforme foi diminuindo o comprimento do tubo, o erro experimental calculado usando a equação (6), foi ficando maior. Para cada tubo correspondente, podemos observar sua nota no visor do celular, o que indica estar no mesmo tom em relação à altura do som, como já era esperado, sendo que ao atingir a cor verde (figura 12), demonstra estar muito próximo do valor da frequência teórica em função de sua nota musical. Também pode-se analisar se a frequência está acima ou abaixo do valor teórico, em relação ao comprimento do tubo. Nos casos analisados acima, praticamente todos os resultados indicam que o comprimento do tubo está um pouco acima do ideal, uma vez que suas frequências observadas se encontram abaixo do

valor proposto teoricamente. Isso pode ser verificado através da equação (3), na qual, demonstra que ao diminuir o comprimento do tubo, a frequência aumenta. Também observamos uma variação das frequências registradas experimentalmente para cada tubo. Quando sopramos em uma das extremidades do tubo, ocorre a formação de ondas sonoras dentro do tubo, que por vezes, podem ser detectadas pelo afinador digital. Porém, para a frequência mais próxima da nota, verificamos um aumento de intensidade, sugerindo que o tubo funciona como um filtro, entrando em ressonância com a frequência que corresponde ao seu modo de vibração. Para uma segunda análise, temos os dados dos tubos sonoros fechados:

Tabela 8: Valores experimentais de frequências para as notas Dó e Ré, de tubos fechados em uma extremidade.

Frequências registradas para Dó (Hz)	Valor experimental médio (Hz)	Frequências registradas para Ré (Hz)	Valor experimental médio (Hz)
263,4	263,5	290,2	288,68
263,9		289,5	
262,5		287,6	
263,5		289,9	
264,5		289,2	

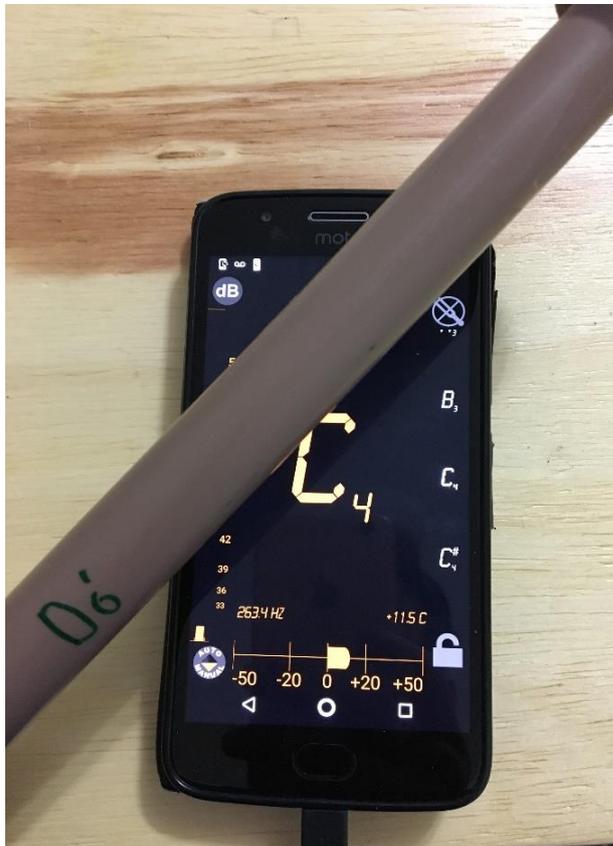


Figura 20: Captação da nota Dó em tubos fechados.
Fonte: Do autor



Figura 21: Captação da nota Ré em tubos fechados.
Fonte: Do autor

Tabela 9: Valores experimentais de frequências para as notas Mí e Fá, de tubos fechados em uma extremidade.

Frequências registradas para Mí (Hz)	Valor experimental médio (Hz)	Frequências registradas para Fá (Hz)	Valor experimental médio (Hz)
320,4	319,56	345,2	345
319,7		344,7	
319,5		345,1	
318,6		345,2	
319,5		344,9	



Figura 22: Captação da nota Mí em tubos fechados.

Fonte: Do autor.



Figura 23: Captação da nota Fá em tubos fechados.

Fonte: Do autor.

Tabela 10: Valores experimentais de frequências para as notas Sol e Lá, de tubos fechados em uma extremidade.

Frequências registradas para Sol (Hz)	Valor experimental médio	Frequências registradas para Lá (Hz)	Valor experimental médio (Hz)
381,1	380,5	426,2	425,8
380,6		425,1	
380,9		425,6	
379,5		426,0	
380,4		426,1	



Figura 24: Captação da nota Sol em tubos fechados.

Fonte: Do autor



Figura 25: Captação da nota Sol sustenido em tubos fechados.

Fonte do autor

Tabela 11: Valores experimentais de frequências para as notas Sí e Dó, de tubos fechados.

Frequências registradas para Si (Hz)	Valor experimental médio (Hz)	Frequências registradas para Dó (Hz)	Valor experimental médio (Hz)
472,1	472,1	500,4	501,5
471,0		503,7	
471,8		502,4	
472,0		500,1	
473,5		501	



Figura 26: Captação da nota Lá sustenido em tubos fechados.

Fonte: Do autor



Figura 27: Captação da nota Sí em tubos fechados.

Fonte: Do autor

Tabela 12: Erros experimentais para tubos sonoros fechados em uma extremidade.

Nota	Erro experimental (%)
Dó	0,570
Ré	1,809
Mí	2,869
Fá	1,428
Sol	2,933
Lá	3,227
Si	4,626
Dó	4,293

Analisando os resultados obtidos para os tubos fechados, podemos perceber como estes seguem o mesmo princípio em relação a nota indicada no visor, porém, diferente dos dados anteriores, em nenhum dos tubos foi evidenciada a cor verde, relacionada à frequência da nota esperada, indicando ter ainda mais ajustes a fim de aperfeiçoar o experimento. Também foi observado que se a frequência está abaixo do valor da referente nota musical, então é sugerido que o comprimento do tubo esteja acima do ideal, e vice-versa. Essa verificação pode ser feita através da análise da equação (5), na qual, evidencia-se que a frequência obtida é inversamente proporcional ao comprimento do tubo. Além das análises em relação às condições de ondas estacionárias em tubos sonoros, podemos associar os resultados aos valores previsto quando baseados na teoria musical. As últimas figuras 25,26 e 27, demonstram como o erro experimental pode influenciar na verificação da nota pelo aplicativo digital, pois os últimos canos fechados se encontram meio tom abaixo, ou seja, não correspondem com suas respectivas frequências teóricas, devendo ser ajustados de modo a diminuir os comprimentos dos tubos. Através da tabela abaixo, podemos verificar a diferença entre as frequências teóricas correspondentes às notas musicais, e as frequências médias medidas experimentalmente para tubos abertos nas duas extremidades e fechados em uma extremidade.

Tabela 13: Comparação entre as frequências teóricas e as frequências médias obtidas experimentalmente.

Notas musicais	Frequências teóricas	Frequências médias medidas para tubos sonoros abertos nas duas extremidades	Frequências médias medidas para tubos fechados em uma extremidade
Dó	262	261,6	263,5
Ré	294	292,44	288,68
Mí	329	325,6	319,56

Fá	350	348,22	345,0
Sol	392	390,44	380,5
Lá	440	430,46	425,8
Si	495	481,44	472,1
Dó	524	514,26	501,5

As variações nos dados obtidos, sugere que tanto o comprimento do tubo, quanto outros fatores, como a forma que o tubo foi atingido pelo sopro, a velocidade do ar ou alguma deformação no momento de sua construção, podem ter influenciado nos resultados. Inclusive, o próprio aplicativo acaba detectando a frequência do sopro, em função do filtro do microfone. Temos também, que ao soprar em uma das extremidades, temos várias ondas sonoras sendo formadas dentro do tubo, porém, em uma frequência específica e igual ao da vibração do tubo, temos o efeito de ressonância que acaba fazendo com que essa onda sonora se sobreponha em intensidade, e possa ser detectada. É importante salientar que, quando calculamos as notas utilizando as equações (1) e (2), estamos desconsiderando o diâmetro do tubo e assim, os efeitos de extremidades, por isso, pode-se sugerir, que o aumento do erro experimental em função da diminuição do comprimento do tubo, se dá por esse fator. Os comprimentos dos tubos obtidos pela equação (1), emitem "um" som fundamental (e obviamente seus harmônicos) um tanto alterado, como se os tubos fossem realmente um pouquinho mais compridos do que realmente são. O som produzido não corresponde exatamente a frequência obtida apenas considerando o comprimento do tubo. O som real emitido correspondem a tubos cujos comprimentos são $L + \frac{1}{4} d$, onde d são os diâmetros internos dos tubos. Desse modo, para que os tubos pudessem emitir realmente a série de sons que desejamos, deveríamos subtrair dos comprimentos obtidos via fórmula, a parcela $\frac{1}{4} d$ (NETTO,1999). Nossa fórmula de cálculo, ajustada para o efeito de extremidade, passa a ser:

$$L = \frac{v}{4f} - \frac{1}{4} d \quad (7)$$

onde d é o diâmetro interno dos tubos. Fazendo os cálculos para cada tubo, considerando seu diâmetro interno, podemos observar que o valor é muito pequeno, aumentando conforme o comprimento do tubo diminui, e embora exerça influência na determinação da frequência, pode ser desprezado. Calculando através da equação (6), e desconsiderando o efeito de extremidade, o erro experimental não passou de 4%, tendo em algumas situações, porcentagens menores que 1%, demonstrando como o experimento pode ser viável, considerando também que ajustes podem ser realizados através da análise dos resultados obtidos.

5. CONCLUSÃO

Considerando que as atividades experimentais no ensino de física contribuem para o processo de ensino e aprendizagem, podemos concluir como é possível aliar a tecnologia de forma a utilizá-la como ferramenta de verificação e aquisição de dados. Além da atividade fornecer a oportunidade de associar o desenvolvimento tecnológico ao conteúdo que está sendo trabalhado, possibilita a formação mais autônoma do pensamento crítico sobre conceitos físicos. Ao desenvolver uma atividade que envolva condições mais específicas para que sua realização seja possível, dissociamos aquela ideia de que os modelos científicos utilizados para estudar determinados fenômenos são livres de qualquer interferência externa. Por isso, ao exigir que certas condições sejam satisfeitas, aproximamos a realidade de como a ciência se desenvolve, onde inúmeras variáveis existem, e atingir um resultado proposto teoricamente não é algo trivial.

Além de uma aproximação mais factível com o campo científico e as atividades de laboratório, a colaboração coletiva para que os resultados sejam obtidos, é imprescindível para a realização do experimento. Para obter os dados de forma a atingir o mais próximo do valor ideal com o afinador digital de *smartphone*, condições como uma sala silenciosa, requerem trabalho em grupo e aproxima a realidade de laboratório. Analisando o erro experimental, evidencia-se a viabilidade de tal atividade, uma vez que associa a teoria e a prática, dando possibilidade de explorar o conteúdo sobre tubos sonoros de forma mais significativa, onde os conceitos físicos utilizados durante o desenvolvimento da atividade, podem ser visualizados de forma mais concreta, quando testados e ajustados.

A análise da utilização da teoria musical na construção de instrumentos que envolvam tubos sonoros, como flautas e órgãos de tubos, é uma boa forma de demonstrar como podemos trabalhar de forma mais interdisciplinar, conteúdos que são categorizados em suas respectivas áreas de ensino. "Tais propostas de atividade, além de aproximarem ciência e música, podem, uma vez resgatados os referenciais adequados, introduzir a culturalidade nas aulas de ciências e matemática" (MONTEIRO JUNIOR, p.27, 2012). Se o docente tiver mais afinidade com os conceitos musicais, pode construir outras formas de trabalhar essa mesma atividade, como associando as notas musicais referentes à alguma música conhecida ou elaborando algo relacionado à um musical. "A busca incessante de estratégias para o ensino de ciências e da matemática por meio da culturalidade tem tornado tal ensino mais interessante e palpável, possibilitando ainda conduzir a uma relação mais dialética e crítica na problematização de tal realidade" (MONTEIRO JUNIOR, p.27, 2012). Deve-se salientar, que o contexto em que se

aplica tal metodologia, deve ser considerado de forma que possibilite ao aluno, condições de realizar o experimento, ou seja, a proposta não adquire um caráter generalizado e suscetível a qualquer situação escolar, por isso, é de suma importância levar em consideração o contexto histórico e social em que o aluno está inserido. Dessa forma, evidenciamos a necessidade também de adequar os tubos sonoros à inclusão em sala de aula, uma vez que alguns alunos podem ter sua visão comprometida e isso pode prejudicar o objetivo da proposta, e por isso, a inserção do braille na parte lateral externa dos tubos sonoros, permite caracterizar cada tubo em função de sua nota musical, e assim fazer distinção de determinados sons em função de sua frequência. Por isso, em uma possível aplicação de tal proposta aqui apresentada, é fundamental que o professor forneça as condições necessárias para que tal atividade seja aproveitada de forma significativa, verificando sua viabilidade.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Caetano Nunes. **Sistema para afinação de instrumentos musicais através de telefones celulares.** Universidade do Planalto Catarinense – Departamento de Ciências exatas e Tecnológicas – Curso de Sistema de Informação, Lages, Julho de 2017.

AMARAL ROSA, M. P., EICHLER, M. L., CATELLI, F. **“Quem me salva de ti?” Representações docentes sobre a tecnologia digital.** Revista Ensaio: Belo Horizonte, v. 17. p. 84-104, jan-abr. 2015

.

ARIZA, M., R.; ARMENTEROS, A., Q. **Nuevas tecnologías y aprendizaje significativo de las ciencias.** Enseñaza de las Ciencias, revista de investigación y experiencias didácticas, Núm. 32.1 (2014): 101-115.

COELHO, Suzana Maria, MACHADO, Gisele Ramires. **Acústica e música: uma abordagem metodológica para explorar sons emitidos por tubos sonoros.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 32, n. 1, p. 207-222, abr. 2015.

DANTAS, Joseclécio Dutra; CRUZ, Sergio da Silva. **Um olhar físico sobre a teoria musical.** Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 41, nº 1, 2018.

FERNANDES, A.C.P. et al . **Efeito Doppler com tablet e smartphone.** Rev. Bras. Ensino Fís., São Paulo , v. 38, n. 3, e3504, 2016.

.

FINO, Carlos Nogueira. **Vygotsky e a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP): Três implicações pedagógicas.** Revista Portuguesa de Educação, vol. 14, núm. 2, Universidade do Minho Braga, Portugal, 2001.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física: Gravitação, ondas e termodinâmica.** vol 2. 8 ed. Tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

HIGA, I.; OLIVEIRA, O. B. **A experimentação nas pesquisas sobre o ensino de Física: fundamentos epistemológicos e pedagógicos.** Educar em Revista, Editora UFPR, Curitiba, Brasil, n. 44, p. 75-92, abr./jun. 2012.

MATEUS, Marlon de Campos, BRITO, Gláucia da Silva. **CELULARES, SMARTPHONES E TABLETS NA SALA DE AULA: COMPLICAÇÕES OU CONTRIBUIÇÕES?.** X EDUCERE, I SIRSSE, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, Novembro, 2011.

MONTEIRO JUNIOR, Francisco Nairon. **Encontro entre ciências, tecnologia e cultura. Doutorado em Educação para Ciência: UNESP/Bauru, 2012.**

MOREIRA, M. A.; CABALERRO, M. C; RODRÍGUEZ, M. L. **Aprendizagem Significativa: Um conceito subjacente.** Actas del Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo. Burgos, Espanha. pp-19-44. 1997.

MOTA, Aline Tiara; REZENDE JR, Mikael Frank. **As contribuições das tecnologias da informação e comunicação em um curso de Astronomia a distância: uma análise à luz da Teoria dos Campos Conceituais.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, v. 34, n. 3, p. 971-996, dez. 2017. ISSN 2175-7941.

NETO, Airton dos Santos Maciel; JUNIOR, Francisco Nairon Monteiro. **O Tubo de Kundt: O ensino de acústica e sua relação com a música em atividades experimentais no contexto da aprendizagem significativa.** IV CONEDU, - João Pessoa – PB, Novembro de 2017.

NETTO, Luiz Ferraz. **Tubos Sonoros ...tocados a mão.** Disponível em <http://www.feiradeciencias.com.br/sala10/10_15.asp> acesso em: 02 de novembro de 2018.

RAMOS, DANIEL DE SOUZA. **Reconhecimento de acordes e notas musicais a partir de sinais de áudio em tempo real.** Trabalho de Conclusão de Curso Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Elétrica [Distrito Federal] 2012.

SOUZA, Jonathan Junio de. **Afinação eletrônica de instrumentos musicais**. UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ – UTFPR, Coordenação do curso de Tecnologia em Automação Industrial, 2012.

VIEIRA, Pereira Leonardo. **Experimentos de Física com *Tablets* e *Smartphones***. Local: UFRJ, 2013. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Rio de Janeiro, 2013