

**ESTUDO DA PROPAGAÇÃO DE ONDAS EM CORDAS VIBRANTES UTILIZANDO
O SMARTPHONE COMO GERADOR DE ÁUDIO FREQUÊNCIA**

***STUDY OF WAVE PROPAGATION IN VIBRATING STRINGS USING THE
SMARTPHONE AS AN AUDIO FREQUENCY GENERATOR.***

***ESTUDIO DE LA PROPAGACIÓN DE ONDAS EN CUERDAS VIBRANTES
UTILIZANDO EL SMARTPHONE COMO GENERADOR DE FRECUENCIA DE
AUDIO.***

Antônio Augusto Gasch Sousa Chaves
augustogasch@gmail.com
Mestrando em Física - Astrofísica (UESC)

Walter Duarte de Araújo Filho
wfilho@uneb.br
Doutor em Engenharia Elétrica e Informática Industrial
Docente da Universidade do Estado da Bahia (UNEB)

RESUMO

O produto educacional proposto neste trabalho apresenta uma abordagem interdisciplinar, abrangendo os campos da Física e da Matemática, além do uso de recursos das Tecnologias da Informação e Comunicação Digital. O objetivo geral desse trabalho é fazer uma análise experimental da propagação de ondas estacionárias em cordas vibrantes usando o *smartphone* como fonte geradora de frequência de áudio. Em seu desenvolvimento, foram utilizados materiais de baixo custo, o que proporciona maior acessibilidade no desenvolvimento de aulas experimentais, considerando que nem todas as escolas possuem os recursos para montar laboratórios voltados ao ensino de Física. Tal experimento permite ao professor desenvolver a atividade experimental tanto em sala de aula quanto no Laboratório. Em conclusão, os resultados obtidos nos testes experimentais, atenderam às expectativas corroborando com as previsões teóricas, apresentando valores constantes relacionados às variáveis analisadas (velocidade de propagação, número de harmônicos), bem como a relação física entre elas.

Palavras-chave: Ressonância, *smartphone*, harmônicos, ondas mecânicas, Aprendizagem Significativa, Física Experimental.

ABSTRACT

The educational product proposed in this work presents an interdisciplinary approach, covering the fields of Physics and Mathematics, in addition to the use of resources from Digital Information and Communication Technologies. The overall objective of this work is to conduct an experimental analysis of the propagation of standing waves on vibrating strings using the smartphone as a source of audio frequency generation. In its development, low-cost materials were used, which provides greater accessibility in the development of experimental lessons, considering that not all schools have the resources to set up Physics teaching laboratories. Such an experiment allows the teacher to conduct the experimental activity both in the classroom and in the laboratory. In conclusion, the results obtained in the experimental tests met expectations, corroborating with theoretical predictions, presenting consistent values related to the analysed variables (propagation velocity, number of harmonics), as well as the physical relationship between them.

Keywords: Resonance, smartphone, harmonics, mechanical waves, Meaningful Learning, Experimental Physics.

RESUMEN

El producto educativo propuesto en este trabajo presenta un enfoque interdisciplinario, abarcando los campos de la Física y las Matemáticas, además del uso de recursos de Tecnologías de la Información y Comunicación Digital. El objetivo general de este trabajo es realizar un análisis experimental de la propagación de ondas estacionarias en cuerdas vibrantes utilizando el teléfono inteligente como fuente generadora de frecuencia de audio. En su desarrollo, se utilizaron materiales de bajo costo, lo que proporciona una mayor accesibilidad en el desarrollo de clases experimentales, considerando que no todas las escuelas tienen los recursos para montar laboratorios de enseñanza de Física. Tal experimento permite al profesor llevar a cabo la actividad experimental tanto en el aula como en el laboratorio. En conclusión, los resultados obtenidos en las pruebas experimentales cumplieron con las expectativas, corroborando con las predicciones teóricas, presentando valores consistentes relacionados con las variables analizadas (velocidad de propagación, número de armónicos), así como la relación física entre ellas.

Palabras clave: Resonancia, armónicos, ondas mecánicas, aprendizaje Significativo, Física Experimental.

INTRODUÇÃO

A física desempenha um papel essencial no progresso da humanidade. É crucial compreendê-la para explicar vários fenômenos que ocorrem em nossas vidas diárias. Para isso, é necessário encontrar abordagens de ensino mais conectadas à realidade dos alunos, não considerando a disciplina apenas como um requisito curricular para a obtenção de um diploma escolar, mas principalmente como um campo ligado à própria natureza.

O ato de ensinar física é um processo muito complexo. Isso acontece devido ao alto nível de abstração necessário para a interpretação dos fenômenos, combinado com o formalismo matemático que acompanha o processo de ensino-aprendizagem. Para Alves (2006), a Física é uma disciplina difícil de ser ensinada, e não é por acaso que é muitas vezes considerada para a maioria dos alunos uma disciplina inacessível com alto grau de aversão devido aos fatores mencionados acima.

Em muitas escolas, a metodologia de ensino utilizada enfatiza a valorização do uso do livro didático com foco em sua forma de conteúdo, com uma preocupação muito presente em resolver exaustivamente inúmeros exercícios, a fim de se preparar para testes escolares e exames de admissão. Isso acaba inibindo iniciativas voltadas para atividades didáticas inovadoras (NORBIATO, 2019).

Vários especialistas em ensino de Física expressam preocupação com a crise enfrentada nesta área. A carga de trabalho, que costumava ser de seis horas de aula por semana, agora foi reduzida em muitas escolas para uma hora de aula por semana. Aulas práticas em laboratório, ou mesmo aulas que podem fazer uso de kits experimentais de Física, praticamente deixaram de existir. Além disso, há uma escassez de professores de Física treinados nas escolas, e aqueles que estão

presentes tendem a se concentrar em "treinar" os alunos para responder às perguntas que serão feitas nos testes (MOREIRA, 2018).

A situação da educação no Brasil reflete diretamente a abordagem predominantemente burocrática que os estudantes têm em relação à ciência. Em termos de desempenho científico, o Brasil está apenas à frente do Panamá e da República Dominicana entre os países avaliados pelo Programa de Avaliação Internacional de Estudantes (PISA) em 2018. que este ranking não inclui os 79 países participantes, o que destaca a falta de alinhamento do ensino de Física (e outras ciências) com o modelo adotado nos países desenvolvidos, onde estratégias de ensino inovadoras são mais frequentemente empregadas (BRASIL, 2020).

Uma forma de reverter essa situação pode ser através da inclusão de aulas práticas no ensino de Física. Esta abordagem serve como uma ferramenta importante no processo de aprendizagem, ajudando a construir conhecimento. A atividade experimental estimula o interesse dos alunos e aumenta o engajamento em atividades relacionadas ao processo de ensino-aprendizagem. Esta abordagem pode contribuir significativamente para a melhoria da aprendizagem e compreensão de conceitos físicos relacionados ao fenômeno estudado. Além das atividades experimentais, outras metodologias como seminários, redação de resenhas, entre outras, são bem-vindas para incentivar a participação dos alunos, aumentando o interesse pelo conteúdo ministrado nas aulas de Física. A falta dessas iniciativas desempenha um papel importante na desmotivação dos alunos para o estudo de Física (MOREIRA, 2021).

Conforme a Base Nacional Comum Curricular - BNCC (BRASIL, 2018), no âmbito da disciplina de Física, destaca-se a importância fundamental do princípio da experimentação, trazendo como uma das suas competências específicas que o aluno deve ser capaz de formular questionamentos, desenvolver hipóteses, previsões e estimativas, utilizar instrumentos de medição, além de representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais. Essas

habilidades são consideradas essenciais para construir, avaliar e justificar conclusões ao enfrentar situações-problema sob uma abordagem científica (BORDIN, 2020).

E ainda, de acordo com Santos (2020), as atividades experimentais incentivam os estudantes a participar do assunto ou conceito em estudo, o que facilita o processo de aprendizagem. Além disso, essas atividades, que envolvem observação, análise, exploração, planejamento e formulação de hipóteses, permitem que os estudantes desenvolvam suas habilidades e tornem a aprendizagem mais profunda e aplicável ao mundo real. As conexões entre os princípios físicos e os fenômenos naturais permitem que isso aconteça.

Assim como corrobora Saavedra Filho (2016), as atividades experimentais têm uma importância crucial no ensino de física, não apenas devido à natureza metodológica intrínseca a essa ciência, mas também pelo seu potencial para contribuir de maneira significativa para o processo de ensino e aprendizagem.

Embora as vantagens do uso de atividades experimentais no ensino de Física sejam amplamente reconhecidas, muitas escolas enfrentam limitações em termos de infraestrutura e recursos humanos para implementá-las. A falta de recursos financeiros e a ausência de formação contínua dos professores são fatores que impactam diretamente esses problemas. Diante dessas questões, uma solução identificada é a implementação de experimentos de baixo custo, que podem ser realizados em laboratórios virtuais de física, bem como experimentos demonstrativos em sala de aula. Essas atividades proporcionam uma alternativa viável, permitindo que os alunos tenham acesso a experiências práticas mesmo diante de recursos financeiros limitados (PEREIRA, 2021). Um experimento de baixo custo é aquele em que os materiais necessários podem ser facilmente adquiridos no mercado, com um custo consideravelmente baixo em comparação com os equipamentos normalmente utilizados em laboratórios tradicionais (MOREIRA, 2015).

A utilização de materiais de baixo custo e/ou de fácil acesso podem ajudar os estudantes a entender conceitos complexos da física experimental (DA SILVA JUNIOR *et al.*, 2019). Esses recursos permitem a construção dos experimentos sugeridos tanto nas escolas quanto nas casas dos estudantes, melhorando significativamente o aprendizado dos alunos. E ainda, a utilização de experimentos científicos, baseados em materiais mais acessíveis, ou seja, de baixo custo, tem o potencial de contrabalançar a carência de práticas experimentais nas aulas de Física no Brasil (DE FREITAS; TEIXEIRA, 2022).

Considerando o mundo contemporâneo, as Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC's) têm desempenhado um papel cada vez mais relevante e impactante em diversos aspectos da vida cotidiana. Com uma presença marcante na sociedade, na família, no ambiente de trabalho e, principalmente, na Educação, essas tecnologias têm se estabelecido como ferramentas pedagógicas indispensáveis e aliadas no processo de aprendizagem dos alunos. Nesse contexto, os professores são impulsionados a adotarem novos métodos de ensino mais ativos, estimulantes e adaptados às demandas da era digital, despertando nos alunos o desejo, o interesse e a participação ativa em todas as etapas da educação (SENA, 2022). O ensino de física, ao adotar uma perspectiva experimental e empregar ferramentas tecnológicas, pode ser considerado vantajoso. A tecnologia, devido ao seu potencial de gerar fascínio, emerge como uma ferramenta eficaz para estimular a curiosidade em uma variedade de indivíduos.

Dessa forma, buscando relacionar conceitos da física do cotidiano do estudante, bem como a adoção da experimentação como um recurso motivador para o ensino de física, juntamente com a integração de tecnologias acessíveis, o presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um conjunto experimental que explora os princípios da física acústica, visto que a acústica é o campo da física dedicado à investigação do fenômeno sonoro, um fenômeno presente no dia-a-dia e que intrinsecamente desperta o interesse dos alunos. A compreensão básica do

conceito de som pode representar um desafio para os alunos iniciantes no ensino médio. Entender que o som é uma onda mecânica longitudinal que requer um meio material para se propagar (HEWITT, 2015) implica que os estudantes precisam ter conhecimento de diversos conceitos físicos inter-relacionados.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Atualmente, há uma tendência positiva na educação em reconhecer o valor do conhecimento como um objetivo em si. O movimento "ajustar à vida" destaca a importância da escola e, portanto, da educação, levando em conta os interesses, problemas e preocupações dos alunos do ensino médio, especialmente aqueles que não têm intenção de frequentar a faculdade. Se a escola não demonstrar interesse por essas questões, os jovens podem perder o interesse em estudos acadêmicos ou se sentirem culpados por se preocuparem com assuntos considerados triviais (AUSUBEL, 2000).

Assim, a "aprendizagem significativa" é caracterizada pela aquisição de novos significados. Esses novos significados são o resultado final desse tipo de aprendizagem. Quando novos significados surgem no aprendiz, isso indica que um processo de aprendizagem significativo ocorreu e foi concluído. (AUSUBEL et. al. 1976; AUSUBEL, 2000).

Segundo Moreira (2009), é necessário que o novo conhecimento estabeleça conexões substantivas e não-arbitrárias com o conhecimento já adquirido, indo além de uma correspondência literal. Além disso, é importante que o aprendiz demonstre uma predisposição para aprender, ou seja, uma disposição interna que facilite a assimilação e integração de novos conhecimentos com sua base de conhecimento pré-existente.

De acordo com Ausubel (et. al. 1976), a essência do processo de aprendizagem significativo reside na capacidade de estabelecer relações não-arbitrárias e substantivas entre ideias simbolicamente expressas e o conhecimento prévio do aluno. Essas relações são significativas quando estão relacionadas a elementos específicos e relevantes da estrutura cognitiva do aluno, como imagens, símbolos com significado, conceitos ou proposições anteriores. Isso implica ir além de uma interpretação literal e buscar uma conexão profunda e contextualizada com o conhecimento existente.

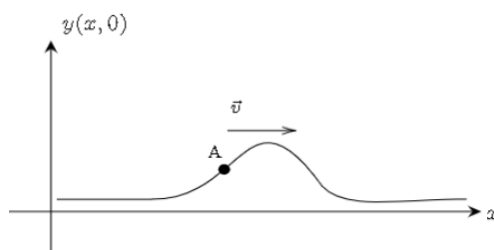
FUNDAMENTAÇÃO FÍSICA

Propagação de ondas em uma dimensão

Considerando o deslocamento de um ponto (x) da corda, sua posição de equilíbrio será $y(x, t)$. Limitando-se a pequenos deslocamentos a partir dessa posição, fazendo a variação de comprimento da corda se tornar desprezível e a magnitude da tensão permanecer igual (T).

Supondo um pulso em uma corda com velocidade constante (\vec{v}), está com comprimento (L) e densidade linear (μ) constante, conforme a Figura 1:

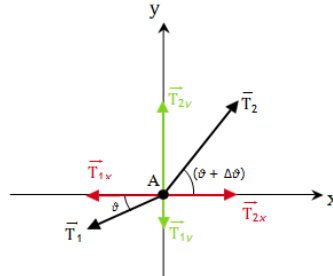
Figura 1 – Pulso se propagando em uma corda.



Fonte: Adaptado de MUSSENZVEIG, 2002.

Percebe-se que há uma tensão sobre o ponto A. Analisando essas forças atuantes no ponto A na corda, pode-se elaborar o seguinte diagrama:

Figura 2 – Diagrama das tensões sobre o ponto A.



Fonte: Adaptado de: NORBIATO, 2019.

Com base na segunda Lei de Newton e considerando a decomposição das forças, conforme mostrado na Figura 2, tem-se, considerando a componente no eixo y , é possível chegar à seguinte expressão:

$$\frac{(\mu \cdot \Delta x) \cdot a_y}{T} = \sin(\theta + \Delta\theta) - \sin(\theta) \quad (1)$$

Considerando as forças sobre o eixo x , considerando que a velocidade de propagação desse pulso é constante, então não há variação de velocidade no eixo x , a seguinte relação pode ser obtida:

$$T[\cos(\theta + \Delta\theta) - \cos(\theta)] = 0 \Rightarrow \cos(\theta + \Delta\theta) = \cos(\theta) \quad (2)$$

Dividindo os ambos os membros da Equação (2) por $\cos(\theta)$ e considerando a relação da Equação (3):

$$\frac{(\mu \cdot \Delta x) \cdot a_y}{T \cos(\theta)} = \frac{\sin(\theta + \Delta\theta)}{\cos(\theta + \Delta\theta)} - \frac{\sin(\theta)}{\cos(\theta)} \Rightarrow \frac{(\mu \cdot \Delta x) \cdot a_y}{T \cos(\theta)} = \tan(\theta + \Delta\theta) - \tan(\theta) \quad (3)$$

Entende-se que a tangente tem uma relação à derivada em um dado ponto. Como o deslocamento é a partir da posição de equilíbrio $y(x, t)$, a componente y da tensão considerando um pequeno deslocamento $(x + \Delta x)$, seguinte relação é satisfeita:

$$T \sin \theta = T \tan \theta = T \frac{\partial}{\partial x} y(x, t) \Rightarrow \tan \theta = \frac{\partial}{\partial x} y(x, t) \quad (4)$$

Como se trata de um pequeno deslocamento, isso implica $\theta \ll 1$, então

$\sin \theta \cong \tan \theta$, que é justamente o coeficiente angular, dado por $\partial y / \partial x$. Como se trata regime de pequeno deslocamento, tem-se:

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \left[\frac{\frac{\partial}{\partial x} y(x + \Delta x, t) - \frac{\partial}{\partial x} y(x, t)}{\Delta x} \right] = \frac{\partial^2}{\partial x^2} y(x, t) \quad (5)$$

Sabendo que a aceleração na direção y em relação a função $y(x, t)$ pode ser expressa como:

$$a_y = \frac{\partial}{\partial t} v(x, t) = \frac{\partial^2}{\partial t^2} y(x, t) \quad (6)$$

E Como já dito anteriormente, trata-se de um pequeno deslocamento, de tal forma que $\cos \theta \cong 1$, considerando as devidas substituições, tem-se:

$$T \frac{\partial^2}{\partial x^2} y(x, t) = \mu \frac{\partial^2}{\partial t^2} y(x, t) \quad (7)$$

A Equação (8), relação obtida por Euler e D'Alembert por volta de 1750 representa uma Equação diferencial de onda, que descreve o comportamento de uma onda se propagando em uma corda unidimensional com velocidade constante. Essa Equação nos permite compreender a dinâmica dessa onda ao longo do tempo, sendo expressa por:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (8)$$

Ondas Harmônicas

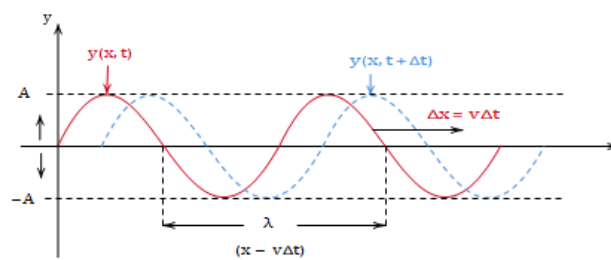
Um caso particular é o de ondas harmônicas, assim chamadas porque a perturbação, em um dado ponto, corresponde a uma oscilação harmônica simples. Onde é possível chegar a seguinte solução para a Equação (6):

$$y(x, t) = A \cos[k(x - vt) + \delta] \quad (9)$$

Onde, A é a amplitude de oscilação, k é o número de onda, v a velocidade, t a variável do tempo, x é a posição e δ é a constante de fase. Como a função

o cosseno tem uma variação de -1 a 1 , para $\delta = 0$, a função terá sua variação no intervalo $-A$ e A .

Figura 3 – Onda Harmônica.



Fonte: Adaptado de: NUSSENZVEIG, 2002.

Comprimento de onda

O comprimento de onda (λ) é a distância na qual uma onda harmônica se repete. Ele representa a extensão espacial entre dois pontos consecutivos que possuem o mesmo valor na onda. Tomando $\delta = 0$, e entendendo que $y(0,0) = y(\lambda, 0)$, a Equação (9) pode ser reescrita como:

$$A = A \cos(k\lambda) \Rightarrow 1 = \cos(k\lambda) \quad (10)$$

Para que a Equação (20) seja satisfeita, percebe-se que:

$$k\lambda = 2\pi$$

Logo,

$$\lambda = \frac{1}{k} 2\pi \quad (11)$$

A Equação (21) estabelece a relação entre comprimento de onda e o

número de onda.

Frequência de onda

A onda harmônica exibe um padrão periódico no tempo, o que significa que um determinado valor de amplitude se repete em intervalos regulares de tempo, chamado de período de oscilação (T), esse é o tempo necessário para que a onda complete um ciclo completo de oscilação, retornando ao mesmo estado inicial. Dessa maneira, tem-se $y(0, 0) = y(0, T)$. Utilizando essa relação na Equação (19) e tomando $\delta = 0$:

$$A = A \cos(-kvT) \Rightarrow \cos(kvT) = 1 \quad (12)$$

Para que a Equação (22) seja satisfeita, tem-se:

$$kvT = 2\pi \quad (13)$$

Considerando que a frequência angular em um dado ponto e a relação da Equação (9), é possível encontrar:

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

Ou ainda,

$$v = \lambda f \quad (14)$$

Onde f é a frequência medida em Hz (Hertz) (ou s^{-1}). A Equação (14) estabelece a relação entre a velocidade de propagação da onda, λ e a frequência.

Substituindo a Equação (24) e a Equação (9) na Equação (7), obtém-se a Equação da onda harmônica em termos de λ e T , de tal forma que:

$$y(x, t) = A \cos \left[2\pi \left(\frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T} \right) + \delta \right] \quad (15)$$

Ondas estacionárias

As ondas estacionárias representam um fenômeno resultante da

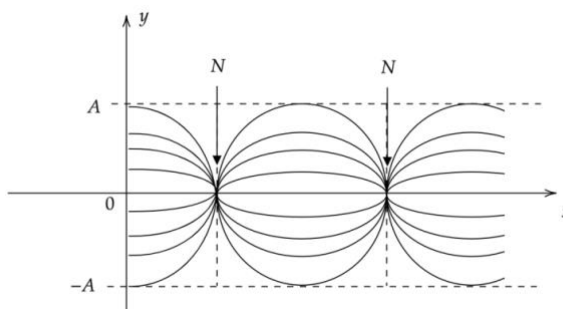
interferência de duas ou mais ondas que se propagam no mesmo meio. Essas ondas interagem entre si e, quando ocorre uma combinação específica de amplitude e frequência, podem se sobrepor de forma a criar um padrão estacionário. Matematicamente, esse fenômeno pode ser descrito de duas formas: considerando duas ondas harmônicas de amplitudes e frequências idênticas, mas propagando-se em direções opostas. De acordo com o princípio de superposição, qualquer combinação linear de ondas em uma corda vibrante pode ser considerada uma possível onda na corda. Nesse caso específico, consideramos a situação em que há propagação em direções opostas, supondo que tenham a mesma amplitude A e fase $\delta = 0$. Considerando a interferência entre essas duas ondas, tem-se:

$$y(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t)$$

$$y(x, t) = A[\cos(kx - \omega t) + \cos(kx + \omega t)] = 2A \cos(kx) \cos(\omega t) \quad (16)$$

Na Figura 4, é mostrado o gráfico da função de onda em relação à posição para diferentes intervalos de tempo, conforme descrito pela Equação (16). Esse fenômeno é comumente chamado de ondas estacionárias.

Figura 4 – Aspecto visual de uma onda estacionária indicando os pontos de nós (N)

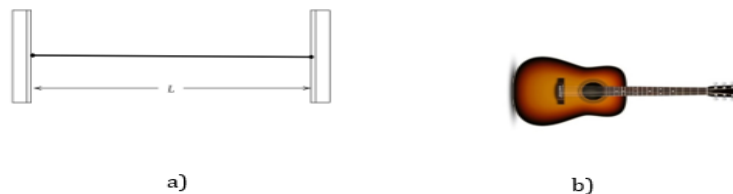


Fonte: Adaptado de: NUSSENZVEIG, 2002

Considerando um caso onde as extremidades são fixas (Figura 5), quando uma corda é tocada, ou seja, aplica-se uma força perpendicular sobre ela em um dado instante um pulso se propaga ao longo dela, reflete na extremidade fixa e retorna. Esse ciclo de propagação e reflexão é repetido até

que a energia seja dissipada (quando a amplitude A é igual a 0).

Figura 5 – a) Sistema com uma corda de comprimento L e densidade linear constante preso por suas extremidades; b) O violão é um exemplo, que ilustra a propagação de ondas em uma corda com extremidades fixas



Fonte (a): Adaptado de: SERWAY e JEWETT, 2011 Fonte (b): <<https://img.freepik.com/>>

Ao aplicar uma força de baixa intensidade, movendo a corda perpendicularmente à sua direção de esticamento, formará ondas estacionárias, que podem ser descritas como consequência desse processo, ou seja, entende-se que para esse caso, com base na Equação (7), a fase (δ) é igual a zero, de tal forma que a Equação pode ser escrita como:

$$y(x, t) = A \cos(\omega t) \quad (17)$$

Tal descrição precisa satisfazer a Equação (6). Considerando a Equação (8), chega-se a seguinte relação:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} [A \cos(\omega t)] = \frac{\mu}{T} \cdot \frac{\partial^2}{\partial t^2} [A \cos(\omega t)] \Rightarrow \frac{\partial^2}{\partial x^2} [A \cos(\omega t)] = v^{-2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} [A \cos(\omega t)] \quad (18)$$

Como a amplitude está em função de x , é possível entender que:

$$\cos(\omega t) \frac{d^2}{dx^2} A(x) = \frac{A(x)}{v^2} \frac{d^2}{dt^2} \cos(\omega t) \Rightarrow \frac{d^2}{dx^2} A(x) = -\left(\frac{\omega}{v}\right)^2 A(x) \quad (19)$$

Onde a solução da Equação (19) é dada por:

$$A(x) = a \cos(kx) + b \sin(kx) \quad (20)$$

Em que $k = \omega/v$ é o número de onda. Os coeficientes a e b são parâmetros que dependem do sistema a ser estudado.

Considerando as condições de fronteira onde $A(0) = 0$ e $A(L) = 0$, pois estão fixas, aplicando na Equação (20), obtém-se:

$$\text{Para } A(0) = 0: \quad a \cos(k \cdot 0) + b \sin(k \cdot 0) = 0 \quad (21)$$

Para satisfazer a Equação (21), o valor do coeficiente a precisa ser 0. Onde se permite reescrever a Equação (21) da seguinte forma:

$$A(x) = b \sin(kx) \quad (22)$$

Agora para $A(L) = 0$, tem-se:

$$\text{Para } A(L)=0; \quad b \sin(kL) = 0 \Rightarrow \sin(kL) = 0 \quad (23)$$

Ou seja, para que a Equação seja satisfeita, é necessário que:

$$kL = n\pi \quad (24)$$

Onde $n \in \mathbb{N}^*$. Então, para um número n , a Equação (36) pode ser reescrita como:

$$k_n L = n\pi \quad (25)$$

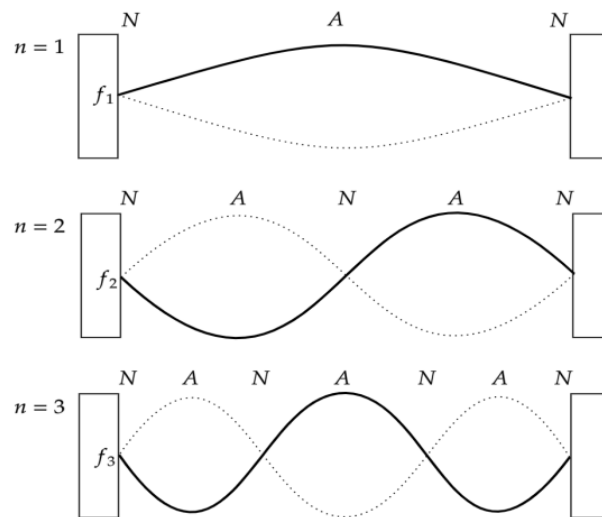
Com base na Equação (19), a Equação (37) pode também ser escrita como:

$$\frac{2\pi}{\lambda} = \frac{n\pi}{L} \Rightarrow \therefore L = \frac{n\lambda}{2} \quad (26)$$

Ou seja, a Equação (26) mostra que dentro de um intervalo de comprimento L , pode-se encontrar n meios comprimentos onda λ (dado por $\lambda/2$), onde n define os diferentes harmônicos. Para $n = 1$, o harmônico é chamado como fundamental.

Logo, nesse sistema, onde ondas se propagam em direções opostas, elas refletem e interferem, resultando em regiões de amplitude máxima e mínima na corda, levando também à formação de ondas estacionárias como é apresentado na Figura 6.

Figura 1 - Harmônicos em uma corda com extremidades fixas, representação para os 3 primeiros harmônicos, identificando as amplitudes (A) e os nós (N). O primeiro harmônico ($n = 1$) é conhecido como harmônico fundamental.



FONTE: (Adaptado de: SERWAY & JEWETT, 2011)

É possível também encontrar uma relação com ω (frequência angular), pois, $\omega = kv$. Assim, é possível reescrever a Equação (25) da seguinte forma:

$$\frac{\omega}{v}L = n\pi \Rightarrow \omega_n = \frac{n\pi v}{L} \quad (27)$$

A Equação (26) deixa evidente que as frequências angulares (ω) de oscilação presentes na corda de comprimento L dependem da velocidade de propagação (c) das ondas na corda e têm valores n . Como $\omega = 2\pi f$, a Equação (27) pode também ser reescrita como:

$$f_n = \frac{nv}{2L} \quad (28)$$

O que mostra a relação diretamente proporcional entre a frequência (f) com a velocidade de propagação (v) e inversamente proporcional em relação ao comprimento da corda (L). E ainda, como a velocidade de propagação em uma corda também pode ser expressa em relação a tensão e a densidade linear (conforme apresentado na Equação 16), então ainda se pode reescrever a Equação (40) dessa forma:

$$f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (29)$$

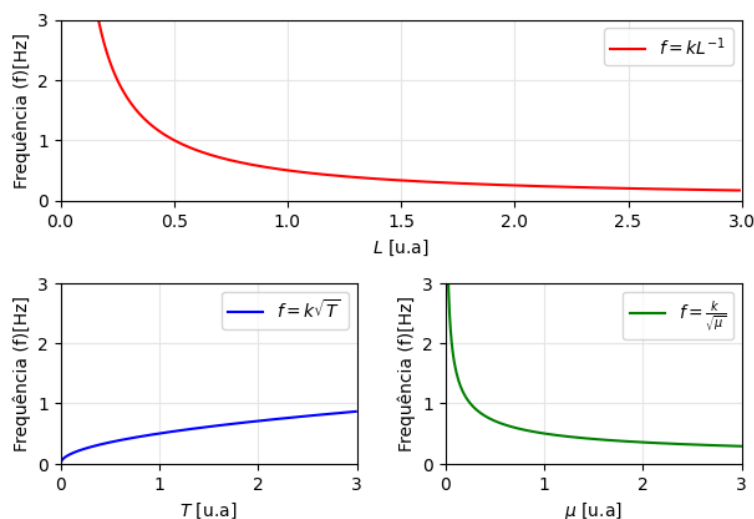
O que permite fazer as seguintes relações:

$$\begin{cases} f \propto \frac{1}{L} \Rightarrow f = K \cdot \frac{1}{L} \\ f \propto \sqrt{T} \Rightarrow f = K \cdot \sqrt{T} \\ f \propto \frac{1}{\sqrt{\mu}} \Rightarrow f = K \cdot \frac{1}{\sqrt{\mu}} \end{cases} \quad (30)$$

Onde K seria uma constante de proporcionalidade entre as grandezas. Considerando o harmônico fundamental ($n = 1$), o gráfico seguinte pode ser obtido:

Figura 2 – Gráficos com as funções relacionando a frequência com o comprimento da corda (L) com a tensão (T) e com a densidade linear (μ), considerando o primeiro harmônico.

Relação entre a frequência e as grandezas T , μ e L



Fonte: de autoria própria.

A compreensão teórica dos princípios básicos da acústica, como a propagação de ondas em meios materiais, nesse caso em cordas fixas, é essencial para o desenvolvimento do produto educacional que será proposto. Ao explorarem os conceitos teóricos associados à ressonância e aos harmônicos em ondas mecânicas, os estudantes estabelecerão uma base mais sólida para a compreensão do conceito através da física experimental. O produto educacional em questão consiste em um kit experimental destinado ao estudo de ondas estacionárias em cordas vibrantes, utilizando um *smartphone* como gerador de frequência de áudio. Isso proporciona aos estudantes a oportunidade de aplicar esses conceitos teóricos em um contexto prático, promovendo uma aprendizagem mais significativa.

PRODUTO EDUCACIONAL

Neste capítulo será apresentado, o detalhamento de todas as etapas envolvidas no desenvolvimento do produto educacional proposto.

Como mencionado anteriormente, o produto consiste em um kit experimental que trata da propagação de ondas estacionárias em uma corda, acompanhado de

uma sequência didática associada. Ao longo dessa descrição, será apresentado todas as fases envolvidas no desenvolvimento do projeto levando em consideração aspectos como a seleção dos materiais, estruturação das aulas e validação dos resultados obtidos nos testes experimentais. O objetivo do projeto é fornecer aos professores um recurso completo e eficiente, capaz de promover uma aprendizagem significativa e engajadora dos conceitos relacionados à propagação ondas mecânicas em uma corda, procurando tornar o processo de ensino aprendizagem enriquecedor para os alunos.

O Kit experimental apresentado neste trabalho utiliza materiais de fácil aquisição, permitindo que os professores possam reproduzi-lo aplica-lo em sala de aula. Além disso, a utilização de materiais acessíveis estimula a criatividade e a busca por soluções práticas, desenvolvendo habilidades de improvisação e adaptação. A simplicidade dos materiais não compromete a qualidade conjunto, pelo contrário, permite que os estudantes foquem nos conceitos e fenômenos físicos envolvidos, promovendo uma compreensão mais aprofundada e significativa. Assim, o experimento se torna uma ferramenta importante para despertar o interesse dos alunos pela Física, além de proporcionar uma experiência enriquecedora do aprendizado.

A seguir, são apresentados os materiais utilizados na confecção do Kit Experimental. Procurou-se utilizar materiais simples acessíveis e de baixo custo no intuito de propiciar a reprodução por parte dos alunos, e professores, tendo em vista que a grande maioria das escolas não possui Laboratórios de Física.

Materiais Utilizados

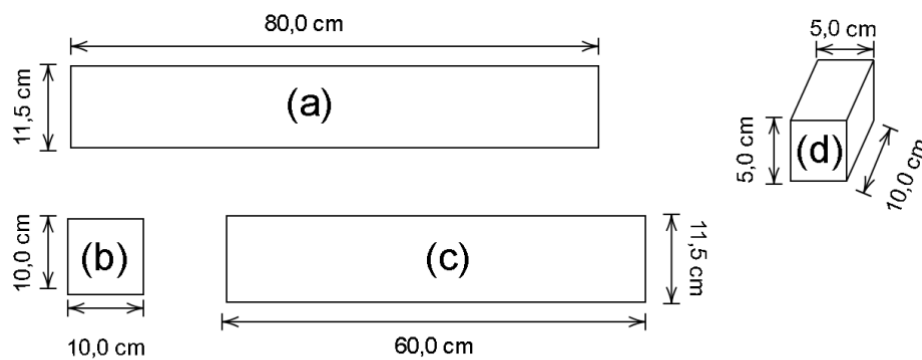
- Peças em (MDF);
- Uma caixa de som portátil (para utilização dos componentes internos);
- Uma roldana pequena;

- Parafusos 3,0 x 14,0 mm;
- Caixa metálica (14,0 x 10,0 x 10,0) cm;
- *Smartphone* usado como fonte geradora de audiofrequência.
- Gancho metálico;
- Massas metálicas aferidas:
- Fios de diversos materiais.

Montagem

As peças em MDF que foram utilizadas para a construção da base do aparato experimental, apresentam as seguintes dimensões:

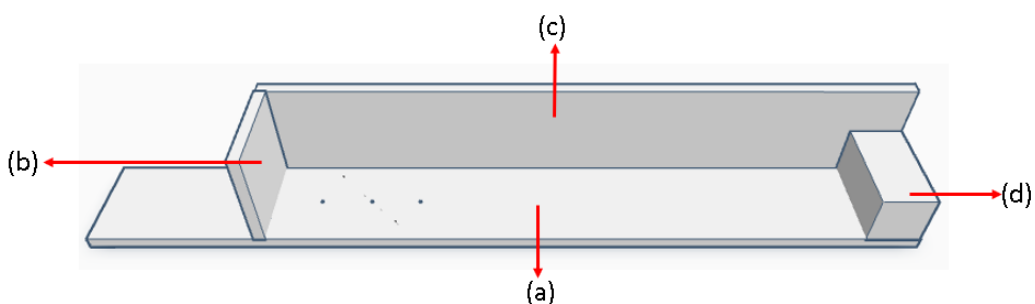
Figura 3 – Dimensões das peças em MDF utilizadas para a base do experimento.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 9 mostra a disposição operacional das peças que constituem a base do dispositivo.

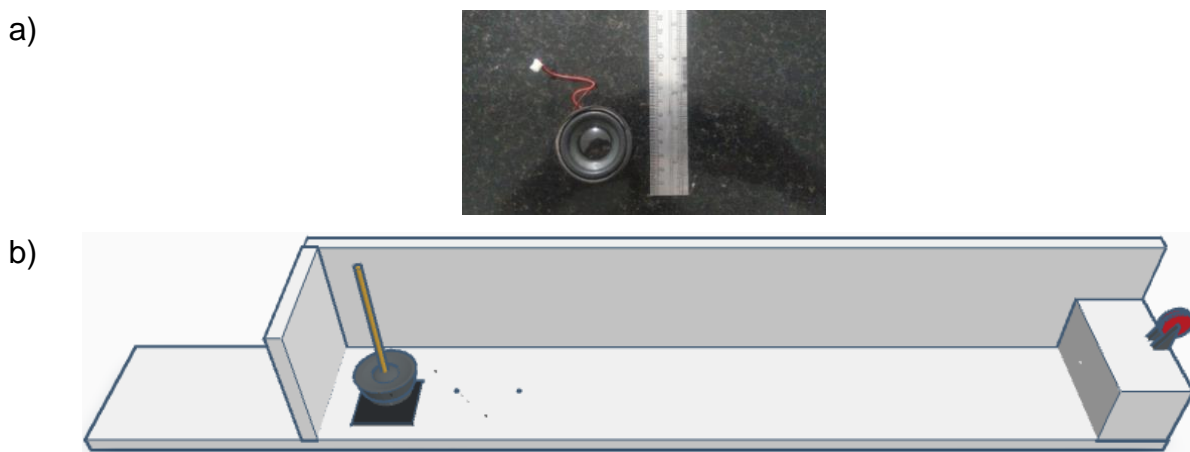
Figura 4 – Esquema em perspectiva da base com as peças e suas indicações para montagem. Para fixá-las, foram utilizados parafusos e cola específica. Os furos presentes na base servirão de ajuste para o comprimento do fio a ser estudado.



Fonte: Autoria própria.

A roldana é parafusada sobre o centro do suporte (d) apresentado na Figura 9, permitindo que o fio metálico fique pendurado livremente. A geração de ondas estacionárias é feita através de uma fonte geradora de áudiofrequência usando um aplicativo instalado em um *smartphone*, tendo um autofalante acoplado na base como transdutor para a geração dos pulsos periódicos, como é mostrado na Figura 10.

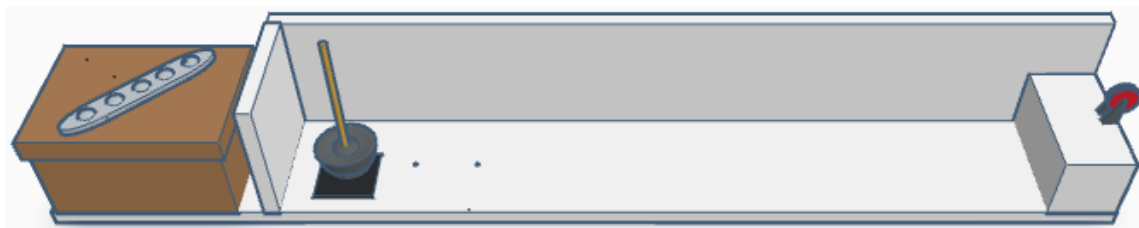
Figura 5 – a) Autofalante retirado da caixa de som portátil; b) Esquema em perspectiva com os componentes (autofalante e roldana) em suas devidas posições.



Fonte: Autoria própria.

O circuito eletrônico foi colocado no interior de uma caixa ao lado, objetivando proteger as conexões elétricas, como é mostrado na Figura 11.

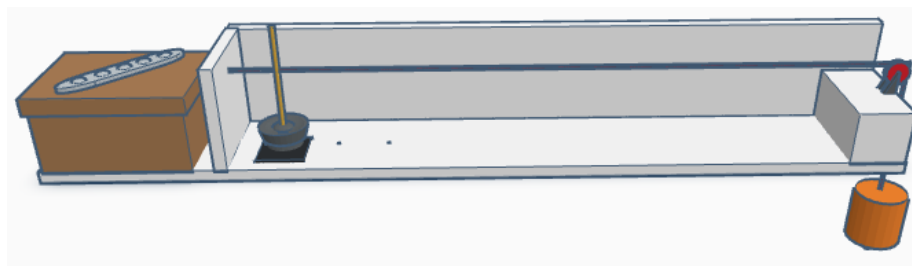
Figura 6 – Caixa utilizada para proteger os componentes eletrônicos.



Fonte: Autoria própria.

Para concluir a configuração final do aparato experimental, conecta-se na extremidade direita do fio um gancho metálico como suporte. O referido gancho tem a função específica de tensionar o fio pela variação da força de tração realizada pela adição e remoção de cilindros metálicos aferidos. Na extremidade esquerda do fio é fixada na peça que compõe a base do equipamento, como é mostrado na Figura 12.

Figura 7 – Configuração esquemática do aparato experimental para o estudo de ondas estacionárias. Pode-se observar a fixação do fio tanto na estrutura da esquerda, quanto na direita representado pela roldana.



Fonte: Autoria própria.

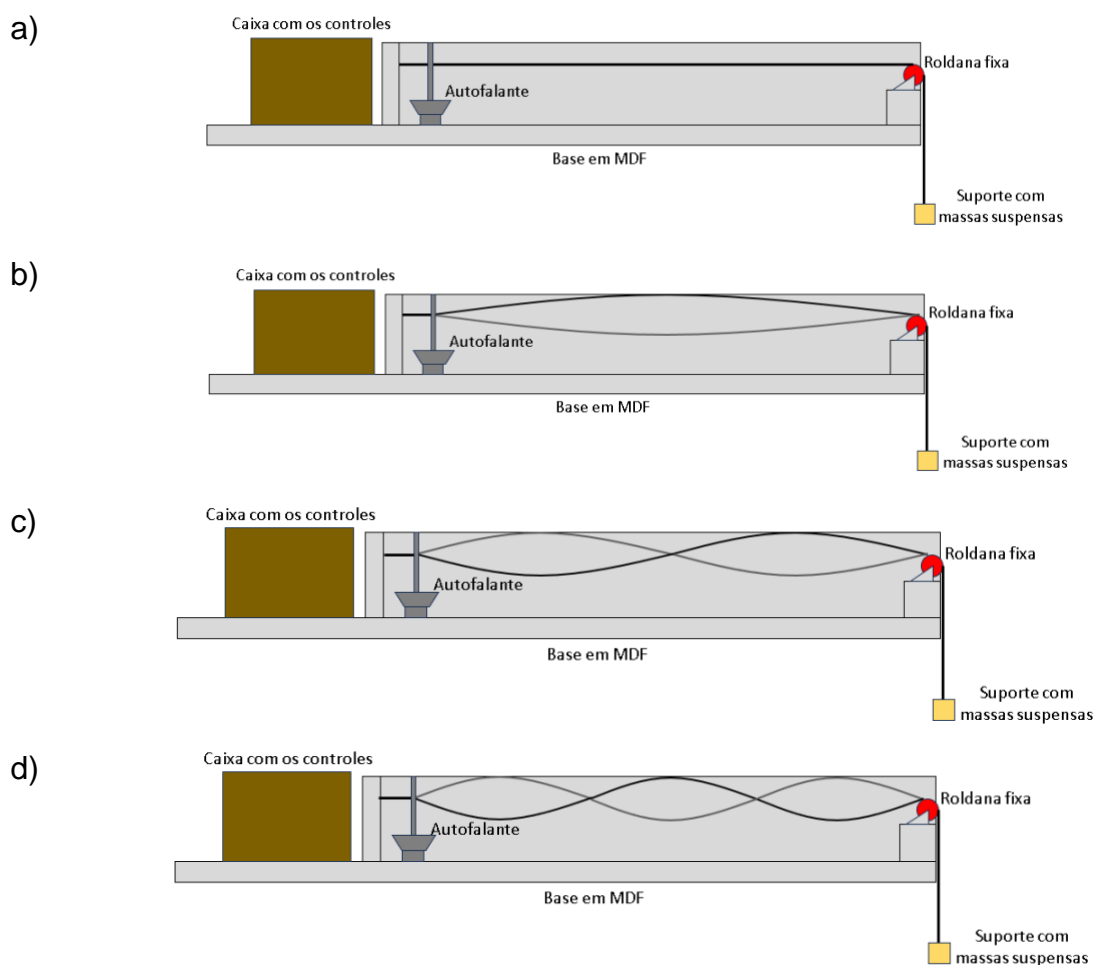
Funcionamento

Depois de instalado o aplicativo gerador de áudio frequência no smartphone, o mesmo é pareado ao circuito através de uma conexão via *bluetooth*. Ao dar o start, começam a ser gerados os pulsos ondulatórios que se propagam através do fio.

Modificando a frequência do gerador de áudio, para uma determinada massa específica colocada no suporte, é possível observar que para certos valores de frequência começam a surgir as ondas estacionárias (os harmônicos).

A Figura 12 (a), (b), (c) e (d) ilustra os passos seguidos para a obtenção dos harmônicos no fio tensionado.

Figura 8 –Geração dos harmônicos no fio tensionado. (b) o primeiro harmônico; (c) segundo harmônico e (d) terceiro harmônico.



Fonte: Autoria própria.

O objetivo deste kit experimental é oferecer aos alunos a oportunidade de observar o fenômeno das ondas estacionárias que se propagam em uma corda, além da realização de uma análise mais aprofundada tanto no âmbito qualitativo quanto no âmbito quantitativo, utilizando a matemática como ferramenta para a análise das medidas, visando estabelecer a correlação, através de resultados experimentais, entre as frequências dos harmônicos em função das variáveis: frequência, comprimento do fio, tensão, e densidade linear do fio.

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Foi executado uma série de ensaios experimentais com o objetivo de verificar aspectos relacionados à propagação de ondas estacionárias em cordas vibrantes. Essa investigação se destinou a avaliar a eficácia do Kit experimental proposto como um produto educacional.

Para tanto, foram verificadas:

- a) Razão das frequências para diferentes harmônicos;
- b) Relação entre frequência com a tração no fio.
- c) Relação entre a frequência e a densidade linear do fio;
- d) Relação entre a frequência e o comprimento do fio (distância entre o autofalante e a roldana).

Foram utilizados três tipos diferentes de fios. Dois deles, cordas de violão e um fio de cobre AWG N° 32. O propósito de usar esses materiais é justamente pelo fato de serem bastante acessíveis.

Razão das frequências para diferentes harmônicos

Com o propósito de investigar os valores de frequência para a obtenção dos harmônicos, empregou-se inicialmente uma corda de violão com densidade linear $\mu = (2,983 \pm 0,002)kg/m$ e comprimento do fio $L = (0,530 \pm 0,005)$ m, esse comprimento é referente a distância entre o autofalante e a roldana. Durante o experimento, foram registrados três valores de frequência correspondentes aos três primeiros harmônicos para diferentes valores de tensão no fio, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Frequência da média dos três primeiros harmônicos obtidos para diferentes tipos de massa utilizando a corda de violão com a densidade linear igual a $\mu_1 = (2,983 \pm 0,002) \times 10^{-3} kg/m$.

Massas (g)	Frequência para cada harmônico (Hz)		
	\bar{f}_1	\bar{f}_2	\bar{f}_3
$m_1 = (498,0 \pm 0,5)$	$(32,60 \pm 0,27)$	$(66,40 \pm 1,40)$	$(95,10 \pm 2,18)$
$m_2 = (298,6 \pm 0,5)$	$(27,23 \pm 0,38)$	$(53,10 \pm 0,47)$	$(78,70 \pm 0,22)$
$m_3 = (199,0 \pm 0,5)$	$(25,23 \pm 0,09)$	$(47,63 \pm 0,09)$	$(69,93 \pm 0,36)$

Fonte: Autoria própria.

Através dos dados adquiridos na Tabela 1, foi possível examinar a correlação entre as frequências dos harmônicos (f_n), onde $n = 1,2,3$, e a frequência do primeiro harmônico (\bar{f}_1). Para tanto, os valores das f_n foram comparados em relação à frequência fundamental do primeiro harmônico, verificando a razão entre elas. O resultado encontra-se apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Normalização das frequências dos três primeiros harmônicos para diferentes valores de massa.

Massas (g)	Frequência para cada harmônico (Hz)		
	$\frac{\bar{f}_1}{\bar{f}_1}$	$\frac{\bar{f}_2}{\bar{f}_1}$	$\frac{\bar{f}_3}{\bar{f}_1}$
$m_1 = (498,0 \pm 0,5)$	1,00	2,04	3,02
$m_2 = (298,6 \pm 0,5)$	1,00	1,92	2,88
$m_3 = (199,0 \pm 0,5)$	1,00	1,88	2,77

Fonte: Autoria própria.

Percebe-se com base nos resultados obtidos na Tabela 2, que os valores encontrados para as outras frequências (f_n), para $n = 1, 2$ e 3 , são múltiplos inteiros do valor da frequência do primeiro harmônico, ou harmônico fundamental. De tal maneira que é possível estabelecer a seguinte relação:

$$f_n \propto n f_1 \quad (31)$$

Assim, as ondas são quantizadas para valores inteiros de n com base no harmônico fundamental.

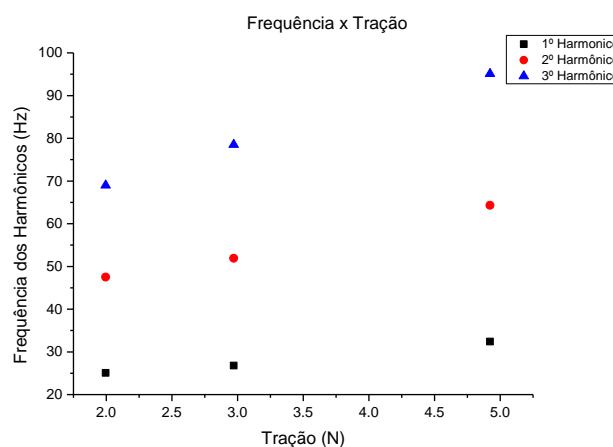
Verificação da relação entre frequência com a tração

Baseado nos dados das massas apresentados na Tabela 1, foi possível relacionar as frequências de cada harmônico com a tração exercida no fio. Para isso, considerando que φ é o ângulo entre os vetores \vec{T} e \vec{P} , $\varphi = 180^\circ \Rightarrow \cos(\varphi) = -1$. A tração (em módulo) sobre o fio pode ser dada por:

$$T = m \cdot g \quad (32)$$

Onde, g é o valor da aceleração da gravidade local $g = 9,81 \text{ m/s}^2$. Utilizando o mesmo fio e variando as massas do suporte constantes na Tabela 1, foram obtidos valores das frequências, e elaborado o gráfico $f(\text{Hz}) \times T(\text{N})$ da Figura 14:

Figura 9 – Gráfico das frequências dos harmônicos para diferentes trações.



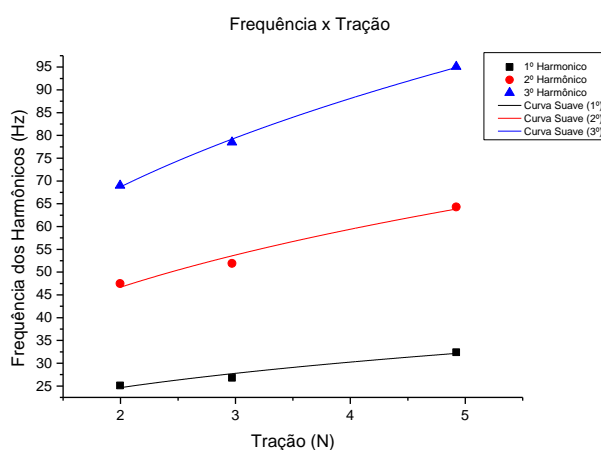
Fonte: Autoria própria.

Ao analisar os dados apresentados no gráfico, é possível verificar uma relação de proporcionalidade:

$$f_n \propto T^\beta \Rightarrow f_n = b T^\beta \quad (33)$$

Para encontrar os valores dos coeficientes (b) e (β), foi utilizado um programa de análise gráfica Origin. Dessa forma, é possível verificar o ajuste da curva teórica como mostra a Figura 15:

Figura 10 – Gráfico das frequências dos harmônicos em relação as diferentes trações apresentando a curva de previsão teórica (curva suave).



Fonte: Autoria própria.

Os resultados obtidos para os coeficientes estão dispostos na Tabela 3:

Tabela 3 – Valor do coeficiente obtido através da análise gráfica dos dados.

Harmônico (n)	Coefficiente β
1	(0,45 ± 0,06)
2	(0,51 ± 0,05)
3	(0,48 ± 0,02)

Fonte: Autoria própria.

Diante dos valores apresentados na tabela, é possível estabelecer a seguinte relação:

$$f_n \propto T^{0,48} \cong T \propto T^{0,5} \quad (34)$$

Verificação da relação entre a frequência e a densidade linear do fio

No intuito de relacionar as frequências dos harmônicos para diferentes valores de densidade do fio, manteve-se a massa e o comprimento do fio constantes $m_1 = (498,0 \pm 0,5) g$ e $L_1 = (0,53 \pm 0,05)m$, respectivamente. A medida da densidade linear dos fios utilizados, foi feita usando uma balança de precisão com resolução de $0,01 g$. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 4:

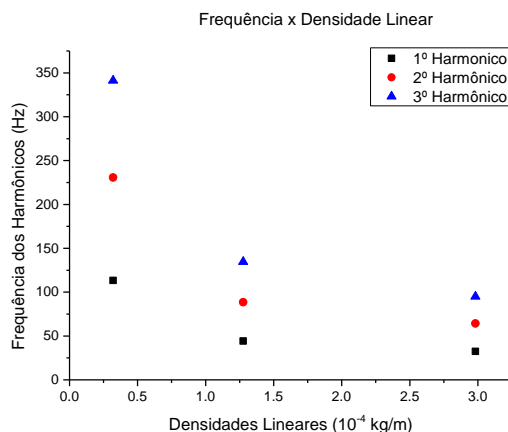
Tabela 2 – Valores das frequências dos três primeiros harmônicos para cada fio utilizado (diferentes densidades lineares)

Densidade linear $\left[\frac{kg}{m}\right]$	Frequência para cada harmônico (Hz)		
	f_1	f_2	f_3
$\mu_1 = (2,983 \pm 0,002) \times 10^{-3}$	$(32,60 \pm 0,27)$	$(65,40 \pm 1,40)$	$(95,10 \pm 2,18)$
$\mu_2 = (1,276 \pm 0,002) \times 10^{-3}$	$(44,50 \pm 0,33)$	$(89,00 \pm 1,27)$	$(135,70 \pm 2,69)$
$\mu_3 = (3,20 \pm 0,05) \times 10^{-4}$	$(111,57 \pm 2,84)$	$(232,07 \pm 3,51)$	$(341,20 \pm 2,47)$

Fonte: Autoria própria.

E com base nos dados da Tabela 4, foi obtido o gráfico da Figura 16.

Figura 11- Gráfico com os valores das frequências dos harmônicos em relação a densidade linear de cada fio.



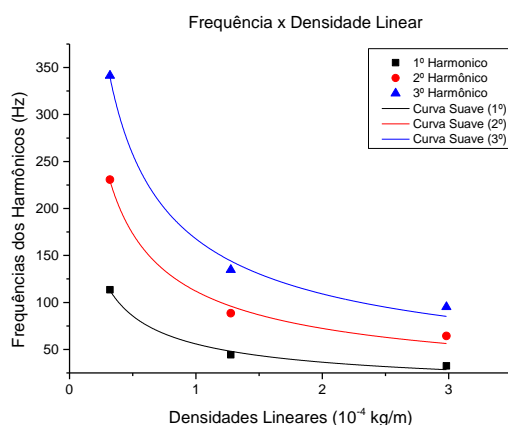
Fonte: Autoria própria.

Ao observar o gráfico da Figura 16, é possível estabelecer a seguinte relação:

$$f_n \propto c \mu^\gamma \Rightarrow f_n = c \mu^\gamma$$

E com o intuito de obter os coeficientes (c) e (γ), utilizou-se o programa de análise gráfica para encontrar a curva de previsão teórica e os valores de cada coeficiente. A curva suave pode ser vista na Figura 17.

Figura 12 - Gráfico das frequências dos harmônicos em relação as diferentes densidades lineares dos fios apresentando a curva de previsão teórica (curva suave).



Fonte: Autoria própria.

Os valores encontrados para os coeficientes foram colocados na Tabela 5:

Tabela 3 – Valor para o coeficiente de relação entre os três primeiros harmônicos e a densidade linear de cada fio.

Harmônico (n)	Coeficiente
	γ
1	$-(0,569 \pm 0,066)$
2	$-(0,577 \pm 0,069)$
3	$-(0,562 \pm 0,055)$

Fonte: Autoria própria.

Com os resultados apresentados na Tabela 5, a relação entre a frequência dos harmônicos e a densidade linear do fio pode ser reescrita como:

$$f_n \propto \mu^{-0,57} \cong f_n \propto \mu^{-0,6} \quad (35)$$

Verificação da relação entre a frequência e o comprimento do fio

Com o propósito de investigar a relação entre as frequências dos harmônicos (f_n) e o comprimento do fio L (medida da distância entre o autofalante e a roldana), foi utilizado o fio de densidade $\mu_1 = (2,983 \pm 0,002) \times 10^{-3} \text{ kg/m}$ e a massa $m = (298,2 \pm 0,5) \text{ g}$. Desta forma foram obtidos aos valores das frequências dos três primeiros harmônicos relacionadas a três comprimentos do fio como é mostrado na Tabela 6.

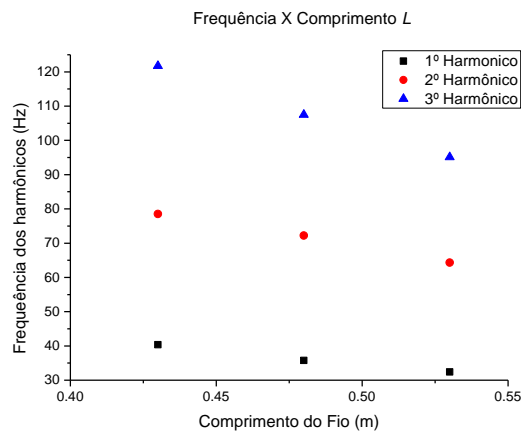
Tabela 4 – Valores das frequências dos três primeiros harmônicos em relação a variação da distância entre o autofalante e a roldana. A massa utilizada foi $m = (498,0 \pm 0,5) \text{ g}$ e o fio de densidade $\mu_1 = (2,983 \pm 0,002) \times 10^{-3} \text{ kg/m}$.

Comprimento L (m)	Frequência dos harmônicos (Hz)		
	f_1	f_2	f_3
$L_1 = (0,530 \pm 0,005)$	$(32,60 \pm 0,27)$	$(66,40 \pm 1,40)$	$(95,10 \pm 2,18)$
$L_2 = (0,480 \pm 0,005)$	$(35,87 \pm 0,24)$	$(72,63 \pm 1,09)$	$(108,70 \pm 3,13)$
$L_3 = (0,430 \pm 0,005)$	$(40,47 \pm 0,31)$	$(81,07 \pm 1,76)$	$(122,40 \pm 1,67)$

Fonte: Autoria própria.

De posse desses valores, foi elaborado o gráfico relacionando a frequência dos harmônicos com o comprimento conforme a Figura 18:

Figura 13 – Gráfico relacionando a frequência dos três primeiros harmônicos com os diferentes comprimentos do fio (L).



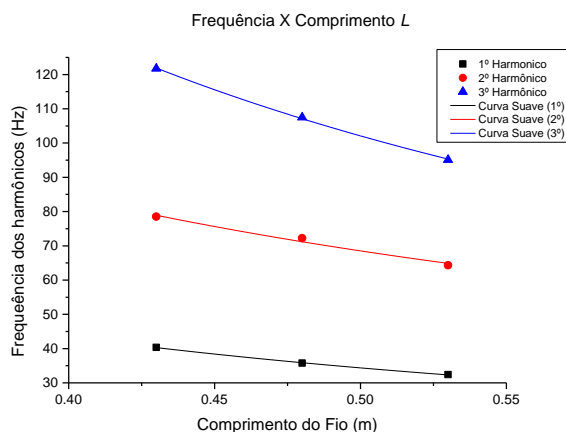
Fonte: Autoria própria.

Ao observar o gráfico da Figura 18, é possível estabelecer a seguinte relação:

$$f_n \propto L^\alpha \Rightarrow f_n = A L^{-\alpha} \quad (36)$$

Dessa forma, o gráfico com a curva suave da previsão teórica é disposto na Figura 19:

Figura 14 - Gráfico relacionando a frequência dos três primeiros harmônicos com os diferentes comprimentos do fio (L), evidenciando a curva suave.



Fonte: Autoria própria.

Ainda utilizando o programa de análise gráfica, os valores para coeficientes (A) e (α) foram obtidos e apresentados na Tabela 7:

Tabela 5 – Valor para o coeficiente α de relação entre os harmônicos e o comprimento do fio (L).

Harmônicos (n)	Coefficiente
	α
1	$-(1,054 \pm 0,030)$
2	$-(0,937 \pm 0,117)$
3	$-(1,176 \pm 0,030)$

Fonte: Autoria própria.

Com esses valores, a relação entre a frequência dos harmônicos (f_n) com o comprimento do fio (L), pode ser reescrita da seguinte forma:

$$f_n \propto L^{-1,05} \cong f_n \propto L^{-1} \quad (37)$$

Relação experimental entre as grandezas

Após a verificação experimental da dependência da frequência dos harmônicos relacionadas ao comprimento do fio (L), a tensão (T), a densidade linear do fio (μ), e o valor do múltiplo com base na frequência do harmônico fundamental, de posse das Equações (30), (34), (35) e (37), a relação entre essas grandezas pode ser dada por:

$$f_n \propto \frac{n}{L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$
$$f_n = K \frac{n}{L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (38)$$

A Equação (38) mostra a relação entre as grandezas obtida de forma experimental. Nessa, K é a constante de proporcionalidade que correlaciona a frequência dos harmônicos com as outras grandezas. Para encontrar o valor dessa constante, é necessário fixar os valores das outras grandezas.

Dessa forma, de posse da Equação (37) e dos dados dispostos na Tabela 6, fixando o valor da massa $m = (498,2 \pm 0,5) g$ e considerando a densidade do fio $\mu_1 = (2,983 \pm 0,0002) kg/m$ e os três comprimentos do fio. Os valores para a constante de proporcionalidade K , foram calculados e apresentados na Tabela 8.

Tabela 6 – Valores da constante obtidas para diferentes comprimentos do fio para uma massa fixa $m = (498,2 \pm 0,5) \text{ g}$ e a densidade linear do fio $\mu_1 = (2,983 \pm 0,0002) \times 10^{-3} \text{ kg/m}$.

Comprimento L (m)	Frequência dos harmônicos (Hz)/Constantes					
	f_1	K_1	f_2	K_2	f_3	K_3
L_1 = (0,530 ± 0,005)	(32,60 ± 0,27)	0,46	(66,40 ± 1,40)	0,45	(95,10 ± 2,18)	0,43
L_2 = (0,480 ± 0,005)	(35,87 ± 0,24)	0,50	(72,63 ± 1,09)	0,44	(108,70 ± 3,13)	0,51
L_3 = (0,430 ± 0,005)	(40,47 ± 0,31)	0,44	(81,07 ± 1,76)	0,44	(122,40 ± 1,67)	0,47

Fonte: Autoria própria.

Analisando os resultados apresentados na Tabela 8, o coeficiente K assume um valor médio aproximado de 0,5 [$\bar{K} = (0,46 \pm 0,03)$]. Substituindo esse valor na Equação (38), é obtida experimentalmente a relação matemática que vincula a frequência, comprimento do fio, densidade linear do fio e tensão, como mostra a Equação (39), que é a Equação experimental.

$$f_n = 0,5 \frac{n}{L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (39)$$

Os resultados obtidos demonstram a validade experimental do Kit proposto ao estudo da propagação de ondas estacionárias em uma corda.

Desta forma, cabe ao professor realizar inicialmente uma abordagem conceitual sobre o tema em questão, além da realização de uma cuidadosa imersão no embasamento teórico, levando em consideração o nível de ensino, estrutura curricular, e características da turma em questão. No produto educacional proposto foi apresentado uma abordagem abrangente do tema em questão, procurando

adaptar aos diferentes níveis de ensino, proporcionando uma valiosa ferramenta para o aprendizado e compreensão da propagação de ondas estacionárias.

CONCLUSÃO.

Espera-se que o produto educacional desenvolvido neste trabalho proporcione uma aprendizagem significativa dos alunos no ensino de Física, enfocando o tema das ondas estacionárias em cordas vibratórias. A característica fundamental deste produto educacional reside no seu baixo custo, onde os materiais que o constituem são facilmente obtidos em carpintarias, lojas e sites especializados de equipamentos eletrônicos. Além disso, destaca-se o uso dos *smartphones*, dada a sua presença hoje generalizada no cotidiano dos alunos. Vale ressaltar que a aplicação do produto educacional apresentado é operacionalmente viável mesmo na ausência de um laboratório de Física, pois a atividade experimental pode ser conduzida diretamente em sala de aula. De acordo com os resultados obtidos nos testes experimentais, o produto educacional proposto atende às expectativas, possibilitando que os professores realizem atividades experimentais em sala de aula após fornecerem as considerações teóricas necessárias. Prevê-se que o produto educacional proposto possa desempenhar um papel importante no estímulo à aprendizagem significativa, seguindo as premissas teóricas de Ausubel/Marco Antônio Moreira. Ao aprofundar a compreensão do significado intrínseco de um fenômeno físico, os alunos são incentivados a superar barreiras que muitas vezes são injustamente atribuídas a uma percepção de falta de fundamento. A inclusão de experimentos no ensino de Física tem papel fundamental no processo de ensino e aprendizagem, permitindo que os alunos associem o conhecimento teórico aos fenômenos físicos presentes em seu cotidiano. Vale salientar que o produto necessita de validação em contexto escolar para examinar a compreensão conceitual e teórica do conteúdo pelos estudantes, o que será abordado em um

subsequente estudo. Adicionalmente, estão em fase de planejamento a criação de um laboratório virtual interativo, incorporando dispositivos de sensoriamento de áudio que permita inclusão de alunos com deficiência visual, bem como possibilitar os alunos e professores acessar de forma remota esse experimento.

AGRADECIMENTOS.

Gostaríamos de agradecer à Universidade Estadual da Bahia, ao Colegiado de Física e ao Departamento de Ciências Exatas e da Terra pela estrutura e condições para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ALVES, Valéria de Freitas. **A inserção de atividades experimentais no ensino de Física em nível médio: em busca de melhores resultados de aprendizagem.** Dissertação (mestrado) em Ensino de Ciências - Área de concentração: Ensino de Física – Programa de Pós Graduação em Ensino de Ciências – Universidade de Brasília, Brasília, 132p. 2006.

AUSUBEL, D. P. ***The acquisition and retention of knowledge: A cognitive view.*** [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2000.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. ***Psychology educative: a point of view cognoscitive.*** México: Trilhas, 1976.

BRASIL, Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. **Brasil no Pisa 2018 [recurso eletrônico].** – Brasília: Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira, 2020.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular.** Brasília, 2018.

BORDIN, Giulio Domenico. **Potencialidades de uso do software de vídeo análise Tracker no ensino de física**. 2020. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

DA SILVA JÚNIOR, Carlos Alberto Brito et al. Ensinando Ciências Físicas com experimentos simples no 5º ano do Ensino Fundamental da educação básica. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 12, n. 1, 2019.

HEWITT, P. G. **Física Conceitual**. 12 ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2015.

MOREIRA, M. A. **Subsídios teóricos para o professor pesquisador em ensino de ciências: A teoria da aprendizagem significativa**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1 ed., Porto Alegre, 2009

MOREIRA, Marco Antônio. **Desafios no ensino da Física**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 43, 2021.

MOREIRA, Marco Antônio. **Uma análise crítica do ensino de Física**. Estudos avançados, v. 32, p. 73-80, 2018.

MOREIRA, Marco Antônio. **Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares**. Editora livraria da Física, 2011.

MOREIRA, Marcos Luiz Batista et al. **Experimentos de baixo custo no ensino de mecânica para o ensino médio**. Dissertação (mestrado) programa do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns, PE, 2015.

NORBIATO, Júlio Cesar et al. **Atividade experimental para o ensino de ondas estacionárias**. 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de Física Básica, volume 2**, 4ª edição. São Paulo, Editora Blucher, 2002.



DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.13932096>

e-ISSN: 2177-8183

SANTOS, Roberto Vitorino dos. **A importância da experimentação no ensino de física: um estudo de caso no ensino de cinemática**. Dissertação (mestrado) programa do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, SP, 2020.

SERWAY, R.; JEWETT, J. W. **Principles of Physics: Wave Motion and Thermodynamics**. São Paulo: Cengage Learning, 2011. v. 2.