

OSCILADOR MECÂNICO: UM APARATO EXPERIMENTAL PARA O ENSINO DE ONDAS ESTACIONÁRIAS POR MEIO DE UMA ABORDAGEM INVESTIGATIVA

Joanderson de Jesus Oliveira

São Cristóvão/SE, 2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
DEPARTAMENTO DE FÍSICA - NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA NACIONAL DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 11

Joanderson de Jesus Oliveira

PRODUTO EDUCACIONAL

OSCILADOR MECÂNICO: UM APARATO EXPERIMENTAL PARA O ENSINO DE
ONDAS ESTACIONÁRIAS POR MEIO DE UMA ABORDAGEM INVESTIGATIVA

São Cristóvão SE

2025

Joanderson de Jesus Oliveira

OSCILADOR MECÂNICO: UM APARATO EXPERIMENTAL PARA O ENSINO DE ONDAS ESTACIONÁRIAS POR MEIO DE UMA ABORDAGEM INVESTIGATIVA

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA NO ENSINO DE ONDAS ESTACIONÁRIAS UMA ABORDAGEM INVESTIGATIVA, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 11 – UFS, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador(es):

Prof. Dr. Cochiran Pereira dos Santos

Prof. Dra. Ana Figueiredo Maia

São Cristóvão SE

2025

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho não seria possível sem o apoio, incentivo e inspiração de diversas pessoas que estiveram ao meu lado durante toda a trajetória. Expresso aqui a minha gratidão a todos que, de alguma forma, contribuíram para a concretização deste projeto.

Agradeço, em primeiro lugar, à minha esposa, Susiane Melo, pelo amor, parceria e companheirismo, e à minha filha, Isabela Maria, por ser minha fonte de inspiração diária. O apoio e compreensão de vocês foram essenciais para que eu pudesse seguir em frente, mesmo diante dos desafios. À minha irmã, Joelma, agradeço por todo o incentivo e apoio ao longo dos anos, sempre presente em cada etapa dessa caminhada. Aos meus pais, Jusilene e Manoel, por todo o esforço e incentivo para que eu sempre estudasse e seguisse esse caminho.

Agradeço ao Fernando Monteiro, diretor pedagógico do Colégio Arqui, pelo constante incentivo e por acreditar no meu potencial. Também agradeço aos meus colegas de trabalho, Paulo Cezar, Elton Daniel e Marlone Santana. Aos meus orientadores, Ana Maia e Cochiran Pereira, expresso minha imensa gratidão por todo o tempo, dedicação e paciência durante o desenvolvimento deste trabalho. Suas orientações e ensinamentos foram fundamentais para a conclusão desta dissertação. Aos meus amigos e colegas professores, registro meu agradecimento por todas as trocas de experiências e vivências, que enriqueceram minha formação e se refletem neste trabalho.

Agradeço ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) e Universidade Federal de Sergipe (UFS), e agradeço a dois professores em especial, Tiago Nery e Laélia Bôtelho, por todo o aprendizado transmitido ao longo dessa trajetória. Suas contribuições e orientações foram imprescindíveis para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

A todos, meu mais sincero agradecimento.

AUTORES

Joanderson de Jesus Oliveira
Cochiran Pereira dos Santos
Ana Figueiredo Maia

CAPA

Marlone Santana

DIAGRAMAÇÃO

Marlone Santana

REVISÃO

Joanderson de Jesus Oliveira

ORIENTAÇÃO

Cochiran Pereira dos Santos
Ana Figueiredo Maia

REGISTRO FOTOGRAFICO

Joanderson de Jesus Oliveira

EDIÇÃO

Joanderson de Jesus Oliveira
Marlone Santana

Texto revisado segundo o Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa.

SUMÁRIO

Capítulo 1 - O PRODUTO.....	7
Capítulo 2 - REFERENCIAL TEÓRICO DE ENSINO.....	9
Capítulo 3 - MATERIAIS.....	10
3.1 - Montagem.....	12
Capítulo 4 - METODOLOGIA E PLANEJAMENTO.....	14
Capítulo 5 - SEQUÊNCIA PARA O PROFESSOR.....	19
5.1 - 1º Encontro: Demonstração Investigativa.....	19
5.2 - 2º Encontro: Análise de vídeo com questões abertas....	20
5.3 - 3º Encontro: Prática de laboratório.....	22
5.4 - 4º Encontro: Sistematização do conhecimento.....	25
Capítulo 6 - SEQUÊNCIA PARA O ALUNO.....	31
6.1 - 1º Encontro: Demonstração Investigativa.....	31
6.2 - 2º Encontro: Análise de vídeo.....	32
6.3 - 3º Encontro: Prática de laboratório.....	34
6.4 - 4º Encontro: Sistematização do conhecimento.....	38
Capítulo 7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	43
Capítulo 8 - REFERÊNCIAS.....	44

Capítulo 1 - O PRODUTO

Ao Professor

Apresenta-se, neste trabalho, o produto educacional **“Oscilador Mecânico, um aparato experimental para o ensino de ondas estacionárias por meio de uma abordagem investigativa”**, desenvolvido como material de apoio para o professor de Física. Essa proposta tem como objetivo promover a Alfabetização Científica (AC) nas aulas de Física, a partir do estudo de ondas estacionárias, por meio de uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI), utilizando um oscilador mecânico como aparato experimental (Figura 1.1). O material é organizado de forma a estimular a argumentação científica, uma vez que a linguagem da ciência é argumentativa, além de promover interações entre os alunos e entre professores e alunos.

As atividades propostas incluem demonstrações investigativas, análise de vídeos com questões abertas, práticas de laboratório e a sistematização do conhecimento. O oscilador mecânico será utilizado em todas as etapas da sequência, proporcionando uma abordagem prática e investigativa que valoriza o conhecimento prévio dos estudantes, incentivando sua participação ativa no processo de aprendizagem. Essa abordagem contrasta com o método tradicional, em que o professor é visto como a única fonte de conhecimento, oferecendo aos alunos a oportunidade de se tornarem protagonistas na construção de seu aprendizado.



Figura 1.1: Aparato experimental, Oscilador Mecânico.

Esse produto foi desenvolvido para ser trabalhado com o oscilador mecânico, que é uma versão atualizada do oscilador de Franz Emil Melde (1832 - 1901), um físico alemão que ficou conhecido por seus trabalhos com ondas estacionárias. Seu experimento original conecta um cabo a uma chave elétrica que é conectada a um pulsador (vibrador), e a outra ponta do fio tem sua extremidade presa a uma massa, que causa tensão no cabo. A Figura 1.2 é uma versão atualizada do oscilador mecânico de Melde.

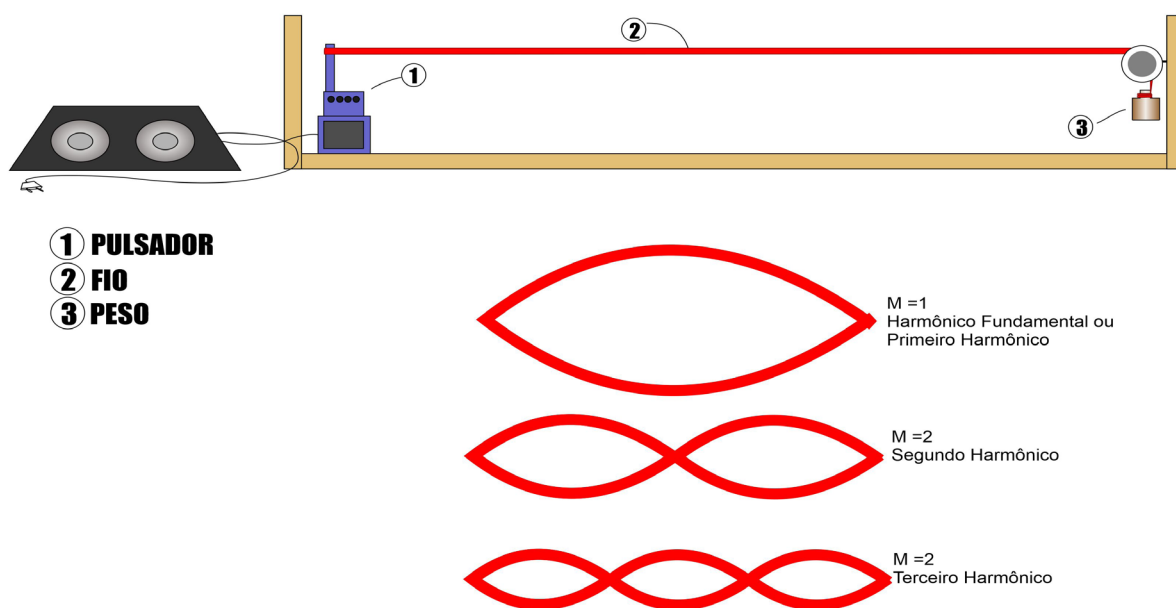


Figura 1.2: Representação do oscilador mecânico, com o primeiro, segundo e terceiro harmônico no fio. Fonte: Figura do autor, 2024.

Com seu experimento, Melde conseguiu em 1860, pela primeira vez, gerar ondas estacionárias em uma corda. Assim, ele demonstrou que essas ondas estacionárias podem sofrer interferência. Atualmente existem várias versões do oscilador de Melde ou oscilador mecânico que diferem na montagem e nos materiais utilizados, bem como na sua complexidade e tamanho, desenvolvidos para vários estudos de oscilações em cordas. No presente produto educacional proponho a construção e utilização de um oscilador mecânico para o ensino de ondulatória em uma turma de ensino médio devido ao seu benefício didático e pedagógico, uma vez que: permite uma visualização clara dos fenômenos ondulatórios, promove a oportunidade de um aprendizado ativo e engajado dos estudantes, desenvolve habilidades prático-científicas, realiza uma conexão da teoria com a prática, contextualiza fenômenos, estimula o pensamento crítico e diversifica os métodos de ensino, atendendo a diferentes estilos de aprendizado e necessidade dos estudantes.

Capítulo 2 - REFERENCIAL TEÓRICO DE ENSINO

As Sequências de Ensino Investigativas (SEI's) surgiram no contexto do Laboratório de Pesquisa em Ensino de Física (LaPEF) da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, como uma metodologia que estimula a construção ativa do conhecimento pelos alunos. Elas foram desenvolvidas a partir de pesquisas e revisões bibliográficas em periódicos de ensino de ciências, propondo uma abordagem pedagógica centrada na investigação e resolução de problemas. Segundo Carvalho (2013), alguns princípios fundamentais guiam a elaboração de uma SEI eficaz, como a relevância de um problema inicial, a transição da ação manipulativa para a intelectual, a conscientização dos próprios atos no processo de aprendizagem e a explicação científica em etapas.

Em uma SEI, o ponto de partida é a apresentação de um problema desconhecido pelos alunos, o que gera um conflito cognitivo que exige reflexão e investigação. Esse foi o ponto de partida do produto educacional proposto neste produto, que teve como foco inicial uma demonstração investigativa com o uso do aparato experimental para estimular a curiosidade e a formulação de hipóteses pelos alunos. A partir dessa questão inicial, os alunos foram incentivados a levantar hipóteses e interagir com o fenômeno, promovendo o debate e a formulação de explicações sobre o comportamento das ondas estacionárias.

Essa demonstração investigativa com o oscilador mecânico permitiu que os estudantes observassem diretamente o fenômeno, criando um contexto investigativo que favoreceu a discussão e a troca de ideias entre os grupos. O processo foi complementado pela sistematização do conhecimento, análise de vídeos, que incluiu atividades práticas, como a coleta e análise de dados e discussões em grupo.

A Alfabetização Científica (AC), por sua vez, é um conceito essencial no ensino de ciências, sendo vista como um processo de formação que capacita os alunos a desenvolver uma leitura crítica do mundo, utilizando o conhecimento científico para tomar decisões conscientes. De acordo com Sasseron e Machado (2017), a AC vai além do simples aprendizado de termos e conceitos científicos, promovendo a capacidade de organizar o pensamento de maneira lógica e crítica, semelhante ao que Paulo Freire (1980) defendeu em seu conceito de alfabetização. Para Freire (1980), alfabetizar é permitir ao indivíduo intervir ativamente na sua realidade, não apenas no sentido de ler e escrever, mas de compreender o mundo e agir sobre ele de forma transformadora.

Nesse contexto, a AC visa a desenvolver nos estudantes habilidades como observação, análise de dados, argumentação e comunicação científica, preparando-os para uma participação crítica e ativa na sociedade. Práticas investigativas, como as propostas nas SEI's, são fundamentais para alcançar esse objetivo, pois inserem os alunos na cultura científica, promovendo uma compreensão mais ampla e profunda dos fenômenos naturais e tecnológicos.

Portanto, o produto educacional apresentado foi desenvolvido como material de apoio para professores de Física, visando à integração da Alfabetização Científica ao ensino de ondas estacionárias. A sequência investigativa foi organizada para proporcionar aos alunos um ambiente de debate e interação, promovendo a construção coletiva do conhecimento.

Capítulo 3 - MATERIAIS

A seguir serão descritos todos os materiais utilizados, com suas características e faixa de valores, para montagem do oscilador mecânico (Quadro 1). Em seguida, é destacado o passo a passo para montagem.

FOTO	MATERIAL	CARACTERÍSTICAS E DESCRIÇÕES
	Alto-Falante	Alto-falante 6 polegadas, potência de 100 W RMS 4 ohms bobina simples.
	Gerador de áudio com amplificador BRAX	DELTRÔNICA AM20 RCA 20 W RMS 110/220 V
	Massas	Foram usadas duas massas de 50 gramas, uma massa esfera de 120 gramas e um massa cilíndrica de 120 gramas
	Base de apoio	Suporte de apoio de 1,0 metro de comprimento

	Linha de tricô	Fio com diâmetro 4,0 mm, 84 metros com 40 gramas.
	Plug	Plug para conexão do alto falante ao oscilador
	Uma haste	Hastes para Telha 1/4" x 300mm em Alumínio Reta
	Prendedor duplo, ou uma roldana.	Foi usado um prendedor
	Fundo Preto	Reciclado de papelão preto de 1,00 metro de comprimento e 0,30 metros de altura
	Dois ganchos	Um para segurar os pesos e outro para conectar o alto-falante ao fio.
	Cola de Silicone	Cola Transparente de Silicone Líquida Fria, para colar o gancho no alto-falante e o alto-falante no acrílico
	Um parafuso e uma porca	Uma porca e um parafuso

Quadro 1: Materiais para montagem do aparato experimental e seus orçamentos.

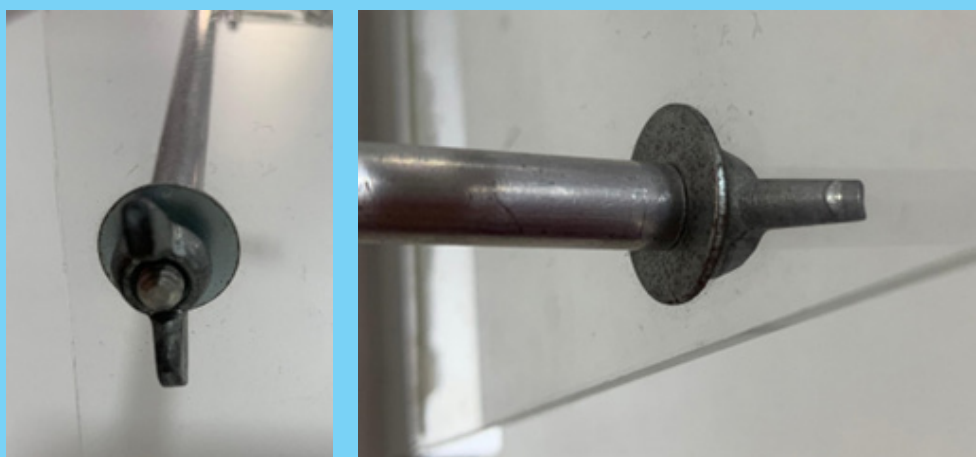
3.1 - MONTAGEM

Preparação da Base

Pegue o suporte de acrílico com cantoneira de plástico de 1 metro (ou um suporte de madeira, se preferir). Posicione o suporte de acrílico sobre uma superfície plana e firme para garantir a estabilidade do aparato durante a experiência. Faça previamente o furo para encaixe da haste em uma das extremidades da base, e para fixação do alto-falante na outra extremidade use a cola de silicone, com uma distância de 0,9 metros aproximadamente.

Fixação da Haste de Alumínio e do Alto-Falante

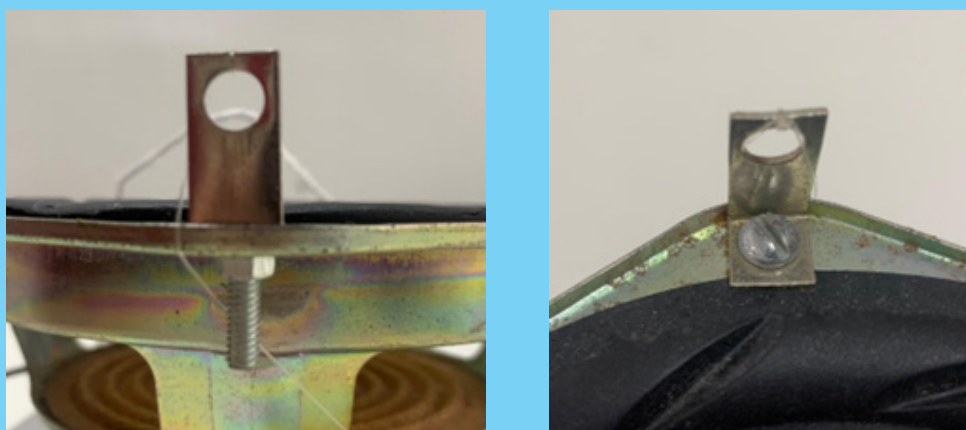
Pegue a haste de alumínio e fixe-a na extremidade previamente furada, na parte superior do suporte de acrílico.



O alto-falante deve ser posicionado na base do suporte, preso com cola de silicone. Certifique-se de que o alto-falante esteja bem fixado ao suporte, pois ele será responsável por gerar as vibrações.

Instalação dos Parafuso para Fixação do fio

Utilize o parafuso e porca para fixar no alto-falante, criando um suporte para fixar o fio. Use um em formato de (L) com dois furos: um para fixação do parafuso e outro para fixar o fio. Aperte a porca com cuidado para evitar danos ao alto-falante.



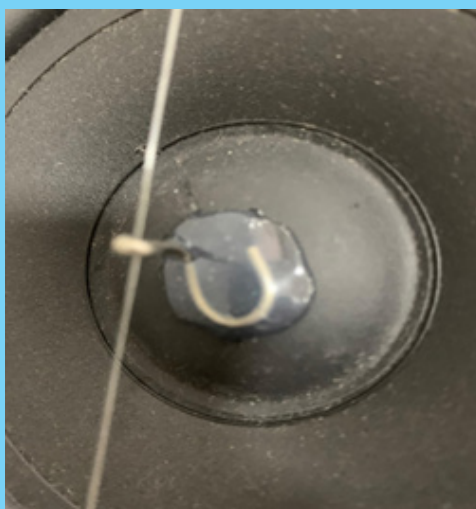
Instalação do Prendedor Duplo

Fixe o outro prendedor duplo na haste de alumínio. Esses prendedores serão utilizados para segurar e tensionar o fio. Certifique-se de que os prendedores estejam bem fixados na altura adequada para tensionar o fio de forma eficaz.



Elaboração e Fixação dos Ganchos

Crie dois ganchos: um para segurar os pesos e outro para conectar o alto-falante ao fio. Cole um dos ganchos na membrana do alto-falante com a cola de silicone. Este gancho será responsável por transmitir a vibração do alto-falante para o fio.



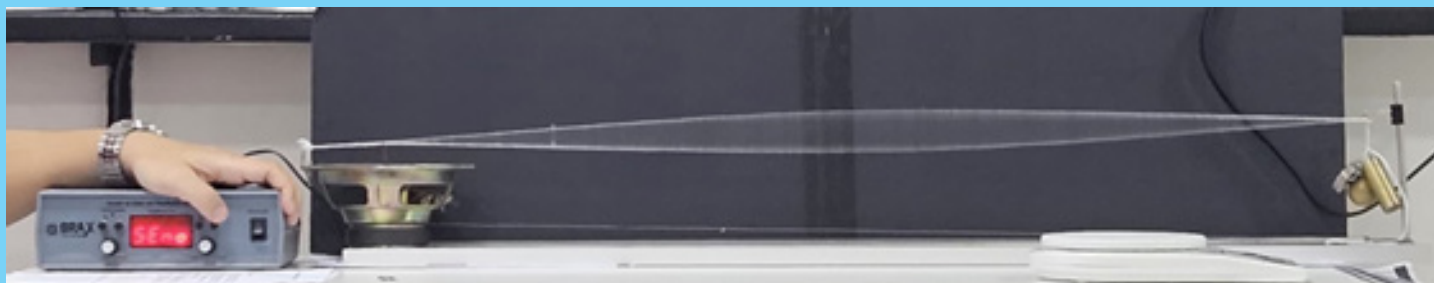
Passagem do Fio e Tensão

Pegue o fio e prenda-o no parafuso fixado no alto-falante, passe pelo gancho colado na membrana do alto-falante e passe pelo prendedor duplo fixado na haste. Coloque o gancho na extremidade do fio e os pesos nesse gancho para tensionar o fio.

Ajustes Finais

Posicione um fundo preto atrás do fio para melhorar a visualização das ondas geradas durante o experimento. Conecte o auto-falante ao gerador de áudio.

Tudo pronto, agora é só começar a gerar frequências na corda, iniciando da frequência mínima. Vá aumentando gradativamente para visualizar os harmônicos no fio, como na Figura.



Produto montado, visualização do primeiro harmônico.

Capítulo 4 - METODOLOGIA E PLANEJAMENTO

O presente produto foi aplicado por dois professores, em duas turmas da 2ª série do ensino médio, composta por 37 alunos e 32 alunos, turmas A e B, respectivamente, em uma escola da rede particular da cidade de Aracaju, Sergipe, em novembro de 2024. A sequência foi aplicada em uma semana, tendo em vista que a grade da escola conta com 5 aulas de física semanais. A escola conta com salas equipadas com aparelhos multimídia e acesso à internet e climatização. Os alunos foram organizados em grupos de 4 a 3 integrantes, totalizando 20 grupos (11 grupos na turma A e 9 grupos na turma B), com a missão de discutir e formular hipóteses a partir das questões propostas no início da aula. Cada grupo elegeu um representante para escrever as hipóteses e conclusões na folha disponibilizada.

Seguimos os seguintes passos nos nossos encontros para aplicação do produto, como disposto no Quadro 2 abaixo.

ENCONTROS	TEMPO ESTIMADO
1º - Demonstração Investigativa	1 aula de 45 minutos
2º - Análise de vídeo com questões abertas	1 aula de 45 minutos
3º - Demonstração investigativa prática de laboratório	2 aulas de 45 minutos
3º - Sistematização do conhecimento	1 aula de 45 minutos

Quadro 2: O autor (2024).

Há uma variedade de instrumentos que permitem implementar intervenções na sala de aula, contribuindo para aprimorar a prática docente. Nesse sentido, é fundamental refletir e avaliar se as aulas requerem mudanças para alcançar melhores resultados no aprendizado dos alunos. No contexto do produto educacional que proponha a AC e sua relação com as aulas investigativas, Sasseron e Machado (2017) propõem algumas perguntas, de modo que o professor torne a aula investigativa, delineando o planejamento da SEI (Quadro 3). Essa reflexão abrange desde o planejamento até a avaliação do processo.

PERGUNTAS PARA O AUXÍLIO DO PLANEJAMENTO	RESPOSTAS PARA O PLANEJAMENTO DA SEI COM OBJETIVO DE PROMOVER AC NO ENSINO DE ONDAS ESTACIONÁRIAS
1. Quais conhecimentos essa atividade oferece?	A atividade oferece conhecimentos sobre ondas estacionárias, linguagem científica e relações entre variáveis físicas, como tração, densidade linear, frequência e velocidade. Além disso, desenvolve habilidades de raciocínio lógico e proporcional, fundamentais para a compreensão do processo científico.

2. O que desejamos que os alunos aprendam?	Queremos que os alunos compreendam as interdependências entre variáveis físicas e desenvolvam a habilidade de formular hipóteses e testar suas relações em um contexto investigativo, promovendo a aprendizagem ativa e colaborativa, característica da Alfabetização Científica
3. Quais são os dados e informações relevantes?	Os dados relevantes incluem padrões de harmônicos no fio, as mudanças observadas quando variáveis são alteradas, e a interpretação crítica desses dados, que contribuem para a construção do conhecimento científico.
4. Que problema pode ser proposto?	Quando ligarmos o alto-falante, que está conectado ao fio e ao amplificador de áudio, o que acontecerá com o fio? Quais variáveis podem influenciar o padrão de ondas estacionárias no fio? Isso incentiva uma investigação ativa das relações entre as variáveis.
5. Quais as possíveis hipóteses apresentadas pelos alunos?	O fio vai tremer, vibrar, quebrar, amplificar o som, gerar uma onda no fio. Além disso, podem levantar hipóteses sobre a formação de nós e ventres ao longo do fio, dependendo da tração ou densidade do fio.
6. Como testar as hipóteses?	Após ouvir as hipóteses dos alunos, o professor parte para a demonstração investigativa, colocando o aparato experimental em funcionamento.

7. Quais as relações entre a natureza da ciência e a experiência?	A ciência das vibrações se aplica a muitas áreas, como engenharia, medicina e tecnologia. O estudo investigativo mostra como a ciência é uma atividade humana em constante evolução, com aplicação prática em tecnologias essenciais para a sociedade, como ultrassons e estruturas de engenharia.
8. Quais as relações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente (CTSA) possíveis no experimento?	O estudo das vibrações mecânicas continuou a evoluir, com um foco especial na aplicação de modelos matemáticos para entender o comportamento de grandes estruturas, como pontes e edifícios. As oscilações mecânicas desempenham um papel crucial na engenharia civil, em que o conhecimento dessas vibrações pode ser a diferença entre a estabilidade e o colapso de uma estrutura. Podemos abordar quais seriam os impactos causados se ocorresse com a ponte de sua cidade o que aconteceu com a ponte de Tacoma Narrows, em 1940. Quais seriam as implicações, do ponto de vista social e ambiental e como a ciência e seu constante aprimoramento evitam esse tipo de situação.
9. Que tipo de atividade investigativa melhor se adapta à montagem?experiência?	A demonstração investigativa, devido ao custo do aparato e ao número de alunos. No entanto, é possível dividir a turma em pequenos grupos para aumentar a interação prática.

10. A que detalhe devemos atentar?	É fundamental destacar que uma onda estacionária é uma oscilação sem propagação da perturbação e que as cristas não se movem pela corda. Devemos também enfatizar os fenômenos de ressonância e interferência, fundamentais para a compreensão do experimento.
11. Quantas aulas durará o processo de investigação?	Cinco aulas: a primeira para demonstração investigativa inicial, a segunda para saber mais e relacionar o nosso cotidiano envolvendo as relações CTSA, a terceira e quarta para prática de laboratório investigativo e a quinta para sistematização do conhecimento.
12. Como avaliar se os objetivos foram cumpridos?	No caso da presente dissertação, será feita a análise dos indicadores de AC presentes nas respostas dos alunos e nas argumentações desenvolvidas nas aulas, tendo essa avaliação um caráter qualitativo.

Quadro 3: Adaptado pelo autor de Sasseron e Machado (2017).

Dado o ambiente controlado de sala de aula e a disponibilidade de materiais, tanto os professores quanto os alunos se mostraram engajados no processo investigativo. As atividades focaram inicialmente na manipulação do oscilador mecânico e na observação dos padrões de ondas estacionárias, levando os alunos a formular hipóteses sobre a relação entre tensão, comprimento e frequência da corda vibrante.

Capítulo 5 - SEQUÊNCIA PARA O PROFESSOR

5.1. 1º ENCONTRO: DEMONSTRAÇÃO INVESTIGATIVA.

Neste primeiro encontro, você apresentará à turma a proposta de uma dinâmica investigativa, diferente do habitual. O foco será a Alfabetização Científica (AC) no ensino de ondas estacionárias, utilizando o oscilador mecânico.

- **Divisão dos Grupos:** Divida a turma em grupos de três a quatro alunos, incentivando o debate dentro dos grupos. Eles deverão registrar suas respostas coletivamente em uma única folha.
- **Apresentação do Aparato Experimental:** Apresente o oscilador mecânico previamente montado. Em seguida, faça uma pergunta problematizadora antes de colocar o experimento em funcionamento.

Os alunos lançarão diversas hipóteses, uma etapa fundamental na investigação por dois motivos principais: primeiro, porque diante do problema surgem as hipóteses que deverão ser postas à prova; segundo, essa etapa permite o processo de argumentação entre os alunos, possibilitando a ancoragem em saberes anteriores. Os estudantes colocarão suas posições, que serão confrontadas ou confirmadas na sequência.

A primeira pergunta é a seguinte:

Questão 1. Se ligarmos o alto-falante que está conectado ao fio e ao amplificador de áudio, o que acontecerá com o fio? Escreva suas hipóteses abaixo, após debatê-las com o grupo.

O professor complementa: Descrevam suas ideias sobre o que irá acontecer. Organizem essas hipóteses. Caso não consigam descrever em palavras, utilizem desenhos no espaço disponível. Debatam no grupo e organizem uma hipótese conjunta. Isso é necessário para estimular o debate entre os alunos.

Possíveis respostas esperadas: O fio vai tremer, vibrar, quebrar, amplificar o som, gerar uma onda no fio

Lembrando que não existe uma resposta correta, todas são aceitáveis, para estimular suas concepções prévias e gerar uma ancoragem do novo conteúdo à medida que vamos seguindo a SEI.

Após ouvir as hipóteses dos alunos, o professor parte para a demonstração investigativa, colocando o aparato experimental em funcionamento, sem fornecer respostas prontas. Ligue o aparato experimental e explique que inicialmente vai deixar o volume do amplificador de áudio na metade, e que se for preciso fará o ajuste na medida que for trabalhando com o aparato experimental. Assim, siga para a demonstração investigativa. Nesse primeiro contato, demonstre alguns harmônicos no fio. Com esse aparato experimental poderá se obter até seis harmônicos.

Após a observação dos harmônicos, novas perguntas naturalmente surgirão dos próprios alunos: “Por que isso aconteceu?”. Essas novas hipóteses e explicações girarão em torno do que foi observado. Todas as visões prévias poderão ser confrontadas, e muitas vezes as explicações dos colegas farão outros alunos mudarem suas ideias em relação às hipóteses originais.

Os alunos, então, responderão à segunda questão:

Questão 2. Após a observação da demonstração, o que vocês podem afirmar sobre a hipótese feita pelo grupo? Ela se confirmou? Quais variáveis podem influenciar o padrão observado no fio? Caso não tenha sido confirmada, revise a hipótese e escreva um novo argumento a seguir.

O professor deve interagir com os grupos, debatendo, orientando as argumentações para hipóteses corretas, gerando assim novos conhecimentos entre os alunos.

Possíveis respostas esperadas: O fio fica vibrando dessa forma porque a onda fica sendo refletida, presa, fazendo com que ela sofra interferência. Se mudarmos a corda ou a tração provavelmente a onda muda. É esperado que algum dos grupos comente também sobre ressonância e faça alguma analogia, já que os alunos possuem esse conhecimento prévio em relação aos fenômenos ondulatórios.

5.2. 2º ENCONTRO: ANÁLISE DE VIDEO E QUESTÕES ABERTAS (PARA SABER +)

Neste encontro, vamos utilizar vídeos do YouTube para ampliar a análise sobre ondas.

A aula pode ser iniciada apresentando um trecho do primeiro vídeo para análise. O vídeo pode ser encontrado no canal Manual do Mundo, com o título **CORDAS do VIOLÃO MOLENGAS: defeito ou efeito?**, disponível no link: https://www.youtube.com/watch?v=3P9_O1IBzrI. A duração total do vídeo é de 12 minutos e 29 segundos, mas utilizaremos apenas um trecho selecionado. Vamos reproduzir o vídeo citado a partir de 4 minutos e 44 segundos, até 10 minutos e 46 segundos; esse corte pode ser realizado previamente.

Após a exibição do vídeo, solicitamos a análise do fenômeno envolvido, e em seguida conduziremos as discussões a partir das questões propostas. Vale destacar que podem ser utilizados outros vídeos disponíveis no YouTube que apresentem características semelhantes ao movimento das ondas nas cordas de violão.

A aula continuará com características investigativas, na qual o professor fomentará a discussão para que os alunos possam construir e sistematizar o conteúdo.

Questão 1. Observando o efeito Rolling Shutter nas diferentes cordas do violão, formule hipóteses sobre o porquê de cada corda apresentar uma onda com característica diferente das outras. Quais fatores podem provocar essas diferentes ondas?

Aqui, o debate entre os alunos e o professor será direcionado à medida que a turma formular suas hipóteses e explicações. O objetivo é abordar alguns pontos específicos, como a densidade de cada corda e a tração a que cada uma delas é submetida, fatores que geram ondas características e frequências diferentes.

Possíveis respostas esperadas: As ondas são diferentes porque o fio de cada corda é diferente, devido à espessura de cada corda. Isso também ocorre por causa da tração na corda.

Questão 2. Vocês já observaram o efeito Rolling Shutter em algum outro lugar? E as ondas estacionárias e vibrações mecânicas, onde elas podem ser encontradas no nosso dia a dia?

Possíveis respostas esperadas: Em gravações de helicóptero em voo, a hélice de ventilador, em cordas de instrumentos musicais.

Aqui, os alunos devem ser levados a perceber que esses fenômenos estão presentes em diversas situações do cotidiano. Em relação ao Rolling Shutter em si, ele pode ser observado quando filmamos a hélice de um ventilador ou a hélice de um helicóptero. Quanto à questão das cordas, podemos guiar para um discurso em que o professor pode trabalhar com a equação de Taylor e investigar o porquê da velocidade e a onda mudarem de acordo com sua densidade e tração no fio.

Logo em seguida, entraremos com o segundo vídeo, que é um uma questão para saber mais. Este vídeo é uma produção da Escola Politécnica da USP, disponível no link: <https://www.youtube.com/watch?v=l0zJ3WupJAU>, que aborda a análise numérica e experimental de vibrações em pontes. Deve ser visto os 2 minutos iniciais do vídeo, que tem duração de 5 minutos no total, no qual será feito um apanhado das tecnologias desenvolvidas a partir desse tema.

Esse segundo vídeo traz uma contextualização da ciência nos dias atuais em relação às oscilações mecânicas, mostrando a relevância do estudo dessas oscilações na engenharia e em outros campos científicos. É importante fazer uma relação entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente, promovendo uma visão mais ampla da aplicação desses conceitos. Note que a todo momento a participação do professor é essencial para promover os debates, hipóteses, explicações, assim abordando os temas propostos na possível resposta esperada.

Questão 3. Como os estudos sobre oscilações são essenciais para a ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente, já que vivemos em cidades cada vez maiores e que necessitam de pontes e prédios? Quais seriam os impactos causados se ocorresse com a ponte Aracaju-Barra o que aconteceu com a ponte de Tacoma Narrows, em 1940? Quais seriam as implicações para as duas cidades, do ponto de vista social e ambiental? Como a ciência e seu constante aprimoramento evitam esse tipo de situação?

Possível resposta esperada: Os estudos sobre oscilações são cruciais para prevenir desastres em construções como pontes e edifícios. O caso da ponte de Tacoma Narrows, em 1940, demonstrou como a ressonância pode levar ao colapso de grandes estruturas. Se algo semelhante ocorresse com a ponte Aracaju-Barra, os impactos sociais e ambientais seriam graves, afetando o transporte, o turismo e a economia da região, além de causar poluição no rio Sergipe. A ciência, com avanços em modelagem e novos materiais, é essencial para garantir a segurança e a resistência dessas estruturas.

5.3. 3º ENCONTRO: DEMONSTRAÇÃO INVESTIGATIVA PRÁTICA DE LABORATÓRIO

Nesta aula será utilizado o aparato experimental para testar algumas hipóteses levantadas nas aulas anteriores, especialmente na segunda aula, quando discutimos as cordas do violão que apresentaram ondas diferentes e alturas (frequências) variadas. Nesta aula, vamos sistematizar o conhecimento por meio de debates, nos quais os pontos levantados serão explicitados no quadro à medida que testamos as hipóteses formuladas e capturamos dados para análise pelos alunos.

Com o aparato experimental previamente montado e retomando as hipóteses e debates levantados na última aula, o primeiro passo será descobrir a frequência fundamental (ou primeiro harmônico) no fio. O professor deverá iniciar com a frequência mínima de 10 Hz e, conforme for aumentando a frequência, deve destacar as variações observadas para a turma. O objetivo é que os alunos consigam identificar e afirmar qual é a frequência fundamental.

Procedimento experimental:

- 1. Com o experimento já previamente montado, ligue o Gerador de Ondas e comece ajustando a frequência em 10 Hz.
- 2. Certifique-se de que o volume está na metade e a forma de onda utilizada é senoidal.
- 3. Observe o que acontece com o alto-falante e, conseqüentemente, com a corda à medida que a frequência varia.
- 4. A corda está submetida a uma tração referente a uma massa m .

1ª Parte: Frequências naturais de vibração

Partindo da frequência de **10 Hz**, aumente-a lentamente e observe o que acontece com a corda até encontrar o **primeiro harmônico** (frequência fundamental), que apresenta **1 ventre e 2 nós**.

Questão 1: Aumente a frequência lentamente e, sendo n o número de ventres (harmônicos) na corda, anote agora, para cada n_1 , a frequência do harmônico f_n em que ocorre a ressonância. Registre os dados na **Tabela 1**.

Tabela 1 — Número de harmônicos (n) x Frequência

n	1	2	3	4	5	6
Frequência (Hz)						

Fonte: O autor (2024).

Questão 2: Existe uma relação entre o número de harmônicos e a frequência. Como podemos relacioná-los?

Questão 3: Utilizando os dados da **Tabela 1**, faça um gráfico da frequência em função do número de harmônicos ($f_n \times n$) em papel milimetrado. Qual é a forma esperada para a curva? O que representa o coeficiente angular?

Durante o debate, o professor explicará que, para cada aumento de harmônico, a frequência é um múltiplo da frequência fundamental. Essa relação será explorada ao associar os harmônicos com a tração na corda, o comprimento da corda e a densidade linear dela. Durante a discussão, os pontos serão registrados no quadro, fundamentando corretamente as observações dos alunos.

2ª Parte: Dependência da frequência fundamental de ressonância com o comprimento da corda

Questão 4: Escolha diferentes comprimentos da corda (L) e anote o primeiro harmônico (frequência fundamental) para cada comprimento. Registre os dados na **Tabela 2**

Tabela 2 — Frequência fundamental de ressonância e comprimento da corda

	1	2	3
F(Hz)			
L(m)			

Fonte: O autor (2024).

Questão 5: Qual é a relação de dependência entre o comprimento (L) e a frequência fundamental (f_1)?

3ª Parte: Dependência da frequência de ressonância com a tensão na corda

Questão 6: Mantendo o comprimento da corda constante (o mesmo utilizado na 1ª parte), utilize diferentes valores de massa e determine as frequências fundamentais e de dois outros harmônicos correspondentes. Registre os dados na **Tabela 3**.

Tabela 3 — Massa x Frequência fundamental

	1	2	3
Massa (g)			
F(Hz)			

Fonte: O autor (2024).

Questão 7: *A velocidade de propagação de uma onda numa corda está relacionada à tensão (T) aplicada na corda e à densidade linear (μ). Procure essa equação e a escreva aqui: _____*

Com isso, a turma será guiada a entender a fórmula que relaciona **tração, densidade linear, frequência, velocidade** e o **número de harmônicos**. Analisaremos quais grandezas são diretamente ou inversamente proporcionais, promovendo uma compreensão mais aprofundada dos fenômenos físicos envolvidos nas ondas estacionárias e nas vibrações mecânicas.

Questão 8: *Qual é a relação de dependência entre a massa e as frequências de ressonância?*

Questão 9: *Qual é a relação de dependência entre a densidade linear (μ) e a velocidade de propagação da onda?*

5.4. 4º ENCONTRO: SISTEMATIZAÇÃO DO CONHECIMENTO

Neste encontro o professor deve aprofundar o estudo sobre ondas estacionárias. É aconselhável que o material de apoio seja disponibilizado, para que os alunos façam a leitura e o professor promova a sistematização por meio do debate e da exposição do que foi visto. Portanto, a todo momento a participação do professor é essencial.

Material de apoio

Uma análise epistemológica histórica do estudo das vibrações mecânicas remonta aos tempos antigos, onde Pitágoras, o renomado filósofo e matemático grego, iniciou os primeiros passos rumo à ciência das vibrações. Utilizando um simples monocórdio como o da Figura 1, Pitágoras explorou como o comprimento de uma corda influenciava a altura do som produzido.



Figura 1: Os experimentos de Pitágoras monocórdio.
Retirado de: <https://www.bbc.com/portuguese/articles/cle6w9e64n5o>

Essas investigações transcenderam as meras curiosidades musicais e representaram o começo de uma compreensão mais profunda sobre as vibrações. As descobertas de Pitágoras não apenas mostraram a interseção entre a Física e a música, mas também estabeleceram fundamentos essenciais que seriam explorados e expandidos em futuros estudos científicos (SANTOS e SAMIR, 2023). Assim, ele abriu caminho para uma análise sistemática da relação entre o comprimento da corda e a frequência do som, um princípio que permanece central na física das ondas até hoje.

No início do século XVII, Galileu Galilei (1564-1642), considerado o fundador da ciência experimental moderna, iniciou seus estudos sobre o movimento oscilatório a partir da observação de um pêndulo na Catedral de Pisa. Galileu estabeleceu a relação entre o comprimento do pêndulo e o seu período de oscilação, além de destacar o fenômeno da ressonância entre dois corpos. Embora Galileu tenha indicado que a frequência de vibração de uma corda vibratória esticada dependia de sua tensão, densidade e comprimento, foi Marin Mersenne (1588-1648) quem formalizou essas observações. Em sua obra *Harmonicorum Liber* (1636), Mersenne consolidou as relações entre frequência, comprimento de onda e densidade das cordas vibratórias, sendo amplamente reconhecido como o “pai da acústica”. Sua análise sobre a vibração das cordas e o comportamento dos harmônicos abriu o caminho para os estudos modernos sobre vibrações e acústica. Durante o mesmo período, Robert Hooke (1635-1703) também realizou experimentos relacionados ao som e à frequência de vibração das cordas, enquanto Joseph Sauveur (1653-1716) consolidou o termo “acústica” para descrever a ciência do som. Sauveur observou a formação de nós e ventres nas cordas vibrantes, e descreveu o conceito de frequências harmônicas, ou seja, as frequências resultantes da superposição de vibrações elementares (VENCESLAU, 2015).

A revolução na compreensão do movimento e das vibrações veio com Isaac Newton, que em sua obra monumental “*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*” (1686), estabeleceu as bases para a mecânica clássica. As três leis do movimento de Newton, juntamente com a lei da gravitação universal, proporcionaram uma base para explicar não apenas a dinâmica dos corpos celestes, mas também os sistemas vibratórios terrestres. A segunda lei de Newton, em particular, tornou-se uma ferramenta fundamental para derivar as equações que descrevem o movimento de sistemas vibratórios. Essa abordagem matemática e física criou uma base sólida para a ciência das vibrações, permitindo que os fenômenos ondulatórios fossem analisados de maneira sistemática e precisa (BALOLA, 2010).

No início do século XVIII, Brook Taylor fez uma contribuição vital ao estudo das vibrações com seu trabalho “*De motu Nervi tensi*” (1713). Ele descreveu matematicamente o movimento das cordas vibrantes, utilizando uma estrutura axiomática e princípios mecânicos. Taylor estabeleceu uma analogia inovadora entre o comportamento das cordas vibrantes e o movimento de um pêndulo para calcular o período das vibrações, oferecendo uma nova perspectiva sobre como as forças e tensões influenciam o comportamento das cordas. Essa abordagem matemática rigorosa e inovadora ajudou a consolidar o estudo das vibrações como uma ciência robusta, conectando princípios físicos fundamentais com observações experimentais (ABDOUNUR, 2023).

O século XVIII foi também um período de avanços significativos nas equações de movimento que descrevem vibrações. Matemáticos como Daniel Bernoulli, Jean D’Alembert e Leonard Euler introduziram derivadas parciais nas equações de movimento, permitindo uma descrição mais detalhada e precisa das vibrações. Eles refinaram os modelos teóricos existentes, tornando-os mais robustos e aplicáveis a uma variedade maior de sistemas vibratórios. Suas contribuições proporcionaram uma compreensão mais profunda e matemática das vibrações, facilitando a transição do estudo empírico para uma ciência matemática rigorosa. Esses desenvolvimentos metodológicos foram fundamentais para a formação da teoria moderna das ondas e vibrações, estabelecendo um legado que perdura até os dias atuais (ABDOUNUR, 2023).

Na sequência, Joseph Fourier (1768-1830), com sua teoria analítica do calor, introduziu a expansão de funções arbitrárias em séries de senos e cossenos, permitindo a análise mais detalhada das vibrações. Isso impulsionou a teoria das vibrações para além dos modelos empíricos, utilizando métodos matemáticos mais robustos (OURIQUE, 2024).

Já no século XIX, Lord Rayleigh (1842-1919) contribuiu com o desenvolvimento do Método da Energia, que se tornou essencial para a análise de vibrações em sistemas mecânicos complexos, especialmente para sistemas com múltiplos graus de liberdade. Stephen Timoshenko (1878-1972) também avançou a teoria das vibrações ao incluir os efeitos de deformação por cisalhamento e inércia de rotação em vigas, algo que ainda é de grande importância na engenharia moderna (BASSALO 1992).

Com o avanço tecnológico no século XX, a análise de vibrações evoluiu para modelos computacionais precisos, utilizando instrumentos como lasers para medir vibrações com grande precisão. O estudo das vibrações mecânicas continuou a evoluir, com um foco especial na aplicação de modelos matemáticos para entender o comportamento de grandes estruturas, como pontes e edifícios. As oscilações mecânicas desempenham um papel crucial na engenharia civil, onde o conhecimento dessas vibrações pode ser a diferença entre a estabilidade e o colapso de uma estrutura. O caso clássico da Ponte de Tacoma Narrows, que entrou em colapso em 1940 devido a um fenômeno de ressonância, ilustra a importância de se compreender e prever o comportamento vibratório das construções.

Hoje, a ciência das vibrações não se limita apenas à engenharia estrutural, mas também é essencial para áreas como a aeronáutica, a indústria automobilística e até mesmo a medicina, onde a compreensão das ondas pode ser aplicada em tecnologias de diagnóstico, como os ultrassons. A aplicação de ferramentas computacionais modernas permite simular sistemas complexos, garantindo maior precisão na análise das oscilações mecânicas. Com isso, a ciência segue aprimorando seus métodos, evitando desastres como o de Tacoma e garantindo a segurança e eficiência das grandes construções e tecnologias contemporâneas.

Ondas progressivas em cordas

Seja uma corda com densidade de massa linear (μ), que é mantida tensa através da aplicação de uma força de tração constante (T). Se um dos extremos da corda for pulsado periodicamente, será gerada uma onda harmônica viajando pela corda. Essa onda é dita transversal, pois a perturbação ou oscilação, no caso de ondas periódicas, é perpendicular à direção de avanço da perturbação, vou seja, da direção de propagação. A fórmula que relaciona esses parâmetros, é dada pela equação:

$$v = \sqrt{T/\mu} \quad (1)$$

Por outro lado, a velocidade de propagação da onda progressiva pode ser calculada sabendo que uma crista percorre uma distância λ (comprimento da onda) durante o tempo T (período de oscilação)

$$v = \lambda/T = \lambda f \quad (2)$$

Onde λ é o comprimento de onda, que é a distância entre dois pontos consecutivos em fase (como dois vales ou dois nós), e f é a frequência da onda, que representa quantas oscilações ocorrem por segundo, medida em Hertz (Hz). O período (T) é o tempo que uma oscilação completa leva para acontecer, e é o inverso da frequência, $T = 1/f$. Até aqui, tudo certo?

Professor: Vocês já perceberam que, para afinar uma guitarra ou violão, os músicos aumentam ou diminuem a tensão das cordas, ajustando assim a frequência do som que ela produz? Assim retornamos ao aparato experimental e mudamos a tração no fio para ver o que ocorre a frequência, analisando também a velocidade.

Possível pergunta ou exclamação: Então, se eu aumentar a tensão da corda, o som vai ficar mais agudo, por que a velocidade da onda aumenta e, por isso, a frequência também?

Professor: Exatamente! Quando você aumenta a tensão, a corda vibra mais rapidamente, o que aumenta a frequência e, portanto, o som fica mais agudo. Isso é exatamente o que acontece quando afinamos um violão.

Ondas estacionárias na corda

Se as extremidades da corda estiverem fixas, é possível obter uma onda estacionária resultante da superposição de duas ondas, viajando em direções opostas: a onda gerada pela fonte desde um extremo e a onda refletida no extremo oposto fixo. A onda estacionária é uma oscilação da corda sem propagação da perturbação; as cristas não viajam pela corda. No entanto, cada elemento da corda oscila verticalmente com frequência f .

Na Figura 3.1 são mostrados os possíveis harmônicos para a corda com extremos fixos. A curva representada é a envoltória da oscilação: a máxima deflexão da corda para cima ou para abaixo. Ao longo do tempo, cada elemento de corda oscila verticalmente entre esses extremos com frequência f .



**Harmônico fundamental ou
Primeiro harmônico $n=1$**

Segundo harmônico $n=2$

Terceiro harmônico $n=3$

Figura 3.1: Primeiro, segundo e terceiro harmônico para a corda com extremos fixos.

Pelo fato de os extremos da corda corresponderem aos nós da onda estacionária, os comprimentos λ_n dos harmônicos estão restritos. Da Figura 3.1 pode se concluir que os únicos valores possíveis de λ_n , numa corda de comprimento L , devem satisfazer a condição:

$$L = n \lambda / 2 \quad (3)$$

Na qual $n = 1, 2, 3, \dots$ é um número inteiro que identifica o harmônico gerado na corda. Como a velocidade das ondas, que se superpõem na corda, é sempre a mesma (depende unicamente do meio), então, a frequência de cada harmônico deve ser diferente para manter o produto constante em (2):

Deve ser feito uso do aparato experimental para visualizarmos os harmônicos. Agora vamos relacionar a equação da onda, substituindo o comprimento de onda e a velocidade pelas fórmulas trabalhadas anteriormente, chegando à seguinte relação. É sempre importante incentivar a participação da turma para chegar à relação citada.

Assim, substituindo a equação (1) e (3) na equação (2), vamos obter a equação (4):

$$f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (4)$$

Deve ser feito o passo a passo com a participação da turma. Se possível, estimular eles mesmos a chegar nessa relação. Vamos ajudar nos passos interagindo com os alunos e, no próximo encontro, vamos colocar o que foi visto em prática.

Capítulo 6 - SEQUÊNCIA PARA O ALUNO

6.1 1º ENCONTRO: DEMOSTRAÇÃO INVESTIGATIVA.

Escola:

Professor:

Data: ____/____/____

Grupo:

Turma:

Questão 1. *Se ligarmos o alto-falante, que está conectado ao fio e ao amplificador de áudio, o que acontecerá com o fio? Escreva suas hipóteses abaixo, após debaterlas com o grupo.*

Questão 2. *Após a observação da demonstração, o que vocês podem afirmar sobre a hipótese feita pelo grupo? Ela se confirmou? Caso não tenha sido confirmada, revise a hipótese e escreva um novo argumento a seguir. Quais variáveis podem influenciar o padrão observado no fio?*

6.2 2º ENCONTRO: ANÁLISE DE VIDEO

Escola:

Professor:

Data: ____/____/____

Grupo:

Turma:

Nesta segunda aula, faremos a análise de trechos de dois vídeos disponíveis no YouTube.

Vídeo para a primeira e segunda questão

CORDAS do VIOLÃO MOLENGAS: defeito ou efeito?, disponível no QR Code ao lado ou no link: https://www.youtube.com/watch?v=3P9_O1IBzrI. A duração total do vídeo é de 12 minutos e 29 segundos, mas utilizaremos apenas um trecho selecionado. Vamos reproduzir o vídeo citado a partir de 4 minutos e 44 segundos, até 10 minutos e 46 segundos.



Questão 1. *Observando o efeito Rolling Shutter nas diferentes cordas do violão, formule hipóteses sobre o porquê de cada corda apresentar uma onda com característica diferente das outras. Quais fatores podem provocar essas diferentes ondas?*

Questão 2. *Vocês já observaram o efeito Rolling Shutter em algum outro lugar? E as ondas estacionárias e vibrações mecânicas, onde elas podem ser encontradas no nosso dia a dia?*

Vídeo para a terceira questão

Para saber + este vídeo é uma produção da Escola Politécnica da USP, disponível no QR Code ao lado ou no link: <https://www.youtube.com/watch?v=10zJ3WupJAU> que aborda a análise numérica e experimental de vibrações em pontes. Deve ser visto os 2 minutos iniciais do vídeo, que tem duração de 5 minutos no total, no qual será feito um apanhado das tecnologias desenvolvidas a partir desse tema.



Questão 3. *Como os estudos sobre oscilações são essenciais para a ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente, já que vivemos em cidades cada vez maiores e que necessitam de pontes e prédios? Quais seriam os impactos causados se ocorresse com a ponte Aracaju-Barra o que aconteceu com a ponte de Tacoma Narrows, em 1940. Quais seriam as implicações para as duas cidades, do ponto de vista social e ambiental? Como a ciência e seu constante aprimoramento evitam esse tipo de situação?*

Escola:

Professor:

Data: ____/____/____

Grupo:

Turma:

Procedimento experimental:

1. Com o experimento já previamente montado, ligue o Gerador de Ondas e comece ajustando a frequência em 10 Hz.
2. Certifique-se de que o volume está na metade e a forma de onda utilizada é senoidal.
3. Observe o que acontece com o alto-falante e, conseqüentemente, com a corda à medida que a frequência varia.
4. A corda está submetida a uma tração referente a uma massa m .

1ª Parte: Frequências naturais de vibração

Partindo da frequência de **10 Hz**, aumente-a lentamente e observe o que acontece com a corda até encontrar o **primeiro harmônico** (frequência fundamental), que apresenta **1 ventre e 2 nós**.

Questão 1: Aumente a frequência lentamente e, sendo n o número de ventres (harmônicos) na corda, anote agora, para cada n , a frequência do harmônico f_n em que ocorre a ressonância. Registre os dados na **Tabela 1**.

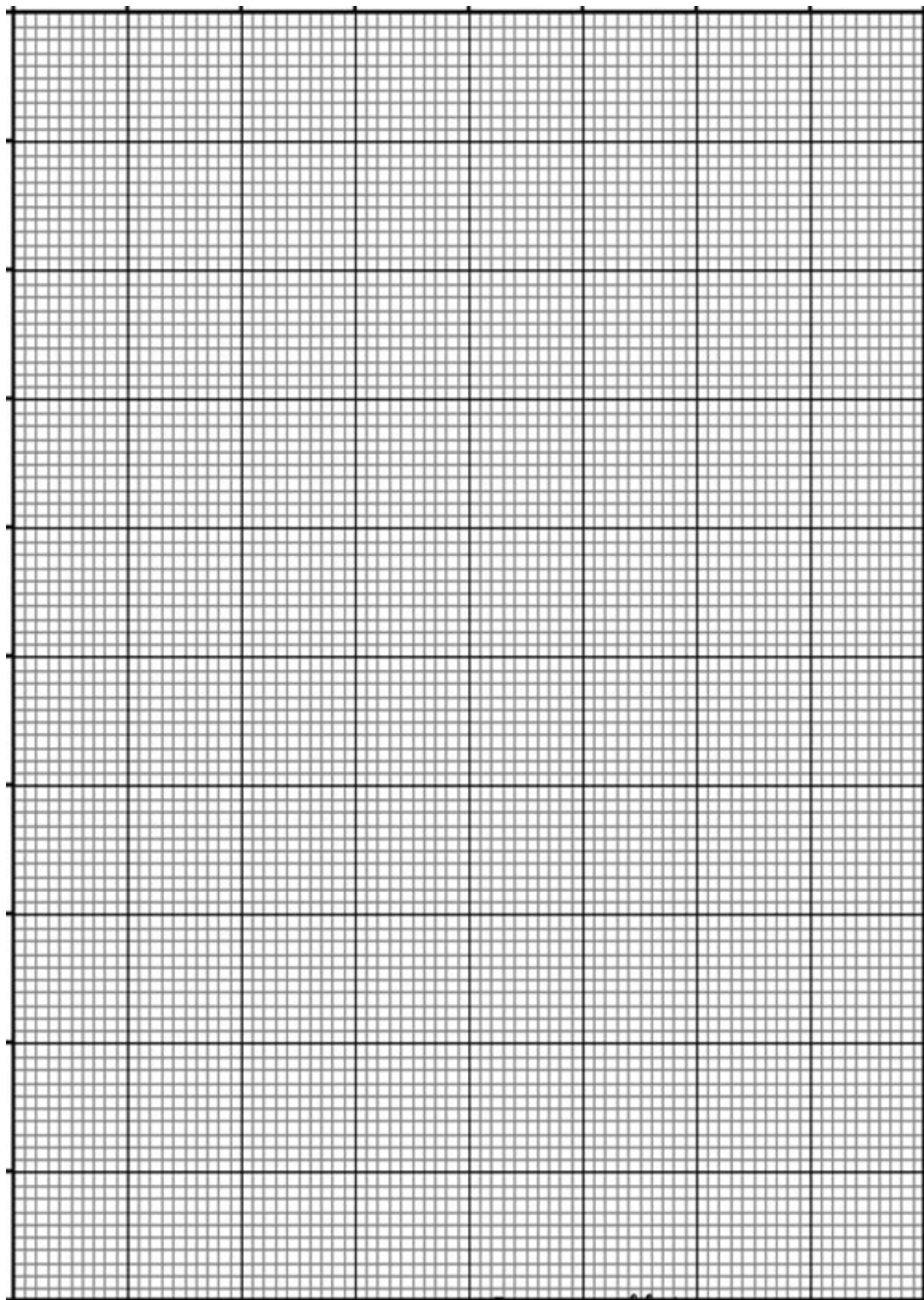
Tabela 1 — Número de harmônicos (n) x Frequência

n	1	2	3	4	5	6
Frequência (Hz)						

Fonte: O autor (2024).

Questão 2: Existe uma relação entre o número de harmônicos e a frequência. Como podemos relacioná-los?

Questão 3: Utilizando os dados da Tabela 1, faça um gráfico da frequência em função do número de harmônicos ($f_n \times n$) em papel milimetrado. Qual é a forma esperada para a curva? O que representa o coeficiente angular?



Questão 7. A velocidade de propagação de uma onda numa corda está relacionada à tensão (T) aplicada na corda e à densidade linear (μ). Procure essa equação e a escreva.

Questão 8. Qual é a relação de dependência entre a massa e as frequências de ressonância?

Questão 9. Qual é a relação de dependência entre a densidade linear (μ) e a velocidade de propagação da onda?

Escola:

Professor:

Data: ____/____/____

Grupo:

Turma:

Epistemologia Histórica das vibrações mecânicas

As vibrações mecânicas remontam aos tempos antigos, onde Pitágoras, o renomado filósofo e matemático grego, iniciou os primeiros passos rumo à ciência das vibrações. Utilizando um simples monocórdio como o da Figura 1, Pitágoras explorou como o comprimento de uma corda influenciava a altura do som produzido.



Figura 1: Os experimentos de Pitágoras monocórdio.
Retirado de: <https://www.bbc.com/portuguese/articles/cle6w9e64n5o>

Essas investigações transcenderam as meras curiosidades musicais e representaram o começo de uma compreensão mais profunda sobre as vibrações. As descobertas de Pitágoras não apenas mostraram a interseção entre a Física e a música, mas também estabeleceram fundamentos essenciais que seriam explorados e expandidos em futuros estudos científicos (SANTOS e SAMIR, 2023). Assim, ele abriu caminho para uma análise sistemática da relação entre o comprimento da corda e a frequência do som, um princípio que permanece central na física das ondas até hoje.

No início do século XVII, Galileu Galilei (1564-1642), considerado o fundador da ciência experimental moderna, iniciou seus estudos sobre o movimento oscilatório a partir da observação de um pêndulo na Catedral de Pisa. Galileu estabeleceu a relação entre o comprimento do pêndulo e o seu período de oscilação, além de destacar o fenômeno da ressonância entre dois corpos. Embora Galileu tenha indicado que a frequência de vibração de uma corda vibratória esticada dependia de sua tensão, densidade e comprimento, foi Marin Mersenne (1588-1648) quem formalizou essas observações. Em sua obra *Harmonicorum Liber* (1636), Mersenne consolidou as relações entre frequência, comprimento de onda e densidade das cordas vibratórias, sendo amplamente reconhecido como o “pai da acústica”. Sua análise sobre a vibração das cordas e o comportamento dos harmônicos abriu o caminho para os estudos modernos sobre vibrações e acústica. Durante o mesmo período, Robert Hooke (1635-1703) também realizou experimentos relacionados ao som e à frequência de vibração das cordas, enquanto Joseph Sauveur (1653-1716) consolidou o termo “acústica” para descrever a ciência do som. Sauveur observou a formação de nós e ventres nas cordas vibrantes, e descreveu o conceito de frequências harmônicas, ou seja, as frequências resultantes da superposição de vibrações elementares (VENCESLAU, 2015).

A revolução na compreensão do movimento e das vibrações veio com Isaac Newton, que em sua obra monumental “*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*” (1686), estabeleceu as bases para a mecânica clássica. As três leis do movimento de Newton, juntamente com a lei da gravitação universal, proporcionaram uma base para explicar não apenas a dinâmica dos corpos celestes, mas também os sistemas vibratórios terrestres. A segunda lei de Newton, em particular, tornou-se uma ferramenta fundamental para derivar as equações que descrevem o movimento de sistemas vibratórios. Essa abordagem matemática e física criou uma base sólida para a ciência das vibrações, permitindo que os fenômenos ondulatórios fossem analisados de maneira sistemática e precisa (BALOLA, 2010).

No início do século XVIII, Brook Taylor fez uma contribuição vital ao estudo das vibrações com seu trabalho “*De motu Nervi tensi*” (1713). Ele descreveu matematicamente o movimento das cordas vibrantes, utilizando uma estrutura axiomática e princípios mecânicos. Taylor estabeleceu uma analogia inovadora entre o comportamento das cordas vibrantes e o movimento de um pêndulo para calcular o período das vibrações, oferecendo uma nova perspectiva sobre como as forças e tensões influenciam o comportamento das cordas. Essa abordagem matemática rigorosa e inovadora ajudou a consolidar o estudo das vibrações como uma ciência robusta, conectando princípios físicos fundamentais com observações experimentais (ABDOUNUR, 2023).

O século XVIII foi também um período de avanços significativos nas equações de movimento que descrevem vibrações. Matemáticos como Daniel Bernoulli, Jean D'Alembert e Leonard Euler introduziram derivadas parciais nas equações de movimento, permitindo uma descrição mais detalhada e precisa das vibrações. Eles refinaram os modelos teóricos existentes, tornando-os mais robustos e aplicáveis a uma variedade maior de sistemas vibratórios. Suas contribuições proporcionaram uma compreensão mais profunda e matemática das vibrações,

facilitando a transição do estudo empírico para uma ciência matemática rigorosa. Esses desenvolvimentos metodológicos foram fundamentais para a formação da teoria moderna das ondas e vibrações, estabelecendo um legado que perdura até os dias atuais (ABDOUNUR, 2023).

Na sequência, Joseph Fourier (1768-1830), com sua teoria analítica do calor, introduziu a expansão de funções arbitrárias em séries de senos e cossenos, permitindo a análise mais detalhada das vibrações. Isso impulsionou a teoria das vibrações para além dos modelos empíricos, utilizando métodos matemáticos mais robustos (OURIQUE, 2024).

Já no século XIX, Lord Rayleigh (1842-1919) contribuiu com o desenvolvimento do Método da Energia, que se tornou essencial para a análise de vibrações em sistemas mecânicos complexos, especialmente para sistemas com múltiplos graus de liberdade. Stephen Timoshenko (1878-1972) também avançou a teoria das vibrações ao incluir os efeitos de deformação por cisalhamento e inércia de rotação em vigas, algo que ainda é de grande importância na engenharia moderna (BASSALO 1992).

Com o avanço tecnológico no século XX, a análise de vibrações evoluiu para modelos computacionais precisos, utilizando instrumentos como lasers para medir vibrações com grande precisão. O estudo das vibrações mecânicas continuou a evoluir, com um foco especial na aplicação de modelos matemáticos para entender o comportamento de grandes estruturas, como pontes e edifícios. As oscilações mecânicas desempenham um papel crucial na engenharia civil, onde o conhecimento dessas vibrações pode ser a diferença entre a estabilidade e o colapso de uma estrutura. O caso clássico da Ponte de Tacoma Narrows, que entrou em colapso em 1940 devido a um fenômeno de ressonância, ilustra a importância de se compreender e prever o comportamento vibratório das construções.

Hoje, a ciência das vibrações não se limita apenas à engenharia estrutural, mas também é essencial para áreas como a aeronáutica, a indústria automobilística e até mesmo a medicina, onde a compreensão das ondas pode ser aplicada em tecnologias de diagnóstico, como os ultrassons. A aplicação de ferramentas computacionais modernas permite simular sistemas complexos, garantindo maior precisão na análise das oscilações mecânicas. Com isso, a ciência segue aprimorando seus métodos, evitando desastres como o de Tacoma e garantindo a segurança e eficiência das grandes construções e tecnologias contemporâneas.

Ondas progressivas em cordas

Seja uma corda com densidade de massa linear (μ), que é mantida tensa através da aplicação de uma força de tração constante (T). Se um dos extremos da corda for pulsado periodicamente, será gerada uma onda harmônica viajando pela corda. Essa onda é dita transversal, pois a perturbação ou oscilação, no caso de ondas periódicas, é perpendicular à direção de avanço da perturbação, vou seja, da direção de propagação. A fórmula que relaciona esses parâmetros, é dada pela equação:

$$v = \sqrt{T/\mu} \quad (1)$$

Por outro lado, a velocidade de propagação da onda progressiva pode ser calculada sabendo que uma crista percorre uma distância (comprimento da onda) durante o tempo T (período de oscilação)

$$v = \lambda/T = \lambda f \quad (2)$$

Onde λ é o comprimento de onda, que é a distância entre dois pontos consecutivos em fase (como dois vales ou dois nós), e f é a frequência da onda, que representa quantas oscilações ocorrem por segundo, medida em Hertz (Hz). O período (T) é o tempo que uma oscilação completa leva para acontecer, e é o inverso da frequência, $T = 1/f$. Até aqui, tudo certo?

Ondas estacionárias na corda

Se as extremidades da corda estiverem fixas, é possível obter uma onda estacionária resultante da superposição de duas ondas, viajando em direções opostas: a onda gerada pela fonte desde um extremo e a onda refletida no extremo oposto fixo. A onda estacionária é uma oscilação da corda sem propagação da perturbação; as cristas não viajam pela corda. No entanto, cada elemento da corda oscila verticalmente com frequência f .

Na Figura 3.1 são mostrados os possíveis harmônicos para a corda com extremos fixos. A curva representada é a envoltória da oscilação: a máxima deflexão da corda para cima ou para abaixo. Ao longo do tempo, cada elemento de corda oscila verticalmente entre esses extremos com frequência f .

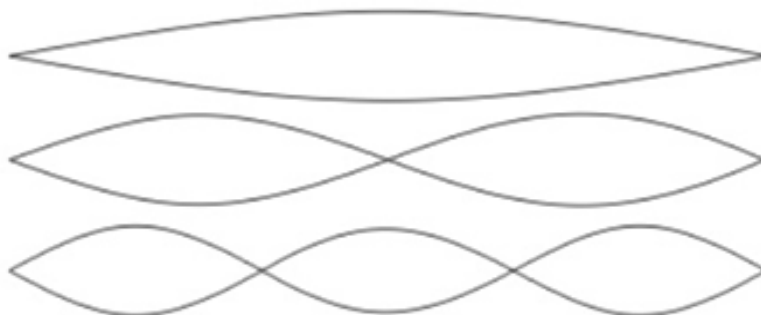


Figura 3.1: Harmônicos para a corda com extremos fixos.

Pelo fato de os extremos da corda corresponderem aos nós da onda estacionária, os comprimentos λ_n dos harmônicos estão restritos. Da Figura 3.1 pode se concluir que os únicos valores possíveis de λ_n , numa corda de comprimento L , devem satisfazer a condição:

$$L = n \lambda / 2 \quad (3)$$

Na qual $n = 1, 2, 3, \dots$ é um número inteiro que identifica o harmônico gerado na corda. Como a velocidade das ondas, que se superpõem na corda, é sempre a mesma (depende unicamente do meio), então, a frequência de cada harmônico deve ser diferente para manter o produto constante em (2):

Deve ser feito uso do aparato experimental para visualizarmos os harmônicos. Agora vamos relacionar a equação da onda, substituindo o comprimento de onda e a velocidade pelas fórmulas trabalhadas anteriormente, chegando à seguinte relação. É sempre importante incentivar a participação da turma para chegar à relação citada.

Assim, substituindo a equação (1) e (3) na equação (2), vamos obter a equação (4):

$$f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (4)$$

Capítulo 7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O produto educacional “Oscilador Mecânico, um aparato experimental para o ensino de ondas estacionárias por meio de uma abordagem investigativa” foi desenvolvido como uma ferramenta de suporte para professores de Física, com o objetivo de proporcionar uma experiência de ensino mais investigativa e prática, voltada para o desenvolvimento da Alfabetização Científica (AC) no contexto escolar. Por meio do uso de um aparato experimental simples e acessível, o professor poderá conduzir aulas dinâmicas que integram teoria e prática, permitindo que os alunos explorem conceitos fundamentais das ondas estacionárias de maneira ativa e colaborativa.

Este material foi pensado para promover a argumentação e a construção de hipóteses, favorecendo interações entre alunos e professores. O uso da experimentação prática com o oscilador mecânico como base para a sequência de ensino investigativa (SEI) possibilita a visualização direta dos fenômenos físicos, tornando a compreensão mais acessível e estimulando o pensamento crítico. Durante as atividades investigativas, espera-se que os alunos possam organizar suas ideias, discutir em grupo e chegar a conclusões baseadas nas evidências observadas no experimento.

Com base na análise qualitativa realizada em duas turmas de segunda série do ensino médio, foi possível constatar que a metodologia utilizada neste produto educacional atingiu seus objetivos, promovendo avanços claros nas habilidades de argumentação, formulação e teste de hipóteses, justificativa, raciocínio lógico e proporcional, além da interpretação de dados. Essas competências, associadas aos indicadores de AC, foram observadas de forma consistente nas respostas dos alunos e em suas discussões, conforme proposto por Sasseron e Machado (2017). O uso do aparato experimental permitiu que os estudantes compreendessem melhor as variáveis envolvidas no fenômeno das ondas estacionárias, como frequência, tensão e densidade linear, e como essas variáveis influenciam o comportamento das ondas.

Para os professores que utilizarem este material, é importante considerar que a transição para uma abordagem investigativa pode apresentar desafios, especialmente para alunos que estão mais acostumados a métodos expositivos. No entanto, essa mudança oferece benefícios claros, como o aumento do engajamento dos alunos e a maior autonomia no processo de aprendizagem. O papel do professor é fundamental para orientar as discussões, estimular o pensamento crítico e auxiliar na formulação de hipóteses durante as aulas.

Este produto educacional oferece uma base para a promoção de uma educação científica mais contextualizada e participativa, aproximando os conceitos físicos do cotidiano dos alunos. Além de proporcionar um aprendizado mais profundo dos fenômenos ondulatórios, essa abordagem contribui para o desenvolvimento de habilidades essenciais para a formação científica e cidadã dos estudantes.

Espera-se que este material possa ser adaptado e utilizado em diferentes contextos, sempre com o objetivo de promover uma aprendizagem significativa, que estimule a curiosidade, a investigação e a construção colaborativa do conhecimento científico.

Capítulo 8 - REFERÊNCIAS

ABDOUNUR, Oscar João; CAMPOS, Glauco Aparecido de. Um estudo da corda vibrante por Brook Taylor (1685-1731): De Moto Nervi Tensi (Sobre o movimento de uma corda tensa). **Revista Brasileira de História da Matemática**, v. 23, n. 46. 179–193 p, 2023. Disponível em: <https://rbhm.org.br/index.php/RBHM/article/view/417>. Acesso em: 7 jun. 2024.

ABUCHAIBE, Rafael. **Quatro aspectos fascinantes da vida de Pitágoras**: além da matemática. BBC NEWS BRASIL. 2023. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/articles/cle6w9e64n5o>. Acesso em: 28 out. 2024.

BALOLA, Raquel. **Philosophiae Naturalis Principia Mathematica**: Trabalho de mestrado que traduz a obra de Isaac Newton (1686). 2010 Dissertação (Faculdade de Letras) - Universidade de Lisboa. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10451/5363>. Acesso em: 28 jun. 2024.

BASSALO, José Maria Filardo. A importância do estudo da história da ciência. **Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, 1992. Disponível em: <https://rbhciencia.emnuvens.com.br/rsbhc/article/view/425>. Acesso em: 28 out. 2024.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. **O ensino de Ciências por investigação**: Condições para implementação em sala de aula. 1 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

FREIRE, Paulo. **Educação como prática de liberdade**. São Paulo: Paz e Terra, 1980.

OURIQUE, Luiz Eduardo. **CÁLCULO COMPUTACIONAL DA SÉRIE DE FOURIER**. 2024. Disponível em: <https://editora.pucrs.br/anais/erematsul/minicursos/calculocomputacional.pdf>. Acesso em: 28 out. 2024.

SANTOS, Victor Kawata; SAMIR, Assuena. A matemática das vibrações mecânicas. **Simpósio de Iniciação Científica, Didática e de Ações Sociais da FEI**, São Bernardo do Campo, 2023. Disponível em: https://fei.edu.br/sites/sicfei/2023/ARTIGO_43.pdf. Acesso em: 2 jul. 2024.

SASSERON, Lúcia Helena. **ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA, ENSINO POR INVESTIGAÇÃO E ARGUMENTAÇÃO**: RELAÇÕES ENTRE CIÊNCIAS DA NATUREZA E ESCOLA. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências. Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-2117201517s04>. Acesso em: 25 set. 2024.

SASSERON, Lúcia Helena; MACHADO, Vitor Fabrício. **Alfabetização científica na prática Inovando a forma de ensinar física**. 1 ed. São Paulo: Livraria da Física, 2017. 108 p.

SILVA, Jonatas Rodrigues. **UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA PARA A ABORDAGEM DO EFEITO FOTOVOLTAICO**. Volta Redonda, 2020 Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) - Universidade Federal Fluminense.

VENCESLAU, Sheyla Maurício Maia. **Modelagem matemática de sistemas vibratórios com aplicação de autovalores**. São Cristóvão, 2015 Dissertação (Mestrado Profissional em Matemática em Rede Nacional) - Universidade Federal de Sergipe. Disponível em: file:///C:/Users/joand/Downloads/SHEYLA_MAUICIO_MAIA_VENCESLAU.pdf. Acesso em: 22 fev. 2024.