MNPEF Mestrado Nacional Profissional em Ensio de Física

PPGEF ensino de física

Jeremias Borges da Silva
André Maurício Brinatti
André Vitor Chaves de Andrade
Silvio Luiz Rutz da Silva
(organizadores)

LUÍS ALEXANDRE RAUCH
ANDRÉ MAURÍCIO BRINATTI
LUIZ FERNANDO PIRES

volume 12

# Nas Cordas dos Instrumentos Musicais

SÉRIE
Produtos Educacionais em Ensino de Física

UEPG - PROEX

SÉRIE

**Produtos Educacionais em Ensino de Física**

Volume 12

LUÍS ALEXANDRE RAUCH

ANDRÉ MAURÍCIO BRINATTI

LUIZ FERNANDO PIRES

# Nas Cordas dos Instrumentos Musicais

Jeremias Borges da Silva
André Maurício Brinatti
André Vitor Chaves de Andrade
Silvio Luiz Rutz Da Silva
(ORGANIZADORES)

UEPG – PROEX
1a. Edição
Ponta Grossa – PR
2018

# UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA

Prof. Dr. Carlos Luciano Sant'Ana Vargas
**REITOR**

Profa. Dra. Gisele Alves de Sá Quimelli
**VICE-REITOR**

Profa. Dra. Marilisa Do Rocio Oliveira
**PRÓ-REITOR DE EXTENSÃO E ASSUNTOS CULTURAIS**

Profa. Dra. Osnara Maria Mongruel Gomes
**PRÓ-REITOR DE PESQUISA E PÓSGRADUAÇÃO**

**PÓS GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA**
**MNPEF - POLO 35 – UEPG**
**MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**
*Colegiado*
Prof. Dr. Jeremias Borges Da Silva (Coordenador)
Prof. Dr. Silvio Luiz Rutz Da Silva (*Vice-Coordenador*)
Prof. Dr. André Maurício Brinatti
Prof. Dr. Luiz Antônio Bastos Bernardes
Prof. Dr. Paulo César Facin

Aluno (*Rep. Discente*)
*Suplentes*
Prof. Dr. André Vitor Chaves de Andrade
Prof. Dr. Júlio Flemming Neto

**SÉRIE:**
PRODUTOS EDUCACIONAIS EM ENSINO DE FÍSICA

**CONSELHO EDITORIAL DA SÉRIE**

Prof. Dr. Alexandre Camilo Junior (UEPG)
Prof. Dr. André Maurício Brinatti (UEPG)
Prof. Dr. André Vitor Chaves de Andrade (UEPG)
Prof. Dr. Antonio Sérgio Magalhães de Castro (UEPG)
Prof. Dr. Gelson Biscaia de Souza (UEPG)
Prof. Dr. Jeremias Borges Da Silva (UEPG)
Prof. Dr. Júlio Flemming Neto (UEPG)
Prof. Dr. Luiz Américo Alves Pereira (UEPG)
Prof. Dr. Luiz Antônio Bastos Bernardes (UEPG)
Prof. Dr. Marcelo Emilio (UEPG)
Prof. Dr. Paulo Cesar Facin (UEPG)
Prof. Dr. Fabio Augusto Meira Cássaro (UEPG)
Prof. Dr. Luiz Fernando Pires (UEPG)
Prof. Dr. Sérgio da Costa Saab (UEPG)
Prof. Dr. Silvio Luiz Rutz Da Silva (UEPG)
Prof. Dr. Gerson Kniphoff da Cruz (UEPG)
Profa. Dra. Josie Agatha Parrilha da Silva (UEPG)
Prof. Dr. Adriano Reinaldo Viçoto Benvenho (UFABC)
Prof. Dr. Awdry Feisser Miquelin (UTFPR)
Prof. Dr. Carlos Alberto de Oliveira Magalhães Jr (UEM)
Profa. Dra. Cleci Werner da Rosa (UPF)
Prof. Dr. José Ricardo Galvão (UTFPR)
Prof. Dr. Hércules Alves de Oliveira Jr. (UTFPR)
Profa. Dra. Iramaia Jorge Cabral de Paulo (UFMT)
Prof. Dr. João Amadeus Pereira Alves (UTFPR)
Prof. Dr. Marco Antonio Moreira (UFRGS)
Prof. Dr. Marcos Antonio Florczak (UTFPR)
Profa. Dra. Sandra Mara Domiciano (UTFPR)
Profa. Dra. Sani de Carvalho Rutz da Silva (UTFPR)

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
AV. CARLOS CAVALCANTI, 4748
CEP 84030-900 – PONTA GROSSA – PARANÁ
http://www3.uepg.br/ppgef/

SÉRIE

**Produtos Educacionais em Ensino de Física**

Volume 12

LUÍS ALEXANDRE RAUCH

ANDRÉ MAURÍCIO BRINATTI

LUIZ FERNANDO PIRES

# Nas Cordas dos Instrumentos Musicais

Jeremias Borges da Silva
André Maurício Brinatti
André Vitor Chaves de Andrade
Silvio Luiz Rutz Da Silva
(ORGANIZADORES)

UEPG – PROEX
1a. Edição
Ponta Grossa – PR
2018

Rauch, Luís Alexandre

R241n Nas cordas dos instrumentos musicais [livro eletrônico] /Luís Alexandre Rauch, André Maurício Brinatti, Luiz Fernando Pires. Ponta Grossa: UEPG/PROEX, 2018. (Série Produtos Educacionais em Física, v. 12).

221 p.; il.; e-book

ISBN: 978-85-63023-34-6

1. Ensino-aprendizagem. 2. Ondas mecânicas. 3. Instrumentos musicais. 4. Oscilações. I. Brinatti, André Maurício. II. Pires, Luiz Fernando. III. T.

CDD: 530

Ficha Catalográfica Elaborada por Maria Luzia F. Bertholino dos Santos - CRB 9/986

Foto da Capa: Aracely Mitsu

Disponível em:

https://pixabay.com/pt/guitarra-pinos-m%C3%BAsica-m%C3%BAsico-2391284/

Este trabalho está licenciado com uma Licença Creative Commons – Atribuição - Não Comercial- Compartilha Igual 4.0 Internacional.

# PREFÁCIO

Durante as últimas décadas, no Brasil se tem conseguido avanços significativos em relação a alfabetização científica, em especial na área do Ensino de Física, nos diversos níveis de ensino, entretanto continua pendente o desafio de melhorar a qualidade da Educação em Ciências. Buscando superar tal desafio a Sociedade Brasileira de Física (SBF) implementou o Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF) que se constitui em um programa nacional de pós-graduação de caráter profissional, voltado a professores de ensino médio e fundamental com ênfase principal em aspectos de conteúdos na Área de Física, resultando em uma ação que engloba diferentes capacidades apresentadas por diversas Instituições de Ensino Superior (IES) distribuídas em todas as regiões do País.

O objetivo do MNPEF é capacitar em nível de mestrado uma fração muito grande de professores da Educação Básica quanto ao domínio de conteúdos de Física e de técnicas atuais de ensino para aplicação em sala de aula como, por exemplo, estratégias que utilizam recursos de mídia eletrônica, tecnológicos e/ou computacionais para motivação, informação, experimentação e demonstrações de diferentes fenômenos físicos.

A abrangência do MNPEF é nacional e universal, ou seja, está presente em todas as regiões do País, sejam elas localizadas em capitais ou estejam afastadas dos grandes centros. Fica então clara a necessidade da colaboração de recursos humanos com formação adequada localizados em diferentes IES. Para tanto, o MNPEF está organizado em Polos Regionais, hospedados por alguma IES, onde ocorrerem as orientações das dissertações e são ministradas as disciplinas do currículo.

A Universidade Estadual de Ponta Grossa, por meio de um grupo de professores do Departamento de Física, faz parte do MNPEF desde o ano de 2014 tendo nesse período proporcionado a oportunidade de aperfeiçoamento para quarenta e cinco professores de Física da Educação Básica, sendo que desses quinze já concluíram o programa tornando-se Mestres em Ensino de Física.

A **Série Produtos Educacionais em Ensino de Física**, que ora apresentamos, consta de vários volumes que correspondem aos produtos

educacionais derivados dos projetos de dissertação de mestrado defendidos. Alguns desses volumes são constituídos de mais de um tomo.

Com essa série o MNPEF - Polo 35 - UEPG, não somente busca entregar materiais instrucionais para o Ensino de Física para professores e estudantes, mas também pretende disponibilizar informação que contribua para a identificação de fatores associados ao Ensino de Física a partir da proposição, execução, reflexão e análise de temas e de metodologias que possibilitem a compreensão do processo de ensino e aprendizagem, pelas vias do ensino e da pesquisa, resultado da formação de docentes-pesquisadores.

A série é resultado de atividade reflexiva, crítica e inovadora aplicada diretamente à atuação profissional do docente, na produção de conhecimento diretamente associado à prospecção de problemas e soluções para o ensino-aprendizagem dos conhecimentos em Física, apresentando estudos e pesquisas que se propõem com suporte teórico para que os profissionais da educação tenham condições de inovar sua prática em termos de compreensão e aplicação da ciência.

A intenção é que a **Série Produtos Educacionais em Ensino de Física** ofereça referências de propostas de Ensino de Física coerentes com as estruturas de pensamento exigidas pela ciência e pela tecnologia, pelo exemplo de suas inserções na realidade educacional, ao mesmo tempo que mostrem como se pode dar tratamento adequado à interdependência de conteúdos para a formação de visão das interconexões dos conteúdos da Física.

***Prof. Dr. Jeremias Borges da Silva***

***Prof. Dr. André Maurício Brinatti***

***Prof. Dr. André Vitor Chaves de Andrade***

***Prof. Dr. Silvio Luiz Rutz Da Silva***

*Organizadores*

## SUMÁRIO

**APRESENTAÇÃO**..... 11

**1 – INTRODUÇÃO**..... 12

**2 – PLANEJAMENTO**..... 14

Questionário investigativo para aplicação do projeto de Mestrado .. 15

Plano de Unidade e Planos de Seção..... 18

Plano de Unidade – Nas cordas dos instrumentos musicais..... 20

Plano de Seção 1 – “Com a corda toda!”..... 25

Slides referentes à Seção 1 – “Com a corda toda!..... 30

Plano de Seção 2 – “Com que frequência?”..... 33

Slides referentes à Seção2 – “Com que frequência?”..... 38

Plano de Seção 3 – “Um balançar legal!”..... 40

Slides referentes à Seção 3 – “Um balançar legal!”..... 46

Plano de Seção 4 – “Um pulso...”..... 49

Slides referentes à Seção 4 – “Um pulso...”..... 57

Plano de Seção 5 – “Com a onda toda!”..... 60

Slides referentes à Seção 5 – “Com a onda toda!”..... 63

Plano de Seção 6 – “Uma onda parada?”..... 65

Slides referentes à Seção 6 – “Uma onda parada?”..... 73

Plano de Seção 7 – “Voltando ao início...”..... 76

Slides referentes à Seção 7 – “Voltando ao início...”..... 81

Plano de Seção 8 – “Um final para o novo começo!”..... 84

**3 – ONDAS MECÂNICAS E INSTRUMENTOS MUSICAIS DE CORDAS**..... 86

3.1 Instrumentos musicais de cordas..... 87

3.2 Movimento Periódico..... 88

3.3 Pêndulo Simples..... 89

3.4 Movimento Harmônico Simples..... 93

3.5 Pulso..... 98

3.5.1 Velocidade de um pulso..... 99

3.5.2 Transporte de energia sem transporte de matéria..... 100

3.5.3 Reflexão de um pulso..... 101

3.5.4 Superposição entre dois pulsos..... 102

3.6 Ondas..... 104

3.7 Ondas Estacionárias..... 108

3.8 Pitágoras na formação da escala musical ocidental..... 113

3.8.1 A contribuição de Zarlino..... 114

3.9 Composição Harmônica..... 116

3.10 Timbre..... 118

**4 – TEXTOS DE APOIO**..... 120

TEXTOS DE APOIO AO PROFESSOR..... 121

Capa – Texto de Apoio ao Professor..... 122

Apresentação – Texto de Apoio ao Professor ..... 123

Seção 1 – “Com a corda toda!” (Professor)..... 124

Seção 2 – “Com que frequência?” (Professor)..... 128

Seção 3 – “Um balançar legal!” (Professor)..... 130

Seção 4 – “Um pulso...” (Professor)..... 134

Seção 5 – “Com a onda toda!” (Professor)..... 139

Seção 6 – “Uma onda parada?” (Professor)..... 144

Seção 7 – “Voltando ao início...” (Professor)..... 150

Seção 8 – “Um final para o novo começo!” (Professor)..... 155

TEXTOS DE APOIO AO EDUCANDO..... 158

Capa– Texto de Apoio ao Educando..... 159

Apresentação – Texto de Apoio ao Educando ..... 160

Seção 1 – “Com a corda toda!” (Educando)..... 161

Seção 2 – “Com que frequência?” (Educando)..... 165

Seção 3 – “Um balançar legal!” (Educando)..... 167

Seção 4 – “Um pulso...” (Educando)..... 171

Seção 5 – “Com a onda toda!” (Educando)..... 176

Seção 6 – “Uma onda parada?” (Educando)..... 181

Seção 7 – “Voltando ao início...” (Educando)..... 187

Seção 8 – “Um final para o novo começo!” (Educando)..... 192

**5 – MANUAIS DE MONTAGEM**..... 194

5.1 Monocórdio de Pitágoras..... 195

5.2 Violão de lata..... 200

5.3 Aparato para o experimento do pêndulo..... 204

5.4 Aparato para o experimento da corda..... 208

5.4.1 Procedimentos de montagem do experimento de corda ..... 213

**6 – VÍDEOS, SLIDES E SIMULAÇÕES**..... 215

**REFERÊNCIAS**..... 217

# APRESENTAÇÃO

O presente conjunto de materiais de apoio e aparatos experimentai denominado **Nas cordas dos instrumentos musicais**[1] foi idealizado tendo por objetivo facilitar a aplicação de aulas para o estudo de ondas mecânicas em cordas, utilizando instrumentos musicais e experimentos demonstrativos, ambos confeccionados com materiais alternativos e de fácil acesso, e materiais de apoio, buscando uma aprendizagem significativa do educando.

O material aqui apresentado contempla uma unidade didática contendo oito seções, distribuídas em doze aulas, material de apoio e aparatos experimentais, o qual está dividido na seguinte estrutura: planejamento (questionário investigativo, plano de unidade e planos de seções), conceitos físicos abordados em sala de aula, Textos de Apoio ao Professor, Textos de Apoio ao Educando, manuais de montagem dos instrumentos musicais e experimentos demonstrativos, além de vídeos, slides e simulações utilizadas em sala de aula.

Vale destacar que cada item contemplado neste Produto é único e independente em sua aplicabilidade, podendo ser trabalhado de forma em separado por parte do professor, caso este deseje utilizar apenas como forma de complementação do seu conteúdo previsto.

Os autores.

[1] Material desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física – Mestrado Profissional, da Universidade Estadual de Ponta Grossa, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF, da Sociedade Brasileira de Física – SBF, como polo 35.

# 1 – INTRODUÇÃO

Existe uma necessidade real para o ensino de Física em buscar o interesse do educando para um aprendizado significativo. Esta necessidade é reforçada quando analisamos os fatores que ocasionam o desinteresse ou a dificuldade no Ensino de Física.

A disciplina é vista pelos professores como sendo de difícil aplicação (Lima, 2011). O problema se torna maior quando se observa o número reduzido de profissionais formados na área (BRASIL, 2008), o que ocasiona prejuízos na qualidade do ensino. Além disso, no que se refere aos educandos Machado (s/ano) apud Gomes (2013) destaca que o excesso de disciplinas no ensino médio é árduo, acarretando a desmotivação e/ou evasão escolar.

Considerando também a realidade dos colégios públicos, e buscando criar alternativas diferenciadas que propiciem o aumento do interesse por parte dos educandos em aprender, foi idealizado o presente Produto, conforme descrito na Apresentação, para o estudo de ondas mecânicas em cordas.

A escolha do tema: ondas mecânicas é justificado porque está previsto nos documentos oficiais como item fundamental do currículo de Física. As Diretrizes Curriculares do Estado do Paraná (PARANÁ, 2008) destacam que o estudo da ondulatória deve ocorrer a partir das ondas mecânicas que, segundo o documento, são perceptíveis no cotidiano do educando. Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (BRASIL, 2002) abordam a necessidade de trabalhar a natureza ondulatória comum à luz e ao som, e reconhecer suas características físicas. O Caderno de Expectativas de Aprendizagem (PARANÁ, 2012), traz a ondulatória no conteúdo estruturante Eletromagnetismo, sendo ressaltada a importância da compreensão, por parte do educando, de vários aspectos, tais como onda como uma perturbação no tempo e no espaço, transporte de energia sem transporte de matéria; conhecimento das grandezas físicas: comprimento de onda, velocidade, período, frequência e amplitude e suas unidades de medida.

Ressalta-se que, para melhor compreensão, o presente Produto contém seis capítulos, este introdutório e mais cinco.

No segundo capítulo estão contemplados os planejamentos realizados para as aulas, como o questionário investigativo aplicado aos educandos e o plano de unidade e planos de seções.

Para o terceiro capítulo são apresentados os conceitos físicos relacionados às ondas mecânicas e aos instrumentos musicais, os quais foram utilizados no decorrer da atividade proposta. Entre os conceitos estão: movimento periódico, movimento harmônico simples, ondas mecânicas, escala pitagórica, entre outros.

No quarto capítulo são apresentados os Textos de Apoio ao Educando onde contém os conceitos físicos abordados na aplicação do produto e transcritos a partir de livros de graduação para uma linguagem de educando de Ensino Médio e também o Texto de Apoio ao Professor que são textos idênticos, porém com as soluções das atividades propostas.

No quinto capítulo são apresentados os manuais de montagem dos instrumentos musicais bem como os aparatos experimentais utilizados durante a aplicação do produto.

Enfim, no sexto e último capítulo apresenta-se a relação dos vídeos, simulação e slides utilizados durante a aplicação do produto.

# 2 –PLANEJAMENTO

O presente capítulo tem o objetivo de preparar inicialmente o professor para aplicação do conteúdo de ondas mecânicas em cordas na sala de aula. Nele está disponível o Questionário Investigativo, o qual proporciona ao professor a realização de uma investigação inicial com os educandos para conhecer a realidade e anseios dos mesmos, além disso, o referido capítulo apresenta o Plano de Unidade e os Planos de Seções, aqui referente às 08 (oito) Seções, que consistem na sistematização das atividades a serem desenvolvidas em sala de aula num determinado período de tempo visando atender a uma sequência didática.

.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA**
**PRÓ REITORIA DE PESQUISA E PÓS–GRADUAÇÃO**
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA – PÓLO 35**

**PROFESSOR MESTRANDO:** Luís Alexandre Rauch
**PROFESSOR ORIENTADOR:** Prof. Dr. André Maurício Brinatti
**PROFESSOR COORIENTADOR**: Prof. Dr. Luiz Fernando Pires

QUESTIONÁRIO INVESTIGATIVO PARA APLICAÇÃO DO PROJETO DE MESTRADO

ELABORAÇÃO DE UM CONJUNTO DE MATERIAIS DE APOIO E APARATOS EXPERIMENTAIS PARA O ESTUDO DE ONDAS MECÂNICAS POR MEIO DE CORDAS

**COLÉGIO** _____

Nome: _____

**GUPO PERFIL DO EDUCANDO**

1 – Você costuma estudar em casa?

( ) Sim. ( ) Não.

2 – Seus pais participam da sua vida escolar, estão interessados com seus estudos e ajudam você nos trabalhos escolares?

( ) Sim. ( ) Não.

3 – Você faz trabalhos e tarefas escolares em casa quando o professor solicita?

( ) Sim. ( ) Não.

4 – Se a resposta anterior for sim, quando os professores pedem trabalho para fazer, ou pesquisar em casa, você procura fazer logo que eles pedem ou deixa para o último dia?

( ) Procuro fazer logo.
( ) Deixo para o último dia.
( ) Faço no dia de entregar o trabalho, na sala antes da aula.
( ) Faço no dia, copiando o trabalho feito por um colega.
( ) Não faço o trabalho.

5 – Você possui computador/notebook em casa ou tem acesso fácil à internet?

( ) Sim. ( ) Não.

6 – Você já fez aulas experimentais, de química, física ou biologia?

( ) Sim. ( ) Não.

7 – Quando os professores fazem aulas experimentais, você consegue entender melhor a matéria, ou associar com conhecimentos do seu dia a dia?

( ) Sim. ( ) Não. ( ) Nunca fiz aula experimental.

**GRUPO MOTIVADOR**

8 – Você gosta de música?

( ) Sim. ( ) Não.

9 – Você tem acesso à música em sua casa?

( ) Sim. ( ) Não.

10 – Você já foi a algum show musical?

( ) Sim. ( ) Não

Se sim qual(is)? _____

11 – Qual o estilo de música você mais gosta?

( ) Rock.
( ) Pop Brasileiro.
( ) Pop Internacional.
( ) Sertanejo.
( ) Música Raiz.
( ) Funk Nacional.
( ) Clássica.
( ) Gospel.
( ) Sou eclético (gosto de todos os tipos de música).
( ) Outro. Qual? _____

12 – Você já chegou a tocar ou simplesmente mexer em algum instrumento musical?

( ) Sim, eu já toquei ou mexi no/na _____.

( ) Não.

13 – Teria interesse em saber tocar algum instrumento?

( ) Sim, eu gostaria de tocar o/a_____.

( ) Não.

**BLOCO QUALIFICADOR**

14 – Quando você vê aqueles desenhos e figuras de música, como por exemplo, estes apresentados aqui

ou

,

você diz que são:

( ) Representação de notas musicais.

( ) Apenas desenhos.

( ) Não quer dizer nada.

( ) São apenas figuras.

15 – Você acredita que sabe definir o que significa uma nota musical?

( ) Sim. ( ) Não.

Se sim, diga: o que é uma nota musical?_____

16 – Quando alguém lhe fala: dó-ré-mi-fá-sol-lá-si-dó, nesta ordem, você diz que:

( ) São somente notas musicais.

( ) É uma escala musical.

( ) Não quer dizer nada.

## Plano de Unidade e Planos de Seção

Para a aplicação do presente Produto foram planejadas 08 (oito) seções, distribuídas em 12 (doze) aulas. Cada seção contemplada nas aulas está relacionada a um assunto específico, buscando apreciar a construção dos conceitos físicos para explicar as ondas mecânicas em cordas.

A Seção 1 consiste em fornecer quatro instrumentos musicais de cordas, diferentes entre si, para que os educandos investiguem a produção do som nestes. Em seguida, é entregue o Texto de Apoio ao Educando referente à Seção 1, onde é realizada a leitura e como atividade os educandos completam lacunas existentes no decorrer deste.

Para a Seção 2 são investigados aparatos e ações como a roda de uma bicicleta girando com uma pequena velocidade, o ponteiro de um relógio analógico e uma baqueta de caixa de bateria utilizada para produzir batidas sobre uma mesa. Em seguida, são abordados os conceitos físicos relativos ao que foi observado, como Movimento Periódico, Período e Frequência. Ao final da aula é entregue o Texto de Apoio ao Educando referente à Seção 2 para a realização da atividade de um caça palavras.

A Seção 3 é composta por duas aulas. A primeira aula tem por finalidade a aplicação do experimento do pêndulo, o qual consiste em dois momentos: a base sob o pêndulo é fixa e a base sob o pêndulo é móvel. Após a realização de tal experimento são estudados os conceitos físicos presentes no aparato. O segundo momento da aula referente à Seção 3 propõe a leitura do Texto de Apoio por parte do educando onde o mesmo deve realizar a atividade ligando os conceitos descritos às suas definições.

Na Seção 4, também composta por duas aulas, consiste no estudo do pulso em uma corda, e suas características físicas. Na primeira aula desta Seção é aplicado o experimento do pulso em duas cordas diferentes, onde são abordados conceitos como densidade linear, tensão e velocidade, além da interferência entre dois pulsos. Na segunda aula referente à Seção 4 realiza-se leitura do Texto de Apoio ao Educando juntamente com o educando e solicita-se a realização da atividade de completar conceitos abordados na aula nas lacunas presentes nas frases.

Na Seção 5 são estudados os conceitos de ondas em uma corda e suas propriedades. Após o desempenho da proposta é fornecido o Texto de Apoio ao Educando referente à Seção 5 para leitura e resolução do exercício.

Em seguida, tem-se a Seção 6, cujo objetivo é o estudo de ondas estacionárias. Esta é dividida em três aulas, sendo a primeira destinada à manipulação e investigação do experimento de corda por parte dos educandos, a segunda aula abrange os conceitos físicos presentes na experimentação, bem como deduções de equações, e a terceira aula a leitura do Texto de Apoio ao Educando com a efetivação dos exercícios.

Como encerramento, no que se refere à formulação dos conceitos físicos relacionados aos instrumentos de cordas, a Seção 7 visa à construção da escala musical ocidental, desenvolvida por Pitágoras ao estudar a relação do som com o comprimento e a tensão de uma corda e adaptada por Zarlino. Além disso, são abordados os conceitos de Timbre e composição harmônica. Esta Seção é finalizada com a realização de um caça palavras como atividade avaliativa.

A fim de contemplar o estudo das ondas mecânicas, a Seção 8 traz dois textos, ambos relacionados a instrumentos musicais de cordas, além de oito questões, divididas entre questões de múltipla escolha, de cálculos e questões descritivas.

Perante a descrição anterior, será apresentado o Plano de Seção, referente à unidade didática elaborada para o estudo de ondas mecânicas em cordas e os Planos de Seção desenvolvidos, para aplicação do Produto.

# PLANO DE UNIDADE
# NAS CORDAS DOS INSTRUMENTOS MUSICAIS

## 1. IDENTIFICAÇÃO

**1.1 CURSO:** Ensino Médio

**1.2 DISCIPLINA:** Física

**1.3 CARGA HORÁRIA:** 12 horas-aula

**1.4 PERÍODO**: Noturno

**1.5 SEMESTRE**: 2º.

**1.6 ANO LETIVO**: 2015

**1.7 PROFESSOR:** Luís Alexandre Rauch

## 2. EMENTA

a) Instrumentos musicais de corda;
b) Movimento periódico, período e frequência;
c) Pêndulo Simples e Movimento harmônico simples;
d) Pulso e suas características;
e) Ondas transversais em cordas;
f) Ondas estacionárias;
g) Escala de Pitágoras, Composição harmônica e Timbre.

## 3. OBJETIVO

Relacionar conceitos de ondas mecânicas às notas musicais produzidas por instrumentos de corda a partir da manipulação de instrumentos musicais de cordas confeccionados com materiais de fácil acesso aliados com a demonstração de experimentos em sala de aula.

## 4. CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

1 – Interação dos educandos com instrumentos musicais de cordas;
2 – Introdução dos conceitos de movimento periódico, período e frequência a partir de demonstrações de materiais como relógio e roda de bicicleta;
3 e 4 – Aula com experimento demonstrativo: Pêndulo Simples;
5 e 6 – Aula com experimento demonstrativo: Pulso em uma corda;
7 – Ondas transversais em uma corda;
8, 9 e 10 – Aula com experimento demonstrativo: Experimento da corda – conceito de ondas estacionárias;
11 – Apresentação da criação da Escala de Pitágoras, introdução de conceitos de composição harmônica e timbre;
12 – Atividade Avaliativa: interpretação de texto e cálculos para determinação de velocidade de onda e comprimento de corda.

## 5. METODOLOGIA

Os temas de cada aula serão desenvolvidos a partir de uma problematização inicial simplesmente com questionamentos ou com uso de vídeos promovendo a participação ativa dos educandos.

Em seguida, o assunto será abordado a partir de experimentos demonstrativos, vídeos, simulações e instrumentos musicais de acordo com cada aula e os educandos serão instigados a desenvolver os conceitos físicos apresentados naquela situação.

O encerramento do assunto será feito com a retomada da problematização inicial, com a leitura do Texto de Apoio ao Educando e realização do exercício proposto no mesmo.

## 6. AVALIAÇÃO

AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM

A avaliação será realizada de forma continuada, com enfoque qualitativo do aprendizado do educando, por meio de observações em sala a respeito do interesse e participação do mesmo no processo de ensino-aprendizagem. Além disso, serão avaliadas as resoluções feitas pelo educando ao final de cada Texto de Apoio ao Educando fornecido a este de forma quantitativa.

INSTRUMENTOS

Como instrumentos de avaliação, serão realizados no decorrer das aulas:
I – observações no decorrer das aulas de forma qualitativa;
II – resolução de exercícios e atividades contidos no Texto de Apoio ao Educando de forma quantitativa;
III – Avaliação escrita de forma quantitativa.

CRITÉRIOS

Como critérios de avaliação tem-se como base nos PCN+ - Ensino Médio, onde deve-se ter “Uma aula com diálogo, na qual os alunos fazem uso da palavra para manifestar suas ideias, pode ser fonte de informação para o professor conhecer como pensam seus alunos, podendo detectar suas dificuldades, problemas de aprendizagem e interesses.” (BRASIL, 2002, p. 110). Esta forma, além de ser um processo avaliativo torna a aula mais dinâmica, despertando o interesse do educando.

Contudo tem-se a necessidade das avaliações formais, “Apresentações escritas e orais feitas pelos alunos também podem dar pistas ao professor de conceitos malformados, possíveis lacunas, e servir como instrumento de replanejamento de ações.” (BRASIL, 2002, p.110)

## 7. BIBLIOGRAFIA

### BIBLIOGRAFIA BÁSICA

CAMPAGNOLI, D.. **Instrumentos de corda**. Violinando.com – Tudo sobre Violino. 2014. Disponível em:<http://violinando.com/instrumentos-de-cordas/>. Acesso em: 08 Out. 2015.

FERNANDES, N.. **Como surgiram os instrumentos musicais**. 2010. Disponível em: <http://www.dgabc.com.br/Noticia/101965/como-surgiram-os-instrumentos-musicais>. Acesso em:08 Out. 2015.

GRUPO VIRTOUS. **Frequência de uma onda**. Disponível em: http://www.sobiologia.com.br/conteudos/oitava_serie/Ondas2.php. Acesso em 29 Out. 2015.

GRUPO VIRTOUS – Tecnologia Educacional. **Reflexão de ondas**. Disponível em: http://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/Ondas/reflexao.php. Acesso em 20 Out. 2015.

HALLIDAY, D. RESNICK. R. WALKER, J.. **Fundamentos da Física**. Rio de Janeiro: LTC, 2009. v.2.

HERRERO, Raul. **Pitágoras em el momento del triunfo del cristianismo.** Disponível em: <http://raulherrero.blogia.com/2006/071801-pitagoras-en-el-momento-del-triunfo-del-cristianismo.php>. Acesso em: 28 mai. 2016.

HEWITT, P. G.. **Física Conceitual**. 9ªed. São Paulo: Bookman, 2002.

LOPES, Wilson. **Variação da aceleração da gravidade com a latitude e altitude.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 25, n. 3: p. 561-568, dez. 2008. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/issue/view/1160. Acesso em: 28 Nov. 2015.

MHS – **Movimento oscilatório e periódico**. Disponível em: http://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/MHS/movpereosc.php. Acesso em 12 Out. 2015.

MUSICAL MENDELSSOHN. **Instrumentos de Corda**. Disponível em: <http://www.musicalmendelssohn.com/#!cordas/c1bhy>. Acesso em 04 Out. 2015.

**Note the diferente timbres below.** Disponível em: http://www.simplifyingtheory.com/timbre/. Acesso em: 26 Jun. 2016.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica vol. 2**. 4ª ed. Edgard Blucher, 2002.

PASCOAL , E. G.. **Instrumentos: origem e classificação**. Banda Musical da casa do povo de Vilarandelo. Disponível em: <http://www.angelfire.com/musicals/bandadevilarandelo/instrumentos.htm>. Acesso em 04 Out. 2015.

ORTEGA, G.. **A Harpa e seu mistério**. DEMAP – Adoração Irresistível. Disponível em: <http://www.adoracaoirresistivel.com/2015/05/a-harpa-e-seu-misterio/>. Acesso em 08 Out. 2015.

**Pitágoras**. Disponível em: http://pensador.uol.com.br/autor/pitagoras/. Acesso em: 25 dez. 2015.

RODRIGUES, A.. **A história dos instrumentos**. 2011. Disponível em: <http://www.movimento.com/2011/09/a-historia-dos-instrumentos/>. Acesso em:04 Out. 2015.

SANTIAGO. E. **Berimbau**. Disponível em: <http://www.infoescola.com/musica/berimbau/>. Acesso em:12 Out. 2015.

SILVA, Junior. **O que é frequência elétrica?** Disponível em: http://www.eletricante.com.br/2012/07/o-que-e-frequencia-eletrica.html. Acesso em 21 Out. 2015.

WUENSCHE, C. A. **A física da música**. Disponível em:<http://www.cea.inpe.br/~alex/FisicadaMusica/fisica_da_musica.pdf>, 2005. Acesso em 04 Dez. 2015.

YOUNG, D. H.. FREEDMAN R. A. **Física II**. 10. ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2003.

## BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

BRASIL/MEC. **Parâmetros Curriculares Nacionais: PCN+ Ensino Médio. Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias.** Brasília: MEC/SENTEC, 2002.

INSTITUTO DE FÍSICA DA USP. **Tabela de densidades lineares de fios de nylon.** Disponível em: http://portal.if.usp.br/labdid/pt-br/tabelas-e-constantes. Acesso em: 28 Nov. 2015.

## PLANO DE SEÇÃO 1: Com a corda toda!

**IDENTIFICAÇÃO:** Colégio_____

**CURSO:** Ensino Médio

**DISCIPLINA:** Física

**PROFESSOR:** Luís Alexandre Rauch

**SÉRIE:** 2º Ano

**CARGA HORÁRIA:** 50 minutos

**UNIDADE DIDÁTICA:** Nas cordas dos instrumentos musicais

**TEMA:** Ondas Mecânicas

**ASSUNTO:** Introdução ao estudo de Ondas Mecânicas

### COMPETÊNCIAS E HABILIDADES

- Ler e interpretar textos de interesse científico e tecnológico;
- Exprimir-se oralmente com correção e clareza usando a terminologia correta;
- Reconhecer o sentido histórico da ciência e da tecnologia, percebendo seu papel na vida humana em diferentes épocas e na capacidade humana de transformar o meio.
- Formular questões a partir de situações reais e compreender àquelas já enunciadas.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Participar junto à equipe investigando os instrumentos oferecidos;
- Manipular os instrumentos musicais;
- Ouvir os diferentes sons produzidos pelos instrumentos;
- Estabelecer relações entre os sons produzidos por dois instrumentos musicais diferentes;
- Demonstrar interesse pelo material proposto pelo professor.

**MOMENTOS DA AULA**

**1 – Introdução/Incentivação: (05minutos)**

Como introdução à aula o professor apresenta o vídeo “Como se ven las cuerdas dentro de la guitarr” com o auxílio da TVPendrive ou data show, o qual contém uma gravação feita por meio de um celular Iphone mostrando a formação das ondas nas cordas quando tocadas.

Em seguida, é feita a pergunta: “Por que ocorrem aqueles formatos na corda do violão apresentados no vídeo?”.

Prováveis respostas esperadas:

- Acho que depende da corda do violão;
- Porque as cordas do violão são muito esticadas;

Neste momento o professor solicita que os educandos se organizem em 4 equipes.

Enquanto ocorre a organização da sala, o professor comente que cada equipe receberá um instrumento musical (um violão rústico ou um monocórdio) e orienta quanto ao seu manuseio, solicitando que procurem perceber as diferenças e semelhanças entre os sons, bem como os tipos de sons que se consegue produzir com cada instrumento apresentado.

**2 – Desenvolvimento: (35 minutos)**

O professor apresentados dois monocórdios e os dois violões para a turma inteira e solicita que os educandos deem alguma característica que podem observar

Possíveis respostas esperadas:

- Todos eles possuem cordas;
- O monocórdio e o violão possuem tamanhos diferentes;
- Os furos das tampas dos monocórdios são diferentes.

Em seguida, o professor faz uma breve explicação sobre cada instrumento como complementação e também realiza possíveis correções.

É comentado que será fornecido um instrumento para cada equipe, orientando que cada uma terá 3 (três) minutos para manusear o instrumento,

solicitando que todos os membros da equipem o manipule, investigando a sua construção e tentando tirar som no mesmo, da forma que preferir.

Fornece-se um instrumento para cada equipe, e a cada e (três) minutos, solicita-se então que troquem o instrumento com outra equipe.

Após todos os educandos terem tido contato com todos os instrumentos, é fornecido as pastas contendo o primeiro texto (seção 01) para os educandos, orientando quanto à responsabilidade do cuidado das mesmas e do compromisso de levar as pastas em todas as aulas.

É realizada a leitura do texto junto aos educandos. Com o auxílio do Datashow, são apresentados slides referentes à apresentação “Seção 1 – Com a corda toda!”, o qual contém pontos principais contidos no texto e apresenta fotos de alguns detalhes dos instrumentos. Este processo se dá de forma dinâmica e, concomitantemente às intervenções feitas pelo professor, são permitidos comentários, observações e experiências dos alunos com alguns dos instrumentos apresentados promovendo o enriquecimento da aula. Sendo que são esperados comentários, observações e experiências tais como:

- Professor, eu já toquei cavaquinho, que é igual um violão mais curto, e o som dele é mais “fino”;
- Professor, eu já fui assistir uma orquestra tocar, e lá tem um monte de violinos que tocam junto;
- Professor, um canhoto consegue tocar um violão normalmente?

E também são sanadas possíveis dúvidas que surgirem e no decorrer do preenchendo das lacunas presentes no texto. Este procedimento final do desenvolvimento ocorre simultaneamente ao momento de síntese integradora e processo de avaliação.

**3 – Síntese Integradora: (10 minutos)**

Se dá durante o processo de leitura do texto, apresentação de slides com fotos de alguns detalhes dos instrumentos e preenchimento das lacunas presentes no texto. Assim sendo em conjunto com o procedimento final do desenvolvimento, de forma dinâmica como citado no próprio desenvolvimento, uma vez que são permitidos comentários, dúvidas, observações e experiências

dos alunos com alguns dos instrumentos apresentados promovendo o enriquecimento da aula.

Antes do fechamento, é apresentado o último slide da apresentação “Seção 1 – Com a corda toda!” contendo a ordem das palavras a serem preenchidas nas lacunas, onde os educandos fazem sua conferência.

**AVALIAÇÃO**

Feita de uma forma qualitativa, a partir de observações feitas no decorrer da aula com base no interesse, na participação e na interação dos educandos com os instrumentos musicais.

Poderá ser realizada de forma quantitativa, analisando o preenchimento das lacunas após o final do desenvolvimento.

**RECURSOS FÍSICOS:**

Para a aula são utilizados:

- Datashow ou TV Pendrive;
- Apresentação “Seção 1 – Com a corda toda!”, disponível no material do professor e reproduzido nas observações deste plano;
- Instrumentos musicais (2 violões rudimentares com encordoamentos diferentes e 2 monocórdios de Pitágoras com encordoamentos diferentes);
- Pasta contendo apresentação e texto de apoio ao educando referente à Seção 1;
- Vídeo “Como se ven las cuerdas dentro de la guitarra”, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=xYcSy146LAM>.

**BIBLIOGRAFIA:**

FERNANDES, N.. **Como surgiram os instrumentos musicais**. 2010. Disponível em: <http://www.dgabc.com.br/Noticia/101965/como-surgiram-os-instrumentos-musicais>. Acesso em: 08 Out. 2015.

PASCOAL , E. G.. **Instrumentos: origem e classificação**. Banda Musical da casa do povo de Vilarandelo. Disponível em:

<http://www.angelfire.com/musicals/bandadevilarandelo/instrumentos.htm>. Acesso em 04 Out. 2015.

ORTEGA, G.. **A Harpa e seu mistério**. DEMAP – Adoração Irresistível. Disponível em: <http://www.adoracaoirresistivel.com/2015/05/a-harpa-e-seu-misterio/>. Acesso em 08 Out. 2015.

CAMPAGNOLI, D.. **Instrumentos de corda**. Violinando.com – Tudo sobre Violino. 2014. Disponível em:<http://violinando.com/instrumentos-de-cordas/>. Acesso em: 08 Out. 2015.

MUSICAL MENDELSSOHN. **Instrumentos de Corda**. Disponível em: <http://www.musicalmendelssohn.com/#!cordas/c1bhy>. Acesso em 04 Out. 2015.

RODRIGUES, A.. **A história dos instrumentos**. 2011. Disponível em: <http://www.movimento.com/2011/09/a-historia-dos-instrumentos/>. Acesso em: 04 Out. 2015.

SANTIAGO. E.. **Berimbau**. Disponível em: <http://www.infoescola.com/musica/berimbau/>. Acesso em: 12 Out. 2015.

**OBERVAÇÕES:**

- Como pré-requisito, o educando deverá conhecer a utilização de cronômetro e calculadora.
- Para a aplicação da aula, caso o professor não possua conhecimento prévio sobre instrumentos musicais, sugere-se a leitura dos trabalhos apresentados na bibliografia.
- Se houver a possibilidade de serem levados outros instrumentos de cordas além dos citados, como um violino, poderão ser formadas mais equipes e a aula ficará mais produtiva.
- Na impossibilidade de utilização do datashow em sala de aula por motivos diversos, o professor pode apresentar o vídeo proposto na introdução, bem como a apresentação “Seção 1 – Com a corda toda!” junto à TV Pendrive.

Slides referentes à Seção 1 – “Com a corda toda!”

**MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA – POLO 35 - UEPG**

Luís Alexandre Rauch[1*], Luís Fernando Pires [1], André Maurício Brinatti[2]
[1] Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física / Universidade Estadual de Ponta Grossa/ UEPG, PR, Brasil.
[12] Departamento de Física/ Universidade Estadual de Ponta Grossa/ UEPG, PR, Brasil

Colégio _____

## Com a corda toda!

Prof. Luís Alexandre Rauch

## Instrumentos Musicais

- Os instrumentos musicais fazem parte do ser humano desde o seu surgimento na Terra.
- Dentre os tipos de instrumentos musicais, destacam-se os **Instrumentos de corda**
  - Tamanhos e espessuras diferentes

Monocórdio
Fonte: O autor

Violão de lata
Fonte: O autor

- Classificação dos instrumentos de cordas:
- De acordo como são tocados.
  - Instrumentos de cordas **friccionadas**
  - Instrumentos de cordas **dedilhadas**
  - Instrumentos de cordas **percutidas**

## Instrumentos de cordas friccionadas

- O som é emitido através de cordas postas em vibração, pelo atrito entre as cordas e um arco
- Violino

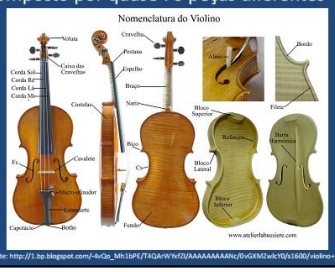
Fonte: O autor

- Violoncelo

Fonte: O autor

## Violino

- Composto por quase 70 peças diferentes



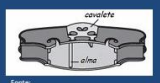

Fonte: http://1.bp.blogspot.com/-4vQp_Mh1bPE/T4QArWYxf2I/AAAAAAAAANc/DvGXM2wIcY0/s1600/violino+1.jpg

- Interior
  - cadeira ou barra harmônica

Fonte: http://en.sergedrijakoff-luthier.com/mbFiles/images/galeries/thumbs/800x600/_46294106.jpg

  - Alma

Fonte: http://img.clasf.com.br/2015/03/09/Alma-Para-Violino-20150309154018.jpg




Fonte: http://musicartgaruva.blogspot.com.br/2012/02/curiosidades-do-violino.html

- Parte superior

http://viola-de-arco.blogspot.com.br/2009/02/8partes-da-viola-moderna.html

- Cavalete

Fonte: https://toquevioline.wordpress.com/como-adquirir-um-violino/

Orquestra Sinfônica

Fonte: http://agoraarioclaro.com.br/2.0/concerto-da-orquestra-sinfonica-em-rio-claro/

Quarteto de câmara

Fonte: http://www.midiorama.com.br/wp-content/gallery/quarteto-borodin-2013/foto-quarteto-borodin-2013-04.jpg

## Violoncelo

- Instrumento de timbre grave e aveludado, com função de reforçar os baixos da orquestra.

Fonte: https://tse3.mm.bing.net/th?id=OIP.M82eda224ebd5b22ac719b14a7a91d55ao0&pid=15.1

Exercia papel secundário juntamente com o Cravo

Fonte: https://tse1.mm.bing.net/th?id=OIP.Ma894760288ae037723c0a60d0ed1195o0&pid=15.1

Substituto da viola da gamba

## Instrumentos de cordas dedilhadas

- O som é produzido a partir da vibração das cordas após serem dedilhadas com os dedos ou por palhetas.

## Violão

- O mais popular dos instrumentos de cordas dedilhadas;
- Também conhecido como "guitarra espanhola";
- Consta com uma caixa de ressonância e um braço com 19 trastes que termina numa cravelha.

Fonte: https://tse1.mm.bing.net/th?id=OIP.M7b60259fb50e5d43109e891427ebf63bo0&pid=15.1

trastes

Fonte: http://i.ebayimg.com/00/s/NjAwWDYwMA==/z/HZEAAOxy79!5aNmo/$(KGrHqRHUOQFioCqBC2BS,NmnpIT!~~60_12.JPG?set_id=880000500F

cravelha

## Harpa

- Talvez o mais antigo dos instrumentos – registros de 3000 a.C. em um túmulo na Mesopotâmia;
- Tem construção sempre triangular, lembrando um arco de caça;
- A harpa utilizada nas orquestras possui cerca de 46 cordas, compreendendo seis oitavas e meia.

Fonte: https://tse1.mm.bing.net/th?id=OIP.Mc1d54407fdbeb41a55de0d111b7a8a4o0&pid=15.1

## Instrumentos de cordas percutidas

O som é produzido a partir da vibração das cordas após serem percutidas.

Piano

Fonte: O autor.

berimbau

Fonte: http://www.geledes.org.br/plano-de-aula-arte-literaria-e-processos-de-identidade-etnico-racial-dos-afro-brasileiros/

## Piano

- O som é produzido por peças feitas de madeira e cobertas com feltro macio, denominado martelo;
- O martelo é acionado por um teclado, onde toca na corda esticada.
- As cordas vibram e produzem o som

Fonte: O autor.

Martelo

Fonte: O autor.

## Berimbau

- É um instrumento de percussão, porém, é tocado através de uma corda.

Fonte: http://www.geledes.org.br/plano-de-aula-arte-literaria-e-processos-de-identidade-etnico-racial-dos-afro-brasileiros

- Comum em rodas de capoeira, mas também está presente em outros contextos, como as celebrações de candomblé-de-caboclo.

- Composto por uma cabaça, um arco chamado biriba, envergado por um cabo de arame, o qual é percutido por uma baqueta.
- o instrumentista segura uma pedra chamada de dobrão que é levado de encontro ao arame, causando variação nos tons emitidos pelo arco

cabaça

Fonte: http://venenodanoite.blogspot.com.br/2012/01/b-e-r-i-m-bu-cabaca.html

baqueta

Fonte: https://tse2.mm.bing.net/th?id=OIP.M1a8a4d92bb5cfd94270287e1f5229b12fo0&pid=15.1

caxixi

Fonte: http://capoeiraaltoastral.files.wordpress.com/2011/10/caxixi.jpg

dobrão

Fonte: https://tse3.mm.bing.net/th?id=OIP.Mc951197121f6bc27be43a3dff74c0946o0&pid=15.1

## Ordem das palavras das lacunas

- Instrumentos
- Cordas
- Tamanhos
- Espessuras
- Violão
- Monocórdio
- Friccionadas
- Atrito
- Ressonância
- Grave
- Comprimento
- Dedilhadas
- Vibração
- Percutidas
- Madeira
- Teclado
- Esticadas
- Vibram
- Percussão
- Arame
- Baqueta
- Variação

FIM

## PLANO DE SEÇÃO 2: Com que frequência?

**IDENTIFICAÇÃO:** Colégio_____
**CURSO:** Ensino Médio
**DISCIPLINA:** Física
**PROFESSOR:** Luís Alexandre Rauch
**SÉRIE:** 2º Ano
**CARGA HORÁRIA:** 50 minutos
**UNIDADE DIDÁTICA:** Nas cordas dos instrumentos musicais
**TEMA:** Ondas Mecânicas
**ASSUNTO:** Movimento periódico, período e frequência.

### COMPETÊNCIAS E HABILIDADES

- Utilizar instrumentos de medição e de cálculo;
- Ler e interpretar textos de interesse científico e tecnológico;
- Interpretar e criticar resultados a partir de experimentos e demonstrações.
- Fazer uso dos conhecimentos da Física para explicar o mundo natural e planejar, executar e avaliar intervenções práticas.

### OBJETIVOS

- Realizar medições de tempo e números de rotações;
- Relacionar período com frequência;
- Calcular o período e a frequência de um movimento.

### MOMENTOS DA AULA

**1 – Introdução/Incentivação: (10 minutos)**

Solicitando que os educandos prestem atenção nos movimentos produzidos pelo professor, este com o auxílio de um pedaço de madeira provoca batidas repetidas e regulares na mesa. Logo em seguida, com uma roda de bicicleta contendo um marca no pneu (ou no aro), faz esta girar com uma determinada velocidade (pequena, de preferência), solicitando aos

educandos que observem a marca passando por um determinado local (a caixa do apagador, por exemplo), e por fim, apresenta um relógio para a turma e solicita que as equipes observem o movimento dos ponteiros dos segundos.

Feita a apresentação o professor apresenta, com o auxílio do multimídia ou da TV Pendrive, o segundo slide da apresentação “Seção 2 – Com que frequência?” e solicita para que os educandos tentem achar uma relação entre o que foi mostrado. O professor anota no quadro as possíveis respostas, as quais podem ser:

- O tempo entre os movimentos são iguais;
- Não há relação nenhuma;
- Dá a ideia de movimento.

**2 – Desenvolvimento: (35 minutos)**

À medida que a explicação dos conceitos vão sendo fornecidos, o professor apresenta a sequência dos slides contidos na apresentação “Seção 2 – Com que frequência?”.

Depois de anotadas as possíveis respostas no quadro, o professor explica o conceito de movimento periódico a partir dos materiais apresentados na introdução da aula, mostrando que:

- As batidas realizadas na mesa foram feitas sempre com o mesmo intervalo de tempo;
- A marca na roda da bicicleta passou pelo local demarcado pelo professor no mesmo intervalo de tempo;

Ou seja, ambos os movimentos (da mão ao bater e da marca na roda ao girar) se repetiam de forma regular.

Em seguida, com o auxílio do relógio, o professor explica aos educandos o movimento dos ponteiros do relógio, demonstrando que os mesmos demoram certo tempo para dar uma volta completa, e que este tempo é chamado na Física de período. A partir disso, o professor gira a roda da bicicleta contendo a marca no pneu (ou aro) com uma pequena velocidade e solicita que os educados percebam que a marca demora certo tempo para dar uma volta completa e que este tempo é também denominado período.

A partir do exposto anteriormente, é mostrado aos educandos o relógio e solicita que estes observem o período do ponteiro dos segundos e anotem em seu caderno.

Com a roda novamente, aumenta-se a sua rotação e faz com que os educandos percebam que esta realiza várias voltas em um determinado intervalo de tempo, e que esta relação do número de voltas pelo intervalo de tempo é denominada frequência.

Solicita-se que os educandos que possuam cronômetro em seu celular o utilizem e quem não tem, o professor fornece um cronômetro. Em seguida são orientados que a roda estará girando. Estes acionam o cronômetro e começam a realizar a contagem do número de rotações que desejar. Assim que terminarem a contagem, pausem o cronômetro.

Os educandos são orientados a anotar o número de voltas contadas e o tempo medido no cronômetro no seu caderno.

Realiza-se a explicação da unidade de medida de frequência – hertz (1/s), mostrando que a unidade de medida do número de vezes que algo se repete é adimensional, ou seja, não possui unidade e medida, sendo por isso representado pelo número 1.

É fornecido o texto de apoio aos educandos e solicitado que estes o leiam em silêncio, completando as lacunas pertinentes com os valores que estes anotaram no rascunho e também, caso seja necessário, que perguntem sobre as possíveis dúvidas que ocorrerem no decorrer do texto.

Após lido o texto os educandos realizam individualmente o exercício proposto no final do texto.

**3 – Síntese Integradora (05 minutos)**

Ao final da aula o professor solicita que os educandos entreguem a folha 2 (colocando o nome na mesma) que será corrigida e entregue na aula seguinte para arquivamento.

**AVALIAÇÃO**

Feita de uma forma qualitativa, a partir de observações no decorrer da aula com base no interesse, na participação e na interação dos educandos. E de forma quantitativa, analisando o a resolução do caça palavras após o final do desenvolvimento.

**RECURSOS FÍSICOS:**

Para a aula são utilizados:

- Quadro negro;
- Giz;
- datashow ou TV Pendrive;
- Apresentação "Seção 2 – Com que frequência?", disponível no material do professor e reproduzido nas observações deste plano;
- baqueta de bateria;
- Relógio;
- Roda de bicicleta contendo uma marca no pneu;
- Cronômetros;
- Calculadora;
- Texto de apoio ao educando – Seção 2**.**

**BIBLIOGRAFIA:**

MHS – Movimento oscilatório e periódico. Disponível em: http://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/MHS/movpereosc.php. Acesso em 12 Out. 2015.

HALLIDAY, D. RESNICK. R. WALKER, J.. **Fundamentos da Física**. Rio de Janeiro: LTC, 2009. v.2.

YOUNG, D. H.. FREEDMAN R. A.. **Física II**. 10. ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2003.

SILVA, Junior. **O que é frequência elétrica?** Disponível em: http://www.eletricante.com.br/2012/07/o-que-e-frequencia-eletrica.html. Acesso em 21 Out. 2015.

GRUPO VIRTOUS. **Frequência de uma onda**. Disponível em: http://www.sobiologia.com.br/conteudos/oitava_serie/Ondas2.php. Acesso em 29 Out. 2015.

**OBERVAÇÕES:**

- Se o professor desejar, poderá levar materiais alternativos para enriquecer a explicação, como um objeto preso à extremidade de um barbante (pêndulo);
- Na impossibilidade de conseguir uma baqueta de bateria, a mesma pode ser trocada por um pedaço de madeira (pedaço de cabo de vassoura, por exemplo);
- Na impossibilidade de utilização do datashow em sala de aula por motivos diversos, o professor pode realizar a apresentação “Seção 2 – Com que frequência?” junto à TV Pendrive.

Slides referentes à Seção 2 – “Com que frequência?”

## Seção 02

Fonte: O autor.

Com que Frequência?

## Qual a relação???

Fonte: https://tse4.mm.bing.net/th?id=OIP.Mcbd88ae5a1cf8cca9a3bdc804e6f6f7300&pid=15.1

Fonte: O autor.

Fonte: O autor.

## Movimento periódico

- Quando um determinado movimento se repete em intervalos de tempos iguais, como a roda de uma bicicleta passando por um ponto de referência, denomina-se movimento periódico
- 1 volta completa - ciclo

Fonte: O autor.

## Período

- Tempo necessário para o ponteiro do relógio dar uma volta completa em torno de um ponto de referência.

**O período do ponteiro dos segundos do relógio é de**

T = _____ s

## Período

- Tempo necessário para o ponteiro do relógio dar uma volta completa em torno de um ponto de referência.

**O período do ponteiro dos segundos do relógio é de**

T = _60_ s

## Frequência

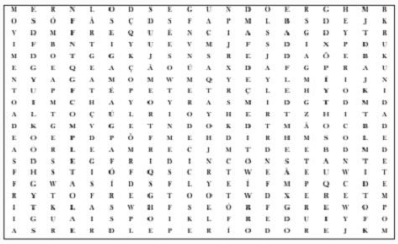
- É o número de ciclos completos que um ponto realiza em determinado intervalo de tempo
- Número de voltas: _____
- Tempo medido: _____ s

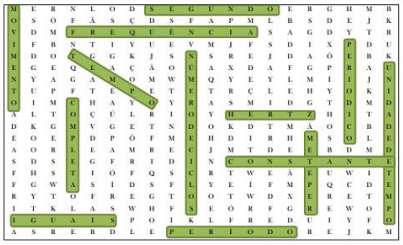
$$f = \frac{número\ de\ voltas}{intervalo\ de\ tempo}$$

Sistema Internacional de unidades

$f = \frac{1}{s}$ = hertz (Hz)

**Ex.**: Ao se colocar uma frequência de 440Hz (nota lá) em um gerador de frequências, o alto-falante vibra 440 vezes por segundo.





FIM

## PLANO DE SEÇÃO 3: Um balançar legal!

**IDENTIFICAÇÃO:** Colégio_____

**CURSO:** Ensino Médio

**DISCIPLINA:** Física

**PROFESSOR:** Luís Alexandre Rauch

**SÉRIE:** 2º Ano

**CARGA HORÁRIA:** 100 minutos

**UNIDADE DIDÁTICA:** Nas cordas dos instrumentos musicais

**TEMA:** Ondas Mecânicas

**ASSUNTO:** Movimento Harmônico Simples

### COMPETÊNCIAS E HABILIDADES

- Ler e interpretar textos de interesse científico e tecnológico;
- Utilizar instrumentos de medição e de cálculo;
- Interpretar e criticar resultados a partir de experimentos e demonstrações.
- Fazer uso dos conhecimentos da Física para explicar o mundo natural e planejar, executar e avaliar intervenções práticas.

### OBJETIVOS

- Explicar o conceito de Movimento Harmônico Simples;
- Verificar informações básicas como período, frequência e amplitude de uma onda senoidal;

### MOMENTOS DA AULA

A seção foi dividida em duas aulas, onde estão contidos os momentos relativos a cada uma das aulas.

## AULA 1

**1 – Introdução/Motivação: (15 minutos)**

Como introdução o professor organiza o experimento do pêndulo no meio da sala, dispondo os educandos organizados nas laterais. O professor faz uma ligeira explanação sobre o que é um pêndulo e procede com os seguintes passos:

- Coloca o papel pequeno com marcação do eixo XY sob o pêndulo e faz com que este realize duas ou três oscilações para que o líquido marque uma reta no papel – **nesta etapa mantém-se a base fixa**, em seguida, solicita que os educandos observem o formato da marcação do papel;
- Repete o experimento, agora com o papel de comprido maior, contendo a marcação do eixo de coordenadas YT; ao soltar o pêndulo, com uma amplitude maior, puxa o papel com **velocidade constante**, onde o líquido marca o papel no formato de uma linha curva.

Após a realização dos experimentos, faz a seguinte pergunta aos educandos: Quais as diferenças observadas?

Sendo que são esperados comentários, observações e experiências tais como:

- Em um papel tem uma linha reta e no outro tem uma linha curva;
- Em um o papel se moveu e no outro não.

**2 – Desenvolvimento: (25 minutos)**

Mantendo-se ainda a organização da sala, com o papel contendo a marcação reta, o professor explica o movimento do pêndulo sobre o eixo y, onde este sai de uma extremidade (amplitude máxima para cima), passa pela origem (ponto de equilíbrio), chega à outra extremidade (amplitude máxima para baixo), passa pela origem novamente (ponto de equilíbrio) e retorna ao ponto de partida (amplitude máxima), contemplando um ciclo, e que este ciclo se repete várias vezes, onde se dá, com as devidas aproximações, pois se trata de um aparato onde a massa não é constante e que há perdas por atrito, por exemplo, o conceito de Movimento Harmônico Simples.

Comenta que o movimento realizado pelo pêndulo sempre se repete, faz um paralelo com o movimento periódico estudado na aula da seção 2, e também que o intervalo de tempo entre duas oscilações completas, em pequeno ângulo, com as devidas aproximações, é sempre o mesmo.

O professor então mostra aos educandos o papel contendo a marcação feita quando a base é puxada com velocidade constante, onde explica o desenho formado – posição do pêndulo no decorrer do tempo e que aquele desenho corresponde ao desenho de uma senóide.

O professor retoma ao conceito de período, fazendo uma marcação de tempo hipotética no papel (próximo do real e devidamente determinado antes da aula com amplitudes pré-estabelecidas), mostrar que é possível medir o período observando o tempo que o pêndulo levou para fazer uma oscilação completa. Então solicita aos educandos que anotem o valor do período demonstrado na folha de papel.

Comenta com os educandos que é possível calcular a velocidade com que foi puxado o papel a partir da distância da marca e do tempo anotado no papel.

Em um novo papel com os eixos YT demarcados, o professor faz novamente procedimento similar ao anterior, onde desloca o pêndulo com um ângulo menor em relação ao ponto de equilíbrio, proporcionando uma amplitude menor do pêndulo.

Mostra então os papéis com as duas marcações (o com maior e menor oscilação), e solicita que os educandos comentem da diferença entre eles, onde é apresentado o conceito de amplitude, mostrando a distância da reta central ao pico máximo e mínimo, e que a amplitude está relacionada com a energia do movimento (quanto maior a amplitude, maior será a energia);

Como encerramento da atividade experimental, o professor comenta que é possível chegar ao conceito de frequência no movimento oscilatório, a partir da marcação de tempo hipotética (aproximada da real) no papel e solicita que os educandos forneçam ideias de como calcular a frequência.

**3 – Síntese Integradora (10 minutos)**

Como finalização da aula, o professor faz um breve resumo do que foi realizado na aula e sana possíveis dúvidas e curiosidades que surgirem.

**AVALIAÇÃO**

Feita de uma forma qualitativa, a partir de observações feitas no decorrer da aula com base no interesse, na participação e na interação dos educandos.

**RECURSOS FÍSICOS:**

Para a aula serão utilizados:

- Quadro negro;
- Giz;
- Experimento do pêndulo com líquido colorido;
- Tiras de papel kraft 40 cm de largura com marcações de eixos xy e yt;
- Régua;

**BIBLIOGRAFIA:**

HEWITT, P. G.. **Física Conceitual**. 9ªed. São Paulo: Bookman, 2002.

HALLIDAY, D. RESNICK. R. WALKER, J.. **Fundamentos da Física**. Rio de Janeiro: LTC, 2009. v.2

**OBSERVAÇÕES:**

- É interessante levar junto ao experimento papel absorvente para retirar o líquido em excesso ao final do processo.
- O papel deverá ser puxado com velocidade aproximadamente constante e de forma lenta, de modo que se obtenha um padrão de desenho melhor.

## AULA 2

**1 – Introdução/Motivação: (05 minutos)**

O professor inicia a aula tecendo comentários da aula anterior, relembrando os passos dados e as medições realizadas.

**2 – Desenvolvimento: (35 minutos)**

É fornecido o texto de apoio aos educandos. Com o auxílio do datashow, o professor realiza a leitura do texto de apoio juntamente com os educandos e apresenta os slides apontando os pontos principais contidos nos textos, onde realiza as explicações pertinentes. Ao terminar a leitura do texto, o professor solicita que os educandos realizem a atividade proposta no final do texto.

**3 – Síntese Integradora (10 minutos)**

Como encerramento, o professor apresenta o slide no datashow referente à resolução do exercício e estimula os educandos a tirar possíveis dúvidas e curiosidades.

**AVALIAÇÃO**

Feita de uma forma qualitativa, a partir de observações no decorrer da aula com base no interesse, na participação e na interação dos educandos. E de forma quantitativa, ao efetuar a correção do liga pontos depois da aula arquivados na pasta.

**RECURSOS FÍSICOS:**

Para a aula serão necessários:

- Quadro negro;
- Giz;
- Datashow ou TV Pendrive;
- Apresentação “Seção 3 – Um balanço legal!”, disponível no material do professor e reproduzido nas observações deste plano;
- Texto de apoio ao educando – Seção 3.

**BIBLIOGRAFIA:**

HEWITT, P. G.. **Física Conceitual**. 9ªed. São Paulo: Bookman, 2002.

HALLIDAY, D. RESNICK. R. WALKER, J.. **Fundamentos da Física**. Rio de Janeiro: LTC, 2009. v.2

**OBSERVAÇÕES:**

- Na impossibilidade de utilização do datashow em sala de aula por motivos diversos, o professor pode apresentar o vídeo proposto na introdução, bem como a apresentação “Seção 3 – Um balançar legal!” junto à TV Pendrive.
- Se houver a possibilidade, durante a aplicação do experimento pode-se variar o comprimento da corda, mostrando os diferentes períodos de oscilação do pêndulo.

Slides referentes à Seção 3: Um balançar legal!

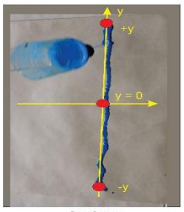
## Seção 03
## Um balançar legal!

Fonte: O autor.

## Pêndulo Simples

Sistema constituído de um corpo puntiforme com determinada massa e suspenso por um fio ideal, ou seja, inextensível e com massa desprezível, com determinado comprimento e que executa oscilações desenvolvendo pequenos deslocamentos.

Pêndulo oscilando sobre um ponto de equilíbrio

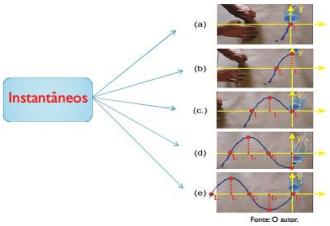



Fonte: O autor.

## Movimento Harmônico Simples (MHS)

Movimento oscilatório de um pêndulo balançando através de um pequeno arco em torno de um ponto central.

Ao puxar o papel que está sob a base do pêndulo com velocidade constante, este fará uma marcação no papel.




Fonte: O autor.

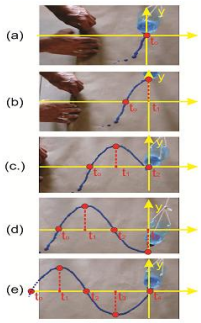
(a), tempo inicial da observação, representado por $t_0$, este elemento está com um deslocamento y=0.

(b), momento $t_1$, pode-se perceber que o ponto se encontra em seu deslocamento extremo para cima (denominado pico).

(c), momento $t_2$, desce novamente para y=0.

(d), momento $t_3$, está com seu deslocamento extremo para baixo (denominado vale).

(e), momento $t_4$, está novamente em y=0, completando o ciclo de oscilação e recomeçando o movimento.

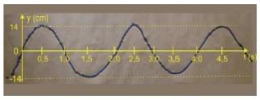



Fonte: O autor.

No final deste movimento, observa-se uma marcação da tinta no papel, representando o movimento do pêndulo em função do tempo.

Fonte: O autor.

Colocando-se um eixo de coordenadas na figura:




Fonte: O autor.

| instante | tempo (s) | deslocamento máximo em y (cm) |
|---|---|---|
| $t_0$ | 0 | 0 |
| $t_1$ | 0,5 | 14 |
| $t_2$ | 1,0 | 0 |
| $t_3$ | 1,5 | -14 |
| $t_4$ | 2,0 | 0 |

Fonte: O autor.

## Propriedades do MHS

- **Período do movimento de um pêndulo**: é o intervalo de tempo necessário para o pêndulo realizar uma oscilação completa (ou um ciclo).

T = ____s

- **Frequência**: número de oscilações completas do pêndulo por segundo.

f = ____Hz

- **Amplitude de oscilação**: é o deslocamento máximo de oscilação do pêndulo em relação ao ponto de equilíbrio, ponto central, em um dos sentidos.

A = ___cm

## Propriedades do MHS

- **Período do movimento de um pêndulo**: é o intervalo de tempo necessário para o pêndulo realizar uma oscilação completa (ou um ciclo).

T = 2s

- **Frequência**: número de oscilações completas do pêndulo por segundo.

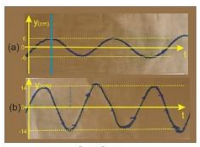
$$f = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}$$

$$f = 0,5\ Hz$$

- **Amplitude de oscilação**: é o deslocamento máximo de oscilação do pêndulo em relação ao ponto de equilíbrio, ponto central, em um dos sentidos.

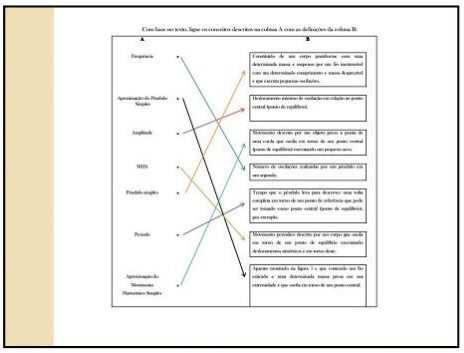
A = 14cm

Marcação do movimento do pêndulo em função do tempo descrevendo amplitudes diferentes:




Fonte: O autor.

| A | | B |
|---|---|---|
| Frequência | = | Constituído de um corpo puntiforme com massa determinada massa e suspenso por um fio inextensível sem ser determinado comprimento e massa desprezível e que executa pequenas oscilações. |
| Aproximação do Pêndulo Simples. | = | Deslocamento máximo de oscilação em relação ao ponto central (ponto de equilíbrio). |
| Amplitude | = | Movimento descrito por um objeto preso à ponta de uma corda que oscila em torno de um ponto central (ponto de equilíbrio) executando um pequeno arco. |
| MHS | = | Número de oscilações realizadas por um pêndulo em um segundo. |
| Pêndulo simples | = | Tempo que o pêndulo leva para descrever uma volta completa em torno de um ponto de referência que pode ser tomado como ponto central (ponto de equilíbrio), por exemplo. |
| Período | = | Movimento periódico descrito por um corpo que oscila em torno de um ponto de equilíbrio executando deslocamentos simétricos em torno deste. |
| Aproximação do Movimento Harmônico Simples | = | Aparato mostrado na figura 1 e que constituído um fio inelástico e uma determinada massa presa em sua extremidade e que oscila em torno de um ponto central. |


Com base no texto, ligue os conceitos descritos na coluna A com as definições da coluna B:

| A | B |
|---|---|
| Frequência | Constituído de um corpo pontiforme com uma determinada massa e suspenso por um fio inextensível com um determinado comprimento e massa desprezível e que executa pequenas oscilações. |
| Aproximação do Pêndulo Simples | Deslocamento máximo de oscilação em relação ao ponto central (ponto de equilíbrio). |
| Amplitude | Movimento descrito por um objeto preso à ponta de uma corda que oscila em torno de um ponto central (ponto de equilíbrio) executando um pequeno arco. |
| MHS | Número de oscilações realizadas por um pêndulo em um segundo. |
| Pêndulo simples | Tempo que o pêndulo leva para descrever uma volta completa em torno de um ponto de referência que pode ser tomado como ponto central (ponto de equilíbrio), por exemplo. |
| Período | Movimento pêndulo descrito por um corpo que oscila em torno de um ponto de equilíbrio executando deslocamentos simétricos e em torno dele. |
| Aproximação do Movimento Harmônico Simples | Aparato mostrado na figura 1 e que contando um fio esticado e uma determinada massa presa em sua extremidade e que oscila em torno de um ponto central. |

## PLANO DE SEÇÃO 4: Um pulso...

**IDENTIFICAÇÃO:** Colégio_____

**CURSO:** Ensino Médio

**DISCIPLINA:** Física

**PROFESSOR:** Luís Alexandre Rauch

**SÉRIE:** 2º Ano

**CARGA HORÁRIA:** 100 minutos

**UNIDADE DIDÁTICA:** Nas cordas dos instrumentos musicais

**TEMA:** Ondas Mecânicas

**ASSUNTO:** Pulso em uma corda

### COMPETÊNCIAS E HABILIDADES

- Ler e interpretar textos de interesse científico e tecnológico;
- Exprimir-se oralmente com correção e clareza, usando a terminologia correta;
- Usar instrumentos de medição e de cálculo;
- Formular hipóteses e prever resultados;
- Procurar e sistematizar informações relevantes para a compreensão da situação-problema.
- Fazer uso dos conhecimentos da Física para explicar o mundo natural e planejar, executar e avaliar intervenções práticas.

### OBJETIVOS

- Calcular densidade linear,
- Perceber que um pulso transporta energia e não matéria;
- Associar que diferentes cordas possuem velocidades de pulsos diferentes;
- Explicar a interferência construtiva e destrutiva entre dois pulsos.

**MOMENTOS DA AULA**

**AULA 1**

**1 – Introdução/Motivação: (15 minutos)**

Como introdução o professor estica uma corda e provoca um pulso, solicitando que os educandos observem e digam como é o seu comportamento. Sendo que são esperados comentários, observações e experiências tais como:

- O pulso vai e vem;
- Parece uma onda;

Faz o mesmo procedimento para uma segunda corda, com uma densidade linear diferente da primeira, buscando fazer um movimento similar e questiona novamente o que observam. Sendo que são esperados comentários, observações e experiências tais como:

- Uma vai mais rápido que a outra;
- Uma parece mais alta que outra.

**3 – Desenvolvimento: (30 minutos)**

O professor começa com a explicação do conceito de pulso, comentando a perturbação sofrida pela corda ao balançar a mão para cima e para baixo, mostra que um ponto qualquer da corda perturba o seu ponto vizinho, e que este perturba o seguinte e assim por diante, e que esta perturbação caminha de ponto a ponto da corda, até chegar à outra extremidade.

E então comenta com os educandos que quando existe uma perturbação no espaço (neste caso, na corda), esta transporta energia sem o transporte da matéria. O professor então com o auxílio de uma argola de plástico inserida no meio da corda, faz um pulso na mesma e solicita que os educando observem o que ocorre (a argola permanece no mesmo lugar).

Em seguida são amarradas e estica duas cordas de diferentes densidades lineares, uma ao lado a outra. Toma cuidado para que as tensões nas duas cordas fiquem aproximadamente iguais, o professor faz um pulso em

ambas as cordas ao mesmo tempo, e pergunta para os educandos o que conseguem observar a respeito da velocidade dos pulsos na corda.

Sendo que são esperados comentários, observações e experiências tais como:

- A corda mais grossa vai mais devagar que a mais fina;

Após ouvir as conclusões dos educandos, explica-se que a força com que a corda é puxada é denominada tração, e que cada corda tem uma propriedade denominada densidade linear, a qual depende da massa e do comprimento da corda, e comenta-se que a velocidade depende da tração da corda, e da sua densidade linear.

O professor estica a corda com o auxílio de um dinamômetro e então solicitada que os educandos observem no dinamômetro o valor demarcado. Em seguida o professor anota os valores no quadro.

Em seguida o professor solicita que os educandos utilizem a balança para aferir a massa das cordas, e de uma régua para medir seus comprimentos. Os valores são anotados pelo professor no quadro.

Após as observações e medições e explicado aos educandos que a velocidade de um pulso na corda tem relação com a tração da corda e com a sua densidade linear, onde escreve no quadro a equação que calcula a velocidade de um pulso. Explica então que a tração foi aferida diretamente no dinamômetro, porém não tem o valor da densidade linear. É explicado então que a densidade linear pode ser calculada a partir da equação:

$$\mu = \frac{m}{l}$$

É solicitado que os educandos realizem o cálculo da densidade linear das duas cordas, tomando os devidos cuidados com as unidades de medida.

Com os valores da densidade linear em mãos, solicita que os educandos realizem o cálculo da velocidade em cada corda, apontando a relação entre a densidade linear e a velocidade do pulso na corda.

- **Reflexão de um pulso**

Após a atividade da velocidade na corda, o professor estica novamente uma das cordas amarradas em uma das extremidades e solicita que os educandos observem o que ocorre com um pulso ao chegar na outra extremidade. É perguntado então: o que ocorreu? Possíveis respostas esperadas pelos educandos:

- O pulso chega no final e retorna;
- O pulso volta por baixo.

É fornecido então o conceito de reflexão de um pulso, explicando que esta pode ocorrer com a extremidade oposta da corda fixa ou livre, porém, na aula será apresentada a reflexão com extremidade fixa, pois com a extremidade móvel é de difícil execução.

Ao realizar novamente um pulso, o professor demonstra que quando a extremidade é fixa, o pulso retorna invertido ao pulso incidente, comentando que quando a extremidade é móvel, este retorna na mesma direção do incidente.

Com o auxílio do datashow o professor apresenta então aos educandos a simulação “onda em corda”, do Phet®, primeiramente com a opção de extremidade fixa, onde seleciona a opção pulso, deixando em uma amplitude de 1,0 cm, amortecimento baixo e tensão média e pressiona o botão verde, onde é dado um pulso. Neste momento o professor mostra que a reflexão do pulso realizado no simulador é similar ao pulso apresentado pela corda na sala de aula.

O professor mostra as possibilidades que o simulador fornece, variando a tensão da corda e o amortecimento da mesma.

Após realizada a análise, o professor seleciona a opção “extremidade solta” e repete os passos feitos anteriormente para a corda com extremidade fixa, onde mostra a reflexão do pulso que retorna na mesma direção do pulso incidente.

Ainda com o simulador é explicado e apresentado a superposição de dois pulsos: um incidente e um refletido, tanto para uma corda com a extremidade fixa, quanto para uma corda com a extremidade livre, onde o

professor, mantendo as configurações que fez inicialmente para analisar a reflexão do pulso, realiza primeiramente um pulso, e logo em seguida aplica outro pulso, e demonstra que ao pulso que está retornando (pulso refletido) encontra o pulso incidente, estes se anulam naquele local, porém, depois deste momento, os pulsos viajam no seu caminho original.

O professor realiza o mesmo procedimento para a opção “extremidade solta”.

**4 – Síntese Integradora (10 minutos)**

Como finalização da aula, o professor faz um breve resumo do que foi realizado na aula e sana possíveis dúvidas e curiosidades que surgirem.

**AVALIAÇÃO**

Feita de uma forma qualitativa, a partir de observações feitas no decorrer da aula com base no interesse, na participação e na interação dos educandos.

**RECURSOS FÍSICOS:**

Para a aula serão utilizados:

- Quadro negro;
- Giz;
- Datashow ou TV Pendrive;
- cordas com espessuras diferentes;
- argola de plástico recortada da tampa de lata de achocolatado em pó;
- dinamômetro;
- balança de precisão.
- Simulador Onda em corda, disponível em <http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/wave-on-a-string>.

**BIBLIOGRAFIA:**

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica vol. 2**. 4ª ed. Edgard Blucher, 2002.

GRUPO VIRTOUS – Tecnologia Educacional. **Reflexão de ondas**. Disponível em: http://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/Ondas/reflexao.php. Acesso em 20 Out. 2015.

YOUNG, D. Hugh. FREEDMAN Roger A.. **Física II**. 10ª ed. São Paulo: Ed. Pearson Addison Wesley, 2003.

HALLIDAY, Resnick. WALKER, Jearl. **Fundamentos da Física.** Volume 2. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

**OBSERVAÇÕES:**

- Como pré-requisito, o educando deverá saber fazer medidas com balança e régua.
- Para evitar qualquer inconveniente devido à impossibilidade de utilização do datashow em sala de aula por motivos diversos, é interessante que o professor realize gravações das simulações sugeridas previamente e apresente para os educandos em forma de vídeo através da TV Pendrive.

## Aula 2

**1 – Introdução/Motivação: (10 minutos)**

Como introdução à aula o professor faz uma breve explanação sobre os aspectos observados na aula anterior e retira possíveis dúvidas que surgirem. Em seguida o professor distribui os textos de apoio aos educandos.

**5 – Desenvolvimento: (35 minutos)**

Com o auxílio do datashow, o professor apresenta os slides referentes à apresentação “Seção 4 – Um pulso...” contendo pontos mais importantes do texto e imagens, explica-os de forma mais detalhada à medida que é realizada a leitura do texto juntamente com o educando.

À medida que na leitura do texto vão surgindo lacunas, o professor solicita que as preencha, utilizando os valores colhidos na aula anterior.

Ao término da leitura é solicitado que os educandos realizem a atividade proposta no final do texto.

**6 – Síntese Integradora (5 minutos)**

Ao final da aula o professor solicita que os educandos entreguem as folhas da seção 4 (colocando o nome nas mesmas), onde os exercícios serão corrigidos e então aas folhas serão entregues na aula seguinte para arquivamento.

**AVALIAÇÃO**

Feita de uma forma qualitativa, a partir de observações no decorrer da aula com base no interesse, na participação e na interação dos educandos. E de forma quantitativa, ao efetuar a correção das lacunas preenchidas no texto e do "Pesquise no texto, completando as lacunas nas frases abaixo".

**RECURSOS FÍSICOS:**

Para a aula serão utilizados:

- Quadro negro;
- Giz;
- Projetor multimídia;
- Texto de apoio ao educando – Seção 4.
- Apresentação "Seção 4 – Um pulso...", disponível no material do professor e reproduzido nas observações deste plano;

**BIBLIOGRAFIA:**

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica vol. 2**. 4ª ed. Edgard Blucher, 2002.

GRUPO VIRTOUS – Tecnologia Educacional. **Reflexão de ondas**. Disponível em: http://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/Ondas/reflexao.php. Acesso em 20 Out. 2015.

YOUNG, D. Hugh. FREEDMAN Roger A.. **Física II**. 10ª ed. São Paulo: Ed. Pearson Addison Wesley, 2003.

HALLIDAY, Resnick. WALKER, Jearl. **Fundamentos da Física.** Volume 2. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

**OBSERVAÇÕES:**

- Na impossibilidade de utilização do datashow em sala de aula por motivos diversos, o professor pode realizar a apresentação “Seção 4 – Um pulso...” junto à TV Pendrive.

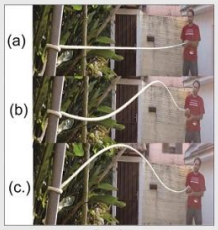
Slides referentes à Seção 4: Um pulso...

Seção 04

# Um pulso...

Fonte: O autor.

**Pulso**: é uma perturbação que se propaga no espaço.




Fonte: O autor.

## Velocidade de um pulso

A velocidade do pulso depende:

a) **tração** – força com a qual é puxada a corda

Exemplo: **T = 2N**

b) **densidade linear** – quantidade de matéria por unidade de comprimento.

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

## Densidade linear

$$\mu = \frac{m}{l}$$

Corda 01:

m = _____kg

l = _____m

Desta forma:

$$\mu = \frac{\_\_}{\_\_}$$

$\mu$ = ____kg/m

## Logo:

Corda 01:

T = _____N

$\mu$ = _____kg/m

Onde:

$$v = \sqrt{\frac{\_\_}{\_\_}}$$

$v$ = _____m/s

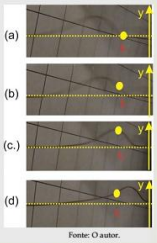
## Propagação do pulso em um ponto específico da corda

(a) o ponto se encontra em sua posição de equilíbrio sobre o eixo da corda;

(b) o pulso encontra o ponto da corda, onde este se move para cima;

(c)ponto alcança sua máxima amplitude;

(d) o ponto inicia retorno à posição original.




Fonte: O autor.

Também é possível verificar que à medida que o pulso se propaga para a esquerda na corda, sua parte da frente está se movendo para cima, enquanto a parte posterior, na direita, está se movendo para baixo.

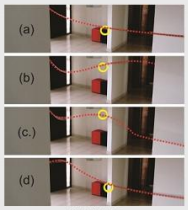
Um pulso transporta energia, porém, não transporta matéria:

(a) É colocada uma argola em uma corda esticada.

(b) Um pulso é aplicado.

(c) Quando o pulso alcança a argola, a mesma faz um movimento de subida e descida.

(d) Após a passagem do pulso ela permanece no mesmo lugar.




Fonte: O autor.

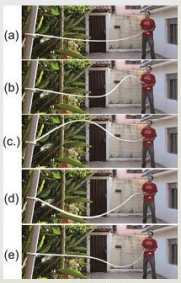
# Reflexão de um Pulso

- Quando o pulso de onda incide sobre um obstáculo e retorna ao meio de propagação, mantendo as características da onda incidente.
- A reflexão pode ocorrer com a extremidade da corda fixa ou móvel.

## Extremidade fixa

Ao pulso atingir uma extremidade fixa, a força aplicada nela, pelo princípio da ação e reação, reage sobre a corda, causando um movimento.

Esse movimento é na direção da aplicação do pulso, e o sentido da propagação e da velocidade são contrários ao sentido inicial e com o pulso invertido, sendo esse o pulso refletido.



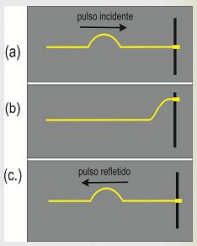

Fonte: O autor.

## Extremidade livre

Supondo que um pulso atinja uma extremidade de uma corda que contém um anel preso a uma haste vertical - o anel pode movimentar-se livremente para cima e para baixo.

Um pulso incidente desloca a extremidade da corda para cima, e ao refletir, o anel retorna à sua posição original.

O pulso refletido não se inverte, retorna na mesma direção de propagação e no sentido contrário ao sentido do pulso incidente.




Fonte: O autor.

## Superposição de dois pulsos

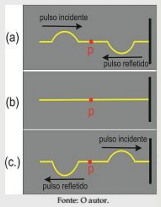
Quando dois pulsos estão se movendo em direção oposta, seja em uma corda com extremidade fixa ou móvel, ao se encontrar em um determinado ponto, ocorre a superposição.

## Extremidade fixa

(a) Situação antes da superposição dos dois pulsos.

(b) tem-se a situação em que os pulsos se encontram no ponto p, o deslocamento para cima do pulso incidente soma-se com o deslocamento para baixo do pulso refletido, se anulando naquele ponto.

(c), ilustra-se a situação após os pulsos passarem pelo ponto p; ambos se deslocam e continuam seus movimentos independentes.



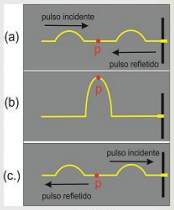

Fonte: O autor.

## Extremidade livre

(a) tem-se a situação antes da superposição dos dois pulsos.

(b) ao se encontrarem no ponto p, os pulsos somam-se, formando um pulso com amplitude igual à soma dos dois pulsos individuais.

(c) Situação após a passagem dos pulsos pelo ponto p, na qual ambos se deslocam de forma independente e igual ao da situação inicial mostrada em (a).




Fonte: O autor.

Pesquise no texto, completando as lacunas nas frases abaixo:

1) Quando dois pulsos estão em sentidos contrários e na mesma direção em uma corda de extremidade fixa, ao se encontrar em um ponto, eles se _____.

2) Um pulso em uma corda com extremidade _____, ao se refletir, retorna invertido em relação ao pulso incidente.

3) Quando dois pulsos estão em sentidos contrários e na mesma direção, ao se encontrar ocorre a _____ deles.

4) _____: é uma perturbação que se propaga ao longo de uma corda.

5) Tração na corda é a _____com a qual a corda é esticada (puxada).

6) Quando dois pulsos estão em sentidos contrários e na mesma direção em uma corda de extremidade _____, ao se encontrar em um ponto, eles se _____.

7) A velocidade de propagação de um pulso em uma corda depende da tração e da _____ da corda.

8) Um pulso é uma perturbação no meio, que no caso é a corda, que transporta _____, porém não transporta _____.

Pesquise no texto, completando as lacunas nas frases abaixo:

1) Quando dois pulsos estão em sentidos contrários e na mesma direção em uma corda de extremidade fixa, ao se encontrar em um ponto, eles se ___ANULAM_____.

2) Um pulso em uma corda com extremidade __FIXA__, ao se refletir, retorna invertido em relação ao pulso incidente.

3) Quando dois pulsos estão em sentidos contrários e na mesma direção, ao se encontrar ocorre a _____SUPERPOSIÇÃO__ deles.

4) __PULSO___: é uma perturbação que se propaga ao longo de uma corda.

5) Tração na corda é a ___FORÇA____com a qual a corda é esticada (puxada).

6) Quando dois pulsos estão em sentidos contrários e na mesma direção em uma corda de extremidade ___LIVRE_____, ao se encontrar em um ponto, eles se ___SOMAM____.

7) A velocidade de propagação de um pulso em uma corda depende da tração e da _DENSIDADE LINEAR_____ da corda.

8) Um pulso é uma perturbação no meio, que no caso é a corda, que transporta _ENERGIA_, porém não transporta ___MATÉRIA_____.

## PLANO DE SEÇÃO 5: Com a onda toda!

**IDENTIFICAÇÃO:** Colégio_____
**CURSO:** Ensino Médio
**DISCIPLINA:** Física
**PROFESSOR:** Luís Alexandre Rauch
**SÉRIE:** 2º Ano
**CARGA HORÁRIA:** 50 minutos
**UNIDADE DIDÁTICA:** Nas cordas dos instrumentos musicais
**TEMA:** Ondas Mecânicas
**ASSUNTO:** Ondas em uma corda

### COMPETÊNCIAS E HABILIDADES

- Ler e interpretar textos de interesse científico e tecnológico;
- Fazer uso dos conhecimentos da Física para explicar o mundo natural e planejar, executar e avaliar intervenções práticas.

### OBJETIVOS

- Associar um ponto de onda em uma corda com o movimento de um pêndulo simples.
- Visualizar e medir as grandezas físicas a partir de um instantâneo de uma onda.

### MOMENTOS DA AULA

**1 – Introdução/Motivação: (5 minutos)**

Com o auxílio do datashow o professor apresenta aos educandos o vídeo “onda em uma corda”, onde tece um breve comentário sobre o conceito de onda e os ramos da Física que estuda as ondas: ondulatória, óptica física e eletromagnetismo.

**7 – Desenvolvimento: (40 minutos)**

O professor entrega aos educandos o texto de apoio referente à seção 5, onde com o auxílio do datashow, realiza a leitura do texto, apresentando os slides referentes à apresentação “Seção 5 – Com a onda toda!”, onde apresenta as diferenças entre ondas mecânicas e eletromagnéticas, bem como a direção de propagação das ondas, entre longitudinal e transversal.

É comentado com os educandos que neste momento será dado ênfase ao estudo das ondas transversais, como a onda produzida na corda apresentada no vídeo.

Prosseguindo com o texto, juntamente com os slides, o professor faz explicações do estudo de um ponto da corda em momentos diferentes e específicos e também o movimento deste ao longo de um intervalo de tempo, comparando o movimento deste ponto com o movimento realizado pelo pêndulo, estudado na seção 3.

Terminado os comentários acerca do estudo do ponto da corda, o professor apresenta o slide contendo um instantâneo de uma onda, onde define as grandezas físicas: crista, vale, amplitude e comprimento de onda.

Em seguida o professor fornece aos educandos a equação que permite encontrar a posição de qualquer ponto da corda em qualquer instante de tempo, comentando cada uma de suas partes.

Após a leitura do texto, o professor solicita que os educandos realizem a atividade proposta no final do texto de apoio.

**3 – Síntese Integradora (5 minutos)**

Ao final da aula o professor solicita que os educandos entreguem a última página (colocando o nome na mesma), a qual será corrigida e entregue na aula seguinte para arquivamento.

**AVALIAÇÃO**

Feita de uma forma qualitativa, a partir de observações no decorrer da aula com base no interesse, na participação e na interação dos educandos. E de forma quantitativa, ao efetuar a correção das palavras cruzadas depois da aula arquivados na pasta.

**RECURSOS FÍSICOS:**

Para a aula serão utilizados:

- Quadro negro;
- Giz;
- Projetor multimídia;
- Vídeo: “Onda em uma corda”, disponível no conteúdo digital do Material de apoio ao Professore reproduzido nas observações deste plano;
- Texto de apoio ao educando – Seção 5;
- Apresentação “Seção 5 – Com a onda toda!”, disponível no material do professor e reproduzido nas observações deste plano.

**REFERÊNCIAS:**

HALLIDAY, Resnick. WALKER, Jearl. **Fundamentos da Física.** Volume 2. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

HEWITT, Paul G. **Física Conceitual.** 9ªed. São Paulo: Bookman, 2002.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica.** Volume 2. 4ª ed. Edgard Blucher, 2002.

**OBSERVAÇÕES:**

- Na impossibilidade de utilização do datashow em sala de aula por motivos diversos, o professor pode realizar a apresentação do vídeo “Onda em uma corda”, bem como os slides da “Seção 5 – Com a onda toda!” junto à TV Pendrive.

Slides referentes à Seção 5: Com a onda toda!

## Seção 05
## "Com a onda toda!"

Fonte: O autor.

## Ondas

Constituem um dos principais assuntos da Física.

Sua compreensão se faz necessário para o entendimento de:

- Ondulatória;
- Óptica física;
- Eletromagnetismo.

## Classificação

1. De acordo com a necessidade de um meio de propagação ou não:

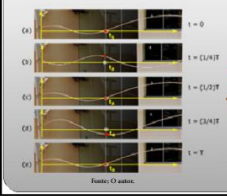
- Ondas mecânicas – necessitam de um meio material para se propagar;
  Exemplo: ondas em uma corda
- Ondas eletromagnéticas – não necessita de um meio.
  Exemplo: a luz do Sol

2. De acordo com a direção de propagação da perturbação

- Onda transversal – quando a perturbação é transversal à direção de propagação.
  Exemplo: ondas em uma corda
- Onda longitudinal – quando a perturbação é na mesma direção da propagação.
  Exemplo: mola comprimida

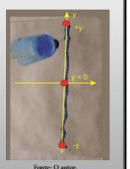
## Posição de um ponto da corda em momentos diferentes e específicos

Analisa-se o movimento oscilatório para cima e para baixo de um ponto específico da corda. Para isso, admite-se um sistema de coordenadas xy.




Fonte: O autor.

Comparação




Fonte: O autor.

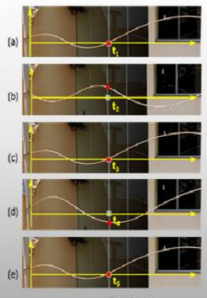
(a) o ponto se encontra em y = 0 e x fixo, ou seja, neste instantâneo ele tem deslocamento zero.

(b) o ponto está na posição y = $+y_{max}$ para cima e x fixo, ou seja, neste instantâneo ele tem deslocamento máximo para cima.

(c) O ponto se encontra em y = 0 novamente e x fixo, ou seja, neste instantâneo ele tem deslocamento zero.

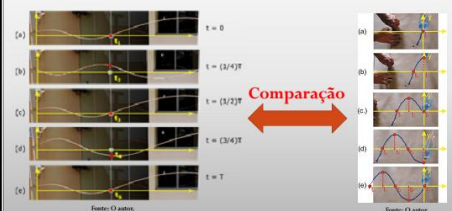
(d) o ponto está na posição y = $-y_{max}$ para baixo e x fixo, ou seja, neste instantâneo ele tem deslocamento máximo para baixo.

(e) o ponto se encontra em y = 0 mais uma vez e x fixo, ou seja, neste instantâneo ele tem deslocamento zero.




Fonte: O autor.

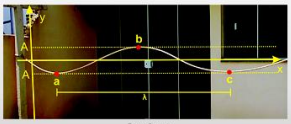
## Movimento do ponto ao longo de um intervalo de tempo




Fonte: O autor. Fonte: O autor.

Ao analisar o movimento descrito pelo ponto da corda marcado em vermelho, ou por qualquer outro ponto da corda, este desenvolve um movimento harmônico simples (MHS).

O instantâneo apresentado na figura mostra a forma assumida pela corda, quando a onda passa pela mesma, de modo que é possível definir algumas grandezas que caracterizam a onda através da corda.




Fonte: O autor.

- **b** é um ponto de máximo positivo - **crista da onda**.
- **a** e **c** são pontos de máximo negativo, - **vales da onda**.
- **Amplitude** é a distância do ponto: a, b ou c à linha de referência que foi adotada como o eixo x.
- **Comprimento de onda**, representado pela letra grega **λ** - distância entre duas cristas ou dois vales da onda.

## Movimento de qualquer ponto da corda em qualquer tempo

Pode-se generalizar o movimento de um ponto na corda para todos os pontos da corda a qualquer tempo e descrever a forma da onda se propagando em uma corda.

$$y(x,t) = y_m sen 2\pi\left(\frac{x}{\lambda} - ft\right)$$

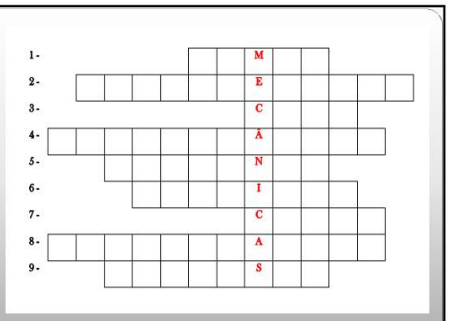
**y – deslocamento transversal de qualquer ponto da corda**
**λ – comprimento de onda**
**f – frequência linear do movimento oscilatório**

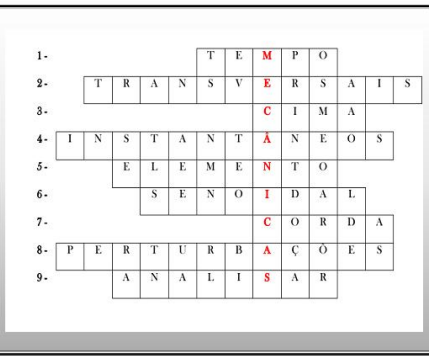
A figura apresenta um instantâneo de uma onda senoidal percorrendo uma corda, onde apresenta e representa qualquer ponto da corda, se propagando no sentido positivo do eixo x com velocidade v.

Fonte: O autor.

O ponto da corda demarcado como $x_1$ tem um $y = y_1$.
O ponto da corda demarcado como $x_2$ tem um $y = y_2$.

**É possível dizer qual é a posição da onda em qualquer instante de tempo e como esta forma varia quando a onda se move ao longo da corda.**



## PLANO DE SEÇÃO 6: Uma onda parada?

**IDENTIFICAÇÃO:** Colégio_____

**CURSO:** Ensino Médio

**DISCIPLINA:** Física

**PROFESSOR:** Luís Alexandre Rauch

**SÉRIE:** 2º Ano

**CARGA HORÁRIA:** 150 minutos

**UNIDADE DIDÁTICA:** Nas cordas dos instrumentos musicais

**TEMA:** Ondas Mecânicas

**ASSUNTO:** Ondas estacionárias

**COMPETÊNCIAS E HABILIDADES**

- Ler e interpretar textos de interesse científico e tecnológico;
- Utilizar instrumentos de medição e de cálculo;
- Interpretar e criticar resultados a partir de experimentos e demonstrações;
- Fazer uso dos conhecimentos da Física para explicar o mundo natural e planejar, executar e avaliar intervenções práticas;
- Exprimir-se oralmente com correção e clareza, usando a terminologia correta;
- Identificar variáveis relevantes e selecionar os procedimentos necessários para a produção, análise e interpretação de resultados de processos e experimentos científicos e tecnológicos.

**OBJETIVOS**

- Explicar o conceito de ondas estacionárias;
- Associar a frequência criada pelo gerador de áudio e transposta para o alto-falante à frequência de uma nota musical;
- Calcular a frequência fundamental de uma corda e seus harmônicos.

**MOMENTOS DA AULA**

**AULA 01**

**1 – Introdução/Motivação: (10 minutos)**

Como introdução da aula o professor realiza um resumo das aulas anteriores, fazendo no quadro uma linha temporal mostrando a evolução dos conceitos apresentados nas aulas anteriores, mostrando que na primeira aula apresentada os educandos manusearam instrumentos musicais de cordas, na segunda e terceira aulas foram trabalhados conceitos de Movimento Periódico e MHS, e nas aulas 4 e 5 foram trabalhados as propriedades do pulso e ondas.

**8 – Desenvolvimento: (30 minutos)**

Após realizada a revisão, com a massa de 60g e a corda de nylon 0.60, no experimento de corda, a partir do gerador de frequências, o professor coloca uma frequência de 20 Hz e explica o significado (o alto-falante vibra 20 vezes por segundo) e pergunta o que está acontecendo com a corda. Possíveis respostas esperadas pelos educandos:

- A corda está vibrando;
- Não estou vendo acontecer nada na corda.

Então é solicitado que os educandos toquem com o dedo levemente no alto-falante e sintam a vibração no mesmo.

Após os educandos tocarem o alto-falante, o professor coloca uma frequência de 40Hz e repete o procedimento.

Depois dos educandos tocarem no alto-falante com as duas frequências e verificar que a corda vibra aleatoriamente, coloca-se a frequência relativa ao 1º harmônico (f = 28Hz), onde solicita-se que os educandos observem. Em seguida, faz a pergunta: Por que isto ocorre?

- Isto é mágica, professor.
- Que coisa, não tem lógica isso, professor.

Após ouvir as possíveis respostas, o professor relembra sobre a reflexão de um pulso, visto na seção 4, e comenta que o alto-falante ao vibrar provoca

pulsos repetidos nas cordas, os quais estão constantemente sendo refletidos nas extremidades, e ocorrem então as interferências entre os pulsos incidentes e refletidos.

Então comenta que existem frequências específicas onde ocorre um padrão de interferência onde a corda parece estar “parada”, explicando que aquele “desenho” formado é denominado **1º. Harmônico**, e a frequência que o gera é chamada **frequência fundamental**.

O professor coloca então a frequência referente aos 2º. harmônico (f = 56,5Hz) e mostra o desenho formado, apresenta os conceitos de **nó** e **ventre**. Faz o mesmo procedimento para o 3º. Harmônico (f = 83Hz).

**3 – Síntese Integradora (10 minutos)**

O professor realiza a troca da corda por cordas de densidades diferentes, bem como varia a massa para que os educandos observem o que ocorre, incentivando os mesmos a investigar o experimento, manipulando-o (pegando na corda, variando a tensão na corda para produzir outros harmônicos)

**AVALIAÇÃO**

Realizada de uma forma qualitativa, a partir de observações feitas no decorrer da aula com base no interesse, na participação e na interação dos educandos.

**RECURSOS FÍSICOS:**

Para a aula serão utilizados:

- Quadro negro;
- Giz;
- Experimento da corda;
- Massas de 20g e 60g
- Fios de nylon 0.20, 0.45 e 0.60; fios de tricô (pré-testados pelo professor).

**REFERÊNCIAS:**

YOUNG, D. Hugh. FREEDMAN Roger A.. **Física II**. 10ª ed. São Paulo: Ed. Pearson Addison Wesley, 2003.

HALLIDAY, Resnick. WALKER, Jearl. **Fundamentos da Física**. Volume 2. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

LOPES, Wilson. **Variação da aceleração da gravidade com a latitude e altitude.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 25, n. 3: p. 561-568, dez. 2008. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/issue/view/1160. Acesso em: 28 Nov. 2015.

INSTITUTO DE FÍSICA DA USP. **Tabela de densidades lineares de fios de nylon.** Disponível em: http://portal.if.usp.br/labdid/pt-br/tabelas-e-constantes. Acesso em: 28 Nov. 2015.

**OBSERVAÇÕES:**

- Na falta de amplificador, o professor pode utilizar as caixas de som da escola, que possuam entrada de áudio para conectar os fios;
- Tome cuidado com a tensão da rede do Colégio para não ter perigo de danificar o equipamento. É interessante acompanhar um transformador bivolt junto ao kit do experimento da corda, visto que algumas escolas possuem tensão 127 V e outras 227 V.

## AULA 02

**1 – Introdução/Motivação: (10 minutos)**

O professor realiza a montagem do experimento da corda e refaz o experimento com as cordas de nylon 0,45 e 0,60 para massas de 20 g e 60 g, onde sana possíveis dúvidas sobre o funcionamento do experimento.

**9 – Desenvolvimento: (30 minutos)**

Com o experimento da corda contendo o fio de nylon 0,60, e massa 60 g, o professor coloca a frequência relativa ao 2º. harmônico (f = 56,5Hz) e mostra com o auxílio de um desenho no quadro negro, que o formato da corda refere-se a um comprimento de onda completo, mostrando a relação:

$$L = \lambda$$

Em seguida é colocada a frequência relativa ao 1º. harmônico, onde é mostrado que este se refere à metade de um comprimento de onda, mostrando a relação:

$$L = \lambda/2$$

E então repete o procedimento para o 3º. harmônico (f = 83Hz), chegando à relação:

$$L = 3\lambda/2$$

O professor mostra no quadro que é possível fazer a relação:

1º. Harmônico - $L = 1\lambda/2$
2º. Harmônico - $L = 2\lambda/2$
3º. Harmônico - $L = 3\lambda/2$

Assim, generaliza as observação na equação:

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

A partir desta generalização o professor realiza a dedução no quadro negro da equação para encontrar o valor da frequência fundamental e seus harmônicos para uma corda.

**3 – Síntese Integradora (10 minutos)**

Como encerramento da aula, o professor propõe que os educandos realizem o calcula para encontrar a frequência fundamental de um fio de nylon 0,45 cuja massa que o tensiona é de 80g. Após eles fornecerem o resultado o professor comprova com o experimento da corda

O professor entrega o texto de apoio aos educandos e recomenda que estes realizem a leitura prévia para a próxima aula.

**AVALIAÇÃO**

Feita de uma forma qualitativa, a partir de observações feitas no decorrer da aula com base no interesse, na participação e na interação dos educandos.

**RECURSOS FÍSICOS:**

Para a aula serão utilizados:

- Quadro negro;
- Giz;
- Experimento da corda;
- Massas de 20g e 60g
- Fios de nylon 0.45 e 0.60.
- Texto de apoio ao educando – Seção 6

**REFERÊNCIAS:**

YOUNG, D. Hugh. FREEDMAN Roger A.. **Física II**. 10ª ed. São Paulo: Ed. Pearson Addison Wesley, 2003.

HALLIDAY, Resnick. WALKER, Jearl. **Fundamentos da Física**. Volume 2. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

LOPES, Wilson. **Variação da aceleração da gravidade com a latitude e altitude.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 25, n. 3: p. 561-568, dez. 2008. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/issue/view/1160. Acesso em: 28 Nov. 2015.

INSTITUTO DE FÍSICA DA USP. **Tabela de densidades lineares de fios de nylon.** Disponível em: http://portal.if.usp.br/labdid/pt-br/tabelas-e-constantes. Acesso em: 28 Nov. 2015.

**OBSERVAÇÕES:**

- Na falta de amplificador, o professor pode utilizar as caixas de som da escola, que possuam entrada de áudio para conectar os fios;
- Tome cuidado com a tensão da rede do Colégio para não ter perigo de danificar o equipamento. É interessante acompanhar um transformador bivolt junto ao kit do experimento da corda, visto que algumas escolas possuem tensão 127 V e outras 227 V.

## AULA 03

**1 – Introdução/Motivação: (05 minutos)**

Com o auxílio do quadro negro, o professor realiza um breve relato do que foi apresentado nas duas primeiras aulas do experimento da corda, anotando em forma de itens os pontos principais das investigações realizadas pelos educandos.

**2 – Desenvolvimento: (35 minutos)**

Com o auxílio do datashow, o professor projeta a apresentação "seção 6 – Uma onda parada?", onde, juntamente com a leitura do texto, apresenta slides contendo os pontos principais do texto.

Após realizada a leitura do texto, o professor comenta acerca do primeiro exercício proposto, solicita que os educandos realizem o cálculo da velocidade do pulso em cada corda, completando os espaços da tabela. Em seguida, é então solicita que sejam analisados os resultados e completem as lacunas nas frases logo abaixo.

Repete o mesmo procedimento para a tabela das frequências.

**3 – Síntese Integradora (10 minutos)**

Como finalização da aula, o professor faz um breve resumo do que foi realizado na aula e sana possíveis dúvidas e curiosidades que surgirem. É solicitado então que os educandos entreguem as páginas 5 e 6 (colocando o nome nas mesmas), as quais serão realizadas as correções e entregue na aula seguinte para arquivamento.

**AVALIAÇÃO**

Realizada de uma forma qualitativa, a partir de observações no decorrer da aula com base no interesse, na participação e na interação dos educandos. E de forma quantitativa, ao efetuar a correção da atividade: Uma situação real, depois da aula arquivados na pasta.

**RECURSOS FÍSICOS:**

Para a aula serão utilizados:

- Quadro negro;
- Giz;
- Datashow ou TV Pendrive;
- Apresentação “Seção 6 – Uma onda parada?”, disponível no material do professor e reproduzido nas observações deste plano.
- Calculadora.

**REFERÊNCIAS:**

YOUNG, D. Hugh. FREEDMAN Roger A.. **Física II**. 10ª ed. São Paulo: Ed. Pearson Addison Wesley, 2003.

HALLIDAY, Resnick. WALKER, Jearl. **Fundamentos da Física**. Volume 2. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

LOPES, Wilson. **Variação da aceleração da gravidade com a latitude e altitude.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 25, n. 3: p. 561-568, dez. 2008. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/issue/view/1160. Acesso em: 28 Nov. 2015.

INSTITUTO DE FÍSICA DA USP. **Tabela de densidades lineares de fios de nylon.** Disponível em: http://portal.if.usp.br/labdid/pt-br/tabelas-e-constantes. Acesso em: 28 Nov. 2015.

**OBSERVAÇÕES:**

- Na impossibilidade de utilização do datashow em sala de aula por motivos diversos, o professor pode apresentar o vídeo proposto na introdução, bem como a apresentação “Seção 6 – Uma onda parada?” junto à TV Pendrive.

Slides referentes à Seção 6: Uma onda parada?

Seção 06

Uma onda parada?

Fonte: O autor.

- Uma corda presa nas duas extremidades, como as cordas de um violão,
- Ou quando uma das extremidades está presa, mas a outra tensionada por uma determinada massa

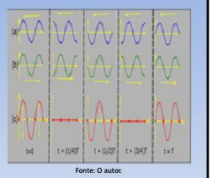
Em ambos os casos, ao vibrar a corda haverá ondas atravessando a mesma. Estas sofrerão reflexões nas duas extremidades, fazendo com que viagem nos dois sentidos da corda.

**Estas ondas superpostas sofrem interferência.**

(a) Cinco instantâneos de uma onda se propagando para a esquerda.

(b) Os cinco instantâneos respectivos de outra onda se propagando para a direita;

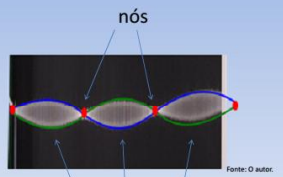
(c) Representa-se os cinco instantâneos respectivos do movimento desta ondas para cada ponto da corda, ou seja, a superposição das duas ondas.



Fonte: O autor.

- Os pontos imóveis na corda são denominados **nós**.
- As regiões entre dois nós vizinhos onde existem pontos onde as resultantes da superposição das ondas possuem amplitude máxima positiva ou amplitude máxima negativa, são denominados **antinós** ou **ventres**.

Situação ilustrada e idealizada se assemelha a:




Fonte: O autor.

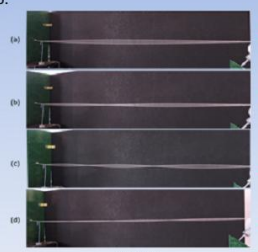
Ao se manter uma corda esticada e colocá-la para oscilar em MHS de pequena amplitude tem-se: duas ondas que se propagam pela corda com frequência e direção iguais e sentidos contrários gerando um **padrão de onda estacionária**.

Estes padrões têm número de nós e ventres diferentes porque são produzidos com certas frequências denominadas frequências de ressonância da corda. A **cada frequência de ressonância** que produz ondas estacionárias dá-se o nome de **modo de oscilação**:

- À menor frequência de ressonância – frequência fundamental – representado por $f_1$ – primeiro harmônico.
- A segunda menor frequência de ressonância – dobro da frequência fundamental - representada por $f_2$ – segundo harmônico.
- A terceira menor frequência – três vezes maior que a frequência fundamental - representada por $f_3$ – terceiro harmônico.

## Espectro de ressonância

É todo o conjunto de frequências de ressonância de uma determinada corda, que produzem seus respectivos modos de oscilação.




1º harmônico ou Fundamental

2º harmônico

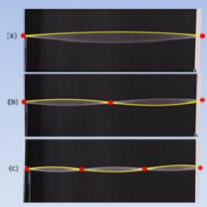
3º harmônico

4º harmônico

Fonte: O autor.

---

A corda do experimento tem comprimento fixo de valor **L**, observando os comprimentos e onda $\lambda$, é fácil perceber que:




F1 – $L = 1\frac{\lambda_1}{2}$

F2 – $L = 2\frac{\lambda_2}{2}$

F3 – $L = 3\frac{\lambda_3}{2}$

Fonte: O autor.

Onde: $L = n\frac{\lambda_n}{2}$

---

A velocidade de um pulso pode ser expressa em função do comprimento de onda como:

$$v = \lambda f \Longrightarrow f = \frac{v}{\lambda} \Longrightarrow f_n = \frac{v}{\lambda_n} \quad (n = 1, 2, 3, \ldots)$$

Logo:

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

$$f_1 = \frac{v}{2L} \quad n = 1$$

$$f_2 = \frac{2v}{2L} = 2\left(\frac{v}{2L}\right); \quad n = 2$$

$$f_3 = \frac{3v}{2L} = 3\left(\frac{v}{2L}\right); \quad n = 3$$

$$f_n = n\frac{v}{2L}$$

$$f_n = nf_1$$

---

- Fio 1 - nylon 0.45 - $\mu = 2{,}003 \times 10^{-4}$ Kg/m
- Fio 2 - nylon 0.60 - $\mu = 3{,}235 \times 10^{-4}$ Kg/m
- 1 massa de 20g – T = 0,1956N
- 1 massa de 60g – T = 0,5868N

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Ex:

$$v = \sqrt{\frac{0{,}1956}{2{,}003 \cdot 10^{-4}}} = 31{,}24\text{m/s}$$

| | μ (kg/m)[4] | T (N) | v (m/s) |
|---|---|---|---|
| fio 1 | $2{,}003 \cdot 10^{4}$ | 0,1956 | 31,24 |
| fio 1 | $2{,}003 \cdot 10^{4}$ | 0,5868 | |
| fio 2 | $3{,}235 \cdot 10^{4}$ | 0,1956 | |
| fio 2 | $3{,}235 \cdot 10^{4}$ | 0,5868 | |

Fonte: O autor.

---

- Fio 1 - nylon 0.45 - $\mu = 2{,}003 \times 10^{-4}$ Kg/m
- Fio 2 - nylon 0.60 - $\mu = 3{,}235 \times 10^{-4}$ Kg/m
- 1 massa de 20g – T = 0,1956N
- 1 massa de 60g – T = 0,5868N

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Ex:

$$v = \sqrt{\frac{0{,}1956}{2{,}003 \cdot 10^{-4}}} = 31{,}24\text{m/s}$$

| | μ (kg/m)[4] | T (N) | v (m/s) |
|---|---|---|---|
| fio 1 | $2{,}003 \cdot 10^{4}$ | 0,1956 | 31,24 |
| fio 1 | $2{,}003 \cdot 10^{4}$ | 0,5868 | **54,12** |
| fio 2 | $3{,}235 \cdot 10^{4}$ | 0,1956 | **24,58** |
| fio 2 | $3{,}235 \cdot 10^{4}$ | 0,5868 | **42,59** |

Fonte: O autor.

---

- Quando o fio 1 está esticado com maior intensidade, isto é, coloca-se um corpo de massa maior, a tensão na corda _____(aumenta/diminui), em consequência a velocidade de propagação de uma onda será _____(maior/menor) neste fio;
- Da mesma forma, ao considerar os dois fios diferentes, fio 1 e fio 2, mas mantendo-se a mesma tensão no fio, isto é, o corpo utilizado em ambos os fios é o mesmo, pode-se afirmar que o fio ___(1/2), cuja densidade linear é maior que a do fio ____ (1/2) tem velocidade de propagação de onda _____(menor/maior) do que o fio __(1/2).

Assim, é possível concluir a partir das observações feitas na tabela 1, que quanto _____(maior/menor) a **densidade** do fio, _____ (maior/menor) será a velocidade de propagação de um pulso ou de uma onda neste fio. E quanto _____(maior/menor) a **tensão** aplicada no fio, _____(maior/menor) será a velocidade de propagação de um pulso ou de uma onda.

- Quando o fio 1 está esticado com maior intensidade, isto é, coloca-se um corpo de massa maior, a tensão na corda _AUMENTA_ (aumenta/diminui), em consequência a velocidade de propagação de uma onda será __MAIOR__(maior/menor) neste fio;

- Da mesma forma, ao considerar os dois fios diferentes, fio 1 e fio 2, mas mantendo-se a mesma tensão no fio, isto é, o corpo utilizado em ambos os fios é o mesmo, pode-se afirmar que o fio _2_(1/2), cuja densidade linear é maior que a do fio _1__ (1/2) tem velocidade de propagação de onda _MENOR_(menor/maior) do que o fio _1_(1/2).

Assim, é possível concluir a partir das observações feitas na tabela 1, que quanto __MAIOR____(maior/menor) a **densidade** do fio, __MENOR___ (maior/menor) será a velocidade de propagação de um pulso ou de uma onda neste fio. E quanto MAIOR __(maior/menor) a **tensão** aplicada no fio, MAIOR _(maior/menor) será a velocidade de propagação de um pulso ou de uma onda.

| | fio 1 | fio 1 | fio 2 | fio 2 |
|---|---|---|---|---|
| | $\mu = 2{,}003 \cdot 10^{-4}$ kg/m | $\mu = 2{,}003 \cdot 10^{-4}$ kg/m | $\mu = 3{,}235 \cdot 10^{-4}$ kg/m | $\mu = 3{,}235 \cdot 10^{-4}$ kg/m |
| | T = 0,1956 N | T = 0,5868 N | T = 0,1956 N | T = 0,5868 N |
| $f_1$ | 20,8 Hz | 36,08 Hz | 16,38 Hz | 28,40 Hz |
| $f_2$ | 41,6 Hz | | 32,76 Hz | |
| $f_3$ | 62,4 Hz | | 49,12 Hz | |
| $f_4$ | 83,2 Hz | | 65,52 Hz | |
| $f_5$ | 104 Hz | 180,4 Hz | 81,9 Hz | 142 Hz |

**L = 0,75m**

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \qquad \lambda_n = \frac{2L}{n}$$

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} \qquad f_n = nf_1$$

| | fio 1 | fio 1 | fio 2 | fio 2 |
|---|---|---|---|---|
| | $\mu = 2{,}003 \cdot 10^{-4}$ kg/m | $\mu = 2{,}003 \cdot 10^{-4}$ kg/m | $\mu = 3{,}235 \cdot 10^{-4}$ kg/m | $\mu = 3{,}235 \cdot 10^{-4}$ kg/m |
| | T = 0,1956 N | T = 0,5868 N | T = 0,1956 N | T = 0,5868 N |
| $f_1$ | 20,8 Hz | 36,08 Hz | 16,38 Hz | 28,40 Hz |
| $f_2$ | 41,6 Hz | **72,16 Hz** | 32,76 Hz | **56,8 Hz** |
| $f_3$ | 62,4 Hz | **108,24 Hz** | 49,12 Hz | **85,2 Hz** |
| $f_4$ | 83,2 Hz | **144,32 Hz** | 65,52 Hz | **113,6 Hz** |
| $f_5$ | 104 Hz | 180,4 Hz | 81,9 Hz | 142 Hz |

Fonte: O autor.

**L = 0,75m**

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \qquad \lambda_n = \frac{2L}{n}$$

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} \qquad f_n = nf_1$$

- Ao se utilizar um mesmo fio, quanto maior a tensão aplicada no fio, isto é, ao se utilizar um corpo de massa maior para puxar o fio, _____(maior/menor) será a frequência fundamental para este fio.

- Ao se utilizar dois fios de densidades lineares diferentes, ao se aplicar a mesma tensão em cada um dos fios, isto é o mesmo corpo para puxar o fio, quanto maior a densidade linear do fio, _____(maior/menor) será a frequência fundamental para esta tensão.

- Ao se utilizar um mesmo fio, quanto maior a tensão aplicada no fio, isto é, ao se utilizar um corpo de massa maior para puxar o fio, __MAIOR__(maior/menor) será a frequência fundamental para este fio.

- Ao se utilizar dois fios de densidades lineares diferentes, ao se aplicar a mesma tensão em cada um dos fios, isto é o mesmo corpo para puxar o fio, quanto maior a densidade linear do fio, __MENOR__(maior/menor) será a frequência fundamental para esta tensão.

## PLANO DE SEÇÃO 7: Voltando ao início...

**IDENTIFICAÇÃO:** Colégio_____

**CURSO:** Ensino Médio

**DISCIPLINA:** Física

**PROFESSOR:** Luís Alexandre Rauch

**SÉRIE:** 2º Ano

**CARGA HORÁRIA:** 50 minutos

**UNIDADE DIDÁTICA:** Nas cordas dos instrumentos musicais

**TEMA:** Ondas Mecânicas

**ASSUNTO:** Escala Pitagórica e Timbre

### COMPETÊNCIAS E HABILIDADES

- Ler e interpretar textos de interesse científico e tecnológico;
- Interpretar e criticar resultados a partir de experimentos e demonstrações;
- Fazer uso dos conhecimentos da Física para explicar o mundo natural e planejar, executar e avaliar intervenções práticas;
- Exprimir-se oralmente com correção e clareza, usando a terminologia correta;

### OBJETIVOS

- Associar uma nota musical produzida por um instrumento de corda com a dependência com a densidade linear, o material e comprimento da corda;
- Explicar como Pitágoras procedeu para construir a escala musical ocidental (escala Pitagórica);
- Descrever o conceito de timbre de um instrumento musical, bem como da voz humana.

**MOMENTOS DA AULA**

**1 – Introdução/Motivação: (5 minutos)**

Com o auxílio do datashow, o professor apresenta o vídeo “Pitágoras e a Música - Donald no País da Matemágica”.

.

**10 – Desenvolvimento: (40 minutos)**

Após a apresentação do vídeo, com o auxílio dos slides referentes à apresentação da Seção 7 – Voltando ao início..., são apresentados os pontos principais contidos no texto, onde é explicado como Pitágoras realizou seus estudos e chegou às notas musicais a partir da variação do comprimento da corda do seu monocórdio, e como Zarlino a aperfeiçoou a divisão realizada por Pitágoras.

É trabalhado com os educandos também os conceitos de composição harmônica e timbre.

Após as explicações, o professor fornece os textos de apoio aos educandos, onde estes realizam a leitura do mesmo, porém, ainda sem resolver o exercício proposto.

O professor solicita que a turma se organize em 4 (quatro) equipes, distribui um instrumento para cada equipe, solicita que tentem observar os princípios físicos estudados durante a unidade, bem como variem o comprimento da corda do monocórdio sobre as marcações feitas na tampa para ouvir as notas musicais a partir da divisão da corda como Pitágoras fez e Zarlino aperfeiçoou.

Depois de um tempo, o professor solicita que as equipes que estão com os monocórdios permutem os monocórdios entre si, faz o mesmo procedimento com as equipes que possuem os violões rudimentares.

Realizadas as análises com dois instrumentos que possuem mesmo comprimento, porém cordas diferentes (dois monocórdios ou dois violões), o professor solicita então que façam novamente a permuta entre os instrumentos, porém, desta vez, a equipe que estava com o monocórdio com a corda nº. 3, pegue o violão com a corda nº. 3, e vice-versa. O mesmo procedimento com a

equipe que estava com o monocórdio de corda nº. 5, que pegue o violão contendo a corda nº. 5 e vice-versa.

Após as equipes analisarem os instrumentos, o professor pergunta para a turma: O que conseguiram observar quando manusearam o mesmo instrumento (violão ou monocórdio), ou seja, os instrumentos que possuem mesmo comprimento? Possíveis respostas fornecidas pelos educandos:

- O instrumento que tem corda mais grossa tem o som mais grave;
- O instrumento que tem corda mais fina tem som mais agudo.

É perguntado novamente aos educandos: E quando foram manuseados os instrumentos com tamanhos diferentes (um violão e um monocórdio), porém, ambos com a mesma corda? Possíveis respostas fornecidas pelos educandos:

- O instrumento que tem corda maior possui som mais grave;
- O instrumento que tem corda menos possui som mais agudo.

O professor solicita então que os educandos realizem a atividade final proposta no texto de apoio.

**3 – Síntese Integradora (5 minutos)**

Ao final da aula o professor solicita que os educandos entreguem a folha 5 (colocando o nome na mesma) que será corrigida e entregue na aula seguinte para arquivamento.

**AVALIAÇÃO**

Feita de uma forma qualitativa, a partir de observações no decorrer da aula com base no interesse, na participação e na interação dos educandos. E de forma quantitativa, ao efetuar a correção da atividade: palavras cruzadas depois da aula arquivados na pasta.

**RECURSOS FÍSICOS:**

Para a aula serão utilizados:

- Quadro negro;
- Giz;

- Datashow ou TV Pendrive;
- Apresentação “Seção 7 – Voltando ao início...”, disponível no material do professor e reproduzido nas observações deste plano;
- Monocórdios de Pitágoras com cordas nº 3 e 5;
- Violão Rudimentar com cordas nº 3 e 5;
- Texto de apoio ao educando – Seção 7;
- Vídeo “Pitágoras e a Música - Donald no País da Matemágica”, disponível no conteúdo digital do Material de Apoio ao Professor ou para acesso em: https://www.youtube.com/watch?v=66l6MBQgcRg.

**REFERÊNCIAS:**

CROCHIK , L.; RIBEIRO JÚNIOR, I. S. **A construção de escalas musicais e instrumentos musicais de baixo custo como recurso didático para o ensino de física ondulatória**. Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2009. Disponível em: <http://www.cienciamao.usp.br/dados/snef/_aconstrucaodeescalasmusi.trabalho.pdf>. Acesso em: 10 Abr. 2015.

DAVE, P. **Como se vem las cuerdas dentro de la guitarra**. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=xYcSy146LAM. Acesso em: 10 Out. 2015.

HERRERO, Raul. **Pitágoras en el momento del triunfo del cristianismo.** Disponível em: <http://raulherrero.blogia.com/2006/071801-pitagoras-en-el-momento-del-triunfo-del-cristianismo.php>. Acesso em: 28 mai. 2016.

**Note the diferente timbres below.** Disponível em: http://www.simplifyingtheory.com/timbre/. Acesso em: 26 Jun. 2016.
Wuensche, C. A. **A física da música**. Disponível em: <http://www.cea.inpe.br/~alex/FisicadaMusica/fisica_da_musica.pdf>, 2005. Acesso em 04 Dez. 2015.

O Monocórdio de Pitágoras . http://www.ghtc.usp.br/server/Sites-HF/Lucas-Soares/monocordio%20de%20pitagoras.html

**Pitágoras**. Disponível em: http://pensador.uol.com.br/autor/pitagoras/. Acesso em: 25 dez. 2015.

YOUNG, D. Hugh. FREEDMAN Roger A.. **Física II**. 10ª ed. São Paulo: Ed. Pearson Addison Wesley, 2003.

**OBSERVAÇÕES:**

- Na impossibilidade de utilização do datashow em sala de aula por motivos diversos, o professor pode apresentar o vídeo proposto na introdução, bem como a apresentação “Seção 7 – Voltando ao início...” junto à TV Pendrive.
- Se houver a possibilidade de serem levados outros instrumentos de cordas além dos citados, como um violino, poderão ser formadas mais equipes e a aula ficará mais produtiva.

Slides referentes à Seção 7: Voltando ao início...

## SEÇÃO 07
## VOLTANDO AO INÍCIO...

Fonte: O autor.

É possível perceber relações dos conceitos apresentados nas seções anteriores com instrumento de cordas como:

violão

Fonte: O autor.

Piano

Fonte: O autor.

Monocórdio

Fonte: O autor.

### Monocórdio

É instrumento confeccionado basicamente por uma corda. Pode ser, por exemplo:

- de aço;
- de Nylon.

A corda é presa em uma das extremidades e tensionada na outra extremidade.

Sistema onde uma corda é presa em uma das extremidades e tensionada em outra por uma determinada massa - seção 6 - experimento da corda onde estudou-se a formação de ondas estacionárias em uma corda presa nas extremidades, sendo que em uma das extremidades estava fixa e a outra extremidade possuindo uma determinada massa, a qual era variável e proporcionava tensão à corda.

Fonte: O autor.

O Monocórdio foi inventado por Pitágoras (580-497 a.C.)

Ao passar em frente a uma oficina de um ferreiro, Pitágoras percebeu que as batidas de martelos de diferentes pesos produziam sons que eram agradáveis ao ouvido e se combinavam muito bem.

Pitágoras utilizou o monocórdio para estudar a relação dos comprimentos das cordas com o som produzido por estas, tentando encontrar as relações onde os sons eram mais agradáveis aos ouvidos.

O monocórdio consistia basicamente de uma corda, cujas extremidades eram tensionadas por objetos de determinada massa, apoiada sobre dois cavaletes em uma mesa. Esta mesa também possuía um terceiro cavalete móvel, cuja função era dividir a corda em frações perfeitas do comprimento original.

Fonte: http://raulherrero.blogia.com/2006/071801-pitagoras-en-el-momento-del-triunfo-del-cristianismo.php

Foi a partir dos seus estudos com o uso do monocórdio que Pitágoras chegou às 7 notas musicais conhecidas no ocidente, que são as notas **dó-ré-mi-fá-sol-lá-si-dó**.

- Ao dividir a corda do monocórdio em 2/3 do seu tamanho original - intervalo musical de quinta (exemplo: dó-sol).
- Ao dividir essa mesma corda em 3/4 do tamanho original ele obtinha o intervalo musical de quarta (exemplo: dó-fá).
- Quando ele dividia a corda na metade do comprimento ele obtinha o intervalo de oitava (exemplo: dó1 - dó2).

Para a obtenção das demais notas Pitágoras utilizou o ciclo das quintas, o qual consistia em encontrar as notas **dó-ré-mi-fá-sol-la-si-dó**, através da superposição de quintas ascendentes.

- A utilização do ciclo das quintas nos proporciona a seguinte ordem das notas musicais:

**dó-sol-ré-lá-mi-si**

| Notas | Dó | Ré | Mi | Fá | Sol | Lá | Si | Dó |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Comprimento da corda em relação à Dó | 1 | $\frac{8}{9}$ | $\frac{64}{81}$ | $\frac{3}{4}$ | $\frac{2}{3}$ | $\frac{16}{27}$ | $\frac{128}{243}$ | $\frac{1}{2}$ |

Fonte: http://www.cienciamao.usp.br/dados/snef/_aconstrucaodeescalasmusi.trabalho.pdf

## Importante

A escala obtida por Pitágoras foi baseada em função dos comprimentos das cordas.

Porém, a associação da frequência a uma nota musical, a qual é utilizada nos dias de hoje para afinar um instrumento musical, foi introduzida por **Galileu Galilei** (1564-1642)

Após Pitágoras, houve muitas outras tentativas de construção de escalas musicais, as quais possuíssem sonoridades agradáveis aos ouvidos.

- **Gioseffo Zarlino** (1517-1590), teórico musical italiano, sistematizou a escala de Pitágoras buscando os intervalos através da soma de médias harmônicas e aritméticas a partir de uma nota fundamental. Ou seja, Zarlino se utilizou de passos matemáticos para chegar à escala musical.

Ao pegar 2 números: X e Y

- Média aritmética:

$$M = \frac{x+y}{2}$$

- Média harmônica

$$M = \frac{n}{\frac{1}{x}+\frac{1}{y}}$$

## Relação de Zarlino

| Notas | Dó | Ré | Mi | Fá | Sol | Lá | Si | Dó |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Comprimento da corda em relação à Dó | 1 | $\frac{8}{9}$ | $\frac{4}{5}$ | $\frac{3}{4}$ | $\frac{2}{3}$ | $\frac{3}{5}$ | $\frac{8}{15}$ | $\frac{1}{2}$ |

Fonte: http://www.cienciamao.usp.br/dados/snef/_aconstrucaodeescalasmusi.trabalho.pdf

## Relação entre as escalas:

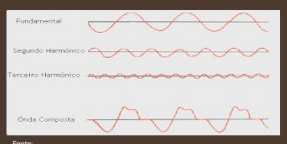
Considerando uma corda de comprimento L = 1m

| | Pitágoras | | Zarlino | |
|---|---|---|---|---|
| Nota | relação | comprimento (m) | relação | comprimento (m) |
| Dó | 1 | 1,000 | 1 | 1,000 |
| Ré | 8/9 | 0,889 | 8/9 | 0,889 |
| Mi | 64/81 | 0,790 | 4/5 | 0,800 |
| Fá | 3/4 | 0,750 | 3/4 | 0,750 |
| Sol | 2/3 | 0,667 | 2/3 | 0,667 |
| Lá | 16/27 | 0,593 | 3/5 | 0,600 |
| Si | 128/243 | 0,527 | 8/15 | 0,533 |
| Dó | 1/2 | 0,500 | 1/2 | 0,500 |

Fonte: O autor.

## COMPOSIÇÃO HARMÔNICA

Quando a corda de um instrumento vibra, sua vibração resultante é a combinação do harmônico fundamental juntamente com vários sobretons; desta forma, o movimento da corda será a superposição de vários modos normais.
À esta superposição denomina-se composição harmônica

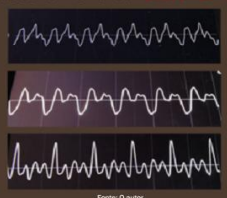


Fonte: http://www.cea.inpe.br/~alex/Fisicada Musica/fisica_da_musica.pdf

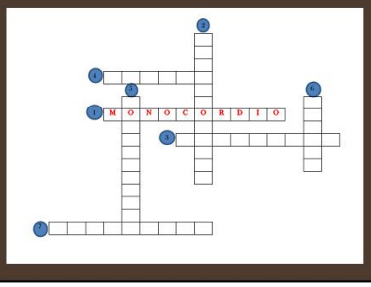
Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=xYcSy146LAM

## TIMBRE

À diferença do som produzido pelos instrumentos musicais ao tocarem uma nota musical cuja frequência é a mesma dá-se o nome de timbre do instrumento



Fonte: O autor.



## PLANO DE SEÇÃO 8: Um final para um novo começo!

**IDENTIFICAÇÃO:** Colégio_____
**CURSO:** Ensino Médio
**DISCIPLINA:** Física
**PROFESSOR:** Luís Alexandre Rauch
**SÉRIE:** 2º Ano
**CARGA HORÁRIA:** 50 minutos
**UNIDADE DIDÁTICA:** Nas cordas dos instrumentos musicais
**TEMA:** Ondas Mecânicas
**ASSUNTO:** Avaliação da aprendizagem.

### COMPETÊNCIAS E HABILIDADES

- Ler e interpretar textos de interesse científico e tecnológico;
- Exprimir-se oralmente com correção e clareza, usando a terminologia correta;
- Fazer uso dos conhecimentos da Física para explicar o mundo natural e planejar, executar e avaliar intervenções práticas;

### OBJETIVOS

- Interpretar e retirar informações de textos científicos;
- Calcular a tensão aplicada em uma corda a partir dos dados de frequência, densidade linear e comprimento da corda;
- Saber calcular o comprimento que uma corda deve ter para determinada nota musical a partir da relação de Zarlino adaptada da escala de Pitágoras;
- Estabelecer relações entre conceitos abordados nas seções 1 a 7 com as notas musicais produzidas por um instrumento musical de cordas.

### MOMENTOS DA AULA

**1 – Introdução/Motivação: (5 minutos)**

Caso a turma esteja organizada de forma diferente, o professor solicita então sua organização com as carteiras enfileiradas.

Em seguida é fornecida a avaliação aos educandos.

**2 – Desenvolvimento: (40 minutos)**

O professor realiza a leitura das questões da avaliação juntamente com os educandos, explicando os principais pontos que os mesmos deverão tomar a devida atenção para responder.

**3 – Síntese Integradora (5 minutos)**

O professor recolhe a avaliação, onde será realizada a correção e devolvida aos educandos na aula seguinte para arquivamento.

**AVALIAÇÃO**

Feita de uma forma qualitativa, a partir de observações no decorrer da aula com base no esforço do educando na resolução da avaliação. E de forma quantitativa, analisando a resolução das questões presentes na avaliação.

**RECURSOS FÍSICOS:**

- Quadro negro;
- Giz;
- Texto da avaliação – Seção 8.

**REFERÊNCIAS:**

YOUNG, D. H.. FREEDMAN R. A.. **Física II**. 10. ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2003.

**OBSERVAÇÕES:**

- Caso julgue necessário, o professor poderá permitir com que os educandos realizem a consulta dos Textos de Apoio e 1 a 7 para retirar possíveis dúvidas que surgirem durante a resolução;
- A partir da observação do desempenho da turma durante o processo de realização da avaliação o professor deverá passar dicas para a resolução de determinada questão que julgue necessário.

# 3 - ONDAS MECÂNICAS E INSTRUMENTOS MUSICAIS DE CORDAS

O presente capítulo tem por objetivo apresentar os conceitos físicos relacionados às ondas mecânicas e aos instrumentos musicais de cordas que foram abordados no decorrer do Produto, e dele foram elaborados os Textos de Apoio ao Educando e Textos de Apoio ao Professor.

Os conceitos de movimento periódico, movimento harmônico simples, ondas mecânicas, escala pitagórica, entre outros serão melhor aprofundados para subsidiar o professor durante aplicação em sala de aula.

# 3. ONDAS MECÂNICAS E INSTRUMENTOS MUSICAIS DE CORDAS

## 3.1 Instrumentos musicais de cordas

Ao manusear algum instrumento musical de corda tentando tocar algum som, é possível perceber que existe mais de uma maneira de se produzir som nele, ou seja, a produção do som pode ser feita puxando a corda para baixo e a soltando (dedilhando) como em um violão, ou atritar um arco às cordas de um violino e estas entrar em vibração, ou até mesmo percutindo a corda com um pedaço de madeira, por exemplo, como ocorre com o berimbau. Desta forma, os instrumentos de cordas são divididos em três categorias, de acordo com a forma com que o som é produzido, que podem ser: instrumentos de cordas friccionadas, instrumentos de cordas percutidas e instrumentos de cordas dedilhadas.

Os instrumentos de cordas friccionadas têm a produção do som realizada a partir do atrito entre a corda do instrumento e uma cerda, sendo esta, normalmente confeccionada com crina ou calda de cavalo. A família deste tipo de instrumento é constituída por quatro membros: violino, viola, violoncelo e contrabaixo, e a produção do som nestes instrumentos ocorre segundo um processo de “prende-desliza”. Ao passar o arco sobre a corda, ocorre o deslocamento da mesma por aproximadamente 1 mm onde a força restauradora aumenta até que a força de atrito é vencida e a corda liberada, em seguida, prende-se novamente em um ponto mais à frente, recomeçando o ciclo, o qual é repetido na frequência da nota tocada (DONOSO, et al. 2008).

De outra forma, os instrumentos de cordas percutidas se referem aos instrumentos cujo o som é produzido a partir da vibração das cordas após estas serem percutidas por baquetas ou martelos, onde o som se inicia bruscamente e, quando a corda não é abafada, tem longa duração. Geralmente, se utiliza o método da percussão em instrumentos que possuem uma corda para cada nota e não há a necessidade de se utilizar uma das mãos para controlar o comprimento da corda, tendo, desta forma, as duas mãos livres para se controlar as baquetas ou o teclado. Além disso, a intensidade

das notas é controlada pela força da batida (CAMPAGNOLI, 2014; GABRIEL, 2016).

O piano é o principal instrumento da categoria dos instrumentos de cordas percutidas, onde em sua forma moderna possui 88 teclas que controlam um sofisticado sistema de martelos para percutir as cordas de cada nota de maneira independente (GABRIEL, 2016).

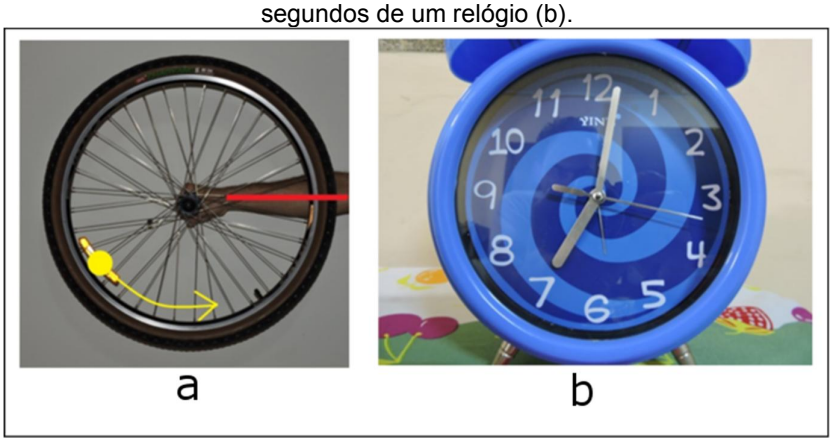
Por fim, os instrumentos de cordas dedilhadas produzem o som a partir da vibração das cordas após serem dedilhadas pelos dedos ou por palhetas. Para a produção do som nestes instrumentos, a corda é levemente deslocada de sua posição de repouso e depois solta, onde a mesma vibra livremente. Esta forma de execução faz com que o som se inicie bruscamente com um som forte, de curta duração, porém a corda mantém a vibração por um longo intervalo de tempo decaindo lentamente até o silêncio (CAMPAGNOLI, 2014; GABRIEL, 2016).

## 3.2 Movimento periódico

A produção do som nos instrumentos musicais, seja de corda, sopro ou percussão, geralmente é feita a partir de repetições regulares de batidas, por exemplo, nas cordas do instrumento. Na Física, a repetição regular de um movimento ou batida denomina-se de movimento periódico, onde o intervalo de tempo entre as batidas é sempre o mesmo.

Esta repetição de movimentos é observada em várias situações do cotidiano como as que são apresentadas na Figura 3.1, ou seja, como o rodar dos pneus de uma bicicleta (Figura 3.1a) ao observar o ponto demarcado na roda passar por uma linha de referência como o braço da pessoa, por exemplo, ou até mesmo como os ponteiros de um relógio (Figura 3.1b) ao se observar os ponteiros dos segundos realizar uma volta completa a partir do número 12, por exemplo.

Figura 3.1 – O movimento de uma roda de bicicleta (a) e o movimento do ponteiro dos segundos de um relógio (b).




Fonte: O autor.

Do conceito de movimento periódico, é possível analisar duas propriedades físicas importantes: o período (T), que é o intervalo de tempo entre duas repetições simultâneas, medida em segundos, por exemplo: o período do ponteiro dos segundos de um relógio é T = 60s. A frequência (f), que é o número de vezes que esta repetição ocorre em um determinado intervalo de tempo. Por exemplo, uma roda de bicicleta que realiza 30 revoluções em um tempo de 10 s, possui uma frequência $f = 3\ s^{-1}$.

A unidade de medida de frequência $s^{-1}$ por ser muito utilizada é denominado de hertz, cujo símbolo é Hz, e foi assim designada em homenagem ao físico alemão Heinrich Hertz (1857-1898), um pioneiro nas investigações das ondas eletromagnéticas (YOUNG; FREEDMAN, 2003).

## 3.3 Pêndulo simples

Galileu Galilei (1564 - 1642 ) físico, astrônomo, matemático e filósofo italiano sempre foi muito dedicado aos estudos sobre os movimentos dos corpos e segundo a história, em um desses estudos, estava observando as oscilações de um lustre da Catedral de Pisa quando teve a ideia de fazer medidas do tempo de oscilação. Porém, como ainda não existia o relógio, ele as fez comparando com os batimentos do seu pulso e verificou que mesmo quando as oscilações ficavam cada vez menores o tempo das oscilações permanecia sempre o mesmo. Ao repetir o experimento em sua casa, Galileu

verificou que o tempo das oscilações dependia apenas do comprimento do fio (CRUZ, et al., 2012).

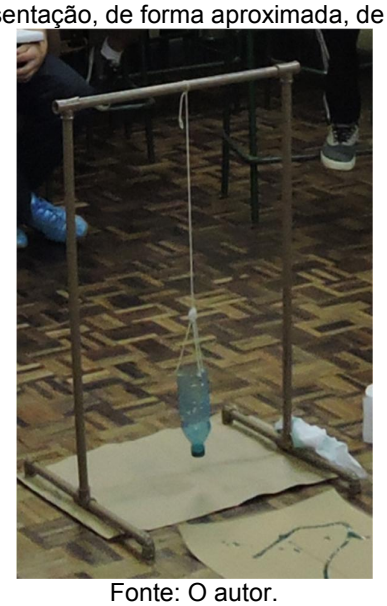
Ao mecanismo onde se tem uma massa presa a um fio, como o lustre estudado por Galileu, ligeiramente deslocado de sua posição de equilíbrio e solto em seguida entrando em movimento oscilatório, denomina-se pêndulo. O modelo de pêndulo mais simples para efeitos de estudo é denominado pêndulo simples, composto por um sistema constituído de um corpo puntiforme com determinada massa e suspenso por um fio ideal, ou seja, inextensível e com massa desprezível, com determinado comprimento e que executa oscilações desenvolvendo pequenos deslocamentos, desprezando as possíveis resistências, como a do ar e atrito, e realiza um movimento periódico (ARNOLD, et al., 2011; TIPLER; MOSCA, 2009; HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

O aparato mostrado na Figura 3.2, utilizado no desenvolvimento desse trabalho, é a representação de um pêndulo. Ele é, constituído de um corpo de certa massa colocada para balançar na extremidade de um fio longo. A massa constitui-se de uma garrafa pet que possui um líquido colorido no seu interior e um pequeno orifício em sua tampa. O sistema apresentado pode ser considerado, de forma aproximada, como sendo a representação de um pêndulo simples, ou seja, um sistema constituído por um corpo puntiforme e suspenso por um fio inextensível e de massa desprezível (YOUNG; FREEDMAN, 2003).

Sabe-se que ao deslocar a massa do pêndulo em um pequeno ângulo $\theta$ a partir do ponto de equilíbrio, esta fica sujeita à força restauradora causada pela gravidade, que faz com que a massa quando solta, comece a balançar para lá e para cá, com um período T (TIPLER; MOSCA, 2009; YOUNG; FREEDMAN, 2003).

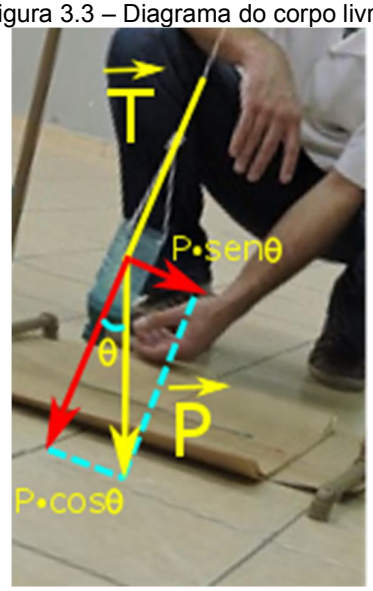
As forças que atuam sobre o pêndulo são o peso do corpo pendurado e a tensão sobre o fio. A Figura 3.3 representa diagrama do corpo livre, com sua respectiva decomposição. Vale ressaltar que o ângulo representado na Figura 3.3 foi ajustado de forma exagerada para melhor visualização das componentes das forças (TIPLER; MOSCA, 2009).

Figura 3.2 – A representação, de forma aproximada, de um pêndulo simples.



Fonte: O autor.

Figura 3.3 – Diagrama do corpo livre.




Fonte: O autor.

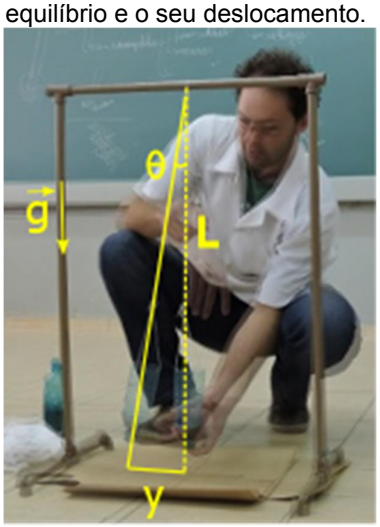
Como é possível observar na Figura 3.3, a componente da força peso dada por $(P \cdot cos\theta)$ se anula com a força de tração do fio (T) ambas na mesma direção e sentidos opostos e tomadas em módulo, de forma que única componente que pode causar o movimento oscilatório é a força restauradora $(P \cdot sen\theta)$ também tomada em módulo. Assim,

$$F = -P \cdot sen\theta, \qquad (3.1)$$

onde o sinal negativo da equação é relativo à ação de tentar manter o corpo em seu estado inicial de repouso, no centro da trajetória descrita pelo movimento, ou seja, devido a força restauradora, que não é proporcional ao ângulo θ, mas sim ao seno deste ângulo. Desta forma, o movimento do pêndulo não é um movimento harmônico simples. Porém, quando o ângulo θ é pequeno, o seno deste ângulo é aproximadamente igual ao ângulo, medidos em radianos (TIPLER; MOSCA, 2009; YOUNG; FREEDMAN, 2003).

A Figura 3.4 mostra duas imagens superpostas do aparato experimental utilizado em sala de aula, onde é possível observar o fio estendido em seu ponto de equilíbrio por meio da linha pontilhada e o mesmo fio fazendo um pequeno ângulo θ em relação ao ponto de equilíbrio. Ressaltando que o deslocamento y apresentado é justificado pelo fato do pêndulo estar oscilando sobre o eixo y demarcado no papel logo abaixo do mesmo. O deslocamento y é a projeção do arco produzido pela oscilação do pêndulo, porém, como esta oscilação é pequena, pode-se dizer que o tamanho do arco é aproximadamente igual ao deslocamento y marcado no papel.

Figura 3.4 – Superposição de duas imagens para observar o ângulo formado entre o ponto de equilíbrio e o seu deslocamento.




Fonte: O autor.

Considerando a aproximação descrita anteriormente para o ângulo, ou seja ($sen\theta \approx \theta$), a equação 3.1 pode ser reescrita como

$$F = -P \cdot \frac{y}{L},$$

e sabendo que $P = mg$, tem-se

$$F = -mg \cdot \frac{y}{L},$$

onde é possível observar que a força restauradora é proporcional à coordenada y, para pequenos deslocamentos e a constante da força é dada por $k = \frac{mg}{L}$.

A partir das equações da frequência angular ($\omega = \sqrt{k/m}$), frequência ($f = \omega/2\pi$) e período ($T = 2\pi/\omega$), é possível expressar o período de um pêndulo simples, válido para pequenos deslocamentos angulares, de acordo com a equação (3.2) (TIPLER; MOSCA, 2009; YOUNG; FREEDMAN, 2003), dada a seguir,

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}, \quad (3.2)$$

onde T é o período do movimento, L é o comprimento do pêndulo e g é a aceleração da gravidade.

## 3.4 Movimento harmônico simples

Movimento periódico, ou movimento harmônico é todo o movimento que se repete em intervalos iguais de tempo e, quando o deslocamento y de uma partícula em relação ao ponto de equilíbrio em função do tempo obedece à equação 3.3,

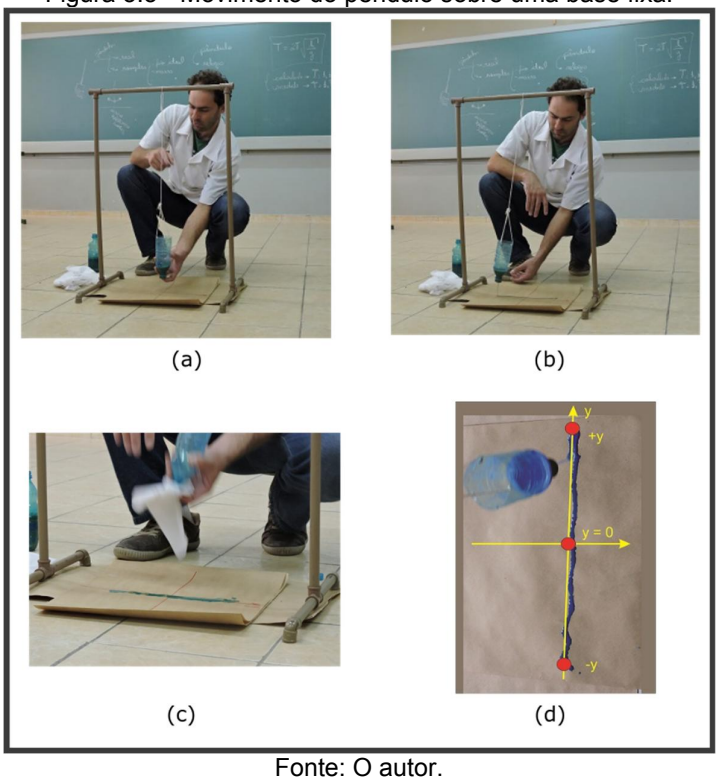
$$y(t) = y_m \cos(\omega t + \phi)\,(deslocamento), \quad (3.3)$$

este é denominado movimento harmônico simples (MHS), onde $y_m$, $\omega$ e $\phi$ são constantes (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

Pode-se considerar, por exemplo, o pêndulo apresentado na Figura 3.2, considerando as devidas aproximações, quando em movimento, representa MHS. Ao colocar o líquido colorido no interior da garrafa e fazer o pêndulo oscilar com um pequeno ângulo, abrindo o orifício da tampa da garrafa, o líquido irá marcar o papel sob o pêndulo com o líquido, produzindo um

segmento de linha reta, como mostrado no procedimento realizado na Figura 3.5, onde é possível observar em: (a) a colocação do líquido na garrafa pet; em (b), deslocamento da garrafa pet de um pequeno ângulo em relação ao ponto de equilíbrio e depois solta, ou seja, produção da oscilação, deixando o líquido demarcar o papel; em (c) apresenta o desenho demarcado pelo líquido após algumas oscilações; e em (d) é apresentado a demarcação no papel olhando de cima sob um sistema de eixos (xy).

Figura 3.5 - Movimento do pêndulo sobre uma base fixa.



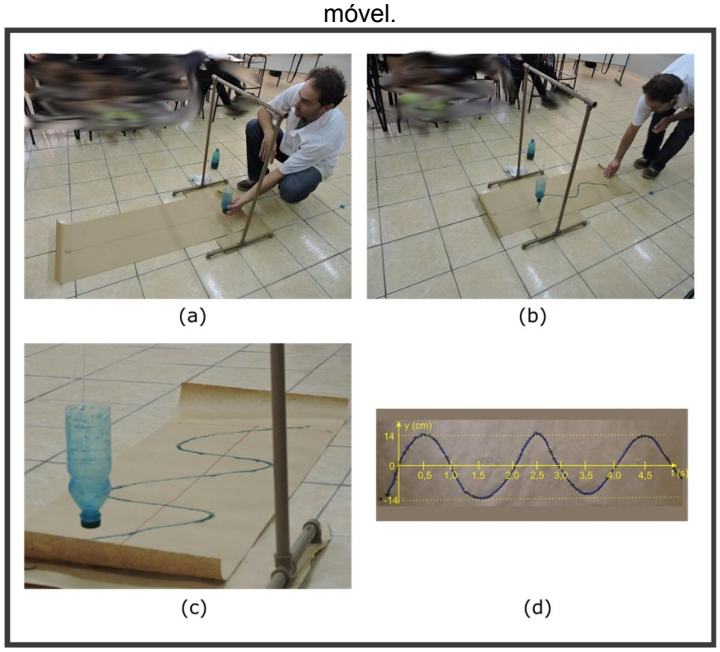

Fonte: O autor.

Observando a projeção do movimento do pêndulo sobre o papel produzida pelo líquido colorido, representado na Figura 3.5(d), é possível analisar a posição do pêndulo enquanto oscila em torno da origem do eixo y. Neste caso, têm-se três momentos distintos: o ponto (y = 0) refere-se ao instante em que o pêndulo está sobre o ponto de equilíbrio; o ponto (+y) representa o instante em que o pêndulo está com o seu deslocamento máximo para cima, a partir do seu ponto de equilíbrio, e o ponto (-y) representa o instante em que o pêndulo está com seu deslocamento máximo para baixo a partir do seu ponto de equilíbrio (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

Ao deslocamento máximo do pêndulo para qualquer um dos sentidos de oscilação dá-se o nome de amplitude (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

Quando o papel sob o pêndulo é puxado com velocidade aproximadamente constante, como representado na Figura 3.6, é obtido um padrão ondulatório de forma senoidal, onde se tem: em (a) o preparo do experimento; em (b) produção da oscilação do pêndulo ao mesmo tempo em que o papel sob o pêndulo é deslocado com velocidade aproximadamente constante, deixando cair líquido colorido no mesmo; em (c) o resultado final do movimento do pêndulo, onde pode ser verificada a marcação no papel cujo formato é senoidal e em (d) é apresentado a demarcação no papel olhando de cima sob um sistema de eixos da posição em y em função do tempo.

Figura 3.6 - A representação do movimento do pêndulo oscilando sobre uma base móvel.



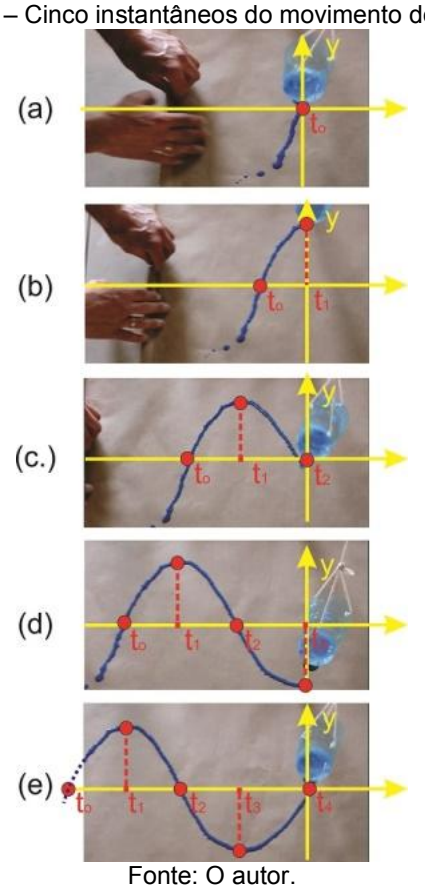

Fonte: O autor.

A Figura 3.7 representa o movimento do pêndulo em relação ao tempo, mantendo o referencial no ponto fixo na posição de equilíbrio do pêndulo, onde este fica parado e são tirados cinco instantâneos do movimento do mesmo. É possível observar que em 3.7(a) tem-se a representação do tempo inicial da observação ($t_0$), onde o elemento do pêndulo está com um deslocamento y=0.

No instantâneo 3.7(b), momento $t_1$, o pêndulo se encontra em seu deslocamento extremo para cima (denominado pico). Em 3.7(c), momento $t_2$, o

pêndulo desce novamente para y=0. No quarto instantâneo 3.7(d), momento $t_3$, o pêndulo está com seu deslocamento extremo para baixo (denominado vale) e no quinto instantâneo 3.7(e), momento $t_4$, o pêndulo está novamente em y=0, completando o ciclo de oscilação e recomeçando o movimento (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

Figura 3.7 – Cinco instantâneos do movimento do pêndulo.




Fonte: O autor.

Ao analisar a Figura 3.6(d), da posição do pêndulo em y em função do tempo, é possível observar que a posição em y fornece a oscilação do pêndulo entre um valor máximo e um mínimo, o que pode facilmente ser observado comparando-se com as Figuras 3.5(d) e 3.7.

Buscando uma comparação da Figura 3.6(d) com a análise feita anteriormente referente à Figura 3.5(d), é possível analisar a partir do Quadro 3.1 a posição do pêndulo em função do tempo.

Quadro 3.1 – Posição do pêndulo em função do tempo.

| instante | tempo (s) | deslocamento máximo em y (cm) |
|---|---|---|
| $t_0$ | 0 | 0 |
| $t_1$ | 0,5 | 14 |
| $t_2$ | 1,0 | 0 |
| $t_3$ | 1,5 | -14 |
| $t_4$ | 2,0 | 0 |

Fonte: O autor.

Como o MHS é um movimento periódico, é possível atribuir a este tipo de movimento um período (T), o qual é definido como sendo o intervalo de tempo necessário para o pêndulo realizar uma oscilação completa (ou um ciclo). Desta forma, é possível perceber que o período do movimento na Figura 3.6(d) é de 2,0 s (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

Outro elemento importante que caracteriza o MHS é a sua frequência (f), onde indica o número de oscilações completas que o pêndulo realiza por segundo (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

Desta forma, ao escolher o número de oscilações completas e dividir pelo tempo que o pêndulo levou para realizá-las, é possível estimar a frequência descrita pelo seu movimento a partir da Figura 3.6(d), o qual é de:

$$\mathrm{f} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}$$

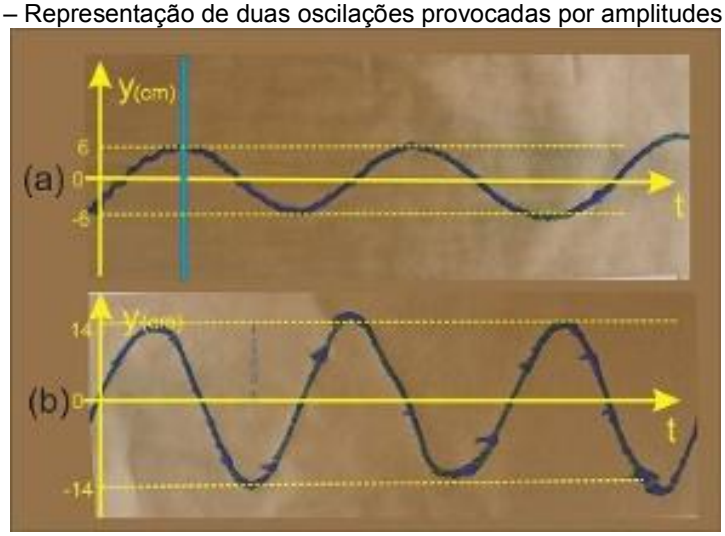
$$\mathrm{f} = 0{,}5\ \mathrm{Hz}$$

Como mencionado anteriormente, ao deslocamento máximo de oscilação do pêndulo em relação ao ponto de equilíbrio tem-se a amplitude do movimento e, ao analisar a Figura 3.6(d), tem-se que a amplitude de oscilação do pêndulo naquele movimento é de A = 14 cm.

Quando o pêndulo é deslocado em ângulos diferentes a partir do seu eixo de equilíbrio, este possuirá amplitudes diferentes. A Figura 3.8 representa

a realização do procedimento feito na Figura 3.6, mostrando a marcação feita pelo líquido colorido no papel sob o pêndulo a partir de: em (a) um ângulo de deslocamento menor a partir do ponto de equilíbrio e em (b), um ângulo de deslocamento maior a partir do ponto de equilíbrio, portando com um MHS de amplitudes diferentes.

Figura 3.8 – Representação de duas oscilações provocadas por amplitudes diferentes.




Fonte: O autor.

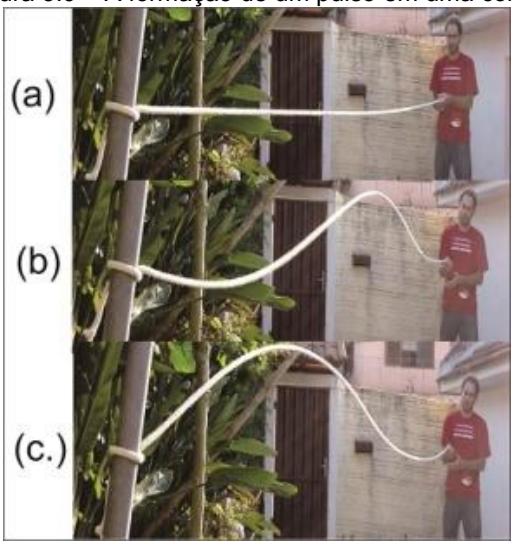
## 3.5 Pulso

Um pulso é uma distorção da forma de uma corda, por exemplo, o qual se propaga ao longo da corda com velocidade v (em módulo). O pulso realizado em uma corda esticada é a forma mais simples de ondas mecânicas, onde ao dar uma sacudida na extremidade da corda, um pulso se propaga através da sua extensão (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

A formação e propagação de um pulso se dá porque a corda está sob tensão, e ao puxar a extremidade da corda, esta transfere energia para sua parte vizinha. A parte vizinha, por sua vez, transfere energia para a próxima, e assim por diante. Enquanto isto ocorre, ao puxar a extremidade para baixo, as partes da corda que estão se deslocando para cima começam a ser forçadas a se mover para baixo. A Figura 3.9 apresenta a formação e transmissão de um pulso em uma corda tensionada, onde em 3.9(a) é mostrada a corda presa em uma das extremidades e tensionada em outra extremidade com determinada

força F (em módulo); em 3.9(b), é dada uma sacudida na corda, tendo a formação de um pulso e em 3.9(c), é mostrado o pulso se propagando pela extensão da corda (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

Figura 3.9 – A formação de um pulso em uma corda.




Fonte: O autor.

### 3.5.1 Velocidade de um pulso

A velocidade com a qual um pulso se propaga depende da força com a qual é puxada a corda (força de tração) e da densidade linear da corda. É possível calcular a velocidade da corda por meio da equação 3.4 (TIPLER; MOSCA, 2009).

$$v = \sqrt{\frac{\tau}{\mu}} \qquad (3.4)$$

A tração da corda pode ser aferida a partir de um dinamômetro e a densidade linear da corda pode ser calculada por meio da equação 3.5,

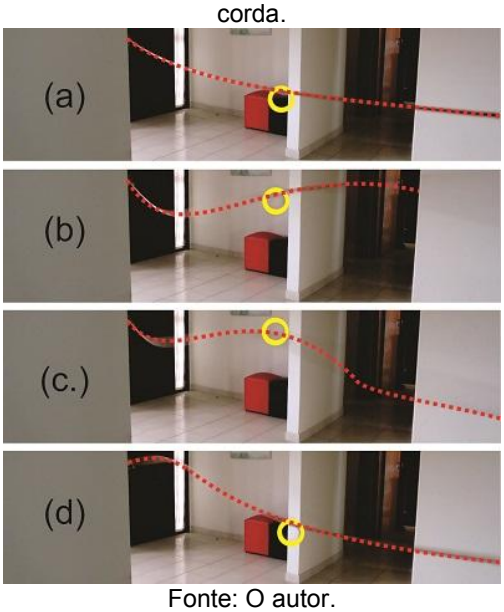
$$\mu = \frac{m}{l} \ , \qquad (3.5)$$

onde m é a massa da corda e l é o comprimento da corda.

### 3.5.2 Transporte de energia sem transporte de matéria

Ao aplicar um pulso em uma corda, este irá se propagar através dos pontos da mesma. Porém, se existir algo sobre a corda, ao passar o pulso, este não acompanhará o seu movimento. Isto é, ao pulso passar pelo objeto, este subirá e descerá, acompanhando o ponto da corda logo abaixo dele, porém, após a passagem do pulso, o objeto permanecerá na mesma posição em que se encontrava antes da passagem do pulso. Ou seja, um pulso irá transportar energia através da corda, porém não irá transportar matéria. A Figura 3.10 representa uma situação onde uma argola está: em (a) em repouso sobre a corda, em (b) o pulso encontrando com a argola e esta iniciando a subida, em (c) a argola no ponto mais alto (pico) do pulso e em (d), logo após a passagem do pulso, a argola na posição igual à que se encontrava antes da passagem do pulso (YOUNG; FREEDMAN, 2003).

Figura 3.10 – Demonstração do transporte de energia sem o transporte e matéria em uma corda.



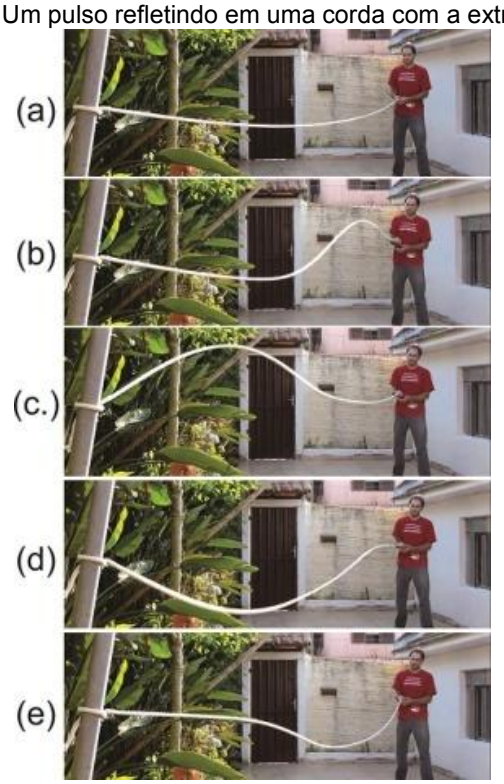

Fonte: O autor.

### 3.5.3 Reflexão de um pulso

Ao ser produzido um pulso em uma corda, este irá viajar pela corda até chegar à outra extremidade. Neste momento, ele irá sofrer reflexão e retornar no sentido contrário. A extremidade oposta da corda pode estar em duas condições: fixa e imóvel em um anteparo, ou fixa em uma argola, e esta pode se mover livremente para cima ou para baixo.

Quando a extremidade é fixa no anteparo, ao pulso chegar na extremidade da corda, este irá exercer uma força para cima sobre o anteparo e, de acordo com a Terceira Lei de Newton, o anteparo irá exercer uma força oposta, de mesmo módulo sobre a corda. Esta força irá produzir um pulso que se propaga no sentido oposto ao pulso incidente. A Figura 3.11 apresenta em (a) uma corda esticada, fixa em sua extremidade, em (b) um pulso sendo produzido, em (c) o pulso chegando à extremidade da corda, em (d) o pulso sendo refletido e em (e) o pulso viajando pela corda na direção oposta à inicial e sentido contrário ao pulso incidente (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

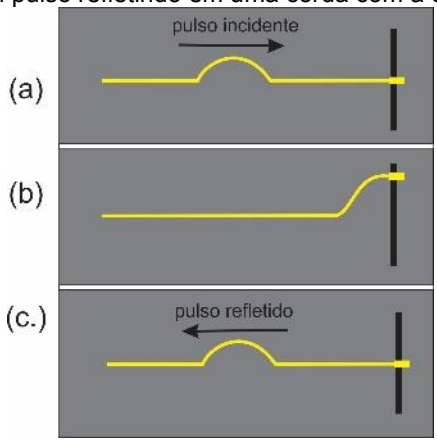
Figura 3.11 – Um pulso refletindo em uma corda com a extremidade fixa.




Fonte: O autor.

Quando a extremidade da corda está fixa em uma argola que possa deslizar livremente sobre uma barra, ao pulso chegar à extremidade da corda, a argola irá se deslocar para cima ao longo da barra, puxando e esticando a corda, produzindo um pulso refletido com mesmo sentido do pulso incidente. A Figura 3.12 representa um pulso em (a) incidindo em direção à extremidade de uma corda presa a uma argola, em (b) a argola deslizando para cima na barra e em (c) o pulso refletido, viajando com mesmo sentido do pulso incidente.

Figura 3.12 – Um pulso refletindo em uma corda com a extremidade livre.



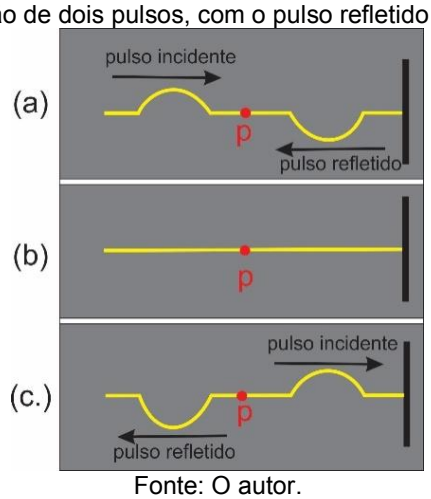

Fonte: O autor.

### 3.5.4 Superposição entre dois pulsos

Quando dois pulsos viajam em uma corda e em sentidos opostos, ao se encontrarem em um determinado ponto, de forma que ocupem a mesma região da corda, ocorre a superposição deles.

No caso de uma corda em que se tem a extremidade fixa, onde o pulso refletido retorna em direção oposta ao pulso incidente, ao se encontrarem em determinada região da corda, os pulsos se cancelam, ou seja, o deslocamento do ponto da corda em relação à posição de equilíbrio é zero. A Figura 3.13 apresenta em (a) dois pulsos, um incidente e outro refletido, em uma corda com a extremidade fixa, em (b) ocorre a superposição dos dois pulsos, resultando em deslocamento nulo do ponto P na corda e em (c), após a passagem do pulso por aquele ponto, os pulsos continuam a se deslocar pela corda normalmente (KELLER; GETTIS; SKOVE, 1999).

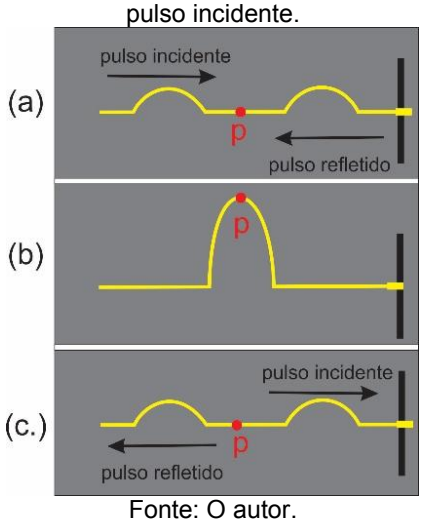
Figura 3.13 – A superposição de dois pulsos, com o pulso refletido invertido ao pulso incidente.




Fonte: O autor.

Quando os pulsos viajam em uma corda com a extremidade livre, o pulso refletido terá a mesma direção que o pulso incidente. Neste caso, os pulsos ao se encontrarem em determinada região da corda, o deslocamento máximo relativo à superposição dos pulsos é referente à soma dos deslocamentos máximos que cada pulso possui isoladamente. A Figura 3.14 apresenta em (a) dois pulsos, um incidente e outro refletido, em uma corda com a extremidade livre, (b) ocorre a superposição dos dois pulsos, resultando em deslocamento máximo no ponto P, relativo à soma dos deslocamentos de cada pulso e em (c), após a passagem do pulso por aquele ponto, os pulsos continuam a se deslocar pela corda normalmente (KELLER; GETTIS; SKOVE, 1999).

Figura 3.14 – A superposição de dois pulsos, com o pulso refletido com a mesma direção ao pulso incidente.




Fonte: O autor.

## 3.6 Ondas

O estudo das ondas constitui um dos principais assuntos da Física. Sua compreensão se faz necessária para o entendimento de ondulatória, óptica física e eletromagnetismo. Uma onda é definida como sendo uma perturbação que se propaga no vácuo e em meios materiais, a qual pode ser classificada em ondas mecânicas, que são ondas que necessitam de um meio material para se locomover ou ondas eletromagnéticas, as quais não necessitam de um meio material para se locomover. Além disso, as ondas também são classificadas de acordo com a sua direção de propagação em relação à perturbação, as quais podem ser longitudinal, quando a direção de vibração é paralelo à direção de propagação da onda ou transversal, quando a direção de vibração é perpendicular à direção de propagação da onda (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

No presente trabalho será dado ênfase às ondas transversais, como a onda produzida na corda mostrada da Figura 3.15, que ao ser agitada para cima e para baixo, repetidas vezes, produz uma onda transversal.

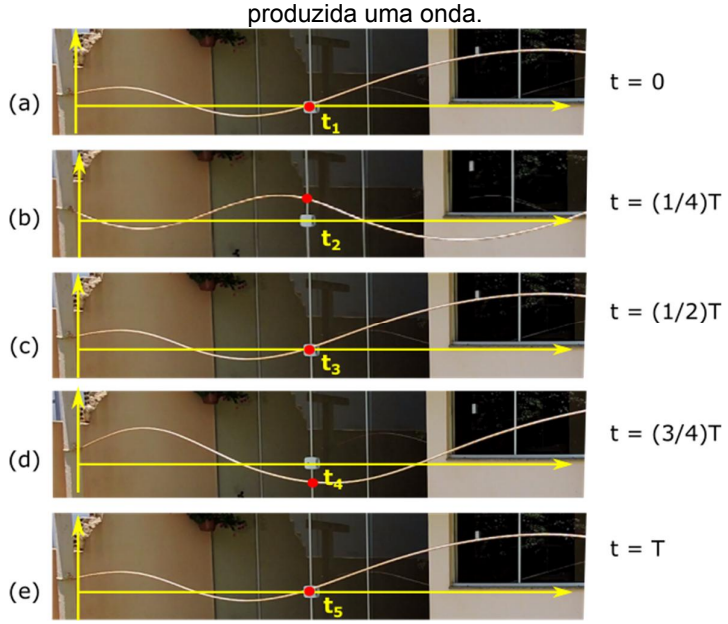
Figura 3.15 – Uma corda sendo agitada repetidas vezes, produzindo um padrão ondulatório.

Fonte: O autor.

Ao se observar um ponto específico de uma corda que realiza um movimento oscilatório para cima e para baixo, é possível observar que este ponto realiza um Movimento Harmônico Simples, transversal à direção de propagação da onda, o que é possível ser observado na Figura 3.16, em que se tem uma onda transversal sendo formada em uma corda.

Ainda na Figura 3.16, foi colocado um sistema de coordenadas xy em que é possível observar um ponto demarcado na corda, em vermelho, realizando um movimento completo referente a uma oscilação (YOUNG; FREEDMAN, 2003).

Figura 3.16 – Os instantâneos do movimento de um ponto específico de uma onda onde é produzida uma onda.




Fonte: O autor.

A partir dos cinco instantâneos apresentados na Figura 3.16, observa-se que o ponto da corda demarcado com um círculo vermelho não se desloca no eixo x, mas sim na vertical, ou seja, somente apresenta mudança de posição em relação ao eixo y. Neste caso, é possível observar que: em (a) o ponto se encontra em y = 0, ou seja, neste instantâneo ele tem deslocamento zero em relação ao eixo y; em (b) o ponto está na posição $y = +y_{max}$ para cima, ou seja, neste instantâneo ele tem deslocamento máximo para cima; em (c) o ponto se encontra em y = 0 novamente, ou seja, neste instantâneo ele tem deslocamento zero; em (d) o ponto está na posição $y = -y_{max}$ para baixo, ou seja, neste instantâneo ele tem deslocamento máximo para baixo; em (e) o ponto se encontra em y = 0 mais uma vez, ou seja, neste instantâneo ele tem deslocamento zero (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

Assim, depois de completar uma subida e uma descida, o ponto volta à posição inicial, isto é, ele oscila periodicamente em uma linha reta na direção vertical, paralela ao eixo y em torno do ponto de equilíbrio. Caso semelhante ao observado em relação ao ponto vermelho na corda foi apresentado na Figura 3.5 (d), relativo ao movimento do pêndulo imprimindo uma linha reta sobre um papel parado.

Ainda em relação aos instantâneos do ponto em vermelho da corda, apresentados na Figura 3.16, ao se fazer uma comparação com a Figura 3.7, supondo possível registrar o movimento do ponto da corda marcado em vermelho em função do tempo, esse registro seria uma curva de mesmo formato, ou seja, em ambos os casos tem-se curvas senoidais.

A Figura 3.17 apresenta o instantâneo de uma onda sendo produzida em uma corda, de modo que é possível definir algumas grandezas que caracterizam a onda através da corda.

Ao observar a Figura 3.17, têm-se três pontos demarcados: *a*, *b* e *c*. O ponto *b*, o qual tem o seu deslocamento máximo para cima a partir da sua posição de equilíbrio, é um ponto de máximo positivo, o qual é denominado de crista da onda. Por outro lado, os pontos *a* e *c*, que têm o seu deslocamento máximo para baixo a partir de sua posição de equilíbrio, são pontos de máximo negativo e são denominados de vales da onda.

Figura 3.17 – A representação de um instantâneo de uma onda em uma corda e pontos importantes para definição de grandezas que a caracterizam.

Fonte: O autor.

Ainda no que se refere à Figura 3.17, a distância entre o ponto de referência e uma crista de uma onda (ponto a), ou entre o ponto de referência e um vale (ponto b e c), é definida como amplitude da onda, representado pela letra A. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

Por fim, a Figura 3.17 permite definir outra grandeza física: comprimento de onda, representado pela letra grega λ, que consiste na distância entre duas repetições (KELLER; GETTIS; SKOVE, 1999), por exemplo, dois vales, como representados pelos pontos *a* e *c*.

Ao se generalizar o movimento apresentado para o ponto em vermelho abordado para a Figura 3.16 para todos os pontos da corda a qualquer tempo é

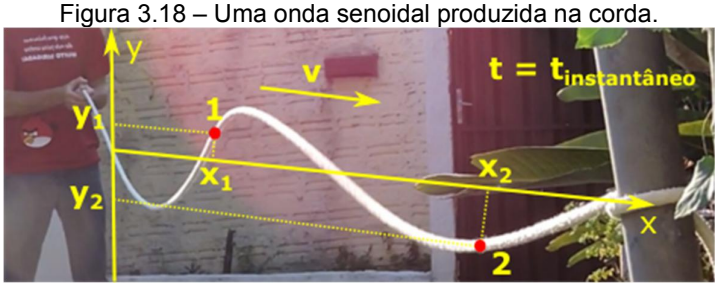
possível descrever a forma da onda se propagando em uma corda, a qual é dada pela função senoidal que está indicada na equação 3.6,

$$y(x,t) = y_m \operatorname{sen} 2\pi \left(\frac{x}{\lambda} - ft\right), \quad (3.6)$$

em que y(x,t) representa o deslocamento transversal de qualquer ponto da corda, em qualquer tempo; λ é o comprimento de onda; f é a frequência linear do movimento ondulatório, o qual é um MHS.

Ao imaginar uma onda senoidal percorrendo uma corda como a apresentada na Figura 3.18, a qual consiste em um instantâneo de uma onda produzida nesta corda, esta onda se propaga no sentido positivo do eixo x com velocidade v, assumindo em cada instante a forma semelhante como mostrada na referida figura.

Figura 3.18 – Uma onda senoidal produzida na corda.




Fonte: O autor.

Se for escolhido um ponto da corda representado na Figura 3.18 e marcá-lo com um círculo em vermelho, em um determinado instante t, que no caso é o tempo em que foi tirada a foto (instantâneo), o deslocamento y do ponto marcado da corda situado na posição x é dado pela equação 3.6.

Assim, como a equação 3.6 está escrita em termos da posição x, ela pode ser usada para calcular os deslocamentos de todos os elementos da corda para qualquer tempo. Pode-se observar que o ponto da corda demarcado como $x_2$, para o mesmo instantâneo, tem um $y = y_2$. Portanto, é possível dizer qual é a posição da onda em qualquer instante de tempo e como esta forma varia quando a onda se move ao longo da corda (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

## 3.7 Ondas estacionárias

Ao usar um aparato, como o mostrado na Figura 3.19, o qual é constituído por um gerador de frequência, acoplado a um alto falante que está preso por um arame até uma corda tensionada, e atribuir uma determinada frequência, a corda irá vibrar.

Figura 3.19 – Um aparato experimental para o estudo de ondas estacionárias.

Fonte: O autor.

A corda do aparato é presa em uma extremidade e tensionada por uma massa presa à outra extremidade. Como a corda está tocando uma roldana próximo à extremidade em que está posta a massa, esta se comporta como uma corda com as extremidades fixas, como visto na seção 3.5.

A vibração proporciona pulsos na corda com uma velocidade dada por

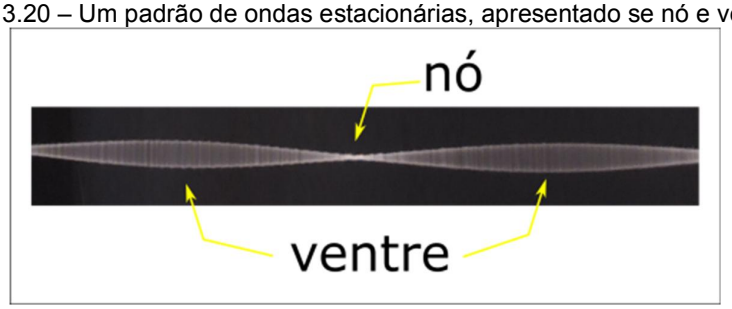
$$v = \sqrt{\frac{\tau}{\mu}} \quad , \qquad (3.7)$$

e ao chegar à outra extremidade, sofrem reflexão, retornando em direção à fonte de oscilação, refletindo novamente. Ou seja, o pulso que está confinado em duas extremidades fixas irá sofrer múltiplas reflexões nestas extremidades. Porém, quando o pulso que está retornando (pulso refletido), encontra outro pulso gerado pela fonte de oscilação (pulso incidente), eles irão sofrer interferência, de acordo com o princípio da superposição, visto na Seção 3.5 (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

Existem frequências específicas onde estas interferências geram um padrão de ondas, denominadas ondas estacionárias, também chamadas de

modos de oscilação, onde os deslocamentos máximos sofridos pela corda são denominados antinós ou ventres, em que se tem interferência construtiva entre os pulsos incidente e refletido, e nós, onde existe interferência destrutiva. A Figura 3.20 apresenta um padrão de ondas estacionárias, onde são apresentados os nós e ventres para aquela frequência específica gerada (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

Figura 3.20 – Um padrão de ondas estacionárias, apresentado se nó e ventres.

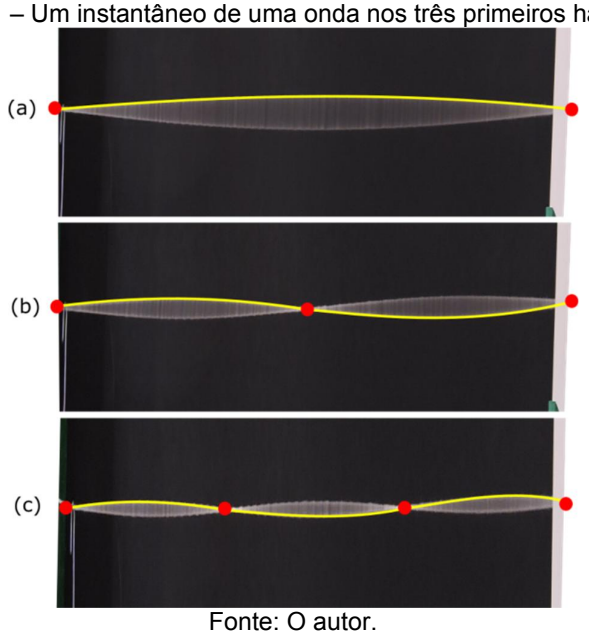



Fonte: O autor.

À frequência responsável por um padrão de ondas estacionárias, como o apresentado na Figura 3.20 é denominada frequência de ressonância, e esta depende da densidade linear da corda, do seu comprimento e da tensão aplicada. A cada frequência de ressonância que produz ondas estacionárias dá-se o nome de modo de oscilação e à menor frequência de ressonância denomina-se frequência fundamental, representado por $f_1$. A frequência fundamental produz o padrão mostrado na Figura 3.21(a), que é chamado de modo fundamental de vibração ou de primeiro harmônico. A Figura 3.21(b) representa a segunda menor frequência de ressonância. Este modo de oscilação tem o dobro da frequência fundamental, o qual é representado por $f_2$, e também chamado de segundo harmônico. Em 3.21(c) tem-se a terceira menor frequência, a qual é três vezes maior que a frequência fundamental, representada por $f_3$, e também chamado de terceiro harmônico. A mesma ideia pode ser estendida para o quarto, quinto harmônico, etc.. (YOUNG; FREEDMAN, 2003; HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

A todo o conjunto de frequências de ressonância de uma determinada corda, que produzem seus respectivos modos de oscilação, é denominado espectro de ressonância da corda (YOUNG; FREEDMAN, 2003).

Figura 3.21 – Um instantâneo de uma onda nos três primeiros harmônicos.




Fonte: O autor.

Ao analisar o segundo harmônico de uma onda estacionária, representada pela Figura 3.21 (b) é possível observar que este harmônico corresponte a um comprimento de onda inteiro específico.

Desta forma, lembrando que a corda do experimento tem comprimento fixo de valor L, o primeiro harmônico a corda de comprimento L contém apenas metade de um certo comprimento de onda específico, o que pode ser expresso como ($\lambda_1/2$), representado pela linha em amarelo da Figura 3.21 (a).

Seguindo esta ideia, fazendo-se a mesma observação para os outros dois harmônicos representados na Figura 3.21, percebe-se que no segundo harmônico a corda de comprimento L contém duas metades de um certo comprimento de onda, o que pode ser expresso como ($2\lambda_2/2$) e no terceiro harmônico a corda de comprimento L contém três metades de um certo comprimento de onda específico ($3\lambda_3/2$).

Desta forma, para uma corda com comprimento L qualquer, uma onda estacionária somente poderá existir se satisfazer à equação 3.8 (YOUNG; FREEDMAN, 2003),

$$L = n\frac{\lambda_n}{2} \quad (n = 1, 2, 3, ...) . \qquad (3.8)$$

Para o experimento apresentado na Figura 3.19, existem ondas na corda que não possuem os comprimentos de ondas representados pela equação 3.8, portanto, tais ondas não podem formar ondas estacionárias com nós e ventres.

A equação 3.8 ilustra as ondas estacionárias formadas pelo experimento da Figura 3.19, onde a corda tem um comprimento L fixo e há a formação de ondas com certos comprimentos de onda específicos correspondentes aos n = 1, 2 e 3, respectivamente, observadas na Figura 3.21 (YOUNG; FREEDMAN, 2003).

A velocidade de propagação da onda na corda, além da forma vista na equação 3.7, pode ser expressa em termos do comprimento de onda e respectiva frequência ($v = \lambda \mathrm{f}$), onde o módulo da velocidade de propagação da onda na corda é fixa e constante. Isso pode ser admitido porque a densidade linear da corda não se modifica, ou seja, é a mesma corda, e também porque se escolhe uma tração fixa. Assim, pode-se reescrever a equação expressa como

$$f = \frac{v}{\lambda} .$$

Para uma série harmônica produzida em uma corda com uma velocidade de propagação fixa, como na Figura 3.21, em que se usou uma corda de densidade linear específica e uma tração devido à força peso foi possível observar vários modos de oscilação, estes correspondendo a uma série de valores possíveis de $\lambda_n$ e uma série de respectivas frequências $f_n$, e que pode ser generalizado por

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} \qquad (n = 1, 2, 3, ...) . \qquad (3.9)$$

O comprimento de onda, $\lambda_n$, da equação 3.9 pode ser escrito a partir da equação 3.8 e, portando, dado por

$$\lambda_n = \frac{2\mathrm{L}}{n} \quad (n = 1, 2, 3, ...) . \qquad (3.10)$$

Considerando a equação 3.9, pode-se determinar a menor frequência, $f_1$, n = 1 dada pela equação 3.11,

$$f_1 = \frac{v}{2L} \ , \qquad (3.11)$$

e que corresponde ao maior comprimento de onda, $\lambda_1 = 2L$, este determinado pela equação 3.10.

O valor obtido a partir da equação 3.11 é denominado frequência fundamental, porque corresponde ao menor n admitido na equação 3.8, ou seja, L igual à metade do respectivo comprimento de onda, ou seja, $\lambda_1$. As demais frequências das ondas estacionárias, então, podem ser expressas da forma mostrada nas equações 3.12 e 3.13:

$$f_2 = \frac{2v}{2L} = 2\left(\frac{v}{2L}\right); \ \mathrm{n} = 2 \qquad (3.12)$$

$$f_3 = \frac{3v}{2L} = 3\left(\frac{v}{2L}\right); \ \mathrm{n} = 3 \ . \qquad (3.13)$$

Assim, é possível verificar que os valores apresentados são múltiplos inteiros da frequência fundamental $f_1$, tais como $2f_1$, $3f_1$, $4f_1$, ...

Generalizando as observações feitas anteriormente, chega-se à equação demonstrada em 3.14,

$$f_n = n\frac{v}{2L} \qquad (n=1, 2, 3, ...) \ , \qquad (3.14)$$

ou simplesmente, à expressão da equação 3.15,

$$f_n = nf_1 \qquad (n=1,2,3). \qquad (3.15)$$

As frequências obtidas a partir das equações 3.14 e 3.15 são denominadas harmônicos, e a série que contém todos os valores de frequências para uma corda é chamada série harmônica (YOUNG; FREEDMAN, 2003; HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

## 3.8 Pitágoras na formação da escala musical ocidental

Segundo conta a lenda, ao passar em frente a uma oficina de um ferreiro, Pitágoras (580-497 a.C.) percebeu que as batidas de martelos de diferentes pesos produziam sons que eram agradáveis ao ouvido e se combinavam muito bem. Perante esta observação, o mesmo desenvolveu um aparelho denominado monocórdio, o qual consistia em uma corda musical esticada que produzia um determinado som. A Figura 3.22 mostra um momento de Pitágoras realizando seus estudos no monocórdio (SOARES, 2016)

Figura 3.22 – Pitágoras realizando seus estudos no monocórdio.

Fonte: HERRERO (2016).

Foi a partir dos seus estudos, com o uso do monocórdio, que Pitágoras chegou às 7 notas musicais conhecidas no ocidente (dó-ré-mi-fá-sol-lá-si-dó). Ele percebeu que quando dividia a corda do monocórdio em 2/3 do seu tamanho original, ele obtinha um intervalo musical de quinta (exemplo: dó-sol). Ao dividir essa mesma corda em 3/4 do tamanho original ele obtinha o intervalo musical de quarta (exemplo: dó-fá). E quando ele dividia a corda na metade do comprimento ele obtinha o intervalo de oitava (exemplo: dó1-dó2). Para a obtenção das demais notas Pitágoras utilizou o ciclo das quintas, o qual consistia em encontrar as notas dó-ré-mi-fá-sol-lá-si-dó, através da superposição de quintas ascendentes. A utilização do ciclo das quintas

proporciona a seguinte ordem das notas musicais: dó-sol-ré-lá-mi-si (RIBEIRO JÚNIOR; CROCHIK, 2009).

As relações entre as notas musicais e o comprimento da corda encontrada por Pitágoras estão descritas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Relação pitagórica entre comprimento de uma corda e a nota emitida.

| **Notas** | **Dó** | **Ré** | **Mi** | **Fá** | **Sol** | **Lá** | **Si** | **Dó** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Comprimento da corda em relação à Dó | 1 | $\frac{8}{9}$ | $\frac{64}{81}$ | $\frac{3}{4}$ | $\frac{2}{3}$ | $\frac{16}{27}$ | $\frac{128}{243}$ | $\frac{1}{2}$ |

Fonte: RIBEIRO JÚNIOR; CROCHIK (2009).

É importante destacar que a escala obtida por Pitágoras foi baseada nos comprimentos da corda. Porém, a associação da frequência a uma nota musical, a qual é utilizada nos dias de hoje para afinar um instrumento musical, foi introduzida por Galileu Galilei (1564-1642) (RIBEIRO JÚNIOR; CROCHIK, 2009).

### 3.8.1 A contribuição de Zarlino

Gioseffe Zarlino (1517-1590) foi um dos maiores teóricos musicais da época, e a escala proposta por este foi adaptada da escala original que Pitágoras desenvolveu, sistematizando a escala buscando os intervalos por meio da soma de médias harmônicas e aritméticas a partir de uma nota fundamental (PERES, 2016; RIBEIRO JÚNIOR; CROCHIK, 2009).

Enquanto Pitágoras gerava os intervalos a partir do ciclo das quintas, Zarlino obtinha intervalos dividindo-os, adicionando-os e subtraindo-os, mas nunca invertendo-os (SÓ MATEMÁTICA, 2016).

A média harmônica (H) de *n* números, na matemática, é dada como sendo o inverso da média aritmética do inverso dos números.

Seja um conjunto de números representados por $x_1$, $x_2$, $x_3$, ..., $x_n$. A equação geral para a média harmônica é dada a partir de

$$H = \frac{n}{\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \frac{1}{x_3} + \cdots + \frac{1}{x_n}} \ . \qquad (3.18)$$

Dessa forma, Zarlino sistematizou a escala através da soma de médias harmônicas e aritméticas a partir de uma nota fundamental. As relações entre os comprimentos de cordas a partir das proporções encontradas estão apresentadas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Relação natural entre comprimento de uma corda e a nota emitida.

| **Notas** | **Dó** | **Ré** | **Mi** | **Fá** | **Sol** | **Lá** | **Si** | **Dó** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Comprimento da corda em relação à Dó | 1 | $\frac{8}{9}$ | $\frac{4}{5}$ | $\frac{3}{4}$ | $\frac{2}{3}$ | $\frac{3}{5}$ | $\frac{8}{15}$ | $\frac{1}{2}$ |

Fonte: RIBEIRO JÚNIOR; CROCHIK (2009).

Ao comparar a Tabela 3.1 e 3.2, utilizando de uma corda de 1 m de comprimento entre os pontos da corda que estão apoiados no cavalete, é possível obter os valores apresentados na Tabela 3.3, onde estão representados os comprimentos das cordas em metros para determinada nota musical.

Tabela 3.3 - Comparação entre as relações de Pitágoras e Zarlino.

| | Pitágoras | | Zarlino | |
|---|---|---|---|---|
| Nota | relação | Comprimento (m) | relação | Comprimento (m) |
| Dó | 1 | 1,000 | 1 | 1,000 |
| Ré | 8/9 | 0,889 | 8/9 | 0,889 |
| Mi | 64/81 | 0,790 | 4/5 | 0,800 |
| Fá | 3/4 | 0,750 | 3/4 | 0,750 |
| Sol | 2/3 | 0,667 | 2/3 | 0,667 |
| Lá | 16/27 | 0,593 | 3/5 | 0,600 |
| Si | 128/243 | 0,527 | 8/15 | 0,533 |
| Dó | 1/2 | 0,500 | 1/2 | 0,500 |

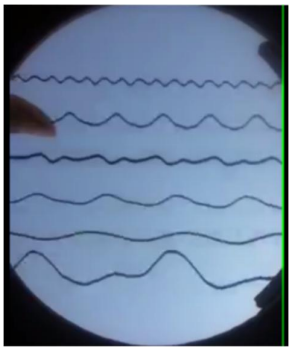
Fonte: O autor.

## 3.9 Composição harmônica

Ao se dedilhar a corda de um instrumento musical são produzidos pulsos na mesma. Como esta corda está confinada entre dois pontos, a onda irá sofrer inúmeras reflexões e múltiplas interferências, como abordado na Seção 3.7 deste Capítulo.

Ao se registrar um instantâneo das cordas de um violão vibrando, é possível identificar que as mesmas possuem um formato diferente da onda senoidal vista na Seção 3.6 do presente Capítulo. Este formato pode ser verificado na Figura 3.23, onde é possível observar ondas anarmônicas, produzida por um violão, as quais são periódicas, porém não senoidais (KELLER; GETTIS; SKOVE, 1999).

Figura 3.23 – Um instantâneo das cordas de um violão ao serem dedilhadas.



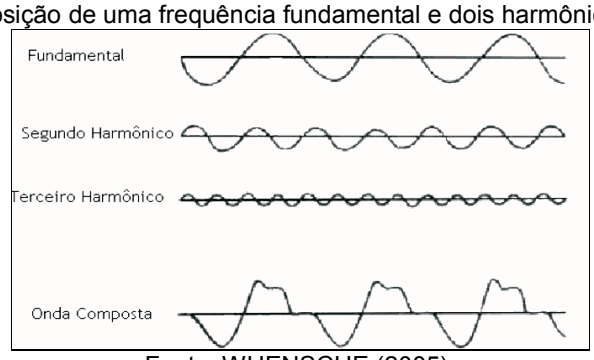
Fonte: PRADO (2016).

Sendo assim, é possível perceber que a função de onda dada para a corda deste instrumento é mais complexa a descrita pela equação 3.6.

Quando a corda de um instrumento vibra, sua vibração resultante é a combinação do harmônico fundamental juntamente com vários sobretons; desta forma, o movimento da corda será a superposição de vários modos normais (YOUNG; FREEDMAN, 2003).

Buscando ilustrar a colocação anterior, a Figura 3.24 ilustra a superposição de uma frequência fundamental e seus dois harmônicos subsequentes.

Figura 3.24 – Composição de uma frequência fundamental e dois harmônicos subsequentes.



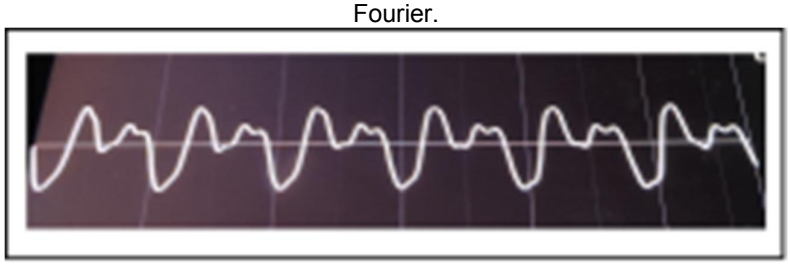

Fonte: WUENSCHE (2005).

Jean Baptiste Joseph Fourier (1768 – 1830) demonstrou que a forma de uma onda periódica complexa pode ser descrita como a soma de ondas harmônicas representada pela equação 3.16 (KELLER; GETTIS; SKOVE, 1999),

$$y(t) = \sum_{n=1}^{N} A_n sen(n\omega t + \phi_n). \qquad (3.16)$$

Assim como as ondas periódicas da Figura 3.23 podem ser analisadas em termos da equação 3.9 para serem encontrados os valores da frequência fundamental e seus harmônicos superiores, é possível também a formação de novas ondas periódicas de maneira eletrônica a partir de sintetizadores de som digitais, como um teclado musical, por exemplo. A Figura 3.25 representa a série de Fourier produzida por um teclado musical eletrônico ao tocar a nota Dó$_3$.

Figura 3.25 – Uma onda periódica produzida por um teclado musical a partir de uma série de Fourier.



Fonte: O autor.

Contudo, a composição harmônica de uma corda também depende da forma com que esta foi inicialmente perturbada, isto é, se a corda for tocada

próximo à abertura da caixa de ressonância, a corda terá uma determinada composição harmônica. Porém, se a corda for tocada próximo à outra extremidade, por exemplo, a sua composição harmônica terá um formato diferente (YOUNG; FREEDMAN, 2003).

## 3.10 Timbre

Timbre é uma característica do som que permite que dois instrumentos diferentes que tocam a mesma nota musical sejam identificados.

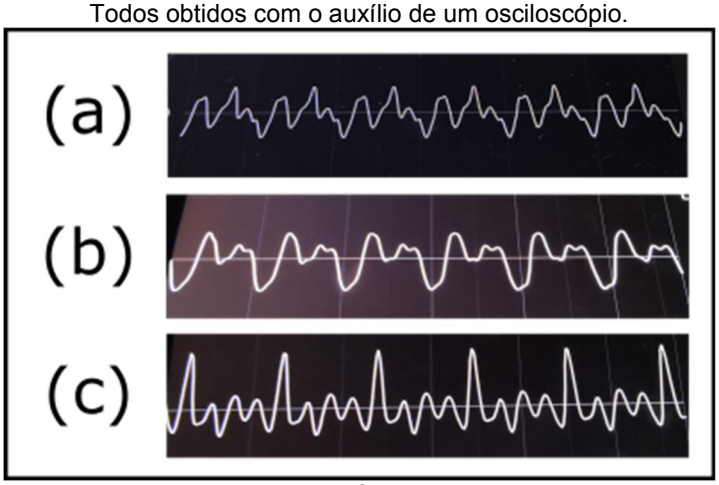
Ao tocar a nota $Dó_3$ (dó central do piano), esta produz a frequência fundamental de 262 Hz acompanhada de seus segundo, terceiro, quarto harmônicos entre outros. O número de harmônicos, e o volume de som de cada um destes, determinam o timbre do som associado ao instrumento, neste caso, o piano (HEWITT, 2002).

É possível transpor a ideia apresentada para o piano também para os demais instrumentos, onde a nota musical tocada por este, além de vibrar com a frequência fundamental da nota, esta acompanha uma série de harmônicos derivados desta.

Além disso, quando dois instrumentos diferentes, por exemplo, um trompete e um saxofone, tocam a mesma nota musical, estes produzem a mesma frequência, porém seus harmônicos possuem intensidades diferentes. Desta forma, o quarto harmônico de determinada nota musical pode ser forte em um instrumento e fraco (ou até mesmo ausente) em outro instrumento, e este é o motivo do som da nota musical percebido por um instrumento soar diferentemente da mesma nota musical tocada por outro instrumento musical (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

É possível observar a forma do timbre da nota musical tocada em um instrumento musical por meio de um osciloscópio. A Figura 3.26 apresenta o timbre em (a) de um violino, em (b) de um piano e em (c) de um trompete, todos tocando a nota $Dó_3$.

Figura 3.26 – O timbre, em (a), de um violino, em (b) de um piano e em (c) de um trompete. Todos obtidos com o auxílio de um osciloscópio.




Fonte: O autor.

Vale ressaltar que as Figuras 3.25 e 3.26 foram produzidas a partir de um teclado musical, que produz um som sintetizado, de maneira aproximada, a forma de onda produzida por um instrumento musical real. As imagens foram realizadas a partir da captação do som produzido pelo teclado com o uso de osciloscópio, o qual é um aplicativo de celular.

# 4 – TEXTOS DE APOIO

Neste capitulo disponibilizam-se o Texto de Apoio ao Educando e o Texto de Apoio ao Professor que foram elaborados. Eles apresentam assuntos trabalhados durante as aulas de forma detalhada. Observa-se que para cada Texto de Apoio ao Educando, foi organizado um Texto de Apoio ao Professor, onde este apresenta o mesmo conteúdo, porém com as resoluções dos exercícios de fixação.

Para a elaboração dos textos de apoio foi realizada a transposição didática de artigos científicos, sites da internet e livros de graduação citados anteriormente na fundamentação teórica no Capítulo 3, onde os conceitos envolvidos nas aulas foram reescritos em nível do ensino médio.

Ressalta-se que o tema abordado em cada Texto de Apoio ao Educando foi elaborado a partir dos planos de aula para cada seção e apresentado no Capítulo 2 deste Produto. Além disso, destaca-se que ao final de cada Texto de Apoio são propostas atividades, diferentes para cada texto, com o objetivo de auxiliar na compreensão do conteúdo.

# TEXTOS DE APOIO AO PROFESSOR

# MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA – POLO 35 - UEPG

**Luís Alexandre Rauch[1], Luiz Fernando Pires[2], André Maurício Brinatti[2]**

*[1] Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física / Universidade Estadual de Ponta Grossa/ UEPG, PR, Brasil*
*[2] Departamento de Física/ Universidade Estadual de Ponta Grossa/ UEPG, PR, Brasil*

Colégio _____

Nome: TEXTO DE APOIO

**(VERSÃO DO PROFESSOR)**

# Nas cordas dos instrumentos musicais

2016

# APRESENTAÇÃO

O presente conjunto de textos é parte do Produto elaborado pelo mestrando Luís Alexandre Rauch, sob orientação do Prof. Dr. André Maurício Brinatti e coorientação do Prof. Dr. Luiz Fernando Pires, no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física – Mestrado Profissional, da Universidade Estadual de Ponta Grossa, vinculado ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF, da Sociedade Brasileira de Física – SBF, como polo 35, sendo referente a uma sequência de aulas como unidade didática, a qual contempla o estudo das ondas mecânicas em cordas.

Este conjunto de textos consiste em oferecer apoio ao educando, permitindo a sua utilização como forma de revisão e contam com exercícios diferenciados, tendo por objetivo auxiliar na assimilação dos conteúdos estudados, possibilitando avanços no processo de ensino-aprendizagem a partir do mesmo sobre o tema. Além disso, os textos são também utilizados juntamente com materiais didáticos constante no Produto que são apresentados em cada seção. À medida que se avança nas seções, novos conhecimentos serão agregados.

Por fim, o referido trabalho consiste em uma versão final, a qual foi reformulada após sua primeira aplicação, sendo providenciadas as devidas correções.

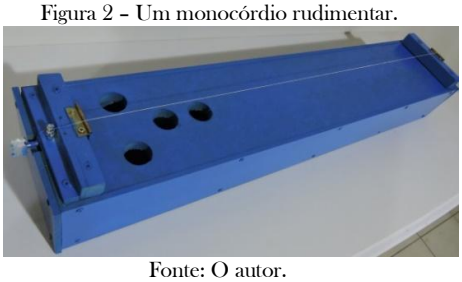
***Os autores***

## Seção 1
## "Com a corda toda!"

Figura 1 – Um violão rudimentar.

Fonte: O autor.

Figura 2 – Um monocórdio rudimentar.



Fonte: O autor.

Os **INSTRUMENTOS** musicais estão associados ao ser humano desde o seu surgimento na Terra. Na Idade da Pedra Lascada (quando o homem produzia objetos com pedra e madeira), surgiram os primeiros chocalhos e apitos, feitos com materiais retirados da natureza. Ossos, por exemplo, serviam como flautas e apitos. O homem começou a construí-los para imitar os sons da natureza, como o vento e o trovão, o canto dos pássaros e até o rugido das feras [1].

As culturas primitivas atribuíam a criação dos instrumentos aos deuses, pois acreditavam que a música tinha origem divina [2].

Dentre os tipos de instrumentos musicais destaca-se uma classe em especial, os instrumentos de **CORDAS** os quais consistem em cordas de **TAMANHOS** e **ESPESSURAS** diferentes com diversos tipos de tensão, que quando combinadas formam os sons. Dois exemplos destes instrumentos são apresentados nas Figuras 1 e 2 iniciais desta seção, à esquerda (Figura 1), tem-se um **VIOLÃO** rudimentar e à direita (Figura 2) um **MONOCÓRDIO**.

A história dos instrumentos de cordas também é muito antiga. Há registros de 3.000 a.C com relatos de instrumentos parecidos às harpas na Mesopotâmia [3].

Os instrumentos de corda são classificados de acordo como são tocados, podendo ser:

**Instrumentos de cordas FRICCIONADAS.** São os instrumentos cujo som é emitido através de cordas postas em vibração por meio de um arco, através do **ATRITO** entre as cordas e um arco, o qual é normalmente confeccionado com crina de cavalo [4]

Figura 3 – Um violino.

Fonte: O autor.

Dentre os instrumentos desta modalidade podemos citar o violino, ilustrado na figura 3. Esse instrumento foi desenvolvido no século XVI pelos italianos Andrea Amati, de Cremona, e Gasparo da Salò, de Brescia, a partir do aperfeiçoamento do primitivo instrumento de 3 cordas. De aparência simples, é um instrumento de extraordinária complexidade, composto de quase 70 peças diferentes. Constitui-se basicamente de quatro cordas, afinadas em quintas (mi4, lá3, ré3 e

sol2), uma caixa de **RESSONÂNCIA** em forma de oito e um braço preso à caixa por um cepo. No interior da caixa, há uma prancheta chamada "cadeira" e um pequeno cilindro vertical denominado "alma". Ambos têm por finalidade melhorar a sonoridade, além de dar mais solidez à parte superior da caixa de ressonância, o "tampo harmônico", em cuja parte central encontra-se o "cavalete", por onde passam as cordas. O violino, o mais agudo e versátil instrumento de cordas, é indispensável na orquestra sinfônica e no quarteto de câmara [5].

Figura 4 – Um violoncelo.

Fonte: O autor.

O violoncelo, ilustrado na figura 4, foi construído no século XVI, à maneira do violino e para ser tocado como a viola da gamba, pelos mestres italianos Andres Amati, Gasparo da Salò, Maggini e outros. Esse instrumento de timbre **GRAVE** e aveludado tem como principal função a de reforçar os baixos da orquestra. Em seus primórdios, exercia papel secundário, sendo utilizado ora como baixo contínuo, juntamente com o cravo, ora como simples pedal da orquestra. Somente a partir do final do século XVII é que se firmou como instrumento solista, substituindo a "viola da gamba". De estrutura semelhante à do violino e à da viola, diferencia-se destes pelo **COMPRIMENTO** (1,19m), como também pela caixa de ressonância, proporcionalmente mais funda. Possui 4 cordas afinadas uma oitava abaixo das cordas da viola, também em quintas (dó1, sol1, ré2 e lá2), e seu registro médio é de 3 oitavas e meia [6].

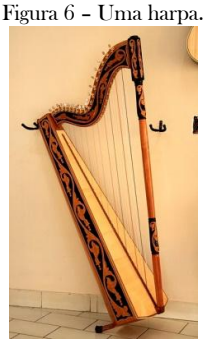
**Instrumentos de cordas DEDILHADAS.** O som é produzido a partir da **VIBRAÇÃO** das cordas após serem dedilhadas pelos dedos ou por palhetas [4].

Figura 5 – Um violão.

Fonte: O autor.

A figura 5 representa o mais popular dos instrumentos de corda dedilhada, o violão, também chamada "guitarra espanhola". Trata-se de um instrumento de cordas dedilhadas, sobre cuja origem não acordam os pesquisadores, embora sua presença e difusão na Espanha tenha a ver com a invasão dos árabes na Península Ibérica. Ele consta de uma caixa de ressonância, de um braço com 19 trastes, que termina numa cravelha. Tem seis cordas, tocadas com a ponta dos dedos ou arranhadas com as unhas [6].

Figura 6 – Uma harpa.



Fonte: [8]

Talvez o mais antigo dos instrumentos musicais de corda, cujos exemplares foram encontrados em um túmulo da rainha dos sumérios, Schub-ad, na Mesopotâmia, que viveu 3000 a.C., seja a harpa, ilustrada na figura 6, tem construção sempre triangular, lembrando um arco de caça [3]. A harpa utilizada nas orquestras sinfônicas atuais contém cerca de 46 cordas presas a uma armação triangular. Seu registro abrange seis oitavas e meia (dó bemol1 a sol bemol6). Usada como instrumento solista por alguns compositores, é amplamente empregada na orquestra sinfônica por uma gama interessante de compositores [6].

**Instrumentos de cordas PERCUTIDAS.** O som é produzido a partir da vibração das cordas após estas serem percutidas.

Figura 7 – Um piano.

Fonte: O autor.

A figura 7 ilustra o piano, cujo som é produzido por peças feitas em **MADEIRA** e cobertas por um material macio (geralmente feltro) designadas martelos. Os martelos são ativados através de um **TECLADO** e tocam nas cordas **ESTICADAS** e presas numa estrutura rígida de madeira ou metal. As cordas **VIBRAM** e produzem o som.

Figura 8 – Um berimbau.

Fonte: [9]

O berimbau, ilustrado na figura 8, é um instrumento de **PERCUSSÃO**, porém, é tocado através de uma corda. É um instrumento característico do Brasil, figura indispensável em todas as rodas de capoeira, apesar de estar presente em outros contextos, como por exemplo, as celebrações do candomblé-de-caboclo. Nos tempos de escravidão, os africanos utilizavam-se do berimbau para comunicar-se de modo sigiloso. Apesar de uma ou outra discordância, o instrumento é considerado de origem africana, tendo como construtores os povos Bantus. O instrumento é composto de uma cabaça, um arco geralmente feito da madeira chamada biriba, a qual é envergada por um cabo de **ARAME**, uma **BAQUETA** com a qual se percute o arame; ao mesmo tempo em que a mão da baqueta percute o arame, a mesma segura o caxixi, um pequeno cesto contendo pequenas sementes ou algo similar dentro, que ajuda no som percussivo; com a outra mão, o instrumentista segura uma pedra ou um pedaço de metal

(popularmente chamado de dobrão) que é levado de encontro ao arame, causando **VARIAÇÃO** nos tons emitidos pelo arco. Ele produz, basicamente, três texturas de sons, que são a solta (sem a pedra, com o instrumento longe do corpo), presa (com a pedra friccionando o arame, com a baqueta atuando acima da pedra, com o instrumento longe do corpo) e chiado (com a pedra tocando o arame de modo solto, livre, com a baqueta atuando acima da pedra, com o instrumento preso ao corpo). [7]

**Palavras utilizadas:**

monocórdio, espessuras, vibram, dedilhadas, variação, instrumentos, ressonância, madeira, arame, teclado, tamanhos, esticadas, comprimento, violão, baqueta, percutidas, atrito, percussão, friccionadas, grave, vibração, cordas.


## Agradecimentos

- Colégio Getúlio Vargas – Fernandes Pinheiro, pela autorização em fotografar o piano do Colégio;
- Geraldo Baranoski Junior – pelo empréstimo do violão para fotografar;
- André Rauch Baranoski – pelo empréstimo para fotografar e utilização do violino;
- Lilly Cristina Flores Schnepper - pelo empréstimo do violoncelo para fotografar.


## Referências


[1] - FERNANDES, N. **Como surgiram os instrumentos musicais**. 2010. Disponível em: http://www.dgabc.com.br/Noticia/101965/como-surgiram-os-instrumentos-musicais. Acesso em: 08 Out. 2015.

[2] - PASCOAL , E. G. **INSTRUMENTOS : ORIGEM E CLASSIFICAÇÃO**. Banda Musical da casa do povo de Vilarandelo. Disponível em: http://www.angelfire.com/musicals/bandadevilarandelo/instrumentos.htm. Acesso em 04 Out. 2015.

[3] – ORTEGA, G. **A Harpa e seu mistério**. DEMAP – Adoração Irresistível. Disponível em: http://www.adoracaoirresistivel.com/2015/05/a-harpa-e-seu-misterio/. Acesso em 08 Out. 2015.

[4] – CAMPAGNOLI, D. **Instrumentos de corda**. Violinando.com – Tudo sobre Violino. 2014. Disponível em: http://violinando.com/instrumentos-de-cordas/. Acesso em: 08 Out. 2015.

[5] – MUSICAL MENDELSSOHN. **Instrumentos de Corda**. Disponível em: http://www.musicalmendelssohn.com/#!cordas/c1bhy. Acesso em 04 Out. 2015.

[6] – RODRIGUES, A. **A história dos instrumentos**. 2011. Disponível em: http://www.movimento.com/2011/09/a-historia-dos-instrumentos/. Acesso em: 04 Out. 2015.

[7] – SANTIAGO. E. **Berimbau**. Disponível em: http://www.infoescola.com/musica/berimbau/. Acesso em: 12 Out. 2015.

[8] – Paraguayan Harp. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Paraguayan_harp.jpg. Acesso em 18 Out. 2015.

[9] – Berimbau. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Berimbau_1.jpg. Acesso em: 18 Out. 2015.

## Seção 2
## "Com que frequência?"

Figura 1 – Um relógio trabalhando.

Fonte: O autor.

Figura 2 – Uma bicicleta em movimento.

Fonte: O autor.

Quando se observa o movimento dos ponteiros dos relógios, como ilustrado na Figura 1, de um ponto qualquer demarcado em um aro de uma bicicleta que anda com velocidade constante, como ilustrado na Figura 2, ou até mesmo o movimento realizado pelos planetas em torno do Sol, a posição, velocidade e aceleração do corpo móvel se repetem em intervalos de tempos iguais. Ao movimento que exibe este tipo de regularidade dá-se o nome de movimento periódico [1].

Imagine uma roda, na qual existe um ponto marcado próximo ao pneu e ao aro, que gira livremente em torno do seu eixo.

Figura 3 – Uma roda girando.

Fonte: O autor.

Quando ela está girando, como ilustrado na figura 3, o ponto gasta um certo intervalo de tempo para percorrer uma volta completa em torno de um ponto de referência (o braço, por exemplo). Em Física, este intervalo de tempo é definido como Período [2] sendo, em geral, representado pela letra T. No Sistema Internacional de Unidades (S.I.), a unidade de medida de período é o segundo (s).

Para exemplificar: observe o ponteiro dos segundos do relógio da sua sala de aula, o período do ponteiro dos segundos é de 60s, ou T = 60s.

Suponha que você esteja na situação em que se observa um determinado ponto da roda e com o uso do cronômetro conta o número de voltas completas que este ponto realiza em determinado intervalo de tempo. Ao medir um tempo de _17_ s, você contou _45_ voltas completas. Ao dividir o número de voltas completas pelo tempo que foi medido, tem-se uma grandeza denominada frequência, a qual é representada na Física muitas vezes com a letra **f**. Assim, pode-se definir frequência como o número de ciclos que um movimento se repete na unidade de tempo [3], sendo que no caso da roda, é o número de voltas que o ponto da roda completa no intervalo de tempo.

Assim, é possível calcular frequência a partir da seguinte equação:

$$f = \frac{\textbf{\textit{número de ciclos}}}{\textbf{\textit{unidade de tempo}}}$$

A unidade de medida de frequência é $\frac{1}{s}$, denominado de hertz, cujo símbolo é Hz [3]. O número 1 no numerador indica que o número de ciclos não possui unidade de medida.

A unidade hertz foi assim designada em homenagem ao físico alemão Heinrich Hertz (1857-1898), um pioneiro nas investigações das ondas eletromagnéticas [3].

Assim, quando se diz, por exemplo, que uma determinada estação de rádio possui frequência de 99,7 megahertz, isto quer dizer que a onda de rádio emitida por essa estação possui 99,7 milhões de oscilações por segundo [5] (tal conceito será mais bem explorado na seção 5).

Voltando ao problema da roda, a frequência do seu movimento será de:

$$f = \frac{\mathbf{45}\ voltas}{\mathbf{17}\ segundos} = \mathbf{2,65}\ Hz$$

**Obs.**: os valores aqui utilizados foram aferidos em sala de aula juntamente com os educandos, logo, se utilizar uma nova corda deverão ser realizadas novas medidas.

## Referências


[1] MHS – Movimento oscilatório e periódico. Disponível em: http://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/MHS/movpereosc.php. Acesso em 12 Out. 2015.

[2] HALLIDAY, D. RESNICK. R. WALKER, J.. Fundamentos da Física. Rio de Janeiro: LTC, 2009. v.2

[3] YOUNG, D. H.. FREEDMAN R. A.. **Física II**. 10. ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2003.

[4] SILVA, Junior. **O que é frequência elétrica?** Disponível em: http://www.eletricante.com.br/2012/07/o-que-e-frequencia-eletrica.html. Acesso em 21 Out. 2015.

[5] GRUPO VIRTOUS. **Frequência de uma onda**. Disponível em: http://www.sobiologia.com.br/conteudos/oitava_serie/Ondas2.php. Acesso em 29 Out. 2015.


## Atividade:

Procure no quadro abaixo as palavras que estão destacadas no texto:

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| M | E | R | N | L | O | D | S | E | G | U | N | D | O | E | R | G | H | M | B |
| O | S | Ó | F | Ã | S | Ç | D | S | F | A | P | M | L | B | S | D | E | J | K |
| V | D | M | F | R | E | Q | U | Ê | N | C | I | A | S | A | G | D | Y | T | R |
| I | F | B | N | T | I | Y | U | E | V | M | J | F | S | D | I | X | P | D | U |
| M | D | O | T | G | G | K | J | S | N | S | R | E | J | D | A | Õ | E | B | K |
| E | G | E | Q | E | A | Ç | Ã | O | Ú | A | X | D | A | F | G | P | R | A | U |
| N | Y | A | G | A | M | O | M | W | M | Q | Y | E | Y | L | M | Í | I | J | N |
| T | U | P | F | T | É | P | E | T | E | T | R | Ç | L | E | H | Y | O | K | I |
| O | I | M | C | H | A | Y | O | Y | R | A | S | M | I | D | G | T | D | M | D |
| A | L | T | O | Ç | Ú | L | R | I | O | Y | H | E | R | T | Z | H | I | T | A |
| D | K | G | M | V | G | E | T | N | D | O | K | D | T | M | Ã | O | C | B | D |
| E | O | E | P | D | P | Õ | F | M | E | H | D | I | R | H | M | S | O | L | E |
| A | O | R | L | E | A | M | R | E | C | J | M | T | D | E | E | B | D | M | D |
| S | D | S | E | G | F | R | I | D | I | N | C | O | N | S | T | A | N | T | E |
| F | H | S | T | I | Ó | F | Q | S | C | R | T | W | E | Ã | E | U | W | I | T |
| F | G | W | A | S | Í | D | S | F | L | Y | E | Í | F | M | P | Q | C | D | E |
| R | Y | T | O | F | R | E | G | T | O | O | T | W | D | X | E | R | E | T | M |
| I | T | K | L | A | S | W | H | F | S | E | Ó | R | F | G | R | E | W | O | P |
| I | G | U | A | I | S | P | O | I | K | L | F | R | E | D | U | I | Y | F | O |
| A | S | R | E | R | D | L | E | P | E | R | Í | O | D | O | R | E | J | K | M |

## Seção 3
## "Um balançar legal!"

Figura 1 – O movimento de um pêndulo.

Fonte: O autor.

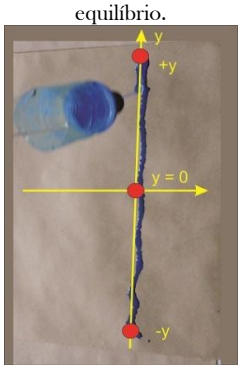
A foto da figura 1 consiste em um corpo de certa massa variável colocado para balançar na extremidade de um fio longo [2]. Neste caso, a massa é composta por uma garrafa pet que possui um líquido colorido no seu interior e um pequeno orifício em sua tampa. Esta é a representação de um pêndulo. O mesmo sistema pode ser observado em várias situações em nosso dia a dia, como o movimento de um relógio de pêndulos ou no balançar de uma criança em um balanço infantil, e ambos exemplificam o caso de um pêndulo.

Porém, pode-se considerar a situação da figura 1, de forma aproximada, como sendo um pêndulo simples, ou seja, um sistema constituído de um corpo puntiforme com determinada massa e suspenso por um fio ideal, ou seja, inextensível e com massa desprezível, com determinado comprimento e que executa oscilações desenvolvendo pequenos deslocamentos.

Desprezando-se as possíveis resistências, como a do ar e atrito, o pêndulo descrito realiza um movimento periódico [2][3]. Esta regularidade do movimento de oscilação de um pêndulo foi utilizada por muito tempo para controlar o movimento dos relógios, por exemplo [1].

Considerando a situação em que o pequeno orifício da tampa do pêndulo descrito da figura 1 é aberto, este irá marcar o papel com a tinta quando em movimento. Ao deslocar do ponto de equilíbrio e soltar a garrafa, deixando cair uma pequena quantidade de líquido do seu interior sobre um papel, ela irá produzir um segmento de linha reta, como demonstrado na figura 2.

Figura 2 – Um pêndulo oscilando sobre um ponto de equilíbrio.




Fonte: O autor.

É importante observar que, neste caso, haverá uma pequena variação da massa, uma vez que há perda de líquido. No entanto, para o propósito aqui apresentado e simplificações,

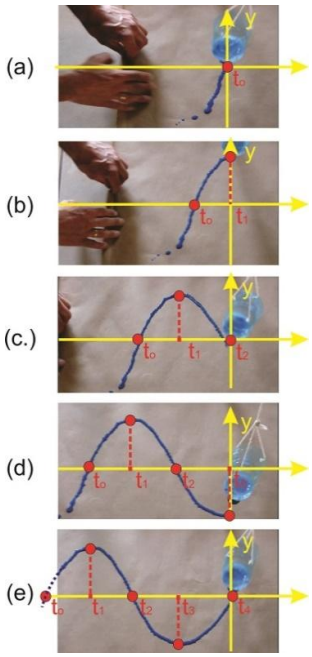
essa variação de massa (perda de tinta) não será considerada.

O movimento oscilatório de um pêndulo balançando através de um pequeno arco em torno de um ponto central, como mostrado na figura 2, denomina-se movimento harmônico simples (MHS), considerando as devidas aproximações, tais como fio ideal e inextensível. Há outras situações no dia-a-dia em que o MHS está presente, com boas aproximações, sendo o movimento do pêndulo simples um exemplo.

Ao puxar o papel que está sob e próximo à base do pêndulo com velocidade constante, este fará uma marcação no papel, como mostrada na figura 1. Para analisar o movimento do pêndulo em relação ao tempo, mantendo o referencial no ponto fixo na posição de equilíbrio do pêndulo, onde este fica parado, foram tiradas cinco fotografias mostradas na figura 3, que representam cinco momentos que são chamados de "instantâneos" do movimento do mesmo.

Pode ser observado que no instantâneo em (a), o qual é o tempo inicial da observação, representado por $t_0$, este elemento está com um deslocamento y=0. Em (b), momento $t_1$, pode-se perceber que o ponto se encontra em seu deslocamento extremo para cima (denominado pico). No ponto (c), momento $t_2$, desce novamente para y=0. No quarto instantâneo (d), momento $t_3$, está com seu deslocamento extremo para baixo (denominado vale) e no quinto instantâneo (e), momento $t_4$, está novamente em y=0, completando o ciclo de oscilação [2] e recomeçando o movimento.

Figura 3 – Cinco instantâneos do movimento do pêndulo.




Fonte: O autor

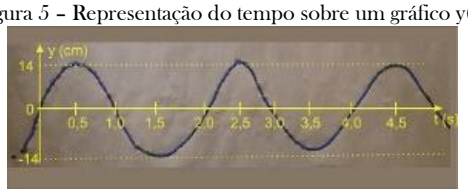
No final deste movimento, observa-se uma marcação da tinta no papel, como apresentada na figura 4, representando o movimento do pêndulo em função do tempo.

Figura 4 – Marcação do deslocamento do pêndulo em função do tempo.

Fonte: O autor.

Colocando-se um eixo de coordenadas na figura 4, da posição do pêndulo em y em função do tempo, verifica-se a representação mostrada na figura 5. Observe que a posição em y fornece a oscilação do pêndulo entre um valor máximo e um mínimo, compare esta figura com as figuras 2 e 3.

Figura 5 – Representação do tempo sobre um gráfico y(t).




Fonte: O autor.

Buscando uma comparação da figura 5 com a análise feita anteriormente referente à figura 3, apresenta-se a tabela 1 com valores de tempo e deslocamento máximo para vários instantâneos, onde é fácil perceber que:

Tabela 1 – Vários instantâneos.

| instantâneo | tempo (s) | deslocamento máximo em y (cm) |
|---|---|---|
| $t_0$ | 0 | 0 |
| $t_1$ | 0,5 | 14 |
| $t_2$ | 1,0 | 0 |
| $t_3$ | 1,5 | -14 |
| $t_4$ | 2,0 | 0 |

Além disso, também a partir da figura 5, é possível analisar as propriedades do MHS, como período, amplitude e frequência de oscilação.

## PROPRIEDADES DO MHS

### Período do movimento de um pêndulo

O MHS é um movimento periódico, desta forma, como foi descrito na seção anterior, é possível atribuir a esse tipo de movimento um período, T, que é o intervalo de tempo necessário para o pêndulo realizar uma oscilação completa (ou um ciclo) [2], como o demonstrado na figura 3. Desta forma, é possível perceber que o período do movimento na figura 5 é de __2__ s.

### Frequência

Outro elemento importante que caracteriza os movimentos periódicos e, portanto, o MHS, é a sua frequência, f, cuja grandeza também estudada na seção anterior, onde neste caso indica o número de oscilações completas do pêndulo por segundo [2]. Desta forma, ao escolher o número de oscilações completas e dividir pelo tempo que o pêndulo levou para fazê-las, é possível estimar a frequência descrita pelo movimento do pêndulo usando a figura 5, o qual é de

$$f = \frac{2}{4} = \frac{1}{2} \;;$$

$$f = \mathbf{0,5}\ Hz$$

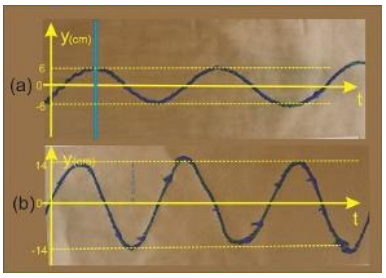
### Amplitude de oscilação

Quando o pêndulo é deslocado com um pequeno ângulo em relação ao seu ponto de equilíbrio, ponto central, a marcação da sua posição em relação ao tempo será feita próximo a este. Já quando o pêndulo for deslocado para um ponto mais afastado do seu ponto de equilíbrio, ou seja, um ângulo um pouco maior, a marcação torna-se maior. Vale lembrar que em ambos os casos as amplitudes são devidas a ângulos pequenos. Ao deslocamento máximo de oscilação do pêndulo em relação ao ponto de equilíbrio, ponto central, em um dos sentidos é denominado amplitude, representado pela letra A [2]. Pode-se dizer, então, em relação à figura 5, que a amplitude de oscilação do pêndulo é A = __14__cm.

A figura 6(a) mostra a marcação do movimento do pêndulo em função do tempo segundo uma determinada amplitude, já na figura 6(b) é possível observar a marcação do

movimento do pêndulo em função do tempo descrevendo uma amplitude pouco maior que ao descrito na figura 6(a).

Figura 6 – As amplitudes de um movimento oscilatório.




Fonte: O autor.

## Referências

[1] HEWITT, Paul G. Física Conceitual. 9ªed. São Paulo: Bookman, 2002.

[2] HALLIDAY, D. RESNICK. R. WALKER, J.. Fundamentos da Física. Rio de Janeiro: LTC, 2009. v.2

[3] HOUUAISS PÊNDULO SIMPLES. In: RODITI, I. **Dicionário Houaiss de Física**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2005.

## Atividade

Com base no texto, ligue os conceitos descritos na coluna A com as definições da coluna B:

| A | B |
|---|---|
| Frequência | Constituído de um corpo puntiforme com uma determinada massa e suspenso por um fio inextensível com um determinado comprimento e massa desprezível e que executa pequenas oscilações. |
| Aproximação do Pêndulo Simples | Deslocamento máximo de oscilação em relação ao ponto central (ponto de equilíbrio). |
| Amplitude | Movimento descrito por um objeto preso à ponta de uma corda que oscila em torno de um ponto central (ponto de equilíbrio) executando um pequeno arco. |
| MHS | Número de oscilações realizadas por um pêndulo em um segundo. |
| Pêndulo simples | Tempo que o pêndulo leva para descrever uma volta completa em torno de um ponto de referência que pode ser tomado como ponto central (ponto de equilíbrio), por exemplo. |
| Período | Movimento periódico descrito por um corpo que oscila em torno de um ponto de equilíbrio executando deslocamentos simétricos e em torno deste. |
| Aproximação do Movimento Harmônico Simples | Aparato mostrado na figura 1 contendo um fio esticado e uma determinada massa presa em sua extremidade e que oscila em torno de um ponto central. |

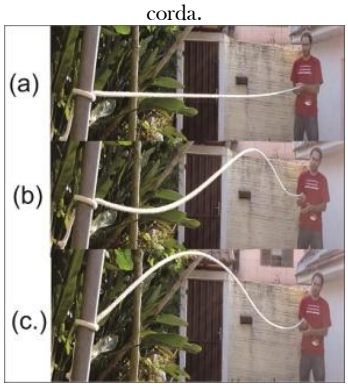
## Seção 4
## "Um pulso..."

Figura 1 – Um pulso formado em uma corda esticada.

Fonte: O autor.

Ao sacudir uma corda esticada para cima e para baixo, é obtido um pulso que se propaga ao longo da mesma [1] como apresentado na figura 1. Observando a ilustração da figura 2, pode-se verificar três situações que representam um pulso em uma corda: em (a) tem-se uma corda esticada e em (b) e (c) um pulso se propagando ao longo da corda.

Figura 2 – Um pulso de onda se propagando em uma corda.




Fonte: O autor.

A velocidade de propagação de um pulso na corda depende da tração e da sua densidade linear. Desta forma, é possível determinar o valor da velocidade do pulso pela equação 1,

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

Na equação 1, a tração é a força com que é esticada a corda e está representada pela letra T.

A densidade linear da corda é representada pela letra grega μ. Essa grandeza é definida dividindo-se a massa da corda pelo seu comprimento, conforme indicado na equação 2,

$$\mu = \frac{m}{l} \ . \ (2)$$

**Obs.**: os valores aqui utilizados foram aferidos em sala de aula juntamente com os educandos, logo, se utilizar uma nova corda deverão ser realizadas novas medidas.

Desta forma, se uma corda tem massa 0,459 kg e comprimento 5,7 m, a sua densidade linear terá valor de:

$$\mu = \frac{\mathbf{0,459}}{\mathbf{5,7}} \ ;$$

$$\mu = \mathbf{0,08} \text{ kg/m}$$

Se considerar que a tração nessa mesma corda, aferida a partir de um dinamômetro, seja de 19,6 N, pode-se determinar a velocidade de propagação de um

pulso nesta corda usando a equação 1 e esta será de

$$v = \sqrt{\frac{19,6}{0,08}} \text{ , então}$$

$$v = 15,6 \ m/s.$$

O resultado anterior de velocidade de propagação do pulso juntamente com a equação 1, sugere que:

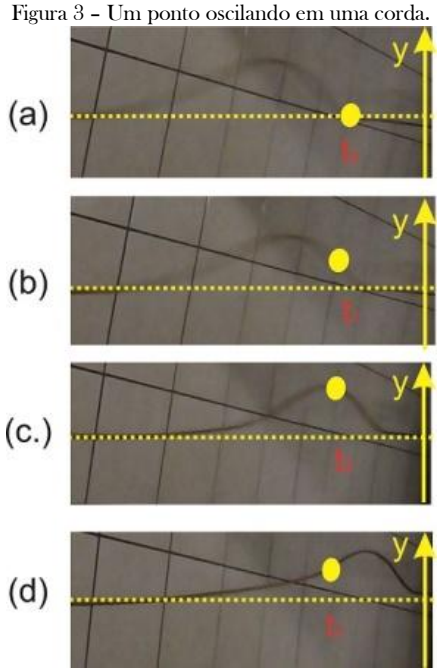
Uma corda puxada com uma tração de maior intensidade, ou seja, mais esticada, tem velocidade de propagação de um pulso maior do que a mesma corda menos esticada, ou seja, com uma tração de menor intensidade.

Se a corda for substituída por outra corda, cuja densidade linear é maior, e essa outra corda for esticada com as mesmas intensidades de tração da anterior, isto é, maior e menor tração, as velocidades de propagação de um pulso serão menores nessa outra corda, respectivamente.

Quando se produz um pulso isolado em uma corda esticada, ao analisar um elemento da corda, o qual está demarcado como um ponto na figura 3, este se desloca para cima e depois para baixo quando o pulso passa por ele [4].

A figura 3 representa quatro instantâneos da propagação do pulso, na qual quando analisado um ponto demarcado na corda tem-se que: em (a) o ponto se encontra em sua posição de equilíbrio sobre o eixo da corda; em (b) o pulso encontra o ponto da corda, onde este se move para cima; em (c) o ponto alcança sua máxima amplitude; e em (d) o ponto inicia retorno à posição original. Esta situação pôde ser observada na seção 3, quando analisado o movimento de oscilação do pêndulo simples.

Figura 3 – Um ponto oscilando em uma corda.

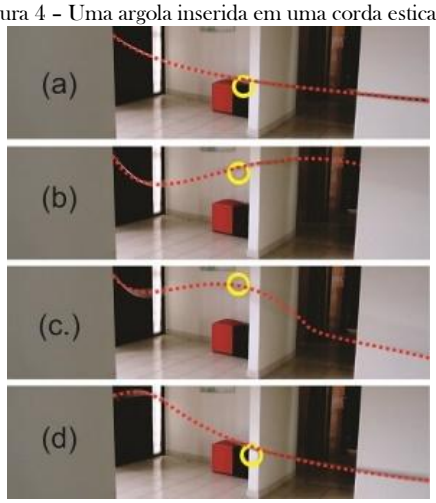



Fonte: O autor.

Também é possível verificar, a partir da figura 3, que à medida que o pulso se propaga para a esquerda na corda, sua parte da frente está se movendo para cima, enquanto a parte posterior, na direita, está se movendo para baixo [1].

Uma situação em que é possível observar que um pulso não transporta massa e sim energia é ilustrada na figura 4, onde é colocada uma argola em uma corda esticada (a) e um pulso é aplicado (b). Quando o pulso alcança a argola (c), a mesma faz um movimento de subida e descida, e, após a passagem do pulso ela permanece no mesmo lugar (d).

Figura 4 – Uma argola inserida em uma corda esticada.




Fonte: O autor.

**Reflexão de um pulso**

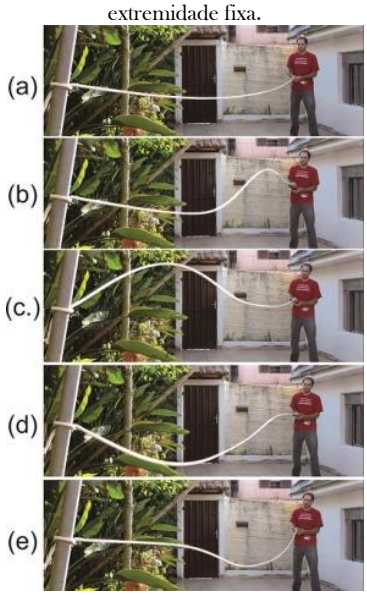
Quando o pulso de onda incide sobre um obstáculo e retorna ao meio de propagação, mantendo as características da onda incidente, diz-se que ela sofreu uma reflexão.

Uma vez que a onda continua se propagando no mesmo meio, o módulo da sua velocidade permanece inalterado após a reflexão, porém o sentido da propagação e da velocidade tornam-se contrários do sentido inicial.

A reflexão de um pulso em uma corda pode ocorrer com a extremidade da mesma fixa ou móvel.

A reflexão em uma corda com a extremidade fixa pode ser ilustrada da seguinte maneira: suponha que um pulso atinge uma extremidade fixa, como uma barra (figura 1). A força aplicada nela, pelo princípio da ação e reação, reage sobre a corda, causando um movimento. Esse movimento é na direção da aplicação do pulso, e o sentido da propagação e da velocidade são contrários ao sentido inicial e com o pulso invertido, sendo esse o pulso refletido. A figura 5 mostra o pulso em uma corda: em (a) (b) e (c) um pulso incidente em três instantâneos diferentes e em (d) e (e) a reflexão do mesmo pulso em dois outros instantâneos [2].

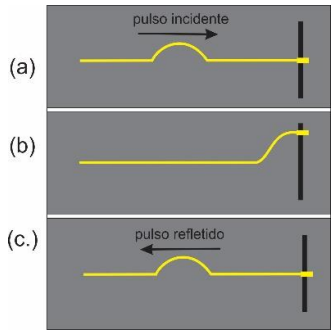
Figura 5 – Um pulso refletindo em uma corda com a extremidade fixa.




Fonte: O autor.

Agora, suponha que um pulso atinge uma extremidade de uma corda que contém um anel preso a uma haste vertical. Digamos que a haste possa movimentar-se livremente para cima e para baixo (figura 6). Como essa extremidade da corda com o anel pode oscilar livremente, um pulso incidente desloca essa extremidade da corda para cima, e ao refletir, o anel retorna à sua posição original. O pulso refletido não se inverte, retorna na mesma direção de propagação e no sentido contrário ao sentido do pulso incidente. A figura 6 representa um pulso sendo refletido por uma corda com a extremidade livre, onde se tem: em (a) um pulso incidente, em (b) o anel sobe junto com o pulso e em (c) ocorre a reflexão do mesmo pulso [2].

Figura 6 – A reflexão de um pulso em uma corda com extremidade livre.



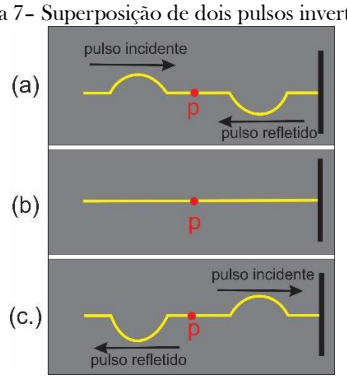

Fonte: O autor.

## Superposição de dois pulsos

Quando dois pulsos estão se movendo em direção oposta, seja em uma corda com extremidade fixa ou móvel, ao se encontrar em um determinado ponto, ocorre a superposição. O deslocamento resultante, em qualquer ponto da corda em qualquer instante, é obtido somando-se os deslocamentos individuais que cada ponto deveria ter caso não existisse o outro deslocamento [3].

A figura 7 representa uma corda com extremidade fixa e dois pulsos subsequentes: um incidente, com sua direção de propagação voltada para cima, e um outro já refletido, invertido em relação ao incidente e se movendo em sentido contrário, em três situações. Em (a) tem-se a situação antes da superposição dos dois pulsos. Em (b) tem-se a situação em que os pulsos se encontram no ponto p, o deslocamento para cima do pulso incidente soma-se com o deslocamento para baixo do pulso refletido, se anulando naquele ponto. Em (c), ilustra-se a situação após os pulsos passarem pelo ponto p; ambos se deslocam e continuam seus movimentos independentes com na situação inicial mostrada em (a).

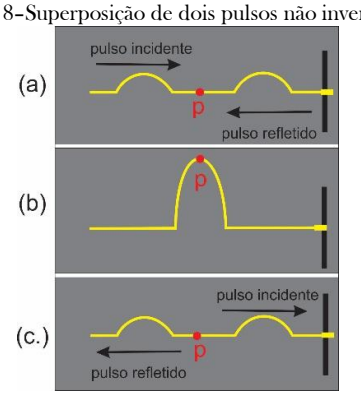
Figura 7– Superposição de dois pulsos invertidos.




Fonte: O autor.

Quando dois pulsos que se deslocam na mesma direção de propagação, um incidente e outro já refletido, se movendo em sentidos contrários como representado na figura 8, onde se tem uma corda com extremidade presa a uma argola livre para oscilar para cima e para baixo, observa-se três situações: em (a) tem-se a situação antes da superposição dos dois pulsos. Em (b) ao se encontrarem no ponto p, os pulsos somam-se, formando um pulso com amplitude igual à soma dos dois pulsos individuais. Em (c), ilustra-se a situação após a passagem dos pulsos pelo ponto p, na qual ambos se deslocam de forma independente e igual ao da situação inicial mostrada em (a).

Figura 8–Superposição de dois pulsos não invertidos.




Fonte: O autor.

## Referências

[1] NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica vol. 2**. 4ª ed. Edgard Blucher, 2002.
[2] GRUPO VIRTOUS – Tecnologia Educacional. **Reflexão de ondas**. Disponível em: http://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/Ondas/reflexao.php. Acesso em 20 Out. 2015.
[3] YOUNG, D. Hugh. FREEDMAN Roger A.. **Física II**. 10ª ed. São Paulo: Ed. Pearson Addison Wesley, 2003.
[4] HALLIDAY, Resnick. WALKER, Jearl. **Fundamentos da Física.** Volume 2. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

**Atividade:**

Pesquise no texto, completando as lacunas nas frases abaixo:

1) Quando dois pulsos estão em sentidos contrários e na mesma direção em uma corda de extremidade fixa, ao se encontrarem em um ponto, eles se ___ANULAM_____.
2) Um pulso em uma corda com extremidade __FIXA_____, ao se refletir, retorna invertido em relação ao pulso incidente.
3) Quando dois pulsos estão em sentidos contrários e na mesma direção, ao se encontrarem ocorre a ___SUPERPOSIÇÃO__ deles.
4) _PULSO____: é uma perturbação que se propaga ao longo de uma corda.
5) Tração na corda é a ___FORÇA___com a qual a corda é esticada (puxada).
6) Quando dois pulsos estão em sentidos contrários e na mesma direção em uma corda de extremidade __LIVRE__, ao se encontrarem em um ponto, eles se __SOMAM___.
7) A velocidade de propagação de um pulso em uma corda depende da tração e da DENSIDADE LINEAR___ da corda.
8) Um pulso representa uma perturbação no meio, o qual pode ser uma corda, que transporta ENERGIA __, porém não transporta __MATÉRIA___.

## Seção 5
## "Com a onda toda!"

Figura 1 – As ondas se propagando em uma corda.

Fonte: O autor.

Ondas constituem um dos principais assuntos da Física [1] e a compreensão desse conceito se faz necessário para o entendimento de ondulatória, óptica física e eletromagnetismo. Define-se onda como sendo uma perturbação que se propaga no espaço vazio (vácuo) e em meios materiais. As ondas que necessitam de um meio para se propagarem são classificadas como ondas mecânicas e aquelas que se propagam no vácuo são classificadas como ondas eletromagnéticas. Assim, de acordo com a necessidade de um meio de propagação ou não da onda, atribui-se a onda a natureza: mecânica ou eletromagnética [1]. Também é possível classificar as ondas de acordo com a direção de propagação da perturbação. Quando a perturbação é na direção transversal, como na figura 1, a onda é dita transversal, caso ela seja paralela a direção de propagação, diz-se que ela é longitudinal [2]. As ondas mecânicas são classificadas em ondas transversais, como as formadas no experimento da figura 1, ou longitudinais. As ondas eletromagnéticas são apenas transversais.

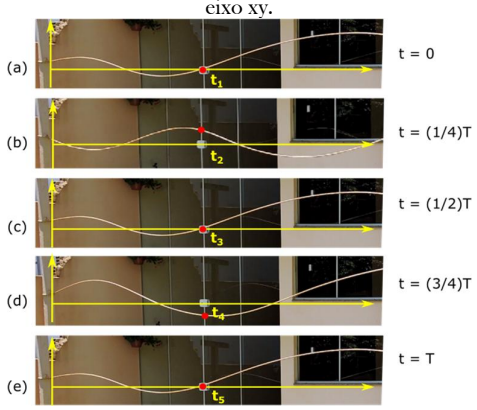
Nesta seção será dado ênfase às ondas transversais, como a onda produzida na corda mostrada da figura 1, onde a corda ao ser agitada para cima e para baixo, repetidas vezes, produz uma onda transversal. É possível notar que nesta figura a onda aparece em um plano, isto se deve ao fato de que o movimento da mão que produz a oscilação está alinhado a esse plano, ou seja, a mão sobe e desce em uma linha paralela e sobre esse plano. Neste caso, como a oscilação e a onda estão em único plano, diz-se que a onda se propaga neste plano e a onda está contida nesse plano. Há ondas transversais que não estão contidas em um único plano apenas e para o estudo presente, não será dado enfoque a essas ondas e sim as que se propagam em um único plano. De qualquer forma, ondas transversais são ondas que se propagam na direção perpendicular à direção de perturbação que a produz.

É possível analisar uma onda transversal, como a onda produzida em uma corda, sobre os seguintes aspectos:

### A) <u>Posição de um ponto da corda em momentos diferentes e específicos</u>

Neste caso, analisa-se o movimento oscilatório para cima e para baixo de um ponto específico da corda. Para isso, admite-se um sistema de coordenadas xy, a oscilação desse ponto da corda ocorrendo no eixo y, ou seja, na direção vertical (movimento para cima e para baixo) e a onda contida e se propagando no plano xy, como indicado na figura 2.

Figura 2– Os instantâneos do movimento de uma onda no eixo xy.




Fonte: O autor.

Observa-se o ponto da corda, marcado na figura 2 com um círculo vermelho, em cinco momentos diferentes em tempos específicos, ou seja, em cinco instantâneos diferentes do movimento do ponto em estudo. Devido à limitação do aparelho de filmagem não foi possível a captura dos instantâneos em que se obtivesse um padrão de ondas, porém, para a análise em questão, de um ponto específico da corda, tal observação não acarretará na alteração da ideia central da proposta.

Pode-se observar ainda na figura 2, para qualquer instantâneo, que a forma assumida pela corda é senoidal, isto é, tem a forma de uma função seno, se propagando no plano xy. Não haveria problemas se fosse admitido que a forma assumida pela corda fosse cossenoidal [1]. Porém, neste estudo vamos admitir a forma da onda na corda como senoidal.

A partir destes cinco instantâneos mostrados na figura 2, considerando que a posição do ponto não munda em relação ao eixo x, pode-se observar que o ponto da corda marcado com um círculo vermelho não se desloca no eixo x, mas se desloca na vertical, ou seja, somente muda de posição em relação ao eixo y. É possível observar que: em (a) o ponto se encontra em y = 0 e x fixo, ou seja, neste instantâneo ele tem deslocamento zero; em (b) o ponto está na posição y = +ymax para cima e x fixo, ou seja, neste instantâneo ele tem deslocamento máximo para cima; em (c) o ponto se encontra em y = 0 novamente e x fixo, ou seja, neste instantâneo ele tem deslocamento zero; em (d) o ponto está na posição y = -ymax para baixo e x fixo, ou seja, neste instantâneo ele tem deslocamento máximo para baixo; em (e) o ponto se encontra em y = 0 mais uma vez e x fixo, ou seja, neste instantâneo ele tem deslocamento zero.

Assim, depois de completar uma subida e uma descida, o ponto volta à posição inicial, isto é, ele oscila periodicamente em uma linha reta na direção vertical, paralela ao eixo y em torno do ponto de equilíbrio. Isto é semelhante ao que foi mostrado na seção 3 e figura 2 para o movimento do pêndulo que imprimiu uma linha reta quando a folha sobre ele estava parada.

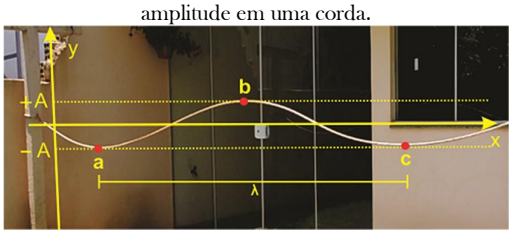
**B) <u>Movimento do ponto ao longo de um intervalo de tempo</u>**

Ainda, quando se analisa os instantâneos do ponto da corda, mostrados na figura 2 desta seção, e se faz uma comparação com a figura 3 da seção 3, supondo possível registrar o movimento do ponto da corda marcado em vermelho ao longo de um intervalo de tempo, ou seja, em função do tempo, esse registro seria uma curva de mesmo formato, ou seja, em ambos os casos são curvas senoidais.

Portanto, ao analisar o movimento descrito pelo ponto da corda marcado em vermelho, ou por qualquer outro ponto da corda, este desenvolve um movimento harmônico simples (MHS).

Como dito anteriormente, os instantâneos da figura 2, ou ainda outro instantâneo qualquer como o apresentado na figura 3, mostram a forma assumida pela corda, quando a onda passa pela mesma, de modo que é possível definir algumas grandezas que caracterizam a onda através da corda.

Figura 3 – A representação de comprimento de onda e amplitude em uma corda.




Fonte: O autor.

Ao observar a figura 3, tem-se três pontos demarcados: *a*, *b* e *c*. O ponto *b* é um ponto de máximo positivo, ou extremo para cima, assumido pela corda no instantâneo fotografado enquanto a onda a percorre. Esse ponto *b* é denominado de crista da onda. Por outro lado, os pontos *a* e *c* são pontos de máximo negativo, ou extremos para baixo, assumido pela corda no instantâneo fotografado enquanto a onda a percorre. Os pontos *a* e *c* são denominados de vales da onda.

Ainda, a partir da observação da figura 3, considera-se também, a distância entre a linha de referência central ao ponto de uma crista da onda, ou ao ponto de um vale da onda, assumido pela corda, e define-se amplitude da onda, representado pela letra A. A amplitude de uma onda é sempre tomada como o módulo do deslocamento máximo positivo (extremo para cima), ou negativo (extremo para baixo), dos elementos a partir da linha de referência quando a onda passa por eles [1]. A amplitude na figura 3 é a distância do ponto: a, b ou c à linha de referência que foi adotada como o eixo x.

Usando mais uma vez a figura 3, considera-se também a distância entre duas cristas ou dois vales da onda como sendo o comprimento de onda, representado pela letra grega λ [3]. Na figura 3, o comprimento de onda está representado entre os pontos *a* e *c* e, portanto, entre dois vales da onda que atravessa a corda.

## C) <u>Movimento de qualquer ponto da corda em qualquer tempo</u>

Uma vez que se tem a ideia de como um ponto escolhido na corda, como o marcado em vermelho na figura 2, se comporta ao ser atravessado por uma onda (MHS). Pode-se generalizar este movimento para todos os pontos da corda a qualquer tempo e, desta forma, descrever a forma da onda se propagando em uma corda. Uma representação da onda que se propaga na corda é dada pela função senoidal que está indicada na equação 1,

$$y(x,t) = y_m \operatorname{sen} 2\pi\left(\frac{x}{\lambda} - ft\right). \quad (1)$$

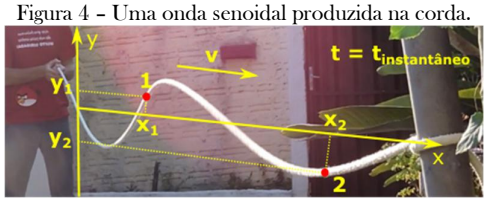
Na equação 1, y(x,t) representa o deslocamento transversal de qualquer ponto da corda, em qualquer tempo; λ é o comprimento de onda; f é a frequência linear do movimento ondulatório que é um MHS.

Ao imaginar uma onda senoidal percorrendo uma corda existiriam várias imagens semelhantes às mostradas na figura 4. Neste caso, ela é um instantâneo de qualquer ponto da corda, se propagando no sentido positivo do eixo x com velocidade v. Se fosse possível assistir o vídeo, ou ver alguém oscilar a corda ao vivo, certamente seria possível ver a onda se propagar, assumindo em cada instante a forma semelhante como mostrada na figura 4.

Utilizando a figura 4, se for escolhido um ponto da corda e marcá-lo com um círculo em vermelho, em um determinado instante t, que no caso é o tempo em que foi tirada a foto (instantâneo), o deslocamento y do ponto marcado da corda situado na posição x é dado pela equação 1.

Assim, como a equação 1 está escrita em termos da posição x, ela pode ser usada para calcular os deslocamentos de todos os elementos da corda para qualquer tempo. Pode-se observar que o ponto da corda demarcado como $x_2$, para o mesmo instantâneo, tem um $y = y_2$. Portanto, é possível dizer qual é a posição da onda em qualquer instante de tempo e como esta forma varia quando a onda se move ao longo da corda [1].

Figura 4 – Uma onda senoidal produzida na corda.




Fonte: O autor.

## Referências

[1] HALLIDAY, Resnick. WALKER, Jearl. **Fundamentos da Física.** Volume 2. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

[2] HEWITT, Paul G. **Física Conceitual.** 9ªed. São Paulo: Bookman, 2002.

[3] NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica.** Volume 2. 4ª ed. Edgard Blucher, 2002.

**Atividade**

Com base no texto desta seção, complete as lacunas das frases, colocando as respostas nos campos das palavras cruzadas:

Ondas **MECÂNICAS**: são as ondas que se propagam a partir de um meio material.

1 – As ondas transversais de uma corda podem ser estudadas em função do **TEMPO** e da posição dos elementos da corda.

2 – Ondas **TRANSVERSAIS**, são as ondas cuja a perturbação que a produz ocorre perpendicularmente a direção de sua propagação.

3 – Amplitude: é o máximo deslocamento de um ponto da corda para **CIMA** ou para baixo em relação à crista da onda ou ao vale da onda.

4 – Todas as figuras do texto são representações de **INSTANTÂNEOS** de ondas se propagando em uma corda.

5 – Ao se analisar um **ELEMENTO** da corda ao se produzir uma onda nela, observa-se que este se desloca no eixo vertical (y), porém não se desloca no eixo x.

6 – As ondas que se propagam em uma corda possuem forma **SENOIDAL**.

7 – A **CORDA** é um meio material em que ondas mecânicas podem se propagar.

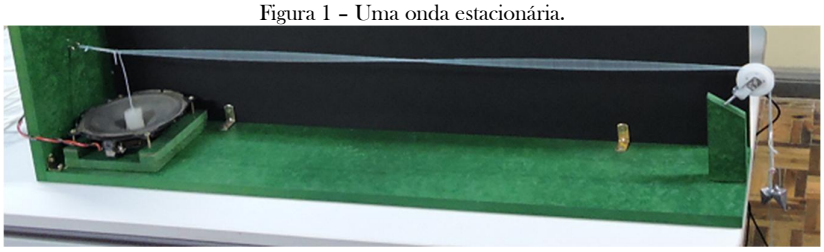
8 – Ondas são sequências periódicas de **PERTURBAÇÕES** que se deslocam no espaço e em meios materiais.

9 – Com o instantâneo de uma onda em uma corda é possível **ANALISAR** a posição de qualquer elemento da corda.

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 - | | | | | | T | E | M | P | O | | | |
| 2 - | | T | R | A | N | S | V | E | R | S | A | I | S |
| 3 - | | | | | | | | C | I | M | A | | |
| 4 - | I | N | S | T | A | N | T | Â | N | E | O | S | |
| 5 - | | | E | L | E | M | E | N | T | O | | | |
| 6 - | | | | S | E | N | O | I | D | A | L | | |
| 7 - | | | | | | | | C | O | R | D | A | |
| 8 - | P | E | R | T | U | R | B | A | Ç | Õ | E | S | |
| 9 - | | | A | N | A | L | I | S | A | R | | | |

## Seção 6
## "Uma onda parada?"

Figura 1 – Uma onda estacionária.



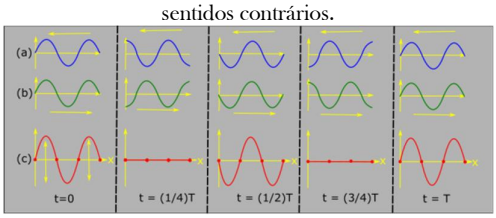
Fonte: O autor.

Quando uma corda está presa nas duas extremidades, como as cordas de um violão, ou até mesmo quando uma das extremidades está presa, mas a outra tensionada por uma determinada massa, como a corda do experimento mostrado em perspectiva na figura 1, em ambos os casos, ao vibrar a corda haverá ondas atravessando a mesma. Estas sofrerão reflexões nas duas extremidades, fazendo com que viajem nos dois sentidos da corda, conforme ilustrado na figura 5 da seção 4.

Estas ondas superpostas sofrem interferência, de acordo com o princípio da superposição, como foi visto e ilustrado na figura 7 (seção 4) para diferentes pulsos em cordas com uma extremidade presa [1]. Vale observar que no caso do piano, do violão e do experimento da figura 1, o efeito da interferência das ondas ocorre para as duas extremidades fixas independentemente, e ainda, no caso específico do experimento da figura 1, trata-se de uma aproximação.

A figura 2 mostra duas ondas: em (a) cinco instantâneos de uma onda se propagando para a esquerda, em (b) os cinco instantâneos respectivos de outra onda se propagando para a direita, em (c) representa-se os cinco instantâneos respectivos do movimento destas ondas para cada ponto da corda, ou seja, a superposição das duas ondas. [2]

Figura 2 – Cinco instantâneos de ondas se deslocando em sentidos contrários.

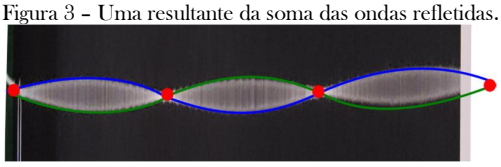



Fonte: O autor.

Na figura 2, ainda, é possível observar a existência de pontos, os quais estão demarcados com um círculo vermelho, onde a corda permanece imóvel. Os pontos imóveis na corda são denominados **nós**. Nas regiões entre dois nós vizinhos existem pontos onde as resultantes da superposição das ondas possuem amplitude máxima positiva ou amplitude máxima negativa. A estes pontos onde a amplitude é máxima são denominados **antinós** ou **ventres** [2]. Em uma situação real, a resultante da soma das ondas apresentadas na figura 2 está representada na figura 3.

Assim, a situação ilustrada e idealizada na figura 2 se assemelha ao que está mostrado na figura 1 e figura 3.

Figura 3 – Uma resultante da soma das ondas refletidas.



Fonte: O autor.

Ao se manter uma corda esticada e colocá-la para oscilar em MHS de pequena amplitude tem-se: duas ondas que se propagam pela corda com frequência e direção iguais e sentidos contrários gerando um padrão que é idealizado na figura 2 e representa um padrão de onda estacionária. Este padrão da figura 2 pode ser comparado às situações reais mostradas nas figuras 1, 3 e 4.

Porém, estes padrões têm número de nós e ventres diferentes porque são produzidos com certas frequências denominadas **frequências de ressonância** da corda [1]. A cada frequência de ressonância que produz ondas estacionárias dá-se o nome de modo de oscilação [2].

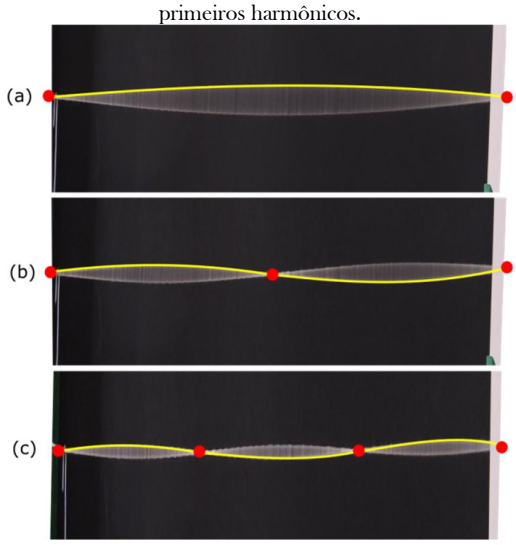
Assim, à menor frequência de ressonância denomina-se **frequência fundamental**, representado por $f_1$. A frequência fundamental produz o padrão mostrado na figura 4 (a), que é chamado de **modo fundamental** de vibração ou de **primeiro harmônico** [1].

A figura 4 (b) representa a segunda menor frequência de ressonância. Este modo de oscilação tem o dobro da frequência fundamental, o qual é representado por $f_2$, e também chamado de **segundo harmônico**. Em 4 (c) tem-se a terceira menor frequência, a qual é três vezes maior que a frequência fundamental, representada por $f_3$, e também chamado de **terceiro harmônico** [1]. A mesma ideia pode ser estendida para o quarto, quinto harmônico, etc..

A todo o conjunto de frequências de ressonância de uma determinada corda, que produzem seus respectivos modos de oscilação, é denominado **espectro de ressonância** da corda [1].

Ao analisar o segundo harmônico de uma onda estacionária a partir de uma fotografia, ou seja, de um instantâneo do modo de oscilação ou padrão da onda estacionária na corda no respectivo harmônico, é possível observar que este harmônico corresponte a um comprimento de onda inteiro específico. A representação do comprimento de onda inteiro específico é indicada na figura 4 (b) pela linha desenhada em amarelo na foto.

Figura 4 – Um instantâneo de uma onda nos três primeiros harmônicos.




Fonte: O autor.

Desta forma, lembrando que a corda do experimento tem comprimento fixo de valor L, é fácil perceber que no primeiro harmônico a corda de comprimento L contém apenas metade de um certo comprimento de onda específico, o que pode ser expresso como

($\lambda_1/2$). Isto pode ser observado na figura 4 (a) pela linha desenhada em amarelo na foto.

Seguindo esta ideia, fazendo-se a mesma observação para os outros dois harmônicos representados na figura 4, percebe-se que:

- no segundo harmônico a corda de comprimento L contém duas metades de um certo comprimento de onda, o que pode ser expresso como ($2\lambda_2/2$); nota-se que esse comprimento de onda é diferente do primeiro harmônico, observando a linha desenhada em amarelo na foto da figura 4 (b);
- no terceiro harmônico a corda de comprimento L contém três metades de um certo comprimento de onda específico, o que pode ser expresso como ($3\lambda_3/2$); observa-se que esse comprimento de onda é diferente do primeiro e segundo harmônicos, observando a linha desenhada em amarelo na foto da figura 4 (c);

Desta forma, para uma corda com comprimento L qualquer, uma onda estacionária somente poderá existir se satisfazer à equação 1 [1],

$$L = n\frac{\lambda_n}{2} \quad (n = 1, 2, 3, ...) . \qquad (1)$$

Para o experimento apresentado na figura 1, existem ondas na corda que não possuem os comprimentos de ondas representados pela equação 1, portanto, tais ondas não podem formar ondas estacionárias com nós e ventres.

A equação 1 ilustra as ondas estacionárias formadas pelo experimento da figura 3, onde a corda tem um comprimento L fixo e há a formação de ondas com certos comprimentos de onda específicos correspondentes aos n = 1, 2 e 3, respectivamente [1].

A velocidade de propagação da onda na corda, além da forma vista na equação 1 da seção 4 onde foi mostrada sua dependência com a tensão e densidade linear da corda, pode ser expressa em termos do comprimento de onda e respectiva frequência, como é mostrada na equação 2 [2],

$$v = \lambda f . \qquad (2).$$

Na equação 2, o módulo da velocidade de propagação da onda na corda é fixa e constante. Isso pode ser admitido porque a densidade linear da corda não se modifica, ou seja, é a mesma corda, e também porque se escolhe uma tração fixa.

Então, considerando o módulo da velocidade de propagação fixo, de acordo com o que foi exposto anteriormente, pode-se reescrever a equação 2, conforme expresso na equação 3,

$$f = \frac{v}{\lambda} . \qquad (3)$$

Desta forma, para uma série harmônica produzida em uma corda com uma velocidade de propagação fixa, como no experimento da figura 4, ou ainda figuras 1 e 3, nos quais se usou uma corda de densidade linear específica e uma tração devido à força peso, foi possível observar vários modos de oscilação, estes

correspondendo a uma série de valores possíveis de $\lambda_n$ e uma série de respectivas frequências $f_n$, e que pode ser generalizado na equação 4,

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} \qquad (n = 1, 2, 3, \ldots) . \qquad (4)$$

O comprimento de onda, $\lambda_n$, da equação 4 pode ser escrito a partir da equação 1 e, portando, dado pela equação 5,

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \quad (n = 1, 2, 3, \ldots) . \qquad (5)$$

Considerando a equação 4 pode-se determinar a menor frequência, $f_1$, n = 1 dada pela equação 6,

$$f_1 = \frac{v}{2L} \qquad (6),$$

e que corresponde ao maior comprimento de onda, $\lambda_1 = 2L$, este determinado pela equação 5.

O valor obtido a partir da equação 6 é denominado **frequência fundamental**, porque corresponde ao menor n admitido na equação 1, ou seja, L igual à metade do respectivo comprimento de onda, ou seja, $\lambda_1$. As demais frequências das ondas estacionárias, então, podem ser expressas da forma mostrada nas equações 7 e 8:

$$f_2 = \frac{2v}{2L} = 2\left(\frac{v}{2L}\right); \; n = 2 \qquad (7)$$

$$f_3 = \frac{3v}{2L} = 3\left(\frac{v}{2L}\right); \quad n = 3 . \qquad (8)$$

Assim, é possível verificar que os valores apresentados pelas equações 7 e 8 são múltiplos inteiros da frequência fundamental $f_1$, tais como $2f_1$, $3f_1$, $4f_1$, ...

Generalizando as observações feitas anteriormente, chega-se à equação demonstrada em 9,

$$f_n = n\frac{v}{2L} \qquad (n=1, 2, 3, \ldots) , \qquad (9)$$

ou simplesmente, à expressão da equação 10,

$$f_n = nf_1 \qquad (n=1,2,3) . \qquad (10)$$

As frequências obtidas a partir das equações 9 e 10 são denominadas **harmônicos**, e a série que contém todos os valores de frequências para uma corda é chamada **série harmônica** [1].

## Uma situação real

Ao considerar uma situação experimental, usando o aparato do experimento mostrado na figura 1, na qual são utilizados dois fios diferentes e dois corpos diferentes, isto é, dois objetos de massas diferentes, os quais proporcionam tensões diferentes nos fios por causa da força gravitacional, tem-se os dados apresentados na tabela 1. Os fios são considerados ideais. O fio 1 utilizado neste caso é o nylon 0,45 mm e o fio 2 nylon 0,60 mm. O valor da aceleração da gravidade utilizada para os cálculos foi g = 9,78m/s² [3].

Tabela 1 – Valores da velocidade de propagação da onda em duas cordas diferentes.

| | μ (kg/m)[4] | T (N) | v (m/s) |
|---|---|---|---|
| fio 1 | $2{,}003 \cdot 10^{-4}$ | 0,1956 | 31,24 |
| fio 1 | $2{,}003 \cdot 10^{-4}$ | 0,5868 | **54,12** |
| fio 2 | $3{,}235 \cdot 10^{-4}$ | 0,1956 | **24,58** |
| fio 2 | $3{,}235 \cdot 10^{-4}$ | 0,5868 | **42,59** |

Fonte: do autor

A partir dos dados apresentados na tabela 1, é possível verificar que:

- Quando o fio 1 está esticado com maior intensidade, isto é, coloca-se um corpo de massa maior, a tensão na corda __AUMENTA__ (aumenta/diminui), em consequência a velocidade de propagação de uma onda será __MAIOR__ (maior/menor) neste fio;
- Da mesma forma, ao considerar os dois fios diferentes, fio 1 e fio 2, mas mantendo-se a mesma tensão no fio, isto é, o corpo utilizado em ambos os fios é o mesmo, pode-se afirmar que o fio ___2___(1/2), cuja densidade linear é maior que a do fio ___1__ (1/2), tem velocidade de propagação de onda __MENOR__(menor/maior) do que o fio _1_(1/2).

Assim, é possível concluir a partir das observações feitas na tabela 1, que quanto ___MAIOR (maior/menor) a **densidade** do fio, ___MENOR___ (maior/menor) será a velocidade de propagação de um pulso ou de uma onda neste fio. E quanto __MAIOR__(maior/menor) a **tensão** aplicada no fio, __MAIOR____(maior/menor) será a velocidade de propagação de um pulso ou de uma onda.

Com base nos dados fornecidos na tabela 1, e considerando que o comprimento da corda utilizada no experimento seja L = 0,75 m, é possível obter o espectro de frequências para as cordas 1 e 2 a partir da equação 8. O resultado do experimento está mostrado na tabela 2.

Tabela 2 – Valores das frequências de ressonância de duas cordas diferentes.

| | fio 1 | fio 1 | fio 2 | fio 2 |
|---|---|---|---|---|
| | $\mu = 2{,}003 \cdot 10^{-4}$ kg/m | $\mu = 2{,}003 \cdot 10^{-4}$ kg/m | $\mu = 3{,}235 \cdot 10^{-4}$ kg/m | $\mu = 3{,}235 \cdot 10^{-4}$ kg/m |
| | T = 0,1956 N | T = 0,5868 N | T = 0,1956 N | T = 0,5868 N |
| $f_1$ | 20,8 Hz | 36,08 Hz | 16,38 Hz | 28,40 Hz |
| $f_2$ | 41,6 Hz | **72,16 Hz** | 32,76 Hz | **56,8 Hz** |
| $f_3$ | 62,4 Hz | **108,24 Hz** | 49,12 Hz | **85,2 Hz** |
| $f_4$ | 83,2 Hz | **144,32 Hz** | 65,52 Hz | **113,6 Hz** |
| $f_5$ | 104 Hz | 180,4 Hz | 81,9 Hz | 142 Hz |

Fonte: do autor

A partir dos dados apresentados na tabela 2, é possível verificar que:

- Ao se utilizar um mesmo fio, quanto maior a tensão aplicada no fio, isto é, ao se utilizar um corpo de massa maior para puxar o fio, __**MAIOR**__ (maior/menor) será a frequência fundamental para este fio.

- Ao se utilizar dois fios de densidades lineares diferentes, ao se aplicar a mesma tensão em cada um dos fios, isto é o mesmo corpo para puxar o fio, quanto maior a densidade linear do fio, __**MENOR**__ (maior/menor) será a frequência fundamental para esta tensão.

**Referências**

[1] YOUNG, D. Hugh. FREEDMAN Roger A.. **Física II**. 10ª ed. São Paulo: Ed. Pearson Addison Wesley, 2003.

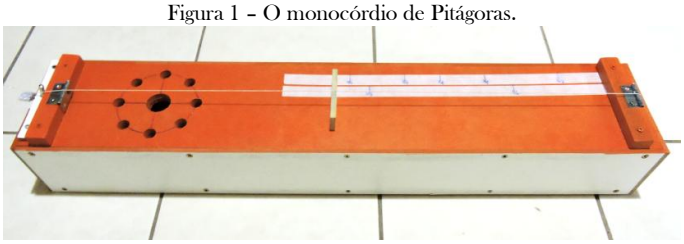
[2] HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos da Física**. Volume 2. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

[3] LOPES, Wilson. **Variação da aceleração da gravidade com a latitude e altitude.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 25, n. 3: p. 561-568, dez. 2008. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/issue/view/1160. Acesso em: 28 Nov. 2015.

[4] INSTITUTO DE FÍSICA DA USP. **Tabela de densidades lineares de fios de nylon.** Disponível em: http://portal.if.usp.br/labdid/pt-br/tabelas-e-constantes. Acesso em: 28 Nov. 2015.

## Seção 7
## "Voltando ao início"

Figura 1 – O monocórdio de Pitágoras.



Fonte: O autor.

Ao se fazer uma retrospectiva das seções anteriores, é possível perceber relações dos conceitos apresentados a um instrumento de cordas, como o violão, o piano, ou até mesmo o monocórdio apresentado na figura 1. O monocórdio, o qual será tratado na presente seção, será considerado como base de exemplo de aplicação dos conceitos da ondulatória, vistos em seções anteriores, como as propriedades das ondas mecânicas e o comportamento de uma corda ou fio preso nas duas extremidades, bem como a formação das notas musicais a partir das relações com os comprimentos das cordas. Porém, os conceitos e fundamentações observadas na presente seção podem ser aplicados a todos os demais tipos de instrumentos de cordas, independentes da forma como é construído e o método de produção do som (percutidas, friccionadas ou dedilhadas).

O monocórdio, como o apresentado na figura 1, consiste em um instrumento confeccionado basicamente por uma corda, a qual pode ser de aço ou nylon, por exemplo, onde a mesma é presa em uma das extremidades e tensionada na outra.

Um sistema onde uma corda é presa em uma das extremidades e tensionada em outra por uma determinada massa, foi apresentado na seção 6. Como foi visto, a partir do experimento da corda, estudou-se a formação de ondas estacionárias em uma corda presa nas extremidades, sendo que uma das extremidades estava fixa e a outra possuindo uma determinada massa, a qual era variável e proporcionava tensão à corda.

O monocórdio, como o mostrado na figura 1, foi inventado por Pitágoras (580-497 a.C.), um importante matemático e filósofo grego da Antiguidade [1]. Segundo conta a lenda, ao passar em frente a uma oficina de um ferreiro, Pitágoras percebeu que as batidas de martelos de diferentes pesos produziam sons que eram agradáveis ao ouvido e se combinavam muito bem [2].

Pitágoras utilizou o monocórdio para estudar a relação dos comprimentos das cordas com o som produzido por estas, tentando encontrar as relações onde os sons eram mais agradáveis aos ouvidos. Seu monocórdio consistia basicamente de uma corda, cujas extremidades eram tensionadas por objetos de determinada massa, apoiada sobre dois

cavaletes em uma mesa. Esta mesa também possuía um terceiro cavalete móvel, cuja função era dividir a corda em frações perfeitas do comprimento original [3]. A figura 2 apresenta uma gravura onde se tem uma representação de Pitágoras realizando seus estudos sobre o som formado pelas cordas em um monocórdio.

Figura 2 – Pitágoras realizando seus estudos no monocórdio.

Fonte: [4].

Foi a partir dos seus estudos, com o uso do monocórdio, que Pitágoras chegou às 7 notas musicais conhecidas no ocidente (dó-ré-mi-fá-sol-lá-si-dó). Ele percebeu que quando dividia a corda do monocórdio em 2/3 do seu tamanho original, ele obtinha um intervalo musical de quinta (exemplo: dó-sol). Ao dividir essa mesma corda em 3/4 do tamanho original ele obtinha o intervalo musical de quarta (exemplo: dó-fá). E quando ele dividia a corda na metade do comprimento ele obtinha o intervalo de oitava (exemplo: $dó_1$-$dó_2$). Para a obtenção das demais notas Pitágoras utilizou o ciclo das quintas, o qual consistia em encontrar as notas **dó-ré-mi-fá-sol-lá-si-dó**, através da superposição de quintas ascendentes. A utilização do ciclo das quintas proporciona a seguinte ordem das notas musicais: **dó-sol-ré-lá-mi-si** [3].

As relações entre as notas musicais e o comprimento da corda encontrada por Pitágoras estão descritas na tabela 1.

**Tabela 1**–Relação pitagórica entre comprimento de uma corda e a nota emitida.

| Notas | Dó | Ré | Mi | Fá | Sol | Lá | Si | Dó |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Comprimento da corda em relação à Dó | 1 | $\frac{8}{9}$ | $\frac{64}{81}$ | $\frac{3}{4}$ | $\frac{2}{3}$ | $\frac{16}{27}$ | $\frac{128}{243}$ | $\frac{1}{2}$ |

Fonte: [3].

Por exemplo, se a corda que Pitágoras utilizou possuísse 1 m de comprimento entre os pontos de apoio, ao se dividir (64/81) obtém-se o valor de 0,79. Isto é, ao se diminuir o comprimento da corda para 0,79 m, é obtida a nota Mi. Isto pode ser observado para qualquer razão descrita na tabela 1.

É importante destacar que a escala obtida por Pitágoras foi baseada nos comprimentos da corda. Porém, a associação da frequência a uma nota musical, a qual é utilizada nos dias de hoje para afinar um instrumento musical, foi introduzida por Galileu Galilei (1564-1642) [3].

Após a construção da escala musical por Pitágoras, houve muitas outras tentativas de construção de escalas musicais, as quais possuíssem sonoridades agradáveis aos ouvidos. Gioseffo Zarlino (1517-1590), teórico musical italiano, sistematizou a escala de Pitágoras buscando os intervalos por meio da soma de médias harmônicas e aritméticas a partir de uma nota fundamental. Ou seja, Zarlino se utilizou de passos matemáticos para chegar à escala musical, onde as relações entre os comprimentos de cordas, a partir das

proporções encontradas por ele, estão apresentadas na tabela 2 [3].

**Tabela 2** – Relação natural entre comprimento de uma corda e a nota emitida.

| Notas | Dó | Ré | Mi | Fá | Sol | Lá | Si | Dó |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Comprimento da corda em relação à Dó | 1 | $\frac{8}{9}$ | $\frac{4}{5}$ | $\frac{3}{4}$ | $\frac{2}{3}$ | $\frac{3}{5}$ | $\frac{8}{15}$ | $\frac{1}{2}$ |

Fonte: [3].

Ao se fazer uma comparação entre as relações de Pitágoras e Zarlino, utilizando como exemplo uma corda de 1 m de comprimento entre os pontos da corda que estão apoiados no cavalete, é possível obter os valores apresentados na tabela 03, onde estão representados os comprimentos das cordas em metros para determinada nota musical.

**Tabela 3** – Comparação entre as relações de Pitágoras e Zarlino.

| | Pitágoras | | Zarlino | |
|---|---|---|---|---|
| Nota | relação | Comprimento (m) | relação | Comprimento (m) |
| Dó | 1 | 1,000 | 1 | 1,000 |
| Ré | 8/9 | 0,889 | 8/9 | 0,889 |
| Mi | 64/81 | 0,790 | 4/5 | 0,800 |
| Fá | 3/4 | 0,750 | 3/4 | 0,750 |
| Sol | 2/3 | 0,667 | 2/3 | 0,667 |
| Lá | 16/27 | 0,593 | 3/5 | 0,600 |
| Si | 128/243 | 0,527 | 8/15 | 0,533 |
| Dó | 1/2 | 0,500 | 1/2 | 0,500 |

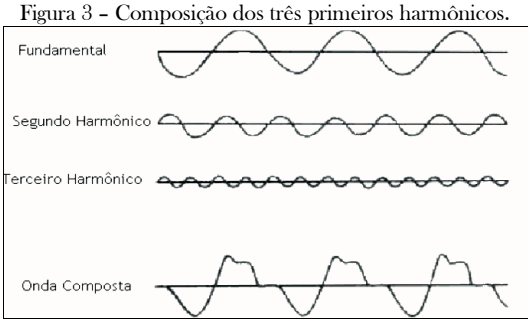
Fonte: O autor.

É possível perceber que a escala adotada por Zarlino é muito próxima à elaborada por Pitágoras, porém as relações com os comprimentos são apresentadas de uma forma mais simples para construção da escala. A relação das divisões feitas por Zarlino apresentada na tabela 2 foi a utilizada para a construção do monocórdio de Pitágoras apresentado na figura 1.

## Composição harmônica

Ao se dedilhar a corda de um monocórdio ou de um violão, esta irá oscilar. Como esta corda está confinada entre dois pontos, a onda irá sofrer inúmeras reflexões e múltiplas interferências, como visto na seção 6. Ao se tirar um instantâneo de uma corda vibrando é possível observar que a corda possui um formato diferente de uma onda senoidal, como visto na seção 5, logo, ela possui uma função de onda mais complexa. Quando a corda de um instrumento vibra, sua vibração resultante é a combinação do harmônico fundamental juntamente com vários sobretons; desta forma, o movimento da corda será a superposição de vários modos normais. A figura 3 ilustra a superposição de 3 harmônicos.

Figura 3 – Composição dos três primeiros harmônicos.

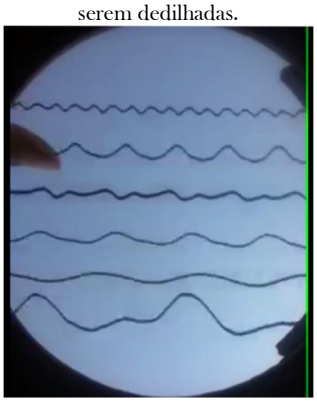



Fonte: [8].

A composição harmônica da corda também depende da forma com que esta foi inicialmente perturbada, isto é, se a corda for tocada próximo à abertura da caixa de ressonância, a corda terá uma determinada composição harmônica. Já se a corda for tocada próximo à outra extremidade, por exemplo, a sua composição harmônica terá um formato

diferente [5]. A composição harmônica das cordas de um violão ao serem dedilhadas é ilustrada na figura 4.

Figura 4 – Um instantâneo das cordas de um violão ao serem dedilhadas.



Fonte: [6].

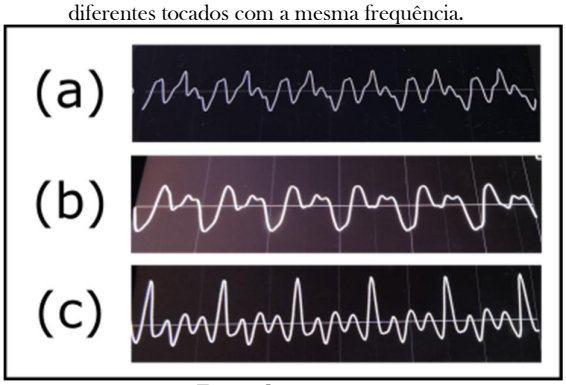
## Timbre

Ao se produzir duas notas musicais, as quais possuam a mesma frequência, através de dois instrumentos diferentes, como o monocórdio e o violão rudimentar, apresentados na seção 1, estas possuem a mesma frequência fundamental, porém, são percebidas de maneiras diferentes pelo ouvido. Isto ocorre devido à presença de intensidades diferentes dos diversos harmônicos, ou mesmo ausência de alguns deles.

O que vai determinar o número de harmônicos que acompanhará uma nota musical, além do tamanho e tensão da corda, é o tipo de corda utilizada, bem como a forma de confecção do instrumento musical. Desta forma, duas notas serão idênticas se forem tocadas por dois instrumentos musicais que possuam as mesmas características. Por exemplo, dois violões produzirão a mesma nota se as cordas utilizadas forem iguais (duas cordas de nylon com mesma densidade linear, por exemplo) e as dimensões, bem como o tipo de madeira utilizada para sua confecção sejam idênticas.

À diferença do som produzido pelos instrumentos musicais ao tocarem uma nota musical cuja frequência é a mesma dá-se o nome de **timbre** do instrumento. A figura 5 representa o timbre de três instrumentos diferentes tocando a mesma nota, ou seja, a mesma frequência, onde em (a) é a representação do timbre do violino, em (b) do piano e em (c) do trompete.

Figura 5 – os harmônicos formados por três instrumentos diferentes tocados com a mesma frequência.




Fonte: O autor.

### Referências

[1] **Pitágoras**. Disponível em: http://pensador.uol.com.br/autor/pitagoras/. Acesso em: 25 dez. 2015.

[2] SOARES, L. C. **O monocórdio de Pitágoras**. Disponível em: <http://www.ghtc.usp.br/server/Sites-HF/Lucas-Soares/Home.html>. Acesso em: 21 mar. 2015.

[3] RIBEIRO JÚNIOR, I. S.; CROCHIK, L. . A Construção de Escalas Musicais e Instrumentos Musicais de Baixo Custo Como Recurso Didático Para o Ensino de Física Ondulatória. In: Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2009, Vitoria. **Anais do XVIII SNEF**, 2009. Disponível em: <http://www.cienciamao.usp.br/dados/snef/_aconstrucaodeescalasmusi.trabalho.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2015.

[4 HERRERO, Raul. Pitágoras en el momento del triunfo del cristianismo. Disponível em: < http://raulherrero.blogia.com/2006/071801-pitagoras-en-el-

momento-del-triunfo-del-cristianismo.php>. Acesso em: 28 mai. 2016.

[5] YOUNG, D. Hugh. FREEDMAN Roger A.. **Física II**. 10ª ed. São Paulo: Ed. Pearson Addison Wesley, 2003.

[6] DAVE, P. **Como se vem las cuerdas dentro de la guitarra**. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=xYcSy146LAM. Acesso em: 10 Out. 2015.

[7] **Note the diferente timbres below.** Disponível em: http://www.simplifyingtheory.com/timbre/. Acesso em: 26 Jun. 2016.

[8] Wuensche, C. A. **A física da música**. Disponível em: <http://www.cea.inpe.br/~alex/FisicadaMusica/fisica_da_musica.pdf>, 2005. Acesso em 04 Dez. 2015.

---

**Atividade:**

**Com base no texto, responda à palavra cruzada proposta:**

1 – ___MONOCÓRDIO__ : Instrumento constituído por uma única corda musical.

2 – Ao se refletirem, duas ondas percorrendo sentidos opostos na corda, produzem _SUPERPOSIÇÃO__ das ondas.

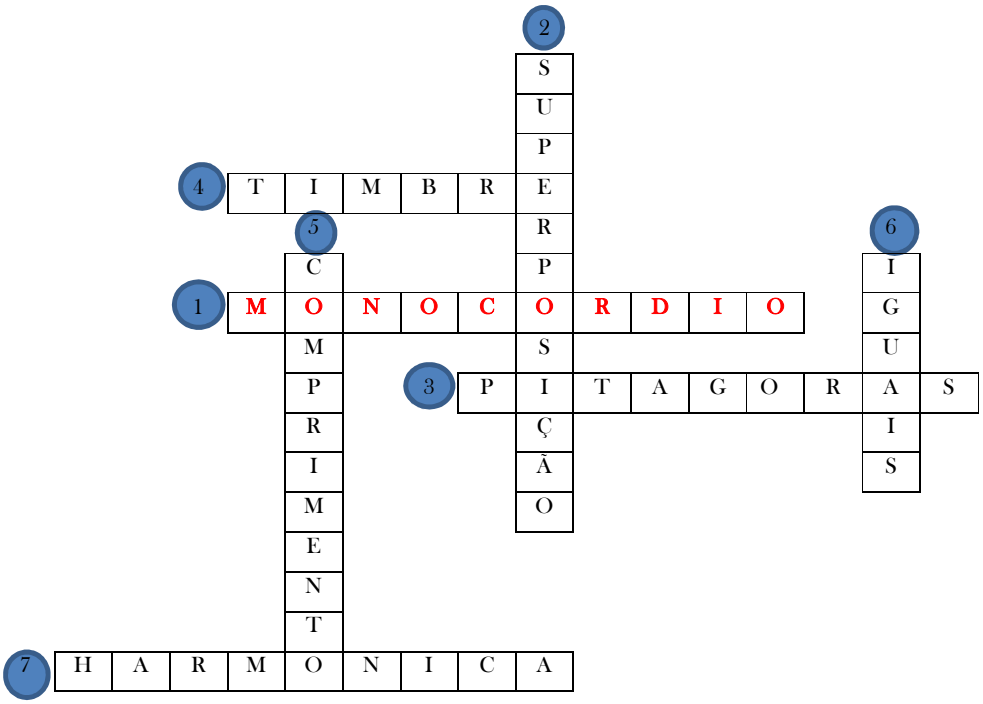
3 - Matemático que criou o monocórdio com o intuito de estudar a relação do comprimento da corda com o som produzido: _PITÁGORAS__.

4 – Nome que se dá ao som característico de um instrumento: __TIMBRE_.

5 – Uma nota musical com determinada frequência, tocada em um instrumento musical, depende além da tensão produzida na corda, também do seu _COMPRIMENTO__.

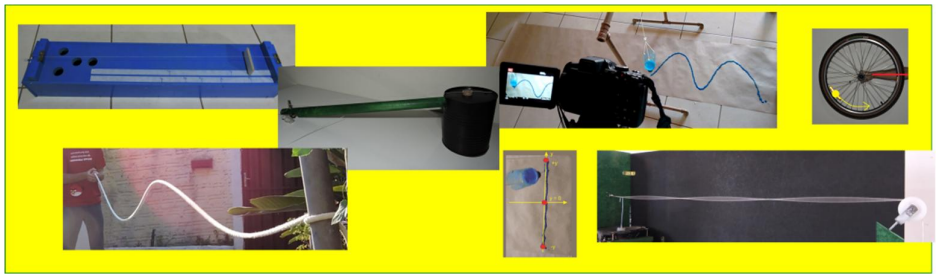
6 – Ao estudar as relações das notas com o som, Pitágoras dividiu as cordas em frações _IGUAIS____.

7 – Composição _HARMÔNICA__é a combinação de uma frequência fundamental juntamente com os harmônicos subsequentes.



## Seção 8
## "Um final para um novo começo!"

Figura 1 – Registro de alguns materiais utilizados nos estudos.



Fonte: O autor.

Até agora, foram estudas propriedades físicas das ondas mecânicas presentes nos instrumentos musicais e um registro de alguns materiais utilizados é apresentado na figura 1. Chegou a hora de colocar em prática o conhecimento adquirido, levando em consideração que a Física está presente em todas as situações, a saber: desde a construção de um "simples" instrumento musical, a sua afinação e também a tocar músicas prediletas. Para isso, são apresentados dois textos breves que trazem aplicações práticas sobre a funcionalidade e construção de instrumentos musicais. Então, após a leitura dos mesmos, são feitas algumas perguntas, as quais deverão ser respondidas. Recomenda-se fortemente que a utilização dos textos de apoio fornecidos anteriormente sirva como base para respondê-las.

> "...Todos os instrumentos de cordas são "afinados" para as frequências corretas fazendo-se variar a tensão; diminuímos o tamanho da corda para aumentar a altura. Finalmente, quando a massa da corda por unidade de comprimento, μ, aumenta, ocorre a diminuição da velocidade da onda, e portanto, da frequência. As notas mais baixas da corda de aço de uma guitarra são produzidas por cordas mais grossas, e uma técnica para se obter a baixa frequência desejada no piano, consiste em enrolar as cordas dos sons graves do piano com um fio sem a necessidade de se usar uma corda extensivamente longa." [1]

> A frequência, f, padrão para afinação de instrumentos musicais é 440 Hz, a qual corresponde à nota $lá_3$. Baseado em tal conhecimento, um *luthier* (pessoa que constrói instrumentos musicais) está desenvolvendo um novo modelo de instrumento de cordas, no qual a distância entre os suportes de sua corda precisa ser de 0,70 m. Ele pretende utilizar uma corda de nylon, cuja densidade linear, μ, é $1{,}0 \times 10^{-5}$ kg/m.
> O *luthier* está testando uma inovação tecnológica nesse instrumento, ou seja, ele pretende utilizar uma tarraxa (equipamento que tensiona a corda) eletrônica, a qual irá proporcionar uma afinação constante no instrumento. Tal inovação evitará a necessidade de afinar o instrumento sempre ocorra alguma modificação fazendo-o desafinar, pois a sua afinação será automática. (O autor.)

**Escolha a melhor alternativa para as questões de 1 a 4!**

1 – Quando se aumenta o comprimento de uma corda, a velocidade de propagação de uma onda nesta:

( ) aumenta. ( ) dobra.

( ) diminui. (X) não modifica sua velocidade.

2 – Ao trocar uma corda por outra corda do mesmo material, porém, com densidade linear maior, a velocidade de propagação da onda na corda:

( ) aumenta. ( ) dobra.

(X) diminui. ( ) não modifica sua velocidade.

3 - Ao ler o texto, quando o autor descreve "aumentar a altura", ele se refere:
( ) aumentar a amplitude da onda.
(X) aumentar a frequência da onda.
( ) aumentar o comprimento de onda da corda.

4– Ao se fazer o procedimento proposto no texto de se enrolar uma corda com um fio, faz com que:
(X) a densidade linear da corda aumente.
( ) a densidade linear da corda diminua.
( ) nada se altera.

**Monocórdios e os violões rudimentares: um breve relato!**

5- Com base no que você estudou no decorrer das seções anteriores, juntamente com as observações e investigações feitas nos instrumentos: monocórdios e violões rudimentares, faça um breve relato sobre os conceitos físicos envolvidos ao tocá-los.

**QUESTÃO DE LIVRE RESPOSTA**

**Algumas fórmulas e os instrumentos de corda!**

6 – Considerando que a nota lá da corda do instrumento que o *luthier* está desenvolvendo será a sua nota fundamental, calcule a tensão com a qual o equipamento deverá proporcionar à corda para que esta mantenha a afinação.

**RESPOSTA:**

Sabendo que

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad \text{e} \quad f1 = \frac{v}{2L}$$

tem-se $f1 \cdot 2L = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ *isso implica*: $440 \cdot 2 \cdot 0{,}7 = \sqrt{\frac{T}{1{,}0 \cdot 10^{-5}}}$

$(x^2)$

$(616)^2 = \frac{T}{1{,}0 \cdot 10^{-5}}$ *donde*: $379.456 \times 1{,}0 \cdot 10^{-5} = T$ portanto:

**T = 3,79 N**

7 – Com base no que foi visto na seção 7 sobre o monocórdio e usando a tabela 2 também da seção 7, onde deverá conter um traste para demarcar a nota $ré_4$?

**RESPOSTA:**

Como a nota Ré é a 4ª. nota depois da fundamental:

Lá – Si – Dó – Ré

Vemos que a 4ª. nota tem razão ¾, logo, se a corda tem 0,70 m, ¾ dessa medida é 0,525 m

A marcação tem que ser feita a **0,525 m** do traste, retirando **0,175 m** do tamanho total da corda.

**Dê sua opinião, pois ela é importante!**

8 – Neste espaço, você poderá dar a sua contribuição sobre as aulas presenciadas referentes às ondas mecânicas. Primeiramente, tente expressar sobre o seu aprendizado dizendo o que você aprendeu e se você consegue relacionar o funcionamento de um violão ou um monocórdio com conceitos de Física. Em seguida, descreva o que você mais gostou nas aulas, e também o que gostou menos.. Também, descreva se você acha esse modelo de aula interessante, ou qual modelo seria o mais apropriado. Enfim, esta parte é livre para sua participação, insira suas críticas, elogios, sugestões de possíveis melhoras, etc. Fique à vontade!

**QUESTÃO DE LIVRE RESPOSTA**

**Referências**

[1] YOUNG, D. Hugh. FREEDMAN Roger A.. **Física II**. 10ª ed. São Paulo: Ed. Pearson Addison Wesley, 2003.

Muito obrigado!

# TEXTOS DE APOIO AO EDUCANDO

# MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA – POLO 35 - UEPG

**Luís Alexandre Rauch[1], Luiz Fernando Pires[2], André Maurício Brinatti[2]**

*[1] Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física / Universidade Estadual de Ponta Grossa/ UEPG, PR, Brasil*
*[2] Departamento de Física/ Universidade Estadual de Ponta Grossa/ UEPG, PR, Brasil*

Colégio _____

Nome: _____

## Nas cordas dos instrumentos musicais

2016

## APRESENTAÇÃO

O presente conjunto de textos é parte do Produto elaborado pelo mestrando Luís Alexandre Rauch, sob orientação do Prof. Dr. André Maurício Brinatti e coorientação do Prof. Dr. Luiz Fernando Pires, no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física – Mestrado Profissional, da Universidade Estadual de Ponta Grossa, vinculado ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF, da Sociedade Brasileira de Física – SBF, como polo 35, sendo referente a uma sequência de aulas como unidade didática, a qual contempla o estudo das ondas mecânicas em cordas.

Este conjunto de textos consiste em oferecer apoio ao educando, permitindo a sua utilização como forma de revisão e contam com exercícios diferenciados, tendo por objetivo auxiliar na assimilação dos conteúdos estudados, possibilitando avanços no processo de ensino-aprendizagem a partir do mesmo sobre o tema. Além disso, os textos são também utilizados juntamente com materiais didáticos constante no Produto que são apresentados em cada seção. À medida que se avança nas seções, novos conhecimentos serão agregados.

Por fim, o referido trabalho consiste em uma versão final, a qual foi reformulada após sua primeira aplicação, sendo providenciadas as devidas correções.

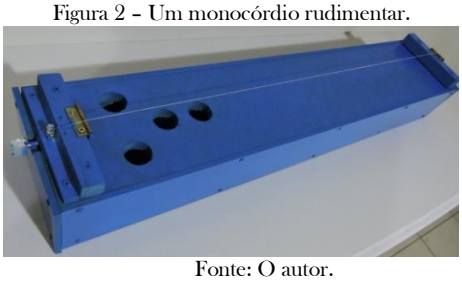
*Os autores*

## Seção 1
## "Com a corda toda!"

Figura 1 – Um violão rudimentar.

Fonte: O autor.

Figura 2 – Um monocórdio rudimentar.



Fonte: O autor.

Os _____ musicais estão associados ao ser humano desde o seu surgimento na Terra. Na Idade da Pedra Lascada (quando o homem produzia objetos com pedra e madeira), surgiram os primeiros chocalhos e apitos, feitos com materiais retirados da natureza. Ossos, por exemplo, serviam como flautas e apitos. O homem começou a construí-los para imitar os sons da natureza, como o vento e o trovão, o canto dos pássaros e até o rugido das feras [1].

As culturas primitivas atribuíam a criação dos instrumentos aos deuses, pois acreditavam que a música tinha origem divina [2].

Dentre os tipos de instrumentos musicais destaca-se uma classe em especial, os instrumentos de _____ os quais consistem em cordas de _____ e _____ diferentes com diversos tipos de tensão, que quando combinadas formam os sons. Dois exemplos destes instrumentos são apresentados nas Figuras 1 e 2 iniciais desta seção, à esquerda (Figura 1), tem-se um _____ rudimentar e à direita (Figura 2) um _____.

A história dos instrumentos de cordas também é muito antiga. Há registros de 3.000 a.C com relatos de instrumentos parecidos às harpas na Mesopotâmia [3].

Os instrumentos de corda são classificados de acordo como são tocados, podendo ser:

**Instrumentos de cordas** _____.
São os instrumentos cujo som é emitido através de cordas postas em vibração por meio de um arco, através do _____ entre as cordas e um arco, o qual é normalmente confeccionado com crina de cavalo [4]

Figura 3 – Um violino.

Fonte: O autor.

Dentre os instrumentos desta modalidade podemos citar o violino, ilustrado na figura 3. Esse instrumento foi desenvolvido no século XVI pelos italianos Andrea Amati, de Cremona, e Gasparo da Salò, de Brescia, a partir do aperfeiçoamento do primitivo instrumento de 3 cordas. De aparência simples, é um instrumento de extraordinária complexidade, composto de quase 70 peças diferentes. Constitui-se basicamente de quatro cordas, afinadas em quintas (mi4, lá3, ré3 e

sol2), uma caixa de _____ em forma de oito e um braço preso à caixa por um cepo. No interior da caixa, há uma prancheta chamada "cadeira" e um pequeno cilindro vertical denominado "alma". Ambos têm por finalidade melhorar a sonoridade, além de dar mais solidez à parte superior da caixa de ressonância, o "tampo harmônico", em cuja parte central encontra-se o "cavalete", por onde passam as cordas. O violino, o mais agudo e versátil instrumento de cordas, é indispensável na orquestra sinfônica e no quarteto de câmara [5].

Figura 4 – Um violoncelo.

Fonte: O autor.

O violoncelo, ilustrado na figura 4, foi construído no século XVI, à maneira do violino e para ser tocado como a viola da gamba, pelos mestres italianos Andres Amati, Gasparo da Salò, Maggini e outros. Esse instrumento de timbre _____ e aveludado tem como principal função a de reforçar os baixos da orquestra. Em seus primórdios, exercia papel secundário, sendo utilizado ora como baixo contínuo, juntamente com o cravo, ora como simples pedal da orquestra. Somente a partir do final do século XVII é que se firmou como instrumento solista, substituindo a "viola da gamba". De estrutura semelhante à do violino e à da viola, diferencia-se destes pelo _____ (1,19m), como também pela caixa de ressonância, proporcionalmente mais funda. Possui 4 cordas afinadas uma oitava abaixo das cordas da viola, também em quintas (dó1, sol1, ré2 e lá2), e seu registro médio é de 3 oitavas e meia [6].

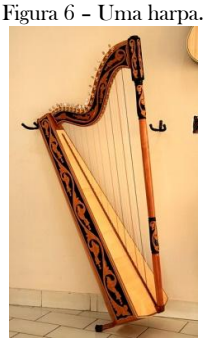
**Instrumentos de cordas _____.** O som é produzido a partir da _____ das cordas após serem dedilhadas pelos dedos ou por palhetas [4].

Figura 5 – Um violão.

Fonte: O autor.

A figura 5 representa o mais popular dos instrumentos de corda dedilhada, o violão, também chamada "guitarra espanhola". Trata-se de um instrumento de cordas dedilhadas, sobre cuja origem não acordam os pesquisadores, embora sua presença e difusão na Espanha tenha a ver com a invasão dos árabes na Península Ibérica. Ele consta de uma caixa de ressonância, de um braço com 19 trastes, que termina numa cravelha. Tem seis cordas, tocadas com a ponta dos dedos ou arranhadas com as unhas [6].

Figura 6 – Uma harpa.



Fonte: [8]

Talvez o mais antigo dos instrumentos musicais de corda, cujos exemplares foram encontrados em um túmulo da rainha dos sumérios, Schub-ad, na Mesopotâmia, que viveu 3000 a.C., seja a harpa, ilustrada na figura 6, tem construção sempre triangular, lembrando um arco de caça [3]. A harpa utilizada nas orquestras sinfônicas atuais contém cerca de 46 cordas presas a uma armação triangular. Seu registro abrange seis oitavas e meia (dó bemol1 a sol bemol6). Usada como instrumento solista por alguns compositores, é amplamente empregada na orquestra sinfônica por uma gama interessante de compositores [6].

**Instrumentos de cordas _____.** O som é produzido a partir da vibração das cordas após estas serem percutidas.

Figura 7 – Um piano.

Fonte: O autor.

A figura 7 ilustra o piano, cujo som é produzido por peças feitas em _____ e cobertas por um material macio (geralmente feltro) designadas martelos. Os martelos são ativados através de um _____ e tocam nas cordas _____ e presas numa estrutura rígida de madeira ou metal. As cordas _____ e produzem o som.

Figura 8 – Um berimbau.

Fonte: [9]

O berimbau, ilustrado na figura 8, é um instrumento de _____, porém, é tocado através de uma corda. É um instrumento característico do Brasil, figura indispensável em todas as rodas de capoeira, apesar de estar presente em outros contextos, como por exemplo, as celebrações do candomblé-de-caboclo. Nos tempos de escravidão, os africanos utilizavam-se do berimbau para comunicar-se de modo sigiloso. Apesar de uma ou outra discordância, o instrumento é considerado de origem africana, tendo como construtores os povos Bantus. O instrumento é composto de uma cabaça, um arco geralmente feito da madeira chamada biriba, a qual é envergada por um cabo de _____, uma _____ com a qual se percute o arame; ao mesmo tempo em que a mão da baqueta percute o arame, a mesma segura o caxixi, um pequeno cesto contendo pequenas sementes ou algo similar dentro, que ajuda no som percussivo; com a outra mão, o instrumentista segura uma pedra ou um pedaço de metal

(popularmente chamado de dobrão) que é levado de encontro ao arame, causando _____ nos tons emitidos pelo arco. Ele produz, basicamente, três texturas de sons, que são a solta (sem a pedra, com o instrumento longe do corpo), presa (com a pedra friccionando o arame, com a baqueta atuando acima da pedra, com o instrumento longe do corpo) e chiado (com a pedra tocando o arame de modo solto, livre, com a baqueta atuando acima da pedra, com o instrumento preso ao corpo). [7]

**Palavras utilizadas:**

monocórdio, espessuras, vibram, dedilhadas, variação, instrumentos, ressonância, madeira, arame, teclado, tamanhos, esticadas, comprimento, violão, baqueta, percutidas, atrito, percussão, friccionadas, grave, vibração, cordas.

## Agradecimentos


- Colégio Getúlio Vargas – Fernandes Pinheiro, pela autorização em fotografar o piano do Colégio;
- Geraldo Baranoski Junior – pelo empréstimo do violão para fotografar;
- André Rauch Baranoski – pelo empréstimo para fotografar e utilização do violino;
- Lilly Cristina Flores Schnepper - pelo empréstimo do violoncelo para fotografar.


## Referências


[1] - FERNANDES, N. **Como surgiram os instrumentos musicais**. 2010. Disponível em: http://www.dgabc.com.br/Noticia/101965/como-surgiram-os-instrumentos-musicais. Acesso em: 08 Out. 2015.

[2] - PASCOAL , E. G. **INSTRUMENTOS : ORIGEM E CLASSIFICAÇÃO**. Banda Musical da casa do povo de Vilarandelo. Disponível em: http://www.angelfire.com/musicals/bandadevilarandelo/instrumentos.htm. Acesso em 04 Out. 2015.

[3] – ORTEGA, G. **A Harpa e seu mistério**. DEMAP – Adoração Irresistível. Disponível em: http://www.adoracaoirresistivel.com/2015/05/a-harpa-e-seu-misterio/. Acesso em 08 Out. 2015.

[4] – CAMPAGNOLI, D. **Instrumentos de corda**. Violinando.com – Tudo sobre Violino. 2014. Disponível em: http://violinando.com/instrumentos-de-cordas/. Acesso em: 08 Out. 2015.

[5] – MUSICAL MENDELSSOHN. **Instrumentos de Corda**. Disponível em: http://www.musicalmendelssohn.com/#!cordas/c1bhy. Acesso em 04 Out. 2015.

[6] – RODRIGUES, A. **A história dos instrumentos**. 2011. Disponível em: http://www.movimento.com/2011/09/a-historia-dos-instrumentos/. Acesso em: 04 Out. 2015.

[7] – SANTIAGO. E. **Berimbau**. Disponível em: http://www.infoescola.com/musica/berimbau/. Acesso em: 12 Out. 2015.

[8] – Paraguayan Harp. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Paraguayan_harp.jpg. Acesso em 18 Out. 2015.

[9] – Berimbau. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Berimbau_1.jpg. Acesso em: 18 Out. 2015.

## Seção 2
## "Com que frequência?"

Figura 1 – Um relógio trabalhando.

Fonte: O autor.

Figura 2 – Uma bicicleta em movimento.

Fonte: O autor.

Quando se observa o movimento dos ponteiros dos relógios, como ilustrado na Figura 1, de um ponto qualquer demarcado em um aro de uma bicicleta que anda com velocidade constante, como ilustrado na Figura 2, ou até mesmo o movimento realizado pelos planetas em torno do Sol, a posição, velocidade e aceleração do corpo móvel se repetem em intervalos de tempos iguais. Ao movimento que exibe este tipo de regularidade dá-se o nome de movimento periódico [1].

Imagine uma roda, na qual existe um ponto marcado próximo ao pneu e ao aro, que gira livremente em torno do seu eixo.

Figura 3 – Uma roda girando.

Fonte: O autor.

Quando ela está girando, como ilustrado na figura 3, o ponto gasta um certo intervalo de tempo para percorrer uma volta completa em torno de um ponto de referência (o braço, por exemplo). Em Física, este intervalo de tempo é definido como Período [2] sendo, em geral, representado pela letra T. No Sistema Internacional de Unidades (S.I.), a unidade de medida de período é o segundo (s).

Para exemplificar: observe o ponteiro dos segundos do relógio da sua sala de aula, o período do ponteiro dos segundos é de 60s, ou T = 60s.

Suponha que você esteja na situação em que se observa um determinado ponto da roda e com o uso do cronômetro conta o número de voltas completas que este ponto realiza em determinado intervalo de tempo. Ao medir um tempo de ___s, você contou ____ voltas completas. Ao dividir o número de voltas completas pelo tempo que foi medido, tem-se uma grandeza denominada frequência, a qual é representada na Física muitas vezes com a letra **f**. Assim, pode-se definir frequência como o número de ciclos que um movimento se repete na unidade de tempo [3], sendo que no caso da roda, é o número de voltas que o ponto da roda completa no intervalo de tempo.

Assim, é possível calcular frequência a partir da seguinte equação:

$$f = \frac{\textbf{\textit{número de ciclos}}}{\textbf{\textit{unidade de tempo}}}$$

A unidade de medida de frequência é $\frac{1}{s}$, denominado de hertz, cujo símbolo é Hz [3]. O número 1 no numerador indica que o número de ciclos não possui unidade de medida.

A unidade hertz foi assim designada em homenagem ao físico alemão Heinrich Hertz (1857-1898), um pioneiro nas investigações das ondas eletromagnéticas [3].

Assim, quando se diz, por exemplo, que uma determinada estação de rádio possui frequência de 99,7 megahertz, isto quer dizer que a onda de rádio emitida por essa estação possui 99,7 milhões de oscilações por segundo [5] (tal conceito será mais bem explorado na seção 5).

Voltando ao problema da roda, a frequência do seu movimento será de:

$$f = \frac{\_\_\_voltas}{\_\_\_segundos} = \_\_\_Hz$$

## Referências


[1] MHS – Movimento oscilatório e periódico. Disponível em: http://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/MHS/movpereosc.php. Acesso em 12 Out. 2015.

[2] HALLIDAY, D. RESNICK. R. WALKER, J.. Fundamentos da Física. Rio de Janeiro: LTC, 2009. v.2

[3] YOUNG, D. H.. FREEDMAN R. A.. **Física II**. 10. ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2003.

[4] SILVA, Junior. **O que é frequência elétrica?** Disponível em: http://www.eletricante.com.br/2012/07/o-que-e-frequencia-eletrica.html. Acesso em 21 Out. 2015.

[5]GRUPO VIRTOUS. **Frequência de uma onda**. Disponível em: http://www.sobiologia.com.br/conteudos/oitava_serie/Ondas2.php. Acesso em 29 Out. 2015.


## Atividade:

Procure no quadro abaixo as palavras que estão destacadas no texto:

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| M | E | R | N | L | O | D | S | E | G | U | N | D | O | E | R | G | H | M | B |
| O | S | Ó | F | Ã | S | Ç | D | S | F | A | P | M | L | B | S | D | E | J | K |
| V | D | M | F | R | E | Q | U | Ê | N | C | I | A | S | A | G | D | Y | T | R |
| I | F | B | N | T | I | Y | U | E | V | M | J | F | S | D | I | X | P | D | U |
| M | D | O | T | G | G | K | J | S | N | S | R | E | J | D | A | Õ | E | B | K |
| E | G | E | Q | E | A | Ç | Ã | O | Ú | A | X | D | A | F | G | P | R | A | U |
| N | Y | A | G | A | M | O | M | W | M | Q | Y | E | Y | L | M | Í | I | J | N |
| T | U | P | F | T | É | P | E | T | E | T | R | Ç | L | E | H | Y | O | K | I |
| O | I | M | C | H | A | Y | O | Y | R | A | S | M | I | D | G | T | D | M | D |
| A | L | T | O | Ç | Ú | L | R | I | O | Y | H | E | R | T | Z | H | I | T | A |
| D | K | G | M | V | G | E | T | N | D | O | K | D | T | M | Ã | O | C | B | D |
| E | O | E | P | D | P | Õ | F | M | E | H | D | I | R | H | M | S | O | L | E |
| A | O | R | L | E | A | M | R | E | C | J | M | T | D | E | E | B | D | M | D |
| S | D | S | E | G | F | R | I | D | I | N | C | O | N | S | T | A | N | T | E |
| F | H | S | T | I | Ó | F | Q | S | C | R | T | W | E | Ã | E | U | W | I | T |
| F | G | W | A | S | Í | D | S | F | L | Y | E | Í | F | M | P | Q | C | D | E |
| R | Y | T | O | F | R | E | G | T | O | O | T | W | D | X | E | R | E | T | M |
| I | T | K | L | A | S | W | H | F | S | E | Ó | R | F | G | R | E | W | O | P |
| I | G | U | A | I | S | P | O | I | K | L | F | R | E | D | U | I | Y | F | O |
| A | S | R | E | R | D | L | E | P | E | R | Í | O | D | O | R | E | J | K | M |

## Seção 3
## "Um balançar legal!"

Figura 1 – O movimento de um pêndulo.

Fonte: O autor.

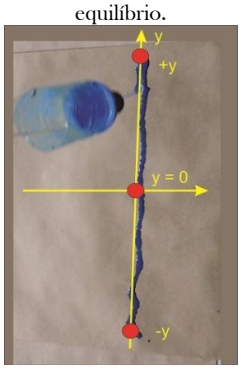
A foto da figura 1 consiste em um corpo de certa massa variável colocado para balançar na extremidade de um fio longo [2]. Neste caso, a massa é composta por uma garrafa pet que possui um líquido colorido no seu interior e um pequeno orifício em sua tampa. Esta é a representação de um pêndulo. O mesmo sistema pode ser observado em várias situações em nosso dia a dia, como o movimento de um relógio de pêndulos ou no balançar de uma criança em um balanço infantil, e ambos exemplificam o caso de um pêndulo.

Porém, pode-se considerar a situação da figura 1, de forma aproximada, como sendo um pêndulo simples, ou seja, um sistema constituído de um corpo puntiforme com determinada massa e suspenso por um fio ideal, ou seja, inextensível e com massa desprezível, com determinado comprimento e que executa oscilações desenvolvendo pequenos deslocamentos.

Desprezando-se as possíveis resistências, como a do ar e atrito, o pêndulo descrito realiza um movimento periódico [2][3]. Esta regularidade do movimento de oscilação de um pêndulo foi utilizada por muito tempo para controlar o movimento dos relógios, por exemplo [1].

Considerando a situação em que o pequeno orifício da tampa do pêndulo descrito da figura 1 é aberto, este irá marcar o papel com a tinta quando em movimento. Ao deslocar do ponto de equilíbrio e soltar a garrafa, deixando cair uma pequena quantidade de líquido do seu interior sobre um papel, ela irá produzir um segmento de linha reta, como demonstrado na figura 2.

Figura 2 – Um pêndulo oscilando sobre um ponto de equilíbrio.




Fonte: O autor.

É importante observar que, neste caso, haverá uma pequena variação da massa, uma vez que há perda de líquido. No entanto, para o propósito aqui apresentado e simplificações,

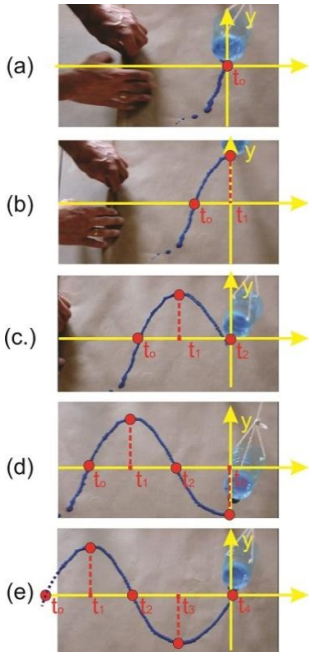
essa variação de massa (perda de tinta) não será considerada.

O movimento oscilatório de um pêndulo balançando através de um pequeno arco em torno de um ponto central, como mostrado na figura 2, denomina-se movimento harmônico simples (MHS), considerando as devidas aproximações, tais como fio ideal e inextensível. Há outras situações no dia-a-dia em que o MHS está presente, com boas aproximações, sendo o movimento do pêndulo simples um exemplo.

Ao puxar o papel que está sob e próximo à base do pêndulo com velocidade constante, este fará uma marcação no papel, como mostrada na figura 1. Para analisar o movimento do pêndulo em relação ao tempo, mantendo o referencial no ponto fixo na posição de equilíbrio do pêndulo, onde este fica parado, foram tiradas cinco fotografias mostradas na figura 3, que representam cinco momentos que são chamados de "instantâneos" do movimento do mesmo.

Pode ser observado que no instantâneo em (a), o qual é o tempo inicial da observação, representado por $t_0$, este elemento está com um deslocamento y=0. Em (b), momento $t_1$, pode-se perceber que o ponto se encontra em seu deslocamento extremo para cima (denominado pico). No ponto (c), momento $t_2$, desce novamente para y=0. No quarto instantâneo (d), momento $t_3$, está com seu deslocamento extremo para baixo (denominado vale) e no quinto instantâneo (e), momento $t_4$, está novamente em y=0, completando o ciclo de oscilação [2] e recomeçando o movimento.

Figura 3 – Cinco instantâneos do movimento do pêndulo.




Fonte: O autor.

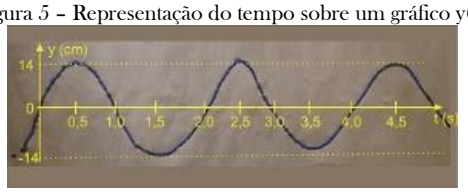
No final deste movimento, observa-se uma marcação da tinta no papel, como apresentada na figura 4, representando o movimento do pêndulo em função do tempo.

Figura 4 – Marcação do deslocamento do pêndulo em função do tempo.

Fonte: O autor.

Colocando-se um eixo de coordenadas na figura 4, da posição do pêndulo em y em função do tempo, verifica-se a representação mostrada na figura 5. Observe que a posição em y fornece a oscilação do pêndulo entre um valor máximo e um mínimo, compare esta figura com as figuras 2 e 3.

Figura 5 – Representação do tempo sobre um gráfico y(t).




Fonte: O autor.

Buscando uma comparação da figura 5 com a análise feita anteriormente referente à figura 3, apresenta-se a tabela 1 com valores de tempo e deslocamento máximo para vários instantâneos, onde é fácil perceber que:

Tabela 1 – Vários instantâneos.

| instantâneo | tempo (s) | deslocamento máximo em y (cm) |
|---|---|---|
| $t_0$ | 0 | 0 |
| $t_1$ | 0,5 | 14 |
| $t_2$ | 1,0 | 0 |
| $t_3$ | 1,5 | -14 |
| $t_4$ | 2,0 | 0 |

Além disso, também a partir da figura 5, é possível analisar as propriedades do MHS, como período, amplitude e frequência de oscilação.

## PROPRIEDADES DO MHS

### Período do movimento de um pêndulo

O MHS é um movimento periódico, desta forma, como foi descrito na seção anterior, é possível atribuir a esse tipo de movimento um período, T, que é o intervalo de tempo necessário para o pêndulo realizar uma oscilação completa (ou um ciclo) [2], como o demonstrado na figura 3. Desta forma, é possível perceber que o período do movimento na figura 5 é de _____s.

### Frequência

Outro elemento importante que caracteriza os movimentos periódicos e, portanto, o MHS, é a sua frequência, f, cuja grandeza também estudada na seção anterior, onde neste caso indica o número de oscilações completas do pêndulo por segundo [2]. Desta forma, ao escolher o número de oscilações completas e dividir pelo tempo que o pêndulo levou para fazê-las, é possível estimar a frequência descrita pelo movimento do pêndulo usando a figura 5, o qual é de:

$$f = \frac{\_\_\_}{\_\_\_} = \frac{\_\_\_}{\_\_\_} \;;$$

$$f = \_\_\_\_\_ \, Hz$$

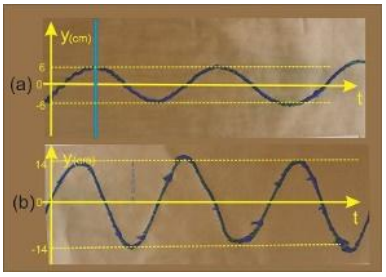
### Amplitude de oscilação

Quando o pêndulo é deslocado com um pequeno ângulo em relação ao seu ponto de equilíbrio, ponto central, a marcação da sua posição em relação ao tempo será feita próximo a este. Já quando o pêndulo for deslocado para um ponto mais afastado do seu ponto de equilíbrio, ou seja, um ângulo um pouco maior, a marcação torna-se maior. Vale lembrar que em ambos os casos as amplitudes são devidas a ângulos pequenos. Ao deslocamento máximo de oscilação do pêndulo em relação ao ponto de equilíbrio, ponto central, em um dos sentidos é denominado amplitude, representado pela letra A [2]. Pode-se dizer, então, em relação à figura 5, que a amplitude de oscilação do pêndulo é A = _____cm.

A figura 6(a) mostra a marcação do movimento do pêndulo em função do tempo

segundo uma determinada amplitude, já na figura 6(b) é possível observar a marcação do movimento do pêndulo em função do tempo descrevendo uma amplitude pouco maior que ao descrito na figura 6(a).

Figura 6 – As amplitudes de um movimento oscilatório.




Fonte: O autor.

## Referências

[1] HEWITT, Paul G. Física Conceitual. 9ªed. São Paulo: Bookman, 2002.

[2] HALLIDAY, D. RESNICK. R. WALKER, J.. Fundamentos da Física. Rio de Janeiro: LTC, 2009. v.2

[3] HOUUAISS PÊNDULO SIMPLES. In: RODITI, I. **Dicionário Houaiss de Física**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2005.

## Atividade

Com base no texto, ligue os conceitos descritos na coluna A com as definições da coluna B:

| A | | B |
|---|---|---|
| Frequência | • | Constituído de um corpo puntiforme com uma determinada massa e suspenso por um fio inextensível com um determinado comprimento e massa desprezível e que executa pequenas oscilações. |
| Aproximação do Pêndulo Simples | • | Deslocamento máximo de oscilação em relação ao ponto central (ponto de equilíbrio). |
| Amplitude | • | Movimento descrito por um objeto preso à ponta de uma corda que oscila em torno de um ponto central (ponto de equilíbrio) executando um pequeno arco. |
| MHS | • | Número de oscilações realizadas por um pêndulo em um segundo. |
| Pêndulo simples | • | Tempo que o pêndulo leva para descrever uma volta completa em torno de um ponto de referência que pode ser tomado como ponto central (ponto de equilíbrio), por exemplo. |
| Período | • | Movimento periódico descrito por um corpo que oscila em torno de um ponto de equilíbrio executando deslocamentos simétricos e em torno deste. |
| Aproximação do Movimento Harmônico Simples | • | Aparato mostrado na figura 1 contendo um fio esticado e uma determinada massa presa em sua extremidade e que oscila em torno de um ponto central. |

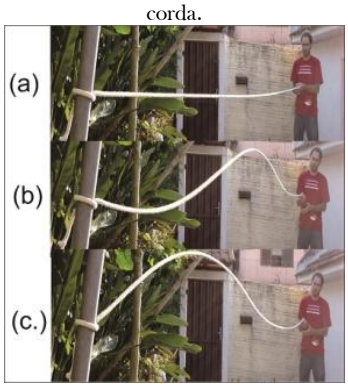
## Seção 4
## "Um pulso..."

Figura 1 – Um pulso formado em uma corda esticada.

Fonte: O autor.

Ao sacudir uma corda esticada para cima e para baixo, é obtido um pulso que se propaga ao longo da mesma [1] como apresentado na figura 1. Observando a ilustração da figura 2, pode-se verificar três situações que representam um pulso em uma corda: em (a) tem-se uma corda esticada e em (b) e (c) um pulso se propagando ao longo da corda.

Figura 2 – Um pulso de onda se propagando em uma corda.




Fonte: O autor.

A velocidade de propagação de um pulso na corda depende da tração e da sua densidade linear. Desta forma, é possível determinar o valor da velocidade do pulso pela equação 1,

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

Na equação 1, a tração é a força com que é esticada a corda e está representada pela letra T.

A densidade linear da corda é representada pela letra grega μ. Essa grandeza é definida dividindo-se a massa da corda pelo seu comprimento, conforme indicado na equação 2,

$$\mu = \frac{m}{l}. \quad (2)$$

Desta forma, se uma corda tem massa _____kg e comprimento _____m, a sua densidade linear terá valor de:

$$\mu = \frac{\_\_\_\_}{\_\_\_\_} \; ;$$

$$\mu = \_\_\_\_\_\text{kg/m}$$

Se considerar que a tração nessa mesma corda, aferida a partir de um dinamômetro, seja de _____N, pode-se determinar a velocidade de propagação de um pulso nesta corda usando a equação 1 e esta será de

$$v = \sqrt{\frac{\_\_\_\_}{\_\_\_\_}}, \text{ então}$$

$$v = \_\_\_\_ m/s.$$

O resultado anterior de velocidade de propagação do pulso juntamente com a equação 1, sugere que:

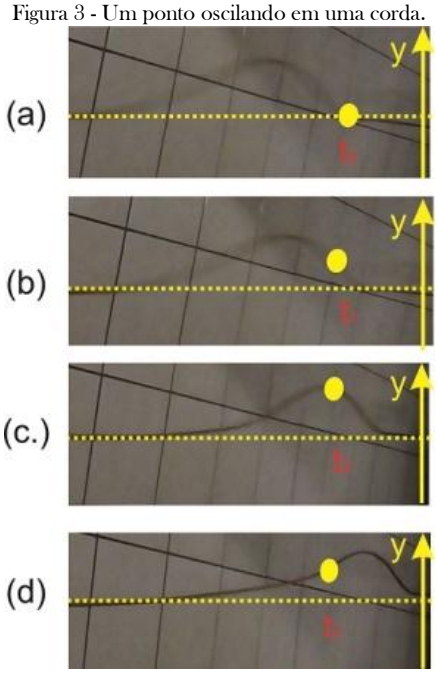
Uma corda puxada com uma tração de maior intensidade, ou seja, mais esticada, tem velocidade de propagação de um pulso maior do que a mesma corda menos esticada, ou seja, com uma tração de menor intensidade.

Se a corda for substituída por outra corda, cuja densidade linear é maior, e essa outra corda for esticada com as mesmas intensidades de tração da anterior, isto é, maior e menor tração, as velocidades de propagação de um pulso serão menores nessa outra corda, respectivamente.

Quando se produz um pulso isolado em uma corda esticada, ao analisar um elemento da corda, o qual está demarcado como um ponto na figura 3, este se desloca para cima e depois para baixo quando o pulso passa por ele [4].

A figura 3 representa quatro instantâneos da propagação do pulso, na qual quando analisado um ponto demarcado na corda tem-se que: em (a) o ponto se encontra em sua posição de equilíbrio sobre o eixo da corda; em (b) o pulso encontra o ponto da corda, onde este se move para cima; em (c) o ponto alcança sua máxima amplitude; e em (d) o ponto inicia retorno à posição original. Esta situação pôde ser observada na seção 3, quando analisado o movimento de oscilação do pêndulo simples.

Figura 3 - Um ponto oscilando em uma corda.

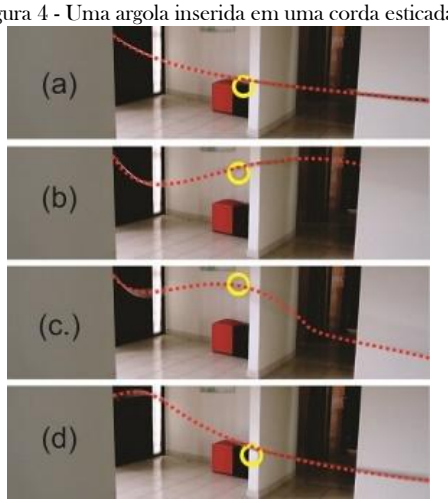



Fonte: O autor.

Também é possível verificar, a partir da figura 3, que à medida que o pulso se propaga para a esquerda na corda, sua parte da frente está se movendo para cima, enquanto a parte posterior, na direita, está se movendo para baixo [1].

Uma situação em que é possível observar que um pulso não transporta massa e sim energia é ilustrada na figura 4, onde é colocada uma argola em uma corda esticada (a) e um pulso é aplicado (b). Quando o pulso alcança a argola (c), a mesma faz um movimento de subida e descida, e, após a passagem do pulso ela permanece no mesmo lugar (d).

Figura 4 - Uma argola inserida em uma corda esticada.




Fonte: O autor.

**Reflexão de um pulso**

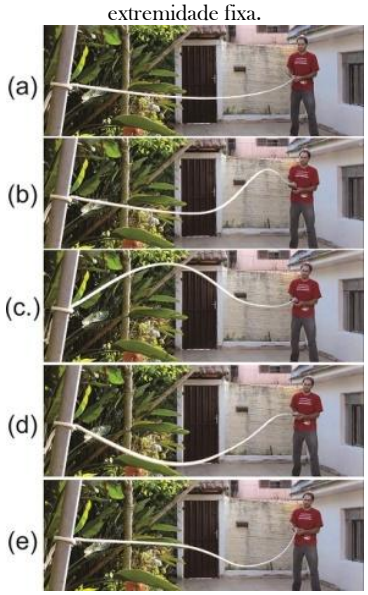
Quando o pulso de onda incide sobre um obstáculo e retorna ao meio de propagação, mantendo as características da onda incidente, diz-se que ela sofreu uma reflexão.

Uma vez que a onda continua se propagando no mesmo meio, o módulo da sua velocidade permanece inalterado após a reflexão, porém o sentido da propagação e da velocidade tornam-se contrários do sentido inicial.

A reflexão de um pulso em uma corda pode ocorrer com a extremidade da mesma fixa ou móvel.

A reflexão em uma corda com a extremidade fixa pode ser ilustrada da seguinte maneira: suponha que um pulso atinge uma extremidade fixa, como uma barra (figura 1). A força aplicada nela, pelo princípio da ação e reação, reage sobre a corda, causando um movimento. Esse movimento é na direção da aplicação do pulso, e o sentido da propagação e da velocidade são contrários ao sentido inicial e com o pulso invertido, sendo esse o pulso refletido. A figura 5 mostra o pulso em uma corda: em (a) (b) e (c) um pulso incidente em três instantâneos diferentes e em (d) e (e) a reflexão do mesmo pulso em dois outros instantâneos [2].

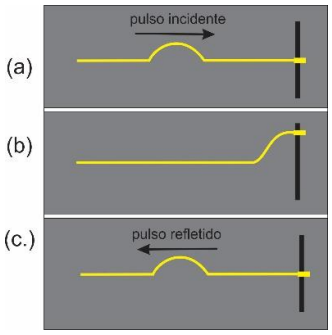
Figura 5 – Um pulso refletindo em uma corda com a extremidade fixa.




Fonte: O autor.

Agora, suponha que um pulso atinge uma extremidade de uma corda que contém um anel preso a uma haste vertical. Digamos que a haste possa movimentar-se livremente para cima e para baixo (figura 6). Como essa extremidade da corda com o anel pode oscilar livremente, um pulso incidente desloca essa extremidade da corda para cima, e ao refletir, o anel retorna à sua posição original. O pulso refletido não se inverte, retorna na mesma direção de propagação e no sentido contrário ao sentido do pulso incidente. A figura 6 representa um pulso sendo refletido por uma corda com a extremidade livre, onde se tem: em (a) um pulso incidente, em (b) o anel sobe junto com o pulso e em (c) ocorre a reflexão do mesmo pulso [2].

Figura 6 – A reflexão de um pulso em uma corda com extremidade livre.



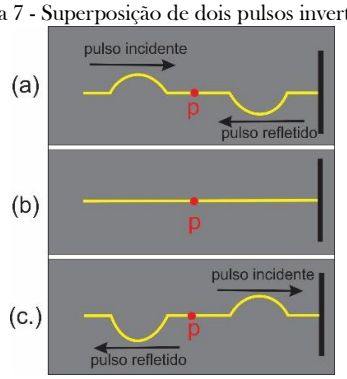

Fonte: O autor.

## Superposição de dois pulsos

Quando dois pulsos estão se movendo em direção oposta, seja em uma corda com extremidade fixa ou móvel, ao se encontrar em um determinado ponto, ocorre a superposição. O deslocamento resultante, em qualquer ponto da corda em qualquer instante, é obtido somando-se os deslocamentos individuais que cada ponto deveria ter caso não existisse o outro deslocamento [3].

A figura 7 representa uma corda com extremidade fixa e dois pulsos subsequentes: um incidente, com sua direção de propagação voltada para cima, e um outro já refletido, invertido em relação ao incidente e se movendo em sentido contrário, em três situações. Em (a) tem-se a situação antes da superposição dos dois pulsos. Em (b) tem-se a situação em que os pulsos se encontram no ponto p, o deslocamento para cima do pulso incidente soma-se com o deslocamento para baixo do pulso refletido, se anulando naquele ponto. Em (c), ilustra-se a situação após os pulsos passarem pelo ponto p; ambos se deslocam e continuam seus movimentos independentes com na situação inicial mostrada em (a).

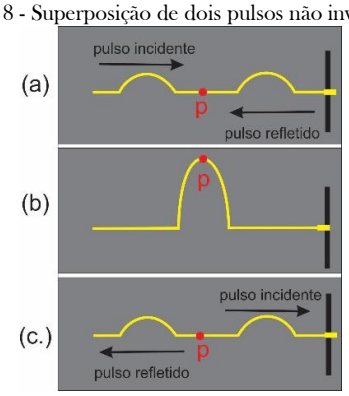
Figura 7 - Superposição de dois pulsos invertidos.




Fonte: O autor.

Quando dois pulsos que se deslocam na mesma direção de propagação, um incidente e outro já refletido, se movendo em sentidos contrários como representado na figura 8, onde se tem uma corda com extremidade presa a uma argola livre para oscilar para cima e para baixo, observa-se três situações: em (a) tem-se a situação antes da superposição dos dois pulsos. Em (b) ao se encontrarem no ponto p, os pulsos somam-se, formando um pulso com amplitude igual à soma dos dois pulsos individuais. Em (c), ilustra-se a situação após a passagem dos pulsos pelo ponto p, na qual ambos se deslocam de forma independente e igual ao da situação inicial mostrada em (a).

Figura 8 - Superposição de dois pulsos não invertidos.




Fonte: O autor.

## Referências

[1] NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica vol. 2**. 4ª ed. Edgard Blucher, 2002.
[2] GRUPO VIRTOUS – Tecnologia Educacional. **Reflexão de ondas**. Disponível em: http://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/Ondas/reflexao.php. Acesso em 20 Out. 2015.
[3] YOUNG, D. Hugh. FREEDMAN Roger A.. **Física II**. 10ª ed. São Paulo: Ed. Pearson Addison Wesley, 2003.
[4] HALLIDAY, Resnick. WALKER, Jearl. **Fundamentos da Física.** Volume 2. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

## Atividade:

Pesquise no texto, completando as lacunas nas frases abaixo:

1) Quando dois pulsos estão em sentidos contrários e na mesma direção em uma corda de extremidade fixa, ao se encontrarem em um ponto, eles se _____.
2) Um pulso em uma corda com extremidade _____, ao se refletir, retorna invertido em relação ao pulso incidente.
3) Quando dois pulsos estão em sentidos contrários e na mesma direção, ao se encontrarem ocorre a _____ deles.
4) _____: é uma perturbação que se propaga ao longo de uma corda.
5) Tração na corda é a _____com a qual a corda é esticada (puxada).
6) Quando dois pulsos estão em sentidos contrários e na mesma direção em uma corda de extremidade _____, ao se encontrarem em um ponto, eles se _____.
7) A velocidade de propagação de um pulso em uma corda depende da tração e da _____ da corda.
8) Um pulso representa uma perturbação no meio, o qual pode ser uma corda, que transporta _____, porém não transporta _____.

## Seção 5
## "Com a onda toda!"

Figura 1 – As ondas se propagando em uma corda.

Fonte: O autor.

Ondas constituem um dos principais assuntos da Física [1] e a compreensão desse conceito se faz necessário para o entendimento de ondulatória, óptica física e eletromagnetismo. Define-se onda como sendo uma perturbação que se propaga no espaço vazio (vácuo) e em meios materiais. As ondas que necessitam de um meio para se propagarem são classificadas como ondas mecânicas e aquelas que se propagam no vácuo são classificadas como ondas eletromagnéticas. Assim, de acordo com a necessidade de um meio de propagação ou não da onda, atribui-se a onda a natureza: mecânica ou eletromagnética [1]. Também é possível classificar as ondas de acordo com a direção de propagação da perturbação. Quando a perturbação é na direção transversal, como na figura 1, a onda é dita transversal, caso ela seja paralela a direção de propagação, diz-se que ela é longitudinal [2]. As ondas mecânicas são classificadas em ondas transversais, como as formadas no experimento da figura 1, ou longitudinais. As ondas eletromagnéticas são apenas transversais.

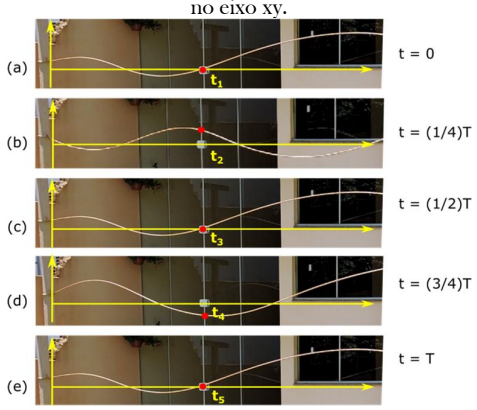
Nesta seção será dado ênfase às ondas transversais, como a onda produzida na corda mostrada da figura 1, onde a corda ao ser agitada para cima e para baixo, repetidas vezes, produz uma onda transversal. É possível notar que nesta figura a onda aparece em um plano, isto se deve ao fato de que o movimento da mão que produz a oscilação está alinhado a esse plano, ou seja, a mão sobe e desce em uma linha paralela e sobre esse plano. Neste caso, como a oscilação e a onda estão em único plano, diz-se que a onda se propaga neste plano e a onda está contida nesse plano. Há ondas transversais que não estão contidas em um único plano apenas e para o estudo presente, não será dado enfoque a essas ondas e sim as que se propagam em um único plano. De qualquer forma, ondas transversais são ondas que se propagam na direção perpendicular à direção de perturbação que a produz.

É possível analisar uma onda transversal, como a onda produzida em uma corda, sobre os seguintes aspectos:

### A) <u>Posição de um ponto da corda em momentos diferentes e específicos</u>

Neste caso, analisa-se o movimento oscilatório para cima e para baixo de um ponto específico da corda. Para isso, admite-se um sistema de coordenadas xy, a oscilação desse ponto da corda ocorrendo no eixo y, ou seja, na direção vertical (movimento para cima e para baixo) e a onda contida e se propagando no plano xy, como indicado na figura 2.

Figura 2 – Os instantâneos do movimento de uma onda no eixo xy.




Fonte: O autor.

Observa-se o ponto da corda, marcado na figura 2 com um círculo vermelho, em cinco momentos diferentes em tempos específicos, ou seja, em cinco instantâneos diferentes do movimento do ponto em estudo. Devido à limitação do aparelho de filmagem não foi possível a captura dos instantâneos em que se obtivesse um padrão de ondas, porém, para a análise em questão, de um ponto específico da corda, tal observação não acarretará na alteração da ideia central da proposta.

Pode-se observar ainda na figura 2, para qualquer instantâneo, que a forma assumida pela corda é senoidal, isto é, tem a forma de uma função seno, se propagando no plano xy. Não haveria problemas se fosse admitido que a forma assumida pela corda fosse cossenoidal [1]. Porém, neste estudo vamos admitir a forma da onda na corda como senoidal.

A partir destes cinco instantâneos mostrados na figura 2, considerando que a posição do ponto não munda em relação ao eixo x, pode-se observar que o ponto da corda marcado com um círculo vermelho não se desloca no eixo x, mas se desloca na vertical, ou seja, somente muda de posição em relação ao eixo y. É possível observar que: em (a) o ponto se encontra em y = 0 e x fixo, ou seja, neste instantâneo ele tem deslocamento zero; em (b) o ponto está na posição y = +ymax para cima e x fixo, ou seja, neste instantâneo ele tem deslocamento máximo para cima; em (c) o ponto se encontra em y = 0 novamente e x fixo, ou seja, neste instantâneo ele tem deslocamento zero; em (d) o ponto está na posição y = -ymax para baixo e x fixo, ou seja, neste instantâneo ele tem deslocamento máximo para baixo; em (e) o ponto se encontra em y = 0 mais uma vez e x fixo, ou seja, neste instantâneo ele tem deslocamento zero.

Assim, depois de completar uma subida e uma descida, o ponto volta à posição inicial, isto é, ele oscila periodicamente em uma linha reta na direção vertical, paralela ao eixo y em torno do ponto de equilíbrio. Isto é semelhante ao que foi mostrado na seção 3 e figura 2 para o movimento do pêndulo que imprimiu uma linha reta quando a folha sobre ele estava parada.

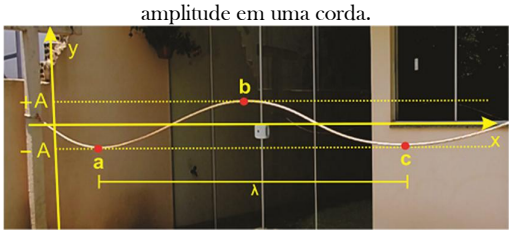
**B) <u>Movimento do ponto ao longo de um intervalo de tempo</u>**

Ainda, quando se analisa os instantâneos do ponto da corda, mostrados na figura 2 desta seção, e se faz uma comparação com a figura 3 da seção 3, supondo possível registrar o movimento do ponto da corda marcado em vermelho ao longo de um intervalo de tempo, ou seja, em função do tempo, esse registro seria uma curva de mesmo formato, ou seja, em ambos os casos são curvas senoidais.

Portanto, ao analisar o movimento descrito pelo ponto da corda marcado em vermelho, ou por qualquer outro ponto da corda, este desenvolve um movimento harmônico simples (MHS).

Como dito anteriormente, os instantâneos da figura 2, ou ainda outro instantâneo qualquer como o apresentado na figura 3, mostram a forma assumida pela corda, quando a onda passa pela mesma, de modo que é possível definir algumas grandezas que caracterizam a onda através da corda.

Figura 3 – A representação de comprimento de onda e amplitude em uma corda.




Fonte: O autor.

Ao observar a figura 3, tem-se três pontos demarcados: *a*, *b* e *c*. O ponto *b* é um ponto de máximo positivo, ou extremo para cima, assumido pela corda no instantâneo fotografado enquanto a onda a percorre. Esse ponto *b* é denominado de crista da onda. Por outro lado, os pontos *a* e *c* são pontos de máximo negativo, ou extremos para baixo, assumido pela corda no instantâneo fotografado enquanto a onda a percorre. Os pontos *a* e *c* são denominados de vales da onda.

Ainda, a partir da observação da figura 3, considera-se também, a distância entre a linha de referência central ao ponto de uma crista da onda, ou ao ponto de um vale da onda, assumido pela corda, e define-se amplitude da onda, representado pela letra A. A amplitude de uma onda é sempre tomada como o módulo do deslocamento máximo positivo (extremo para cima), ou negativo (extremo para baixo), dos elementos a partir da linha de referência quando a onda passa por eles [1]. A amplitude na figura 3 é a distância do ponto: a, b ou c à linha de referência que foi adotada como o eixo x.

Usando mais uma vez a figura 3, considera-se também a distância entre duas cristas ou dois vales da onda como sendo o comprimento de onda, representado pela letra grega λ [3]. Na figura 3, o comprimento de onda está representado entre os pontos *a* e *c* e, portanto, entre dois vales da onda que atravessa a corda.

## C) <u>Movimento de qualquer ponto da corda em qualquer tempo</u>

Uma vez que se tem a ideia de como um ponto escolhido na corda, como o marcado em vermelho na figura 2, se comporta ao ser atravessado por uma onda (MHS). Pode-se generalizar este movimento para todos os pontos da corda a qualquer tempo e, desta forma, descrever a forma da onda se propagando em uma corda. Uma representação da onda que se propaga na corda é dada pela função senoidal que está indicada na equação 1,

$$y(x,t) = y_m \operatorname{sen} 2\pi \left(\frac{x}{\lambda} - ft\right) . \quad (1)$$

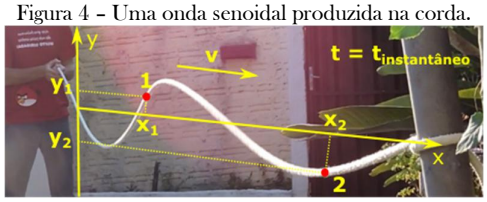
Na equação 1, y(x,t) representa o deslocamento transversal de qualquer ponto da corda, em qualquer tempo; λ é o comprimento de onda; f é a frequência linear do movimento ondulatório que é um MHS.

Ao imaginar uma onda senoidal percorrendo uma corda existiriam várias imagens semelhantes às mostradas na figura 4. Neste caso, ela é um instantâneo de qualquer ponto da corda, se propagando no sentido positivo do eixo x com velocidade v. Se fosse possível assistir o vídeo, ou ver alguém oscilar a corda ao vivo, certamente seria possível ver a onda se propagar, assumindo em cada instante a forma semelhante como mostrada na figura 4.

Utilizando a figura 4, se for escolhido um ponto da corda e marcá-lo com um círculo em vermelho, em um determinado instante t, que no caso é o tempo em que foi tirada a foto (instantâneo), o deslocamento y do ponto marcado da corda situado na posição x é dado pela equação 1.

Assim, como a equação 1 está escrita em termos da posição x, ela pode ser usada para calcular os deslocamentos de todos os elementos da corda para qualquer tempo. Pode-se observar que o ponto da corda demarcado como $x_2$, para o mesmo instantâneo, tem um $y = y_2$. Portanto, é possível dizer qual é a posição da onda em qualquer instante de tempo e como esta forma varia quando a onda se move ao longo da corda [1].

Figura 4 – Uma onda senoidal produzida na corda.




Fonte: O autor.

## Referências

[1] HALLIDAY, Resnick. WALKER, Jearl. **Fundamentos da Física.** Volume 2. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

[2] HEWITT, Paul G. **Física Conceitual.** 9ªed. São Paulo: Bookman, 2002.

[3] NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica.** Volume 2. 4ª ed. Edgard Blucher, 2002.

**Atividade**

Com base no texto desta seção, complete as lacunas das frases, colocando as respostas nos campos das palavras cruzadas:

Ondas **MECÂNICAS**: são as ondas que se propagam a partir de um meio material.

1 – As ondas transversais de uma corda podem ser estudadas em função do _____ e da posição dos elementos da corda.

2 – Ondas _____, são as ondas cuja a perturbação que a produz ocorre perpendicularmente a direção de sua propagação.

3 – Amplitude: é o máximo deslocamento de um ponto da corda para _____ ou para baixo em relação à crista da onda ou ao vale da onda.

4 – Todas as figuras do texto são representações de _____ de ondas se propagando em uma corda.

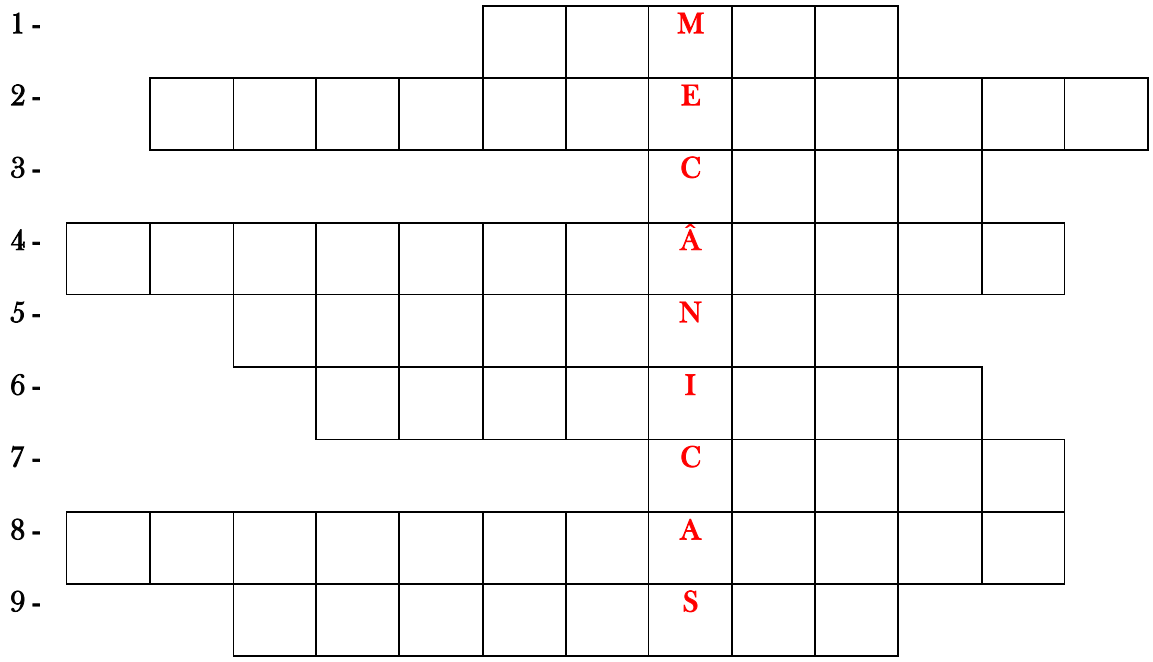
5 – Ao se analisar um _____ da corda ao se produzir uma onda nela, observa-se que este se desloca no eixo vertical (y), porém não se desloca no eixo x.

6 – As ondas que se propagam em uma corda possuem forma _____.

7 – A _____ é um meio material em que ondas mecânicas podem se propagar.

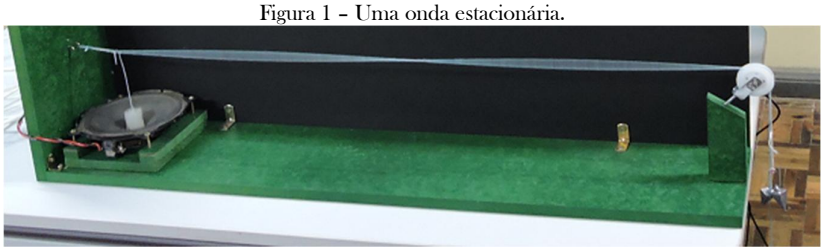
8 – Ondas são sequências periódicas de _____que se deslocam no espaço e em meios materiais.

9 – Com o instantâneo de uma onda em uma corda é possível _____ a posição de qualquer elemento da corda.



## Seção 06
## "Uma onda parada?"

Figura 1 – Uma onda estacionária.



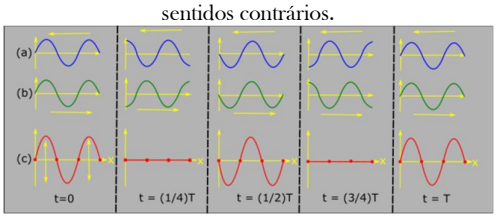
Fonte: O autor.

Quando uma corda está presa nas duas extremidades, como as cordas de um violão, ou até mesmo quando uma das extremidades está presa, mas a outra tensionada por uma determinada massa, como a corda do experimento mostrado em perspectiva na figura 1, em ambos os casos, ao vibrar a corda haverá ondas atravessando a mesma. Estas sofrerão reflexões nas duas extremidades, fazendo com que viajem nos dois sentidos da corda, conforme ilustrado na figura 5 da seção 4.

Estas ondas superpostas sofrem interferência, de acordo com o princípio da superposição, como foi visto e ilustrado na figura 7 (seção 4) para diferentes pulsos em cordas com uma extremidade presa [1]. Vale observar que no caso do piano, do violão e do experimento da figura 1, o efeito da interferência das ondas ocorre para as duas extremidades fixas independentemente, e ainda, no caso específico do experimento da figura 1, trata-se de uma aproximação.

A figura 2 mostra duas ondas: em (a) cinco instantâneos de uma onda se propagando para a esquerda, em (b) os cinco instantâneos respectivos de outra onda se propagando para a direita, em (c) representa-se os cinco instantâneos respectivos do movimento destas ondas para cada ponto da corda, ou seja, a superposição das duas ondas. [2]

Figura 2 - Cinco instantâneos de ondas se deslocando em sentidos contrários.

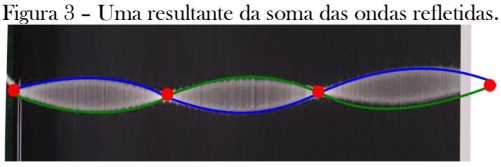



Fonte: O autor.

Na figura 2, ainda, é possível observar a existência de pontos, os quais estão demarcados com um círculo vermelho, onde a corda permanece imóvel. Os pontos imóveis na corda são denominados **nós**. Nas regiões entre dois nós vizinhos existem pontos onde as resultantes da superposição das ondas possuem amplitude máxima positiva ou amplitude máxima negativa. A estes pontos onde a amplitude é máxima são denominados **antinós** ou **ventres** [2]. Em uma situação real, a resultante da soma das ondas apresentadas na figura 2 está representada na figura 3.

Assim, a situação ilustrada e idealizada na figura 2 se assemelha ao que está mostrado na figura 1 e figura 3.

Figura 3 – Uma resultante da soma das ondas refletidas.



Fonte: O autor.

Ao se manter uma corda esticada e colocá-la para oscilar em MHS de pequena amplitude tem-se: duas ondas que se propagam pela corda com frequência e direção iguais e sentidos contrários gerando um padrão que é idealizado na figura 2 e representa um padrão de onda estacionária. Este padrão da figura 2 pode ser comparado às situações reais mostradas nas figuras 1, 3 e 4.

Porém, estes padrões têm número de nós e ventres diferentes porque são produzidos com certas frequências denominadas **frequências de ressonância** da corda [1]. A cada frequência de ressonância que produz ondas estacionárias dá-se o nome de modo de oscilação [2].

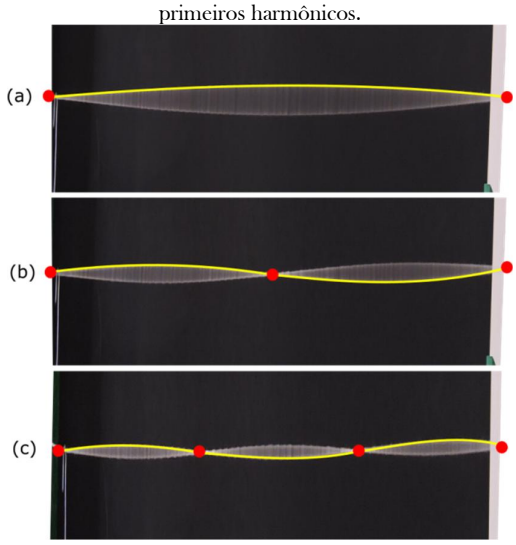
Assim, à menor frequência de ressonância denomina-se **frequência fundamental**, representado por $\mathbf{f_1}$. A frequência fundamental produz o padrão mostrado na figura 4 (a), que é chamado de **modo fundamental** de vibração ou de **primeiro harmônico** [1].

A figura 4 (b) representa a segunda menor frequência de ressonância. Este modo de oscilação tem o dobro da frequência fundamental, o qual é representado por $\mathbf{f_2}$, e também chamado de **segundo harmônico**. Em 4 (c) tem-se a terceira menor frequência, a qual é três vezes maior que a frequência fundamental, representada por $\mathbf{f_3}$, e também chamado de **terceiro harmônico** [1]. A mesma ideia pode ser estendida para o quarto, quinto harmônico, etc..

A todo o conjunto de frequências de ressonância de uma determinada corda, que produzem seus respectivos modos de oscilação, é denominado **espectro de ressonância** da corda [1].

Ao analisar o segundo harmônico de uma onda estacionária a partir de uma fotografia, ou seja, de um instantâneo do modo de oscilação ou padrão da onda estacionária na corda no respectivo harmônico, é possível observar que este harmônico corresponte a um comprimento de onda inteiro específico. A representação do comprimento de onda inteiro específico é indicada na figura 4 (b) pela linha desenhada em amarelo na foto.

Figura 4 – Um instantâneo de uma onda nos três primeiros harmônicos.




Fonte: O autor.

Desta forma, lembrando que a corda do experimento tem comprimento fixo de valor L, é fácil perceber que no primeiro harmônico a corda de comprimento L contém apenas metade de um certo comprimento de onda específico, o que pode ser expresso como

($\lambda_1/2$). Isto pode ser observado na figura 4 (a) pela linha desenhada em amarelo na foto.

Seguindo esta ideia, fazendo-se a mesma observação para os outros dois harmônicos representados na figura 4, percebe-se que:

- no segundo harmônico a corda de comprimento L contém duas metades de um certo comprimento de onda, o que pode ser expresso como ($2\lambda_2/2$); nota-se que esse comprimento de onda é diferente do primeiro harmônico, observando a linha desenhada em amarelo na foto da figura 4 (b);
- no terceiro harmônico a corda de comprimento L contém três metades de um certo comprimento de onda específico, o que pode ser expresso como ($3\lambda_3/2$); observa-se que esse comprimento de onda é diferente do primeiro e segundo harmônicos, observando a linha desenhada em amarelo na foto da figura 4 (c);

Desta forma, para uma corda com comprimento L qualquer, uma onda estacionária somente poderá existir se satisfazer à equação 1 [1],

$$L = n\frac{\lambda_n}{2} \quad (n = 1, 2, 3, ...) . \qquad (1)$$

Para o experimento apresentado na figura 1, existem ondas na corda que não possuem os comprimentos de ondas representados pela equação 1, portanto, tais ondas não podem formar ondas estacionárias com nós e ventres.

A equação 1 ilustra as ondas estacionárias formadas pelo experimento da figura 4, onde a corda tem um comprimento L fixo e há a formação de ondas com certos comprimentos de onda específicos correspondentes aos n = 1, 2 e 3, respectivamente [1].

A velocidade de propagação da onda na corda, além da forma vista na equação 1 da seção 4 onde foi mostrada sua dependência com a tensão e densidade linear da corda, pode ser expressa em termos do comprimento de onda e respectiva frequência, como é mostrada na equação 2 [2],

$$v = \lambda f \ . \quad (2).$$

Na equação 2, o módulo da velocidade de propagação da onda na corda é fixa e constante. Isso pode ser admitido porque a densidade linear da corda não se modifica, ou seja, é a mesma corda, e também porque se escolhe uma tração fixa.

Então, considerando o módulo da velocidade de propagação fixo, de acordo com o que foi exposto anteriormente, pode-se reescrever a equação 2, conforme expresso na equação 3,

$$f = \frac{v}{\lambda} \ . \quad (3)$$

Desta forma, para uma série harmônica produzida em uma corda com uma velocidade de propagação fixa, como no experimento da figura 4, ou ainda figuras 1 e 3, nos quais se usou uma corda de densidade linear específica e uma tração devido à força peso, foi possível observar vários modos de oscilação, estes

correspondendo a uma série de valores possíveis de $\lambda_n$ e uma série de respectivas frequências $f_n$, e que pode ser generalizado na equação 4,

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} \qquad (n = 1, 2, 3, \ldots) . \qquad (4)$$

O comprimento de onda, $\lambda_n$, da equação 4 pode ser escrito a partir da equação 1 e, portando, dado pela equação 5,

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \quad (n = 1, 2, 3, \ldots) . \qquad (5)$$

Considerando a equação 4 pode-se determinar a menor frequência, $f_1$, n = 1 dada pela equação 6,

$$f_1 = \frac{v}{2L} \qquad (6),$$

e que corresponde ao maior comprimento de onda, $\lambda_1 = 2L$, este determinado pela equação 5.

O valor obtido a partir da equação 6 é denominado **frequência fundamental**, porque corresponde ao menor n admitido na equação 1, ou seja, L igual à metade do respectivo comprimento de onda, ou seja, $\lambda_1$. As demais frequências das ondas estacionárias, então, podem ser expressas da forma mostrada nas equações 7 e 8:

$$f_2 = \frac{2v}{2L} = 2\left(\frac{v}{2L}\right); \; n = 2 \qquad (7)$$

$$f_3 = \frac{3v}{2L} = 3\left(\frac{v}{2L}\right); \quad n = 3 . \qquad (8)$$

Assim, é possível verificar que os valores apresentados pelas equações 7 e 8 são múltiplos inteiros da frequência fundamental $f_1$, tais como $2f_1$, $3f_1$, $4f_1$, ...

Generalizando as observações feitas anteriormente, chega-se à equação demonstrada em 9,

$$f_n = n\frac{v}{2L} \qquad (n=1, 2, 3, \ldots) , \qquad (9)$$

ou simplesmente, à expressão da equação 10,

$$f_n = nf_1 \qquad (n=1,2,3) . \qquad (10)$$

As frequências obtidas a partir das equações 9 e 10 são denominadas **harmônicos**, e a série que contém todos os valores de frequências para uma corda é chamada **série harmônica** [1].

## Uma situação real

Ao considerar uma situação experimental, usando o aparato do experimento mostrado na figura 1, na qual são utilizados dois fios diferentes e dois corpos diferentes, isto é, dois objetos de massas diferentes, os quais proporcionam tensões diferentes nos fios por causa da força gravitacional, tem-se os dados apresentados na tabela 1. Os fios são considerados ideais. O fio 1 utilizado neste caso é o nylon 0,45 mm e o fio 2 nylon 0,60 mm. O valor da aceleração da gravidade utilizada para os cálculos foi g = 9,78m/s$^2$ [3].

Tabela 1 – Valores da velocidade de propagação da onda em duas cordas diferentes.

| | μ (kg/m)[4] | T (N) | v (m/s) |
|---|---|---|---|
| fio 1 | $2{,}003 \cdot 10^{-4}$ | 0,1956 | 31,24 |
| fio 1 | $2{,}003 \cdot 10^{-4}$ | 0,5868 | |
| fio 2 | $3{,}235 \cdot 10^{-4}$ | 0,1956 | |
| fio 2 | $3{,}235 \cdot 10^{-4}$ | 0,5868 | |

Fonte: do autor

A partir dos dados apresentados na tabela 1, é possível verificar que:

- Quando o fio 1 está esticado com maior intensidade, isto é, coloca-se um corpo de massa maior, a tensão na corda _____ (aumenta/diminui), em consequência a velocidade de propagação de uma onda será _____ (maior/menor) neste fio;
- Da mesma forma, ao considerar os dois fios diferentes, fio 1 e fio 2, mas mantendo-se a mesma tensão no fio, isto é, o corpo utilizado em ambos os fios é o mesmo, pode-se afirmar que o fio _____(1/2), cuja densidade linear é maior que a do fio _____ (1/2), tem velocidade de propagação de onda _____(menor/maior) do que o fio ____(1/2).

Assim, é possível concluir a partir das observações feitas na tabela 1, que quanto _____ (maior/menor) a **densidade** do fio, _____ (maior/menor) será a velocidade de propagação de um pulso ou de uma onda neste fio. E quanto _____(maior/menor) a **tensão** aplicada no fio, _____(maior/menor) será a velocidade de propagação de um pulso ou de uma onda.

Com base nos dados fornecidos na tabela 1, e considerando que o comprimento da corda utilizada no experimento seja L = 0,75 m, é possível obter o espectro de frequências para as cordas 1 e 2 a partir da equação 8. O resultado do experimento está mostrado na tabela 2.

Tabela 2 – Valores das frequências de ressonância de duas cordas diferentes.

| | fio 1 | fio 1 | fio 2 | fio 2 |
|---|---|---|---|---|
| | $\mu = 2{,}003 \cdot 10^{-4}$ kg/m | $\mu = 2{,}003 \cdot 10^{-4}$ kg/m | $\mu = 3{,}235 \cdot 10^{-4}$ kg/m | $\mu = 3{,}235 \cdot 10^{-4}$ kg/m |
| | T = 0,1956 N | T = 0,5868 N | T = 0,1956 N | T = 0,5868 N |
| $f_1$ | 20,8 Hz | 36,08 Hz | 16,38 Hz | 28,40 Hz |
| $f_2$ | 41,6 Hz | | 32,76 Hz | |
| $f_3$ | 62,4 Hz | | 49,12 Hz | |
| $f_4$ | 83,2 Hz | | 65,52 Hz | |
| $f_5$ | 104 Hz | 180,4 Hz | 81,9 Hz | 142 Hz |

Fonte: do autor

A partir dos dados apresentados na tabela 2, é possível verificar que:

- Ao se utilizar um mesmo fio, quanto maior a tensão aplicada no fio, isto é, ao se utilizar um corpo de massa maior para puxar o fio, _____ (maior/menor) será a frequência fundamental para este fio.

- Ao se utilizar dois fios de densidades lineares diferentes, ao se aplicar a mesma tensão em cada um dos fios, isto é o mesmo corpo para puxar o fio, quanto maior a densidade linear do fio, _____ (maior/menor) será a frequência fundamental para esta tensão.

**Referências**

[1] YOUNG, D. Hugh. FREEDMAN Roger A.. **Física II**. 10ª ed. São Paulo: Ed. Pearson Addison Wesley, 2003.

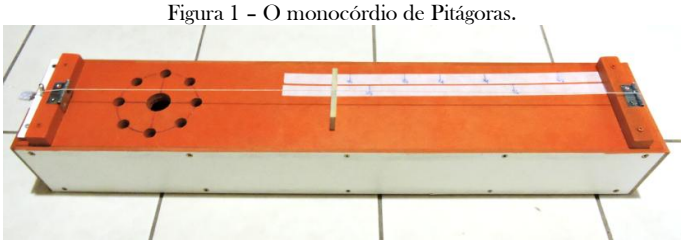
[2] HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos da Física**. Volume 2. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

[3] LOPES, Wilson. **Variação da aceleração da gravidade com a latitude e altitude.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 25, n. 3: p. 561-568, dez. 2008. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/issue/view/1160. Acesso em: 28 Nov. 2015.

[4] INSTITUTO DE FÍSICA DA USP. **Tabela de densidades lineares de fios de nylon.** Disponível em: http://portal.if.usp.br/labdid/pt-br/tabelas-e-constantes. Acesso em: 28 Nov. 2015.

## Seção 7
## "Voltando ao início"

Figura 1 – O monocórdio de Pitágoras.



Fonte: O autor.

Ao se fazer uma retrospectiva das seções anteriores, é possível perceber relações dos conceitos apresentados a um instrumento de cordas, como o violão, o piano, ou até mesmo o monocórdio apresentado na figura 1. O monocórdio, o qual será tratado na presente seção, será considerado como base de exemplo de aplicação dos conceitos da ondulatória, vistos em seções anteriores, como as propriedades das ondas mecânicas e o comportamento de uma corda ou fio preso nas duas extremidades, bem como a formação das notas musicais a partir das relações com os comprimentos das cordas. Porém, os conceitos e fundamentações observadas na presente seção podem ser aplicados a todos os demais tipos de instrumentos de cordas, independentes da forma como é construído e o método de produção do som (percutidas, friccionadas ou dedilhadas).

O monocórdio, como o apresentado na figura 1, consiste em um instrumento confeccionado basicamente por uma corda, a qual pode ser de aço ou nylon, por exemplo, onde a mesma é presa em uma das extremidades e tensionada na outra.

Um sistema onde uma corda é presa em uma das extremidades e tensionada em outra por uma determinada massa, foi apresentado na seção 6. Como foi visto, a partir do experimento da corda, estudou-se a formação de ondas estacionárias em uma corda presa nas extremidades, sendo que uma das extremidades estava fixa e a outra possuindo uma determinada massa, a qual era variável e proporcionava tensão à corda.

O monocórdio, como o mostrado na figura 1, foi inventado por Pitágoras (580-497 a.C.), um importante matemático e filósofo grego da Antiguidade [1]. Segundo conta a lenda, ao passar em frente a uma oficina de um ferreiro, Pitágoras percebeu que as batidas de martelos de diferentes pesos produziam sons que eram agradáveis ao ouvido e se combinavam muito bem [2].

Pitágoras utilizou o monocórdio para estudar a relação dos comprimentos das cordas com o som produzido por estas, tentando encontrar as relações onde os sons eram mais agradáveis aos ouvidos. Seu monocórdio consistia basicamente de uma corda, cujas extremidades eram tensionadas por objetos de

determinada massa, apoiada sobre dois cavaletes em uma mesa. Esta mesa também possuía um terceiro cavalete móvel, cuja função era dividir a corda em frações perfeitas do comprimento original [3]. A figura 2 apresenta uma gravura onde se tem uma representação de Pitágoras realizando seus estudos sobre o som formado pelas cordas em um monocórdio.

Figura 2 – Pitágoras realizando seus estudos no monocórdio.

Fonte: [4].

Foi a partir dos seus estudos, com o uso do monocórdio, que Pitágoras chegou às 7 notas musicais conhecidas no ocidente (dó-ré-mi-fá-sol-lá-si-dó). Ele percebeu que quando dividia a corda do monocórdio em 2/3 do seu tamanho original, ele obtinha um intervalo musical de quinta (exemplo: dó-sol). Ao dividir essa mesma corda em 3/4 do tamanho original ele obtinha o intervalo musical de quarta (exemplo: dó-fá). E quando ele dividia a corda na metade do comprimento ele obtinha o intervalo de oitava (exemplo: $dó_1$-$dó_2$). Para a obtenção das demais notas Pitágoras utilizou o ciclo das quintas, o qual consistia em encontrar as notas **dó-ré-mi-fá-sol-lá-si-dó**, através da superposição de quintas ascendentes. A utilização do ciclo das quintas proporciona a seguinte ordem das notas musicais: **dó-sol-ré-lá-mi-si** [3].

As relações entre as notas musicais e o comprimento da corda encontrada por Pitágoras estão descritas na tabela 1.

**Tabela 1 -** Relação pitagórica entre comprimento de uma corda e a nota emitida.

| Notas | Dó | Ré | Mi | Fá | Sol | Lá | Si | Dó |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Comprimento da corda em relação à Dó | 1 | $\frac{8}{9}$ | $\frac{64}{81}$ | $\frac{3}{4}$ | $\frac{2}{3}$ | $\frac{16}{27}$ | $\frac{128}{243}$ | $\frac{1}{2}$ |

Fonte: [3].

Por exemplo, se a corda que Pitágoras utilizou possuísse 1 m de comprimento entre os pontos de apoio, ao se dividir (64/81) obtém-se o valor de 0,79. Isto é, ao se diminuir o comprimento da corda para 0,79 m, é obtida a nota Mi. Isto pode ser observado para qualquer razão descrita na tabela 1.

É importante destacar que a escala obtida por Pitágoras foi baseada nos comprimentos da corda. Porém, a associação da frequência a uma nota musical, a qual é utilizada nos dias de hoje para afinar um instrumento musical, foi introduzida por Galileu Galilei (1564-1642) [3].

Após a construção da escala musical por Pitágoras, houve muitas outras tentativas de construção de escalas musicais, as quais possuíssem sonoridades agradáveis aos ouvidos. Gioseffo Zarlino (1517-1590), teórico musical italiano, sistematizou a escala de Pitágoras buscando os intervalos por meio da soma de médias harmônicas e aritméticas a partir de uma nota fundamental. Ou seja, Zarlino se utilizou de passos matemáticos para chegar à escala musical, onde as relações entre os comprimentos de cordas, a partir das

proporções encontradas por ele, estão apresentadas na tabela 2 [3].

**Tabela 2 -** Relação natural entre comprimento de uma corda e a nota emitida.

| Notas | Dó | Ré | Mi | Fá | Sol | Lá | Si | Dó |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Comprimento da corda em relação à Dó | 1 | $\frac{8}{9}$ | $\frac{4}{5}$ | $\frac{3}{4}$ | $\frac{2}{3}$ | $\frac{3}{5}$ | $\frac{8}{15}$ | $\frac{1}{2}$ |

Fonte: [3].

Ao se fazer uma comparação entre as relações de Pitágoras e Zarlino, utilizando como exemplo uma corda de 1 m de comprimento entre os pontos da corda que estão apoiados no cavalete, é possível obter os valores apresentados na tabela 03, onde estão representados os comprimentos das cordas em metros para determinada nota musical.

**Tabela 3 -** Comparação entre as relações de Pitágoras e Zarlino.

| | Pitágoras | | Zarlino | |
|---|---|---|---|---|
| Nota | relação | Comprimento (m) | relação | Comprimento (m) |
| Dó | 1 | 1,000 | 1 | 1,000 |
| Ré | 8/9 | 0,889 | 8/9 | 0,889 |
| Mi | 64/81 | 0,790 | 4/5 | 0,800 |
| Fá | 3/4 | 0,750 | 3/4 | 0,750 |
| Sol | 2/3 | 0,667 | 2/3 | 0,667 |
| Lá | 16/27 | 0,593 | 3/5 | 0,600 |
| Si | 128/243 | 0,527 | 8/15 | 0,533 |
| Dó | 1/2 | 0,500 | 1/2 | 0,500 |

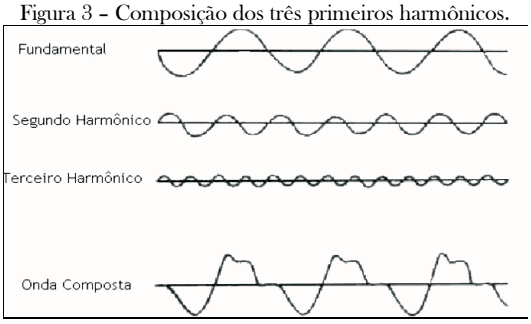
Fonte: O autor.

É possível perceber que a escala adotada por Zarlino é muito próxima à elaborada por Pitágoras, porém as relações com os comprimentos são apresentadas de uma forma mais simples para construção da escala. A relação das divisões feitas por Zarlino apresentada na tabela 2 foi a utilizada para a construção do monocórdio de Pitágoras apresentado na figura 1.

## Composição harmônica

Ao se dedilhar a corda de um monocórdio ou de um violão, esta irá oscilar. Como esta corda está confinada entre dois pontos, a onda irá sofrer inúmeras reflexões e múltiplas interferências, como visto na seção 6. Ao se tirar um instantâneo de uma corda vibrando é possível observar que a corda possui um formato diferente de uma onda senoidal, como visto na seção 5, logo, ela possui uma função de onda mais complexa. Quando a corda de um instrumento vibra, sua vibração resultante é a combinação do harmônico fundamental juntamente com vários sobretons; desta forma, o movimento da corda será a superposição de vários modos normais. A figura 3 ilustra a superposição de 3 harmônicos.

Figura 3 – Composição dos três primeiros harmônicos.

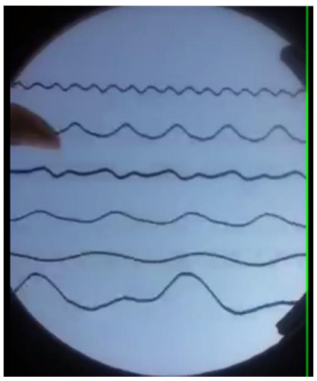



Fonte: [8].

A composição harmônica da corda também depende da forma com que esta foi inicialmente perturbada, isto é, se a corda for tocada próximo à abertura da caixa de ressonância, a corda terá uma determinada composição harmônica. Já se a corda for tocada próximo à outra extremidade, por exemplo, a sua composição harmônica terá um formato

diferente [5]. A composição harmônica das cordas de um violão ao serem dedilhadas é ilustrada na figura 4.

Figura 4 – Um instantâneo das cordas de um violão ao serem dedilhadas.



Fonte: [6].

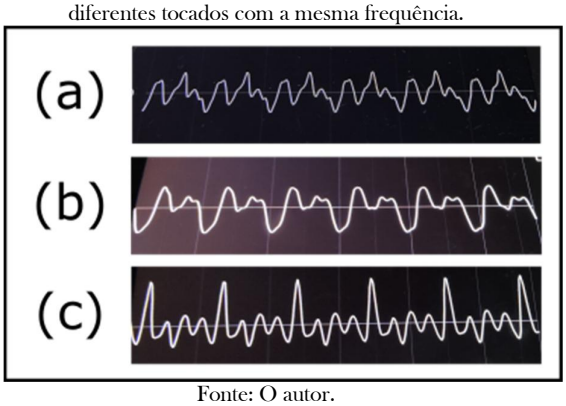
## Timbre

Ao se produzir duas notas musicais, as quais possuam a mesma frequência, através de dois instrumentos diferentes, como o monocórdio e o violão rudimentar, apresentados na seção 1, estas possuem a mesma frequência fundamental, porém, são percebidas de maneiras diferentes pelo ouvido. Isto ocorre devido à presença de intensidades diferentes dos diversos harmônicos, ou mesmo ausência de alguns deles.

O que vai determinar o número de harmônicos que acompanhará uma nota musical, além do tamanho e tensão da corda, é o tipo de corda utilizada, bem como a forma de confecção do instrumento musical. Desta forma, duas notas serão idênticas se forem tocadas por dois instrumentos musicais que possuam as mesmas características. Por exemplo, dois violões produzirão a mesma nota se as cordas utilizadas forem iguais (duas cordas de nylon com mesma densidade linear, por exemplo) e as dimensões, bem como o tipo de madeira utilizada para sua confecção sejam idênticas.

À diferença do som produzido pelos instrumentos musicais ao tocarem uma nota musical cuja frequência é a mesma dá-se o nome de **timbre** do instrumento. A figura 5 representa o timbre de três instrumentos diferentes tocando a mesma nota, ou seja, a mesma frequência, onde em (a) é a representação do timbre do violino, em (b) do piano e em (c) do trompete.

Figura 5 – os harmônicos formados por três instrumentos diferentes tocados com a mesma frequência.




Fonte: O autor.

### Referências

[1] **Pitágoras**. Disponível em: http://pensador.uol.com.br/autor/pitagoras/. Acesso em: 25 dez. 2015.

[2] O Monocórdio de Pitágoras . http://www.ghtc.usp.br/server/Sites-HF/Lucas-Soares/monocordio%20de%20pitagoras.html

[3] RIBEIRO JÚNIOR, I. S.; CROCHIK, L. . A Construção de Escalas Musicais e Instrumentos Musicais de Baixo Custo Como Recurso Didático Para o Ensino de Física Ondulatória. In: Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2009, Vitoria. **Anais do XVIII SNEF**, 2009. Disponível em: <http://www.cienciamao.usp.br/dados/snef/_aconstrucaodeescalasmusi.trabalho.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2015.

[4 HERRERO, Raul. **Pitágoras en el momento del triunfo del cristianismo.** Disponível em: <

http://raulherrero.blogia.com/2006/071801-pitagoras-en-el-momento-del-triunfo-del-cristianismo.php>. Acesso em: 28 mai. 2016.

[5] YOUNG, D. Hugh. FREEDMAN Roger A.. **Física II**. 10ª ed. São Paulo: Ed. Pearson Addison Wesley, 2003.

[6] DAVE, P. **Como se vem las cuerdas dentro de la guitarra**. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=xYcSy146LAM. Acesso em: 10 Out. 2015.

[7] **Note the diferente timbres below.** Disponível em: http://www.simplifyingtheory.com/timbre/. Acesso em: 26 Jun. 2016.

[8] Wuensche, C. A. **A física da música**. Disponível em: <http://www.cea.inpe.br/~alex/FisicadaMusica/fisica_da_musica.pdf>, 2005. Acesso em 04 Dez. 2015.

---

**Atividade:**

**Com base no texto, responda à palavra cruzada proposta:**

1 – ___MONOCÓRDIO : instrumento constituído por uma única corda musical.

2 – Ao se refletirem, duas ondas percorrendo sentidos opostos na corda, produzem _____ das ondas.

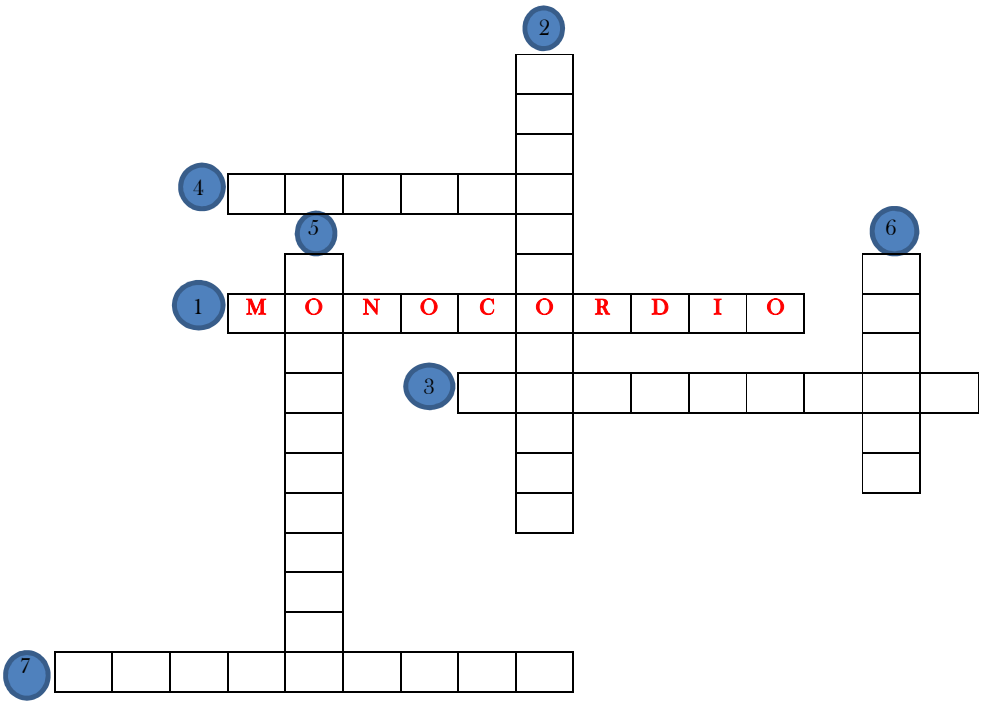
3 - Matemático que criou o monocórdio com o intuito de estudar a relação do comprimento da corda com o som produzido: _____.

4 – Nome que se dá ao som característico de um instrumento: _____.

5 – Uma nota musical com determinada frequência, tocada em um instrumento musical, depende além da tensão produzida na corda, também do seu _____.

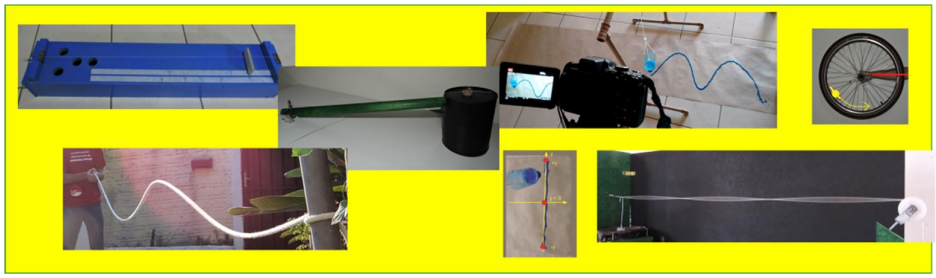
6 – Ao estudar as relações das notas com o som, Pitágoras dividiu as cordas em frações _____.

7 – Composição _____é a combinação de uma frequência fundamental juntamente com os harmônicos subsequentes.



## Seção 8
## "Um final para um novo começo!"

Figura 1 – Registro de alguns materiais utilizados nos estudos.



Fonte: O autor.

Até agora, foram estudas propriedades físicas das ondas mecânicas presentes nos instrumentos musicais e um registro de alguns materiais utilizados é apresentado na figura 1. Chegou a hora de colocar em prática o conhecimento adquirido, levando em consideração que a Física está presente em todas as situações, a saber: desde a construção de um "simples" instrumento musical, a sua afinação e também a tocar músicas prediletas. Para isso, são apresentados dois textos breves que trazem aplicações práticas sobre a funcionalidade e construção de instrumentos musicais. Então, após a leitura dos mesmos, são feitas algumas perguntas, as quais deverão ser respondidas. Recomenda-se fortemente que a utilização dos textos de apoio fornecidos anteriormente sirva como base para respondê-las.

> "...Todos os instrumentos de cordas são "afinados" para as frequências corretas fazendo-se variar a tensão; diminuímos o tamanho da corda para aumentar a altura. Finalmente, quando a massa da corda por unidade de comprimento, μ, aumenta, ocorre a diminuição da velocidade da onda, e portanto, da frequência. As notas mais baixas da corda de aço de uma guitarra são produzidas por cordas mais grossas, e uma técnica para se obter a baixa frequência desejada no piano, consiste em enrolar as cordas dos sons graves do piano com um fio sem a necessidade de se usar uma corda extensivamente longa." [1]

> A frequência, f, padrão para afinação de instrumentos musicais é 440 Hz, a qual corresponde à nota $lá_3$. Baseado em tal conhecimento, um *luthier* (pessoa que constrói instrumentos musicais) está desenvolvendo um novo modelo de instrumento de cordas, no qual a distância entre os suportes de sua corda precisa ser de 0,70 m. Ele pretende utilizar uma corda de nylon, cuja densidade linear, μ, é $1{,}0 \times 10^{-5}$ kg/m.
> O *luthier* está testando uma inovação tecnológica nesse instrumento, ou seja, ele pretende utilizar uma tarraxa (equipamento que tensiona a corda) eletrônica, a qual irá proporcionar uma afinação constante no instrumento. Tal inovação evitará a necessidade de afinar o instrumento sempre ocorra alguma modificação fazendo-o desafinar, pois a sua afinação será automática. (O autor.)

**Escolha a melhor alternativa para as questões de 1 a 4!**

1 – Quando se aumenta o comprimento de uma corda, a velocidade de propagação de uma onda nesta:

( ) aumenta. ( ) dobra.

( ) diminui. ( ) não modifica sua velocidade.

2 – Ao trocar uma corda por outra corda do mesmo material, porém, com densidade linear maior, a velocidade de propagação da onda na corda:

( ) aumenta. ( ) dobra.

( ) diminui. ( ) não modifica sua velocidade.

3 - Ao ler o texto, quando o autor descreve "aumentar a altura", ele se refere:
( ) aumentar a amplitude da onda.
( ) aumentar a frequência da onda.
( ) aumentar o comprimento de onda da corda.

4– Ao se fazer o procedimento proposto no texto de se enrolar uma corda com um fio, faz com que:
( ) a densidade linear da corda aumente.
( ) a densidade linear da corda diminua.
( ) nada se altera.

**Monocórdios e os violões rudimentares: um breve relato!**

5- Com base no que você estudou no decorrer das seções anteriores, juntamente com as observações e investigações feitas nos instrumentos: monocórdios e violões rudimentares, faça um breve relato sobre os conceitos físicos envolvidos ao tocá-los.

---

---

**Algumas fórmulas e os instrumentos de corda!**

6 – Considerando que a nota lá da corda do instrumento que o *luthier* está desenvolvendo será a sua nota fundamental, calcule a tensão com a qual o equipamento deverá proporcionar à corda para que esta mantenha a afinação.

7 – Com base no que foi visto na seção 7 sobre o monocórdio e usando a tabela 2 também da seção 7, onde deverá conter um traste para demarcar a nota $ré_4$?

**Dê sua opinião, pois ela é importante!**

8 – Neste espaço, você poderá dar a sua contribuição sobre as aulas presenciadas referentes às ondas mecânicas. Primeiramente tente expressar sobre o seu aprendizado dizendo o que você aprendeu e se você consegue relacionar o funcionamento de um violão ou um monocórdio com conceitos de Física. Em seguida, descreva o que você mais gostou nas aulas, e também o que gostou menos. Também, descreva se você acha esse modelo de aula interessante, ou qual modelo seria o mais apropriado. Enfim, esta parte é livre para sua participação, insira suas críticas, elogios, sugestões de possíveis melhoras, etc. Fique à vontade!

---

---

---

**Referências**

[1] YOUNG, D. Hugh. FREEDMAN Roger A.. **Física II**. 10ª ed. São Paulo: Ed. Pearson Addison Wesley, 2003.

Muito obrigado!

# 5 - MANUAIS DE MONTAGEM

Neste Capítulo apresentam-se os manuais de montagem dos instrumentos musicais (monocórdio e violão) e experimentos (experimento da corda e experimento do pêndulo) utilizados na elaboração e aplicação do Produto, a fim de explicar detalhadamente cada passo para a montagem dos aparatos, além disso, vem acompanhado de imagens, para, não só ilustrá-lo, como ajudar na compreensão e reprodução.

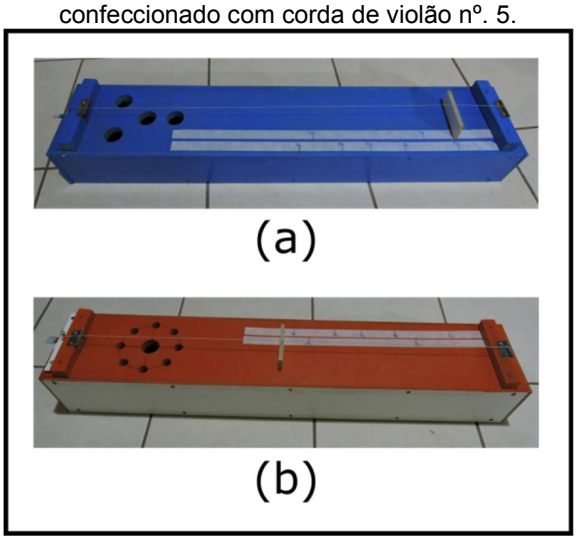
Vale salientar que a montagem não contempla a ordem cronológica dos materiais a serem utilizados porque os mesmos poderão ser utilizados de formas independentes, de acordo com o planejamento do professor.

# 5. MANUAL DE MONTAGEM DOS MATERIAIS

## 5.1 Monocórdio de Pitágoras

Foram construídos dois monocórdios a partir dos trabalhos realizados por Mützenberg (2014) e Ribeiro Júnior e Crochik (2009), com adaptações, onde o trabalho apresentado por Mützenberg (2014) foi possível a idealização da montagem da caixa de ressonância, enquanto o trabalho proposto por Ribeiro Júnior e Crochik (2009) proporcionaram os cálculos para a divisão da corda para produção das notas musicais. A Figura 5.1 apresenta os dois monocórdios construídos, sendo que as diferenças entre eles são a) furação da caixa de ressonância e as cordas, sendo em (a), confeccionado com uma corda de violão nº. 3 e em (b), uma corda de violão nº. 5.

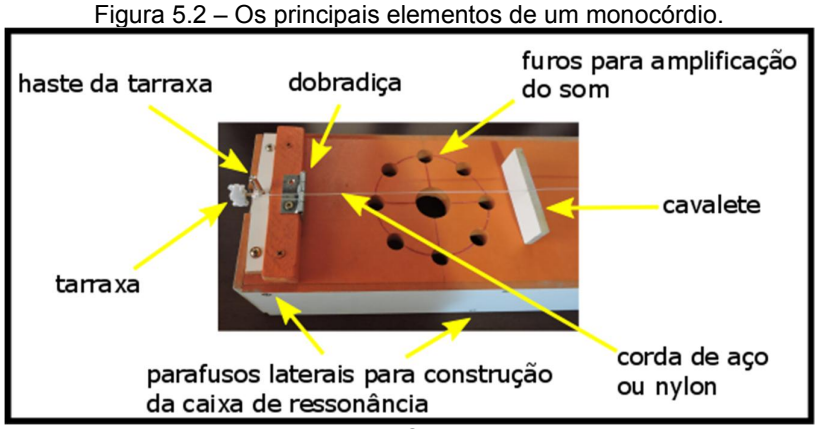
Figura 5.1 – Dois monocórdios de Pitágoras: (a) confeccionado com corda de violão nº. 3 e (b) confeccionado com corda de violão nº. 5.




Fonte: O autor.

Para melhor entender a construção, na Figura 5.2 é apresentado um dos monocórdios com seus principais elementos.

Figura 5.2 – Os principais elementos de um monocórdio.




Fonte: O autor.

E, em seguida, no Quadro 5.1, são apresentados os materiais utilizados para a confecção de apenas um monocórdio e suas respectivas funções.

Quadro 5.1 – Materiais necessários para a confecção de um monocórdio.

| item | quantia | material | função |
|---|---|---|---|
| 01 | 02 | placa de madeira tipo MDF de 15,0 mm de espessura com medidas 82x15 cm | tampo e base do monocórdio |
| 02 | 02 | placa de madeira 6,0 mm com medidas 82x10cm | laterais do monocórdio |
| 03 | 02 | placa de madeira 6,0 mm com medidas 16,5x10 cm | tampas da caixa acústica do monocórdio |
| 04 | 02 | madeira de 3x2 cm e compri-mento de 15 cm | suporte da corda |
| 05 | 01 | tira de madeira 6,0 mm 1,5x14 cm | suporte para prender a tarraxa |
| 06 | 01 | placa de madeira 6,0 mm 3x10 cm | função de cavalete para modificar a nota musical |
| 07 | 01 | corda para violão de aço ou nylon nº. 3 ou nº. 5 | produzir os sons dos instrumentos |
| 08 | 01 | tarraxa de cavaquinho | usará para a afinação do instrumento |
| 09 | 02 | dobradiça de 4,0 cm | base para segurar a corda |
| 10 | 34 | parafuso 20 mm | montagem da caixa |
| 11 | 02 | parafuso com porca 20 mm | prender a tarraxa |
| 12 | 04 | parafuso 35 mm | prender o suporte da corda |
| 13 | - | fita crepe | realizar a marcação da posição das notas |
| 14 | - | furadeira ou parafusadeira, chave de fenda, serra ferro, martelo, brocas para madeira 1.5 mm e 6.0 mm. | montagem do monocórdio |

Fonte: O autor.

A montagem do monocórdio é descrita a seguir, porém para facilitar a mesma, siga pela sequência apresentada na Figura 5.3.

- **Passo 1 (Figura 5.3a) -** Faça uma caixa com as madeiras dos itens 01 e 02 (Quadro 5.1). A madeira de 15 mm servirá como base e tampo da caixa, enquanto a de 6 mm servirá como paredes. Em cada lateral coloque 10 (dez) parafusos do item 10 do Quadro 5.1, sendo 5 (cinco) na parte superior e 5 (cinco) na parte inferior.

  **Obs.**: Faça uma linha-guia a 0,7 cm da borda das laterais, de modo que o parafuso fique no centro do tampo e da base da caixa, como mostrado na Figura 5.3a;
- **Passo 2 (Figura 5.3b) -** Na parte superior da caixa, faça um furo com uma broca nº. 1,5, conforme item 14 do Quadro 5.1, à distância de 0,5 cm da borda, o qual servirá posteriormente para passar a corda para violão, constante no item 07 do Quadro 5.1;
- **Passo 3 (Figura 5.3c) -** Na outra extremidade da tampa superior, faça um corte com dimensões onde se possa encaixar a tarraxa do cavaquinho e a prenda na madeira. A referida tarraxa pode ser verificada na Figura 5.2;
- **Passo 4 (Figura 5.3d) -** Prenda as duas madeiras do item 04 (Quadro 5.1) à distância de 2,0 cm da borda da tampa;
- **Passo 5 (Figura 5.3e) -** Faça um furo no centro da tira de madeira de 6,0 mm do item 05 (Quadro 5.1) com o auxílio de uma broca nº 6.0 (item 14 - Quadro 5.1), e certifique-se de que a haste da tarraxa passe firme pelo furo (a) e prenda a tira na extremidade da caixa (b);
- **Passo 6 (Figura 5.3f) -** Prenda as dobradiças do item 09 (Quadro 1) no centro das madeiras do item 04 (Quadro 5.1). Neste caso, coloque apenas um parafuso em cada aba da dobradiça, de modo que fiquem na diagonal um do outro, como indicado na Figura 5.3f (a);

  **Obs.**: Na extremidade onde se encontra a tarraxa, prenda a dobradiça no lado interno do instrumento, como mostrado na Figura. 5.3f (b);
- **Passo 7 (Figura 5.3g) -** Faça furos na tampa superior da caixa, próximo à extremidade em que se encontra a tarraxa. Eles poderão ter quaisquer

formatos e tamanhos, pois servirão como a saída do som na caixa acústica;

- **Passo 8 (Figura 5.3h) -** Coloque a corda do violão - item 07 (Quadro 5.1) de baixo para cima no furo feito na extremidade da caixa 5.3h(a) e a estique, laçando-a na tarraxa 5.3h(b);
- **Passo 9 -** Coloque as madeiras do item 03 (Quadro 5.1) tampando as laterais do monocórdio.

  **Obs**: Faça um desbaste em uma das tampas, de modo que encaixe a tarraxa, conforme observado na Figura 5.3h(b);
- **Passo 10 (Figura 5.3i) -** Pinte o instrumento ao seu gosto;
- **Passo 11 -** Coloque duas tiras de fita crepe na tampa superior, como mostrado na Figura 5.1, e faça as marcações das notas seguindo as medidas apresentadas no Quadro 5.2.

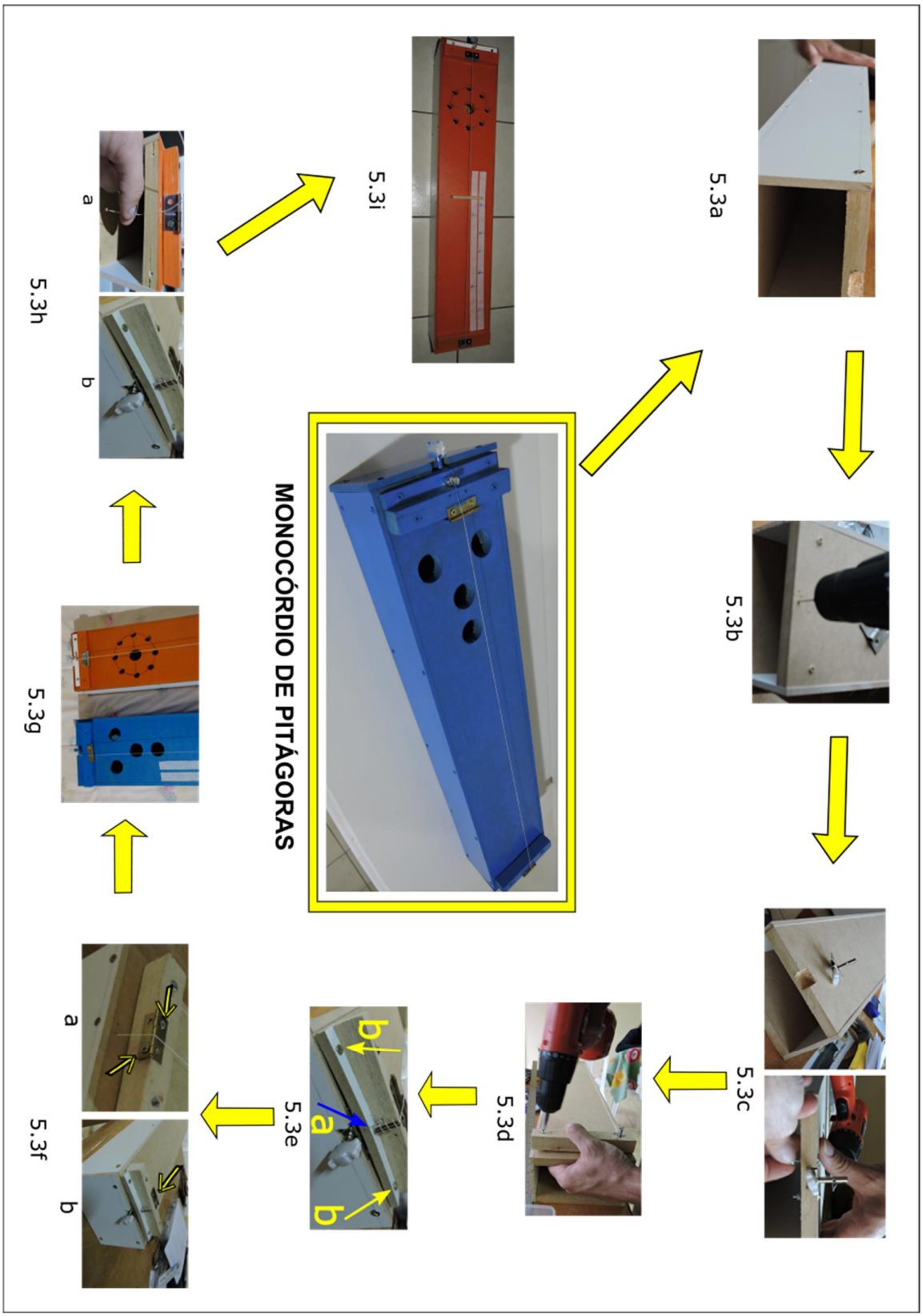
Quadro 5.2 – Distância das notas a partir da dobradiça.

| Distância entre as dobradiças: 75,5 cm | |
|---|---|
| Fração | Distância (cm) |
| 8/9 | 8,38 |
| 4/5 | 15,1 |
| 3/4 | 18,87 |
| 2/3 | 25,16 |
| 3/5 | 30,2 |
| 8/15 | 35,23 |
| 1/2 | 37,75 |

Fonte: O autor.

**Passo 12 -** Coloque a madeira do item 06 (Quadro 5.1) por baixo da corda sobre as marcações feitas, de modo que encoste na corda. Ela servirá como um cavalete, conforme observado na Figura 5.2.

Figura 5.3 – Ilustração dos passos para a construção do Monocórdio de Pitágoras.

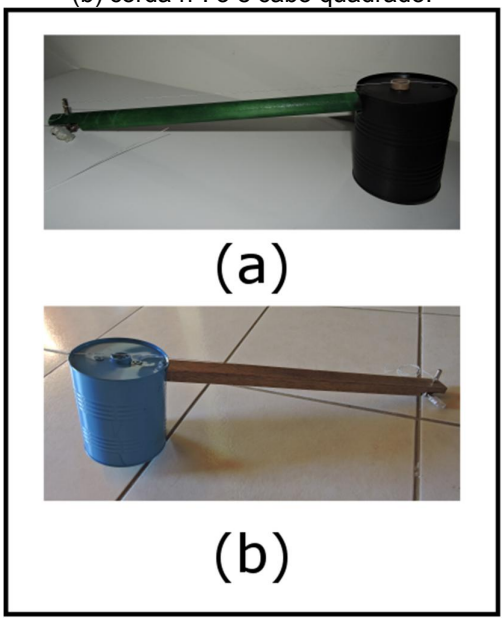



Fonte: O autor.

## 5.2 Violão de lata

Foram construídos dois violões a partir de adaptações dos trabalhos propostos por Moura e Neto (2011) e Vasconcelos (2014), onde as principais mudanças foram em um dos violões, a substituição do cabo de vassoura sugerido por um cabo quadrado e a fixação da argola que suspende a corda da lata com cola quente. A Figura 5.4 apresenta os dois violões construídos, sendo que as diferenças entre eles são, em (a) um violão construído com a corda de violão nº. 5 e cabo de vassoura redondo e em (b) um violão construído com cabo quadrado e corda de violão nº. 3.

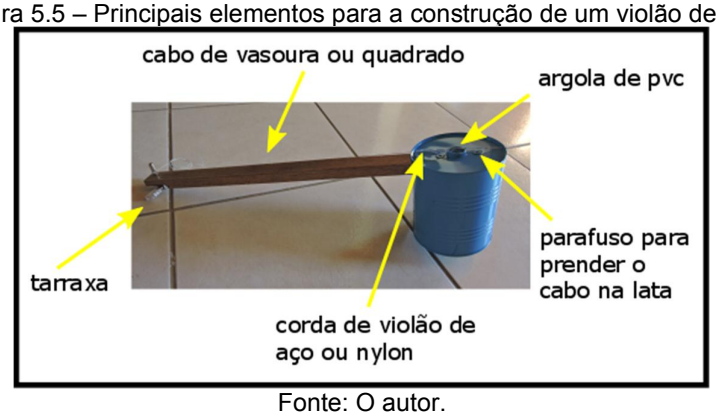
Figura 5.4 - Violão de lata: (a) construído com cabo de vassoura redondo e corda nº. 5 e (b) corda nº. 3 e cabo quadrado.




Fonte: O autor.

Para melhor entender a construção, na Figura 5.5 é apresentado um dos violões com seus principais elementos.

Figura 5.5 – Principais elementos para a construção de um violão de lata.




Fonte: O autor.

E em seguida no Quadro 5.3 são apresentados os materiais utilizados para a confecção de apenas um violão e suas respectivas funções.

Quadro 5.3 - Materiais necessários para a confecção de um violão.

| item | quantia | material | função |
|---|---|---|---|
| 01 | 01 | lata de achocolatado em pó ou leite em pó 400 g | caixa acústica |
| 02 | 01 | madeira de 1,5x2,5 cm com 47 cm de comprimento | braço do violão |
| 03 | 01 | tarraxa de cavaquinho | tencionar a corda do violão |
| 04 | 01 | corda de violão de aço ou de nylon nº. 3 ou nº. 5 | produzir som |
| 05 | 01 | argola de cano de pvc 20 mm com 0,5 cm de comprimento | afastar a corda do violão da lata |
| 06 | 03 | parafuso de 10 mm | prender o cabo de vassoura à caixa |
| 07 | 02 | parafuso de 5 mm | prender a tarraxa |
| 08 | | furadeira ou parafusadeira; brocas nº 1,5 mm e 6,0 mm; chave de fenda; grosa; lima; pistola de cola quente. | montagem do violão |

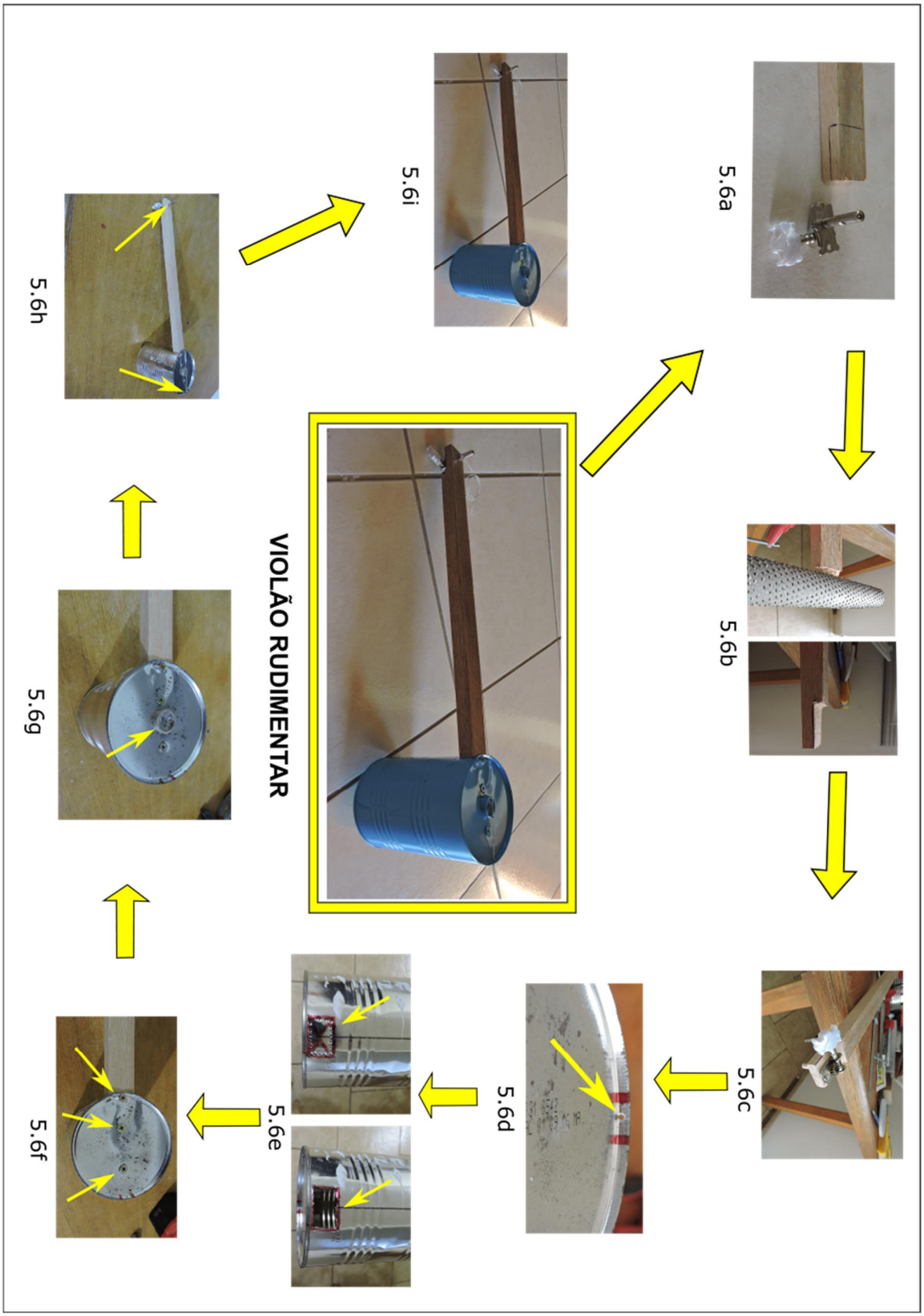
Fonte: O autor.

A montagem do violão é descrita a seguir, porém para facilitar a mesma, siga pela sequência apresentada na Figura 5.6.

- **Passo 1 (Figura 5.6a) -** faça uma marcação na extremidade da madeira do item 02 (Quadro 5.3) com o auxílio da tarraxa, cuidando para que ao colocar a tarraxa, o furo da corda fique a aproximadamente 0,5 cm de distância da madeira;
- **Passo 2 (Figura 5.6b) -** com o auxílio da grosa (item 08 do Quadro 5.3) desbaste a região demarcada;
- **Passo 3 (Figura 5.6c) -** com o auxílio de uma broca de 6,0 mm (item 08 do Quadro 5.3) faça um furo no meio da região desbastada e coloque a tarraxa, a fixando com os parafusos de 5 mm (item 07 do Quadro 5.3);
- **Passo 4 (Figura 5.6d) -** faça um pequeno furo com uma broca de 1,5 mm (item 08 do Quadro 5.3) na aba da lata do item 01 (Quadro 5.3);
- **Passo 5 (Figura 5.6e) –** na extremidade oposta ao furo realizado no passo 4, demarque com o auxílio da madeira na parede da lata e corte a região demarcada;

  **DICA:** Fure com prego a região ao redor da marca e depois com o auxílio de uma faca corte entre os pontos;
- **Passo 6 (Figura 5.6f) -** Introduza a madeira no orifício feito na lata e a prenda com 3 (três) parafusos de 10mm (item 06 do Quadro 5.3);
- **Passo 7 (Figura 5.6g) -** Cole com cola quente a argola do item 05 (Quadro 5.3) no centro da lata;
- **Passo 8 (Figura 5.6h) -** Estique a corda, introduzindo-a pelo pequeno orifício feito na aba da lata, laçando-o na tarraxa;
- **Passo 9 (Figura 5.6i) -** Se desejar, pinte o violão ao seu gosto, antes de colocar a corda.

Figura 5.6 – Construção do violão rudimentar.




Fonte: O autor.

## 5.3 Aparato para o experimento do pêndulo

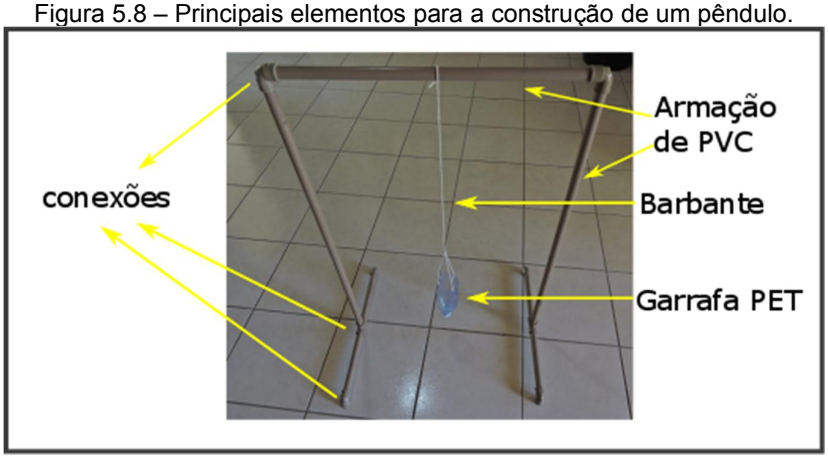
Foi construído um aparato para o experimento do pêndulo a partir de Hewit (2002) e PETFísica (2012) com algumas adaptações, onde foi realizada a construção de uma armação de PVC para suporte da corda do pêndulo e como massa foi utilizado líquido colorido, o qual ao pêndulo oscilar escoava através de um orifício produzido na tampa da garrafa PET para demarcar o papel sob o aparato. A Figura 5.7 apresenta o aparato construído sendo usado em um determinado momento.

Figura 5.7 – Registro de um momento do aparato do experimento do pêndulo em uso.

Fonte: O autor.

Para melhor entender a construção, na Figura 5.8 é apresentado o aparto do experimento do pêndulo com seus principais elementos.

Figura 5.8 – Principais elementos para a construção de um pêndulo.




Fonte: O autor.

E em seguida no Quadro 5.4 são apresentados os materiais utilizados para a confecção do aparto do experimento do pêndulo e suas respectivas funções.

Quadro 5.4 - Materiais necessários para a confecção do aparato do experimento do pêndulo.

| item | quantia | material | função |
|---|---|---|---|
| 01 | 02 | cano de pvc 20mm com 80cm | laterais |
| 02 | 01 | cano de pvc 20mm com 50cm | parte superior |
| 03 | 04 | cano pvc 20mm de 20cm | base |
| 04 | 06 | cotovelo soldável de pvc 20mm | conexões |
| 05 | 02 | “tê” de pvc soldável 20mm | conexões |
| 06 | 02 | garrafa pet de água mineral de 500ml vazia | massa do pêndulo |
| 07 | 2m | barbante | montagem do pêndulo |
| 08 | 01 | tinta guaxe colorida | fazer a marcação no papel |
| 09 | 10m | papel craft com 40cm de largura | fazer o desenho do movimento pendular |
| 10 | | estilete, prego, martelo, tesoura | montagem do pêndulo |

Fonte: O autor.

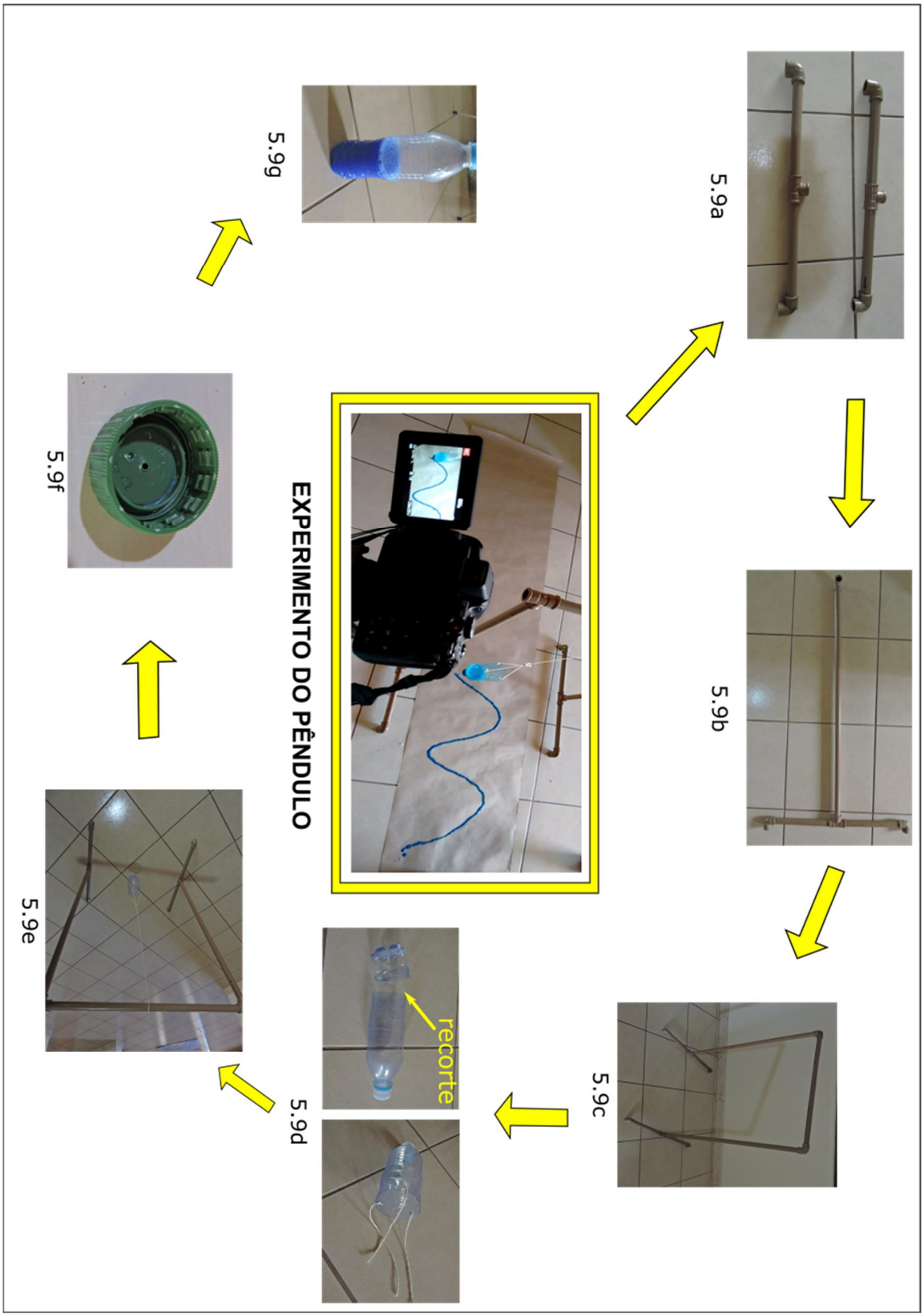
A montagem do aparato do experimento do pêndulo é descrita a seguir, porém para facilitar a mesma, siga pela sequência apresentada na Figura 5.9.

- **Passo 1 (Figura 5.9a) -** Encaixe dois canos do item 03 (Quadro 5.4) a um “tê” item 5 (Quadro 5.4) e na outra extremidade encaixe os dois cotovelos item 4 (Quadro 5.4) com a boca virada para o lado oposto da abertura central do “tê”. Faça o procedimento 2 vezes.
- **Passo 2 (Figura 5.9b) -** Encaixe um cotovelo item 4 (Quadro 5.4) na extremidade do cano do item 01 (Quadro 5.4) e a outra extremidade encaixe com um ângulo de 90º com a montagem do passo 1. Faça o procedimento 2 vezes.
- **Passo 3 (Figura 5.9c) -** Encaixe o cano do item 02 (Quadro 5.4) nos cotovelos que ficaram a 90º, formando a armação do experimento.
- **Passo 4 (Figura 5.9d) -** Recorte uma garrafa pet do item 06 (Quadro 5.4) em aproximadamente 2/3 do seu tamanho, com a parte maior

contendo o bico da garrafa. Faça três furos equidistantes na borda do corte da parte maior cortada e amarre um pedaço de barbante de 20 cm (Quadro 5.4) em cada furo.

- **Passo 5 (Figura 5.9e) –** Amarre os três fios do item anterior juntamente com um pedaço de barbante de 55 cm (Quadro 5.4) de comprimento e amarre a outra extremidade deste ao travessão superior da armação feita no passo 3.
- **Passo 6 (Figura 5.9f) -** Com o auxílio de um prego e martelo, faça um pequeno furo central na tampa da garrafa pet do item 06 (Quadro 5.4) que foi cortada.
- **Passo 7 (Figura 5.9g) –** Dilua um vidro de tinta guache com cor de sua preferência com 250 ml de água aproximadamente e armazene na outra garrafa pet do item 06 (Quadro 5.4).

Figura 5.9 – Construção do experimento do pêndulo.




Fonte: O autor.

## 5.4 Aparato para o experimento da corda

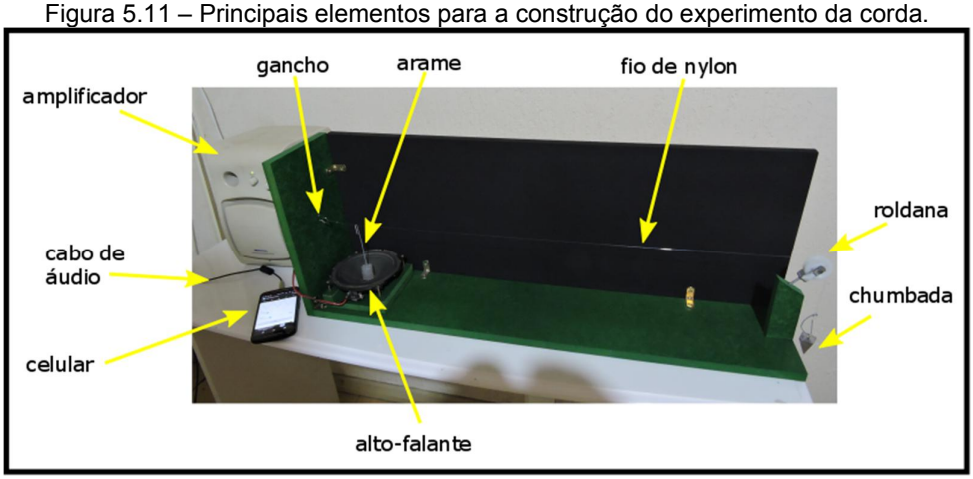
Foi construído um aparato para o experimento do pêndulo a partir do projeto de extensão de Ignácio, et.al. (2012) bem como o artigo de Mello (2007), onde foram realizadas adaptações, como a fixação do arame ao cone central do alto falante encaixando uma peça móvel feita de tampa plástica e cola quente, bem como a troca do lápis por arame mole. A Figura 5.10 apresenta o aparato experimental completo.

Figura 5.10 – Aparato do experimento da corda.

Fonte: O autor.

Para melhor entender a construção, na Figura 5.11 é apresentado o aparto do experimento da corda com seus principais elementos.

Figura 5.11 – Principais elementos para a construção do experimento da corda.




Fonte: O autor.

E em seguida no Quadro 5.5 são apresentados os materiais utilizados para a confecção do aparto do experimento da corda. e suas respectivas funções.

Quadro 5.5 - Materiais necessários para a confecção do aparato do experimento da corda.

| item | quantidade | material | função |
|---|---|---|---|
| 01 | 01 | placa de MDF de 15mm com dimensões 30x81,5cm pintado de preto | parede do fundo |
| 02 | 01 | placa de MDF de 15mm com dimensões 30x80cm | base |
| 03 | 01 | placa de MDF de 15mm com dimensões 30x15cm | parede lateral |
| 04 | 01 | placa de MDF de 11x4cm com um corte em diagonal formando ângulo de 45º em um dos lados | suporte da corda |
| 05 | 01 | placa de MDF de 12x12cm | suporte do alto-falante |
| 06 | 02 | tira de MDF de 12x1,5cm | suporte do alto-falante |
| 07 | 01 | roldana de plástico de 4cm de diâmetro | suporte da corda |
| 08 | 01 | gancho aberto pequeno | suporte da corda |
| 09 | 08 | cantoneiras pequenas | montagem da armação do experimento |
| 10 | 16 | parafusos de 10mm | prender as cantoneiras |
| 11 | 04 | parafusos de 30mm | prender o alto-falante à base |
| 12 | 1 | alto-falante de automóvel de 5” | produzir a vibração na corda |
| 13 | 1,5m | fio para som preto e vermelho | conectar o amplificador ao alto-falante |
| 14 | 01 | tampa plástica (batom, esmalte, etc.) cuja espessura acople ao cone central do alto-falante | suporte para acoplar o alto-falante ao fio do experimento |
| 15 | 01 | arame de aço mole de 30cm de | conectar alto falante ao fio |
| 16 | 01 | amplificador de áudio | amplificar o som produzido pelo celular |
| 17 | 01 | celular com sistema Android contendo o aplicativo “Signal Generator” | produzir a frequência a ser aplicada na corda |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 18 | 03* | arame de aço mole de 10cm | suporte das massas massa tencionar a corda; suporte para vibrar a corda |
| 19 | 02** | chumbadas de pesca em forma de pirâmide, com massas de 20g e 60g. | massas para tencionar a corda |
| 20 | 01* | pedaço de 110cm de fios de nylon 0.20, 0.40 e 0.60mm | linha para produzir as ondas estacionárias |
| 21 | 01 | cabo de áudio | conectar o celular ao amplificador |
| 22 | | furadeira ou parafusadeira; chave de fenda, grosa, tesoura, cola quente, serra-ferro, ferro de solda e fio de solda de estanho | montagem do experimento da corda |

* A quantidade pode variar de acordo com o número de linhas que for utilizar.
** A quantidade pode variar dependendo do número de experimentos que for realizar.
Fonte: O autor.

A montagem do aparato do experimento da corda é descrita a seguir, porém para facilitar a mesma, siga pela sequencia apresentada na Figura 5.12.

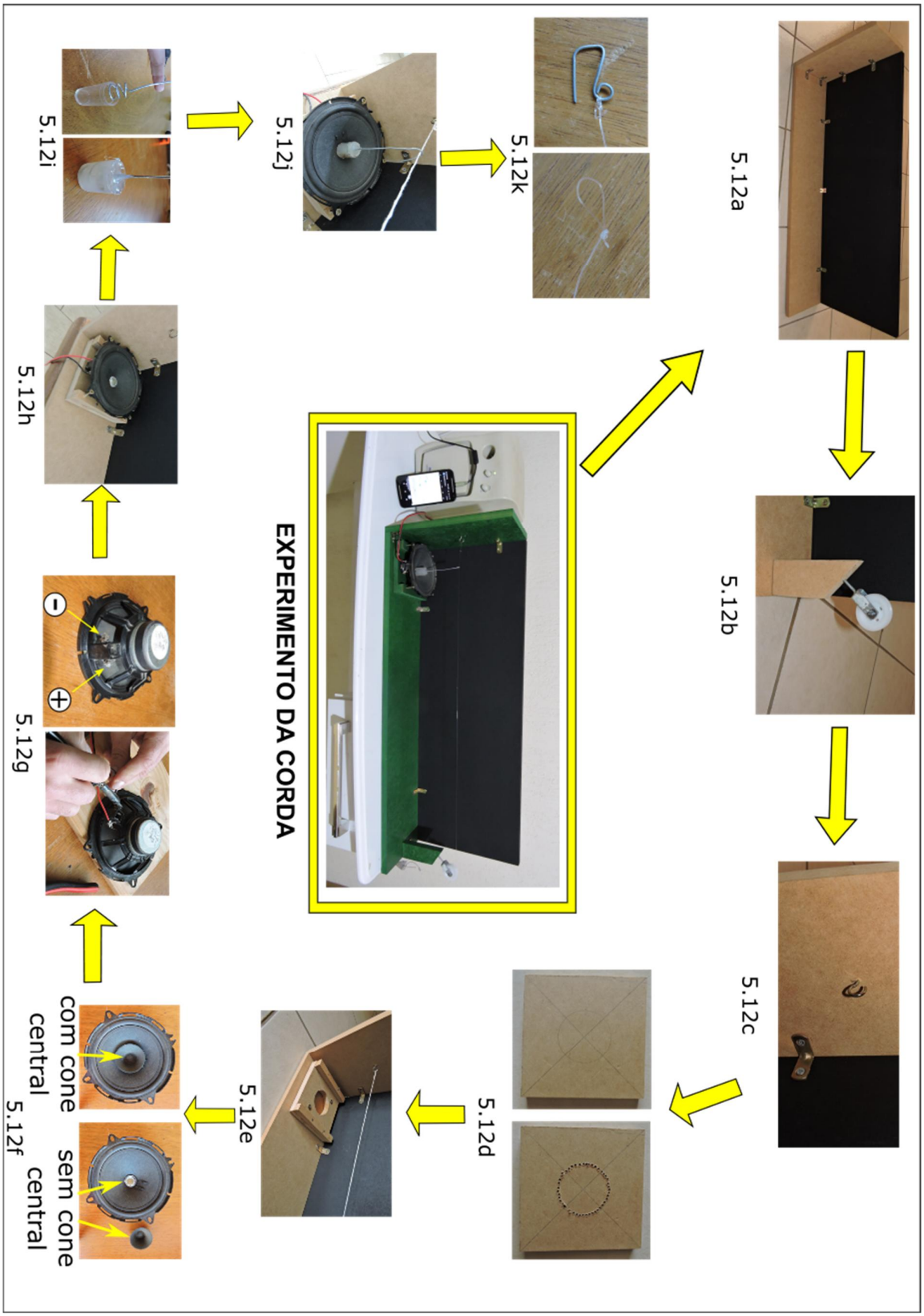
- **Passo 1 (Figura 5.12a) -** Junte as madeiras dos itens 01, 02 e 03 (Quadro 5.5) com o auxílio de 2 cantoneiras item 09 (Quadro 5.5) em cada aresta, formando a estrutura apresentada na figura;
- **Passo 2 (Figura 5.12b) -** Prenda a madeira do item 04 (Quadro 5.5) na extremidade oposta da parede lateral com o auxílio de uma cantoneira item 09 (Quadro 5.5), com o corte em diagonal voltado para a parte de fora; coloque a roldana sobre o chanfro;
- **Passo 3 (Figura 5.12c) -** Na parede lateral da caixa coloque o gancho no centro da mesma, e com a mesma altura da roldana (para que a corda fique nivelada). Veja na Figura 5.11 a altura do gancho em relação à roldana;
- **Passo 4 (Figura 5.12d)** – Faça um furo no centro da placa do item 05 (Quadro 5.5), de modo que encaixe a base do alto-falante.

  **Dica**: Caso você não possua um serra-copos, faça vários furos com uma broca ao longo da linha do círculo que deseja cortar e depois desbaste com uma grosa;

- **Passo 5 (Figura 5.12e)** – Prenda as tiras do item 06 (Quadro 5.5) nas laterais da placa do passo anterior e prenda o conjunto próximo à parede onde se encontra o gancho no aparato do passo 3;
- **Passo 6 (Figura 5.12f)** – Retire o cone central do alto-falante do item 12 (Quadro 5.5);

  **Passo 7 (Figura 5.12g)** – Na parte inferior do alto-falante, com o auxílio de um ferro de solda e fio de solda de estanho, prenda o fio de do item 13 (Quadro 5.5). Ao observar o alto-falante através da parte inferior, por padrão de convenção, o conector do lado esquerdo tem polaridade negativa e do lado direito tem polaridade positiva. Desta forma, solde o fio vermelho no conector do lado direito e o fio preto no conector do lado esquerdo;
- **Passo 8 (Figura 5.12h)** – Prenda o alto-falante à base com o auxílio dos parafusos do item 04 (Quadro 5.5);
- **Passo 9 (Figura 5.12i)** – Com o arame do item 15 (Quadro 5.5), faça uma pequena base de espiral, coloque dentro do tubo do item 14 (Quadro 5.5) e preencha de cola quente;
- **Passo 10 (Figura 5.12j)** – Encaixe a tampa de esmalte no alto-falante e forme um gancho na extremidade do arame, de modo que lace o fio;
- **Passo 11 (Figura 5.12k)** – Com os arames do item 18 (Quadro 5.5), forme pequenos ganchos, prendendo em cada um os fios do item 20 (Quadro 5.5). Na extremidade oposta do fio, faça um laço, para poder prender no gancho da parede do aparato.

Figura 5.12 – Construção do Experimento da corda.



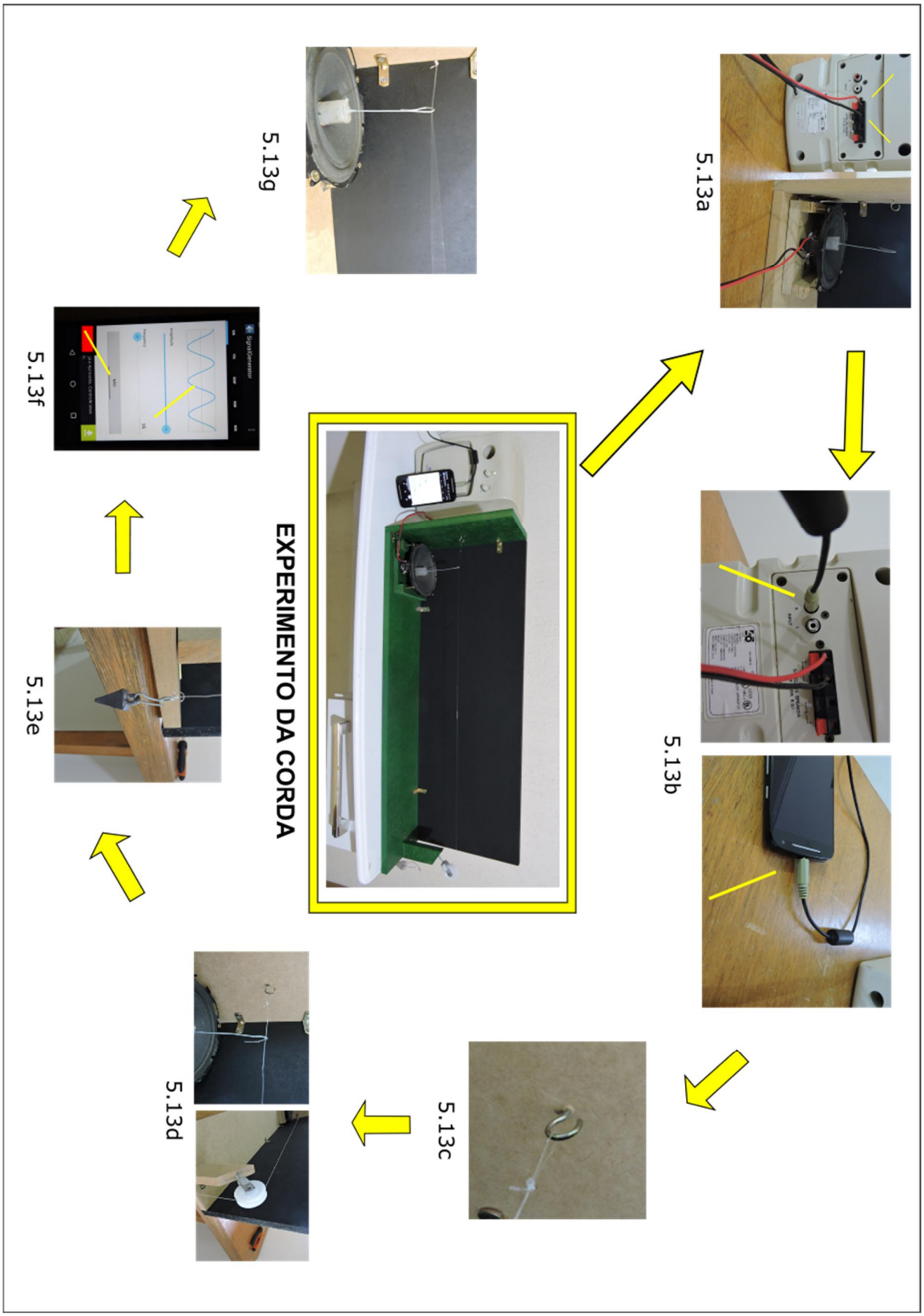

Fonte: O autor.

### 5.4.1 Procedimento de montagem do experimento de corda

A montagem para a experiência em sala de aula usando o aparato do experimento da corda é descrita a seguir, porém para facilitar a mesma, siga pela sequência apresentada na Figura 5.13.

- **Passo 1 (Figura 5.13a)** – Conecte os fios vermelho e preto do alto-falante ao amplificador (item16 do Quadro 5.5);
- **Passo 2 (Figura 5.13b)** – Conecte o cabo de áudio (item 21 do Quadro 5.5) à entrada “input” do amplificador e a outra extremidade ao celular;
- **Passo 3 (Figura 5.13c)** – Lace o fio de nylon (item 20 do Quadro 5.5) na argola da parede do aparato;
- **Passo 4 (Figura 5.13d)** – Estique o fio de nylon, passando o mesmo sob o arame preso ao alto-falante, encaixando-o no vão da roldana;
- **Passo 5 (Figura 5.13e)** – Coloque a chumbada, item 19 (Quadro 5.5) na extremidade do fio de nylon;
- **Passo 6 (Figura 5.13f)** – Com o programa “Signal Generator” no celular (item 17 do Quadro 5.5), selecione a frequência desejada, colocando no campo “frequency”, e em seguida tecle o campo “não”. Pronto, o seu aparato experimental está em funcionamento.

Figura 5.13 – Montagem para realização do experimento da corda.




Fonte: O autor.

# 6 – VÍDEOS, SLIDES E SIMULAÇÕES

Por fim neste capítulo são apresentados os vídeos, slides e simulações utilizados para a aplicação das aulas, visando contribuir para a dinâmica em sala de aula, como sendo elementos que auxiliem na execução das Seções. Por se tratar de materiais desta natureza, são indicados os arquivos e/ou sites onde poderão ser encontrados conforme os Quadros 6.1, 6.2 e 6.3. Vale ressaltar que nos casos em que os materiais não são de autoria própria, estes estão disponíveis para acesso livre e sua fonte foi devidamente citada.

Quadro 6.1 – Lista de vídeos para aplicação em sala de aula.

| Arquivo | Seção | Aula | Disponível |
|---|---|---|---|
| Vid01[a] | 01 | Aula 1 | https://www.youtube.com/watch?v=xYcSy146LAM |
| Vid02 | 04 | Aula 1 | entrar em contato com o autor: luisrauch@yahoo.com.br |
| Vid03 | 05 | Aula 1 | |
| Vid04[b] | 07 | Aula 1 | https://www.youtube.com/watch?v=66l6MBQgcRg |

a – PRADO, D. **¡Como se ven las cuerdas dentro de la guitarra!...¡Increíble!**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=xYcSy146LAM>. Acesso em: 10 out. 2015;
b – BRITTO, J. Pitágoras e a Música - Donald no País da Matemágica. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=66l6MBQgcRg. Acesso em 20 Fev. 2015.

Fonte: O autor.

Quadro 6.2 – Lista de slides para aplicação em sala de aula.

| Arquivo | Seção | Aula | Disponível |
|---|---|---|---|
| Sld01 | 01 | Aula 1 | entrar em contato com o autor: luisrauch@yahoo.com.br |
| Sld02 | 02 | Aula 1 | |
| Sld03 | 03 | Aula 2 | |
| Sld04 | 04 | Aula 2 | |
| Sld05 | 05 | Aula 1 | |
| Sld06 | 06 | Aula 3 | |
| Sld07 | 07 | Aula 1 | |

Nota: Estes slides foram reproduzidos no capítulo 2 nos planos de aulas.

Fonte: O autor.

Quadro 6.3 – Lista de simulação para aplicação em sala de aula.

| Arquivo | Seção | Aula | Alternativa |
|---|---|---|---|
| Sim01[a] | 04 e 05 | Aulas 1 e 2 | https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/wave-on-a-string |

a – Phet - Simulações Interativas Em Ciências E Matemática. **Onda em corda**. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/wave-on-a-string>. Acesso em: 13 jun. 2015.

Fonte: O autor.

# REFERÊNCIAS


ARNOLD, F. J. et al. Estudo do amortecimento do pêndulo simples: uma proposta para aplicação em laboratório de ensino. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 4. 2011. Disponível em: < http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/334311.pdf>. Acesso em 01 jul. 2016.

BRASIL, MEC. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais - Ensino Médio**: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Brasília, 2002. 144p. Disponível em <portal.mec.gov.br/seb/arquivo/pdf/cienciasnatureza.pdf>. Acesso em: 01 out. 2014.

_____. **Falta de professores preocupe especialistas**. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/busca-geral/222-noticias/537011943/9885-sp-604135961>. Acesso em: 13 abr. 2015.

CAMPAGNOLI, D. **Instrumentos de corda**. Disponível em: <http://violinando.com/instrumentos-de-cordas/>. Acesso em: 08 out. 2015.

CRUZ, A. R. L. da, et al. **Pêndulo Simples**. 2012. 20f. Relatório de laboratório (Laboratório de Física) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão. Disponível em: <http://pt.slideshare.net/RobertoLeao/relatrio-pndulo-simples-turma-t5>. Acesso em 23 abr. 2016.

DONOSO, J. P. et al. A acústica do violino. **CiênCia Hoje**, v. 45, n. 267, 2010. Disponível em: < http://www.escolamobile.com.br/emedio/e-sapiens/fisica/arquivos/artigos/a-acustica-do-violino.pdf>. Acesso em: 29 mai. 2016.

GABRIEL, A. **Instrumentos que utilizam cordas**. Disponível em: <http://theguitar10.blogspot.com.br/2011/03/historia-o-primeiro-instrumento-de.html>. Acesso em: 25 jun. 2016.

GOMES, P. **Currículo do ensino médio é grande demais**. Disponível em: <http://porvir.org/porpensar/curriculo-ensino-medio-e-grande-demais/20130807>. Aceso em: 13 abr. 2015.

HALLIDAY, D.; RESNICK. R.; WALKER, J. **Fundamentos da Física**. v. 2, 8. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

HEWITT, P. G. **Física Conceitual**. 9. ed. São Paulo: Bookman, 2002.

IGNACIO, B. S. F. et al. **Cordas Vibrantes**. Universidade do Estado de São Paulo. Sorocaba, 2012. Disponível em: <http://www.sorocaba.unesp.br/Home/Extensao/Engenhocas/Carculetas_Atomicas_-_Roteiro_Final.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2014.

KELLER, F.J.; GETTIS W. E.; SKOVE, M. J. **Física, Volume 2.** São Paulo: Pearson, 1999.

LAHERA, J.; FORTEZA, A. **Ciências físicas no ensino fundamental e médio:** modelos e exemplos. Porto Alegre: Artmed, 2006.

LIMA, F. D. A. **As disciplinas de física na concepção dos alunos do ensino médio na rede pública de fortaleza/CE**. 2011, 36f. Monografia (Graduação em Física) – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2011. Disponível em: <http://www.uece.br/fisica/index.php/arquivos/doc_download/113-as-disciplinas-de-fisica-na-concepcao-dos-alunos-do-ensino-medio-na-rede-publica-de-fortalezace.>. Acesso em 15 abr. 2015.

MELLO, G. I. de. Produzindo ondas transversais em cordas de nylon. **A Física na Escola**, V. 8, n. 2, 2007. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol8/Num2/v08n02a08.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2015.

MORENO, A. C. **Só 2% dos professores participam de treino prático na carreira, diz estudo**. Disponível em <http://g1.globo.com/educacao/noticia/2014/07/falta-incentivo-para-formacao-continuada-de-professores-diz-estudo.html>. Acesso em: 13 abr. 2015.

MOURA, D. de A.; NETO, P. B. O ensino de acústica no Ensino Médio por meio de instrumentos musicais de baixo custo. **A Física na Escola**, V. 12, n. 1, 2011. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol12/Num1/acustica.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2015.

MÜTZENBERG, L. A. **Monocórdio**. 2004. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/gram/monocordio.pdf>. Acesso em 15 abr. 2015

PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação. **Diretrizes Curriculares da Educação Básica**: Física. Curitiba: SEED-PR, 2008. Disponível em:

<www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/file/diretrizes/dce_fis.pdf>. Acesso em: 22 Set. 2014.

_____. Secretaria de Estado da Educação. **Caderno de expectativas de aprendizagem**. (Departamento de Educação Básica). Curitiba: SEED-PR, 2012. Disponível em: <www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/file/diretrizes/caderno_expectativas.pdf>. Acesso em: 21 set. 2014.

PERES, L. S. **Matemática e Música:** em busca da harmonia. Disponível em: <http://www.contrabaixobr.com/t17527-musica-e-matematica-a-relacao-harmoniosa-entre-sons-e-numeros>. Acesso em 18 jun. 2016.

PETFisica Uem. **Oficina de experimentos PET**: Pendulo de Areia. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=1y5hZAQw0OI>. Acesso em 22 mai. 2016.

RIBEIRO JÚNIOR, I. S.; CROCHIK, L. . A Construção de Escalas Musicais e Instrumentos Musicais de Baixo Custo Como Recurso Didático Para o Ensino de Física Ondulatória. In: Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2009, Vitoria. **Anais do XVIII SNEF**, 2009. Disponível em: <http://www.cienciamao.usp.br/dados/snef/_aconstrucaodeescalasmusi.trabalho.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2015.

SÓ MATEMÁTICA. **Mundo Matemático. Disponível em: <**http://www.somatematica.com.br/mundo/musica6.php>**. Acesso em 18 jun. 2016.**

SOARES, L. C. **O monocórdio de Pitágoras**. Disponível em: <http://www.ghtc.usp.br/server/Sites-HF/Lucas-Soares/Home.html>. Acesso em: 21 mar. 2015.

TIPLER, P. A; MOSCA, G. **Física para cientistas e engenheiros**. V.1, 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

VASCONCELOS, J. **Como fazer uma viola de lata**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Ubb3D1YkM_w>. Acesso em 06 nov. 2015.

YOUNG, D. H.; FREEDMAN R. A. **Física II**. 10. ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2003.

**SÉRIE**

**PRODUTOS EDUCACIONAIS EM ENSINO DE FÍSICA**

VOLUME 1 – ***Automatização de Experimentos de Física Moderna com o Kit Lego NXT Mindstorms***
*Wanderley Marcílio Veronez, Luiz Américo Alves Pereira, Gélson Biscaia de Souza*

VOLUME 2 – ***O Arduino na Programação de Experiências em Termodinâmica e em Física Moderna***
*Marilene Probst Novacoski. Gélson Biscaia de Souza, Luiz Américo Alves Pereira*

VOLUME 3 – ***Do Magnetismo à Lei da Indução Eletromagnética de Faraday***
*Marlon Labas, Fábio Augusto Meira Cássaro*

VOLUME 4 – ***Estudando Astronomia, Aprendendo Física: Atividades Práticas de Observação do Sol***
*Ana Caroline Pscheidt, Marcelo Emílio*

VOLUME 5 – ***Simulador Didático de Acomodação do Olho Humano***
*Gustavo Trierveiler Anselmo, Júlio Flemming Neto, Antônio Sérgio Magalhães de Castro*

VOLUME 6 – ***Ensino dos Conceitos de Movimento e Inércia na Mecânica, a partir de uma Concepção de Ciência que não Utiliza a Lógica Binária***
*Luiz Alberto Clabonde, Luiz Antônio Bastos Bernardes, Jeremias Borges da Silva*

VOLUME 7 – ***Uma Proposta de Utilização de Mídias Sociais no Ensino de Física com Ênfase à Dinâmica de Newton***
*Heterson Luiz De Lara, Alexandre Camilo Junior, Jeremias Borges da Silva*

VOLUME 8 – ***O Eletromagnetismo e a Física Moderna através de Atividades Experimentais***
*Ademir Krepki Henisch, Jeremias Borges da Silva*

VOLUME 9 – ***Física Nuclear e Sociedade***
Tomo I – ***Caderno do Professor***
Tomo II – ***Caderno do Aluno***
*Josicarlos Peron, André Vitor Chaves de Andrade*

VOLUME 10 – ***Conceituação e Simulação na Dinâmica do Movimento***
Tomo I – ***Caderno do Professor***
Tomo II – ***Caderno do Aluno***
*Leandro Antonio dos Santos, Antônio Sérgio Magalhães de Castro*

VOLUME 11 – ***Montagem de um Painel Didático e Atividades Experimentais em Circuitos de Corrente Contínua***
*Renato Dalzotto, Sérgio da Costa Saab, André Maurício Brinatti*

VOLUME 12 – ***Nas Cordas dos Instrumentos Musicais***
*Luís Alexandre Rauch, André Maurício Brinatti, Luiz Fernando Pires*

VOLUME 13 – ***O Fóton em Foco: Relações entre Cor, Frequência e Energia de Radiações Eletromagnéticas***
*Romeu Nunes de Freitas, André Maurício Brinatti, Jeremias Borges da Silva*

VOLUME 14 –
Tomo I -***Iniciação em Robótica e Programação com Algumas Aplicações em Física***
Tomo II – ***Tutorial: Tela Interativa com Controle do Nintendo Wii***
*Hernani Batista da Cruz, Luiz Antônio Bastos Bernardes, Silvio Luiz Rutz da Silva*

VOLUME 15 – ***O Uso do Software Tracker no Ensino de Física dos Movimentos***
*Edenilson Orkiel, Silvio Luiz Rutz da Silva*

Este trabalho está licenciado com uma Licença Creative Commons –
Atribuição -Não Comercial- Compartilha Igual 4.0 Internacional.

Disponível em:
http://uepg.br/proex/Home/ebook.html