

Produto Educacional

USANDO SMARTPHONES NO SENSORIAMENTO DE EXPERIMENTOS PARA O ENSINO DE ONDAS

Alexsandro Neves Silveira



Produto Educacional produzido para a Dissertação de Mestrado ao Programa de Pós-Graduação (Universidade Federal de Rio Grande) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física Polo 21 (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Everaldo Arashiro
Coorientadora: Prof^a Dr^a Águeda Maria Turatti



USANDO SMARTPHONES NO SENSORIAMENTO DE EXPERIMENTOS PARA O ENSINO DE ONDAS



Alexsandro Neves Silveira
Everaldo Arashiro
Agueda Maria Turatti

Ficha catalográfica

S587u Silveira, Alexsandro Neves.

Usando *Smartphones* no sensoriamento de experimentos para o ensino de ondas [Recurso Eletrônico] / Alexsandro Neves Silveira. – [Rio Grande, RS]: FURG, 2021.

33 f. : il. color

Produto Educacional da Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física, sob a orientação do Dr. Everaldo Arashiro e a Coorientação da Dra. Agueda Maria Turatti.

Disponível em: <https://ppgmnpef.furg.br/>
<http://repositorio.furg.br/>

1. Ensino de Física 2. Experimentação 3. Sensoriamento
4. *Smartphone* 5. Oscilações 6. Ondas Mecânicas I. Arashiro,
Everaldo II. Turatti, Agueda Maria III. Título.

CDU 53:37

Catálogo na Fonte: Bibliotecário José Paulo dos Santos CRB 10/2344



Alexsandro Neves Silveira

Mestre em Ensino de Física pela Universidade Federal do Rio Grande (FURG)
Licenciado em Física pela Universidade Federal do Rio Grande (FURG)
Técnico em Automação Industrial pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS)
Ex-professor substituto do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
do Rio Grande do Sul (IFRS) no curso de Eletrotécnica.
Atualmente é professor de Física na rede privada de Ensino Médio
<http://lattes.cnpq.br/3521751601767876>

Everaldo Arashiro

Doutor em Física Aplicada à Medicina e Biologia pela Universidade de São
Paulo (USP)
Mestre em Física Aplicada à Medicina e Biologia pela Universidade de São
Paulo (USP)
Licenciado em Química pela Universidade de São Paulo (USP)
Bacharel em Química pela Universidade de São Paulo (USP)
Atualmente é professor na Universidade Federal do Rio Grande (FURG)
<http://lattes.cnpq.br/1305055548542115>

Águeda Maria Turatti

Doutora em Ciência dos Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do
Sul (UFRGS)
Mestre em Ciência dos Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do
Sul (UFRGS)
Bacharel em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Licenciada em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Atualmente é professora na Universidade Federal do Rio Grande (FURG)
<http://lattes.cnpq.br/3614433966006997>

Diagramação

Pâmela Taís Dutra Mena
<http://lattes.cnpq.br/5914902297474252>

Sumário

Apresentação	6
Oscilações, ondas e acústica.....	8
Movimento Harmônico Simples.....	9
Sistema Massa – Mola.....	9
Período do Sistema Massa – Mola	11
Roteiro para o Experimento do Sistema Massa-Mola.....	12
Pêndulo Simples	14
Período do Pêndulo Simples.....	14
Roteiro para o Experimento do Pêndulo Simples.....	17
Ondas.....	19
Características das Ondas	19
Velocidade de Onda.....	21
Acústica	21
Velocidade do som no ar	22
Altura do Som.....	22
Intensidade do Som	22
Tubos Sonoros	23
Tubo Sonoros Abertos	24
Tubos Sonoros Fechados	25
Roteiro para o Experimento do Tubo Sonoro.....	26
Bibliografia.....	30
Apêndice 1 – Guia do professor	31
Apêndice 2 – Material de apoio.....	33

Apresentação

No presente trabalho, usando as potencialidades presentes nos celulares, vamos trazer três experimentos utilizando o aplicativo *Phyphox*, além de trazer todo amparo conceitual para poder desenvolver as aulas. O primeiro experimento será composto de uma massa oscilante presa a uma mola, detectaremos o período de oscilação do sistema massa-mola usando o acelerômetro do celular, a partir dos dados obtidos iremos determinar a constante elástica de uma mola qualquer. O segundo será montado um pêndulo simples, onde teremos um ímã preso à massa para que possa ser medida a variação do campo magnético, usando o magnetômetro presente no celular. Ou prendemos o celular a um barbante e usamos o acelerômetro, com isso teremos o período do pêndulo sendo possível determinar a aceleração gravitacional no local do experimento. E por último iremos determinar a velocidade do som usando tubos sonoros, variando o comprimento do tubo usando de montagens que deixam ele com configuração de tubo aberto ou tubo fechado, como apresentado no vídeo com o endereço disponível no apêndice 2, e também no código QR apresentado na capa.

Os experimentos de forma simples, mas bastante inovadoras, tratam de um tema pouco abordado no estudo da Física e caracteristicamente muito abstrato. O ensino de oscilações normalmente é feito de maneira estritamente teórica e isso dificulta muito o entendimento, pois o tema é extremamente abstrato sendo então pouco visual, ou “palpável”, para os alunos. Então, além da Física ser vista como uma disciplina difícil, a parte de ondulatória possivelmente seja a mais difícil.

As aulas foram planejadas de forma a criar uma aprendizagem significativa, visando eliminar possíveis falhas nos conhecimentos prévios dos alunos e com a finalidade de nivelar estes conhecimentos na turma, as primeiras atividades do produto são aulas onde são expostos os conteúdos dos temas de interesse e para auxiliar o entendimento nas aulas de sistema massa-mola e pêndulo simples foram usados simuladores desses temas. As figuras 1 e 2 mostram as telas iniciais dos simuladores utilizados nas aulas.

Figura 1 – Simulador de Pêndulo Simples

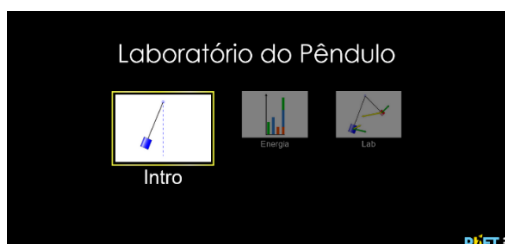
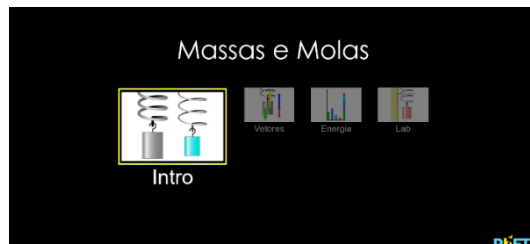


Figura 2- Simulador sistema massa-mola



Fonte: PhET. (Laboratório do Pêndulo e Massas e Molas)

Os experimentos de sistema massa-mola e pêndulo simples seguem os roteiros expostos a seguir quando tratarmos do tema. A tabela 1 demonstra como foram organizadas as aulas para a aplicação do produto educacional.

Tabela 1 – Organização das aulas

Aula	Objetivo	Conteúdos Trabalhados	Recursos	Tempo
Sistema massa-mola	Compreender o movimento harmônico simples e o período do sistema massa-mola.	Movimento harmônico simples, período, massa, constante elástica da mola.	<ul style="list-style-type: none"> • Quadro • Simulador 	2 aulas
Pêndulo simples	Compreender o período do pêndulo simples	Período, comprimento, aceleração da gravidade	<ul style="list-style-type: none"> • Quadro • Simulador 	2 aulas
Experimento sistema massa-mola	Determinar a constante elástica de uma mola qualquer	Período, massa, constante elástica da mola, onda senoidal, comprimento de onda.	<ul style="list-style-type: none"> • Celular • Suporte • Mola • Massas • Computador • Projetor 	2 aulas
Experimento pêndulo simples	Determinar a aceleração da gravidade o local do experimento	Período, comprimento, aceleração da gravidade, onda senoidal, comprimento de onda	<ul style="list-style-type: none"> • Celular • Suporte • Fio • Massas • Computador • Projetor 	2 aulas
Tubos sonoros	Estudar as ondas estacionárias em tubos abertos e fechados.	Onda, frequência, comprimento de onda, comprimento.	<ul style="list-style-type: none"> • Quadro 	3 aulas
Experimento tubos sonoros	Determinar experimentalmente o comprimento de onda para diferentes frequências em tubos abertos e fechados.	Onda, frequência, comprimento de onda, comprimento.	<ul style="list-style-type: none"> • Tubo • Fonte sonora • Celular • Trena 	2 aulas

Fonte: O autor

A seguir introduzimos os conceitos necessários para desenvolver os experimentos possibilitando seguir a tabela 1.

Oscilações, ondas e acústica

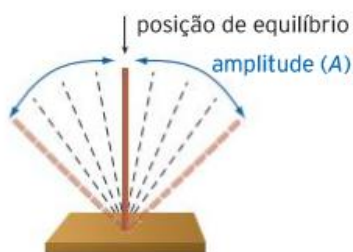
Se observarmos a nossa volta notamos diversas situações que se repetem ciclicamente, sendo periódicas ou semi periódicas, como os dias, meses e os anos. Algumas grandezas, como período, frequência e amplitude são importantes para o estudo.

- **Período** (T) é o intervalo de tempo para realizar uma oscilação completa, medida em segundos.
- **Frequência** (f) é o número de oscilações completas realizadas em um intervalo de tempo, a unidade de medida mais comum é o Hertz (Hz), que mede quantas oscilações há em um segundo.
- A **amplitude** de uma oscilação é a maior distância que o corpo alcança a partir da posição de equilíbrio, esta sendo a posição onde o corpo fica estático naturalmente.
- **Oscilação** é um movimento periódico em torno da posição de equilíbrio.

$$T = \frac{1}{f}$$

Relação entre período e frequência

Figura 3 – Representação de um movimento oscilatório



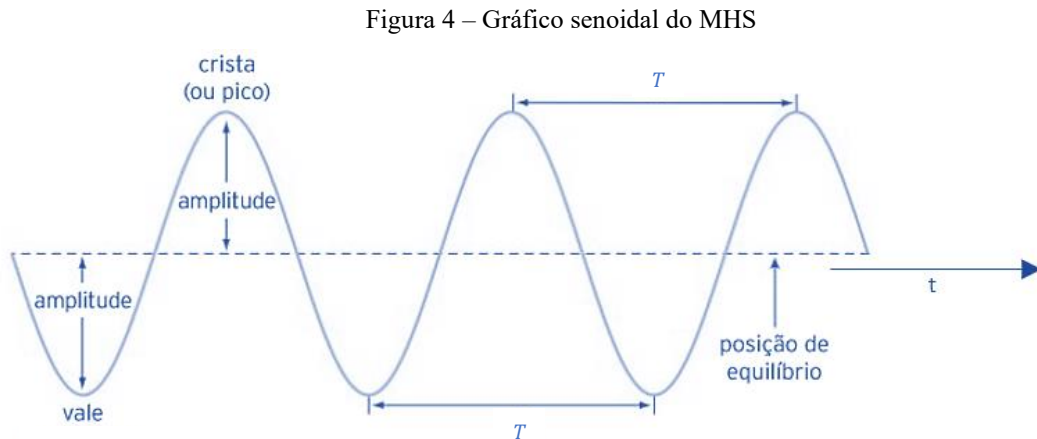
Fonte: Ser protagonista box: física

➔ Fenômenos periódicos são os que se repetem em intervalos de tempo iguais, por exemplo, a corrente alternada que no Brasil oscila 60 vezes por segundo, ou seja, 60 Hz.

➔ Fenômenos Semi Periódicos se repetem em intervalos de tempo quase iguais, ou seja, a cada repetição temos um tempo diferente para conclusão de um ciclo, por exemplo, as batidas do coração se repetem com um tempo muito próximo, mas oscilam devido a situações as quais nos expomos.

Movimento Harmônico Simples

Um movimento que se repete em intervalos de tempo similares pode ser denominado movimento harmônico simples (MHS), e pode ser representado graficamente por um gráfico senoidal, como a figura abaixo.



Fonte: Ser protagonista box: física

Para determinar o período é necessário determinar o tempo entre dois picos. Existem dois modelos físicos que são mais convencionais para estudar esse tipo de movimento, o Sistema Massa-Mola e o Pêndulo Simples.



Sistema Massa – Mola

O sistema massa-mola é basicamente um corpo preso a uma mola oscilando em torno de uma posição de equilíbrio. A seguir vamos discutir o comportamento desse sistema do ponto de vista do deslocamento e das energias associadas aos movimentos.

Temos presente a Energia Cinética que é associada a velocidade que o corpo apresenta e a Energia Potencial Elástica que é associada à mola.

Definimos a Energia Cinética por:

$$E_{cin} = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Em que

- E_{cin} : energia cinética [J]
- m : massa [kg]
- v : velocidade [m/s]

E a Energia Potencial Elástica por:

$$E_{pol.el} = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

Em que

- $E_{pol.el}$: energia potencial elástica [J]
- k : constante elástica da mola [N/m]
- x : distância que a mola se afasta da posição de equilíbrio [m]

Ainda podemos definir a energia total do sistema, ou Energia Mecânica:

$$E_{mec} = E_{cin} + E_{pot.el.}$$

Nas imagens que usaremos existem alguns pontos fixos que são as amplitudes representadas por $-A$ e A , que são as posições mais afastadas da posição de equilíbrio que o corpo irá, e a posição de equilíbrio é representada por uma linha pontilhada e a letra O . Na análise vamos assumir que o corpo já está em movimento e que a Energia Mecânica se conserva, pois não há atrito.

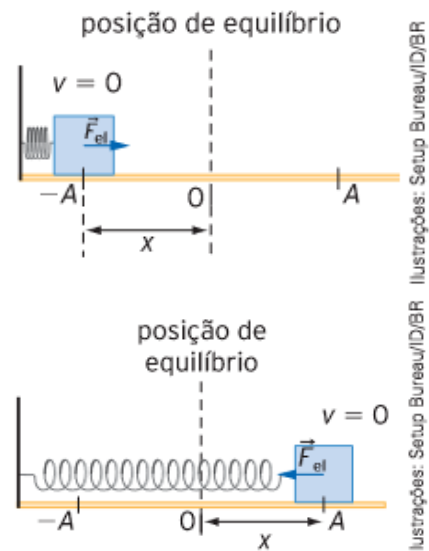
Nas figuras vemos a massa nas amplitudes, ou seja, o ponto mais afastado da posição de equilíbrio e também onde existe uma inversão do movimento, portanto temos $v = 0$. Aqui teremos a Energia Potencial Elástica máxima e Energia Cinética nula.

Logo $E_{mec} = E_{pot.el.}$

Agora se tivermos em qualquer posição intermediária entre as amplitudes e a posição de equilíbrio ($-A > x > 0$ ou $0 > x > A$) a velocidade assume valores variáveis para cada distância da posição de equilíbrio, isso resulta que conforme a Energia Cinética diminui a Energia Potencial Elástica aumenta então $E_{mec} = E_{cin} + E_{pot.el.}$

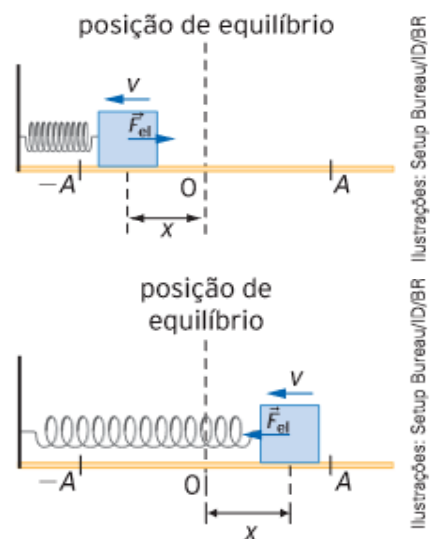
E por último vamos analisar quando a massa está exatamente na posição de equilíbrio, ou seja, $x = 0$ e por consequência a Energia Potencial Elástica é nula e a Energia Cinética é máxima, pois o corpo tem a velocidade com o maior valor durante o movimento oscilatório.

Figura 5 – Exemplo de um sistema massa-mola em suas amplitudes máximas



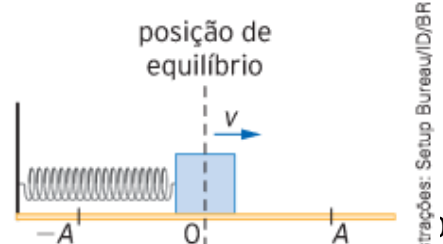
Fonte: Ser protagonista box: física

Figura 6 – Exemplo de um sistema massa-mola em suas amplitudes intermediárias



Fonte: Ser protagonista box: física

Figura 7 – Sistema massa-mola na posição de equilíbrio



Fonte: Ser protagonista box: física

Período do Sistema Massa – Mola

Agora que definimos como é o comportamento de um movimento oscilatório periódico através do sistema massa-mola precisamos definir quanto tempo a massa leva para sair de um determinado ponto e voltar para esse mesmo ponto, ou seja, por exemplo sair da amplitude A , passar pela posição de equilíbrio 0 , chegar na amplitude $-A$, voltar passando por 0 e voltar a posição A . Para esse tempo se dá o nome de Período e ele se relaciona com a frequência da seguinte forma:

$$T = \frac{1}{f}$$

Relação entre período e frequência

Podemos relacionar a frequência (f) com a frequência angular (ω)

$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$

Relação entre frequência e frequência angular

A frequência angular do sistema massa-mola é definida por:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Em que

- ω : frequência angular [rad/s]
- k : constante elástica da mola [N/m]
- m : massa [kg]

Então o período é calculado por:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

Relação entre período e frequência angular

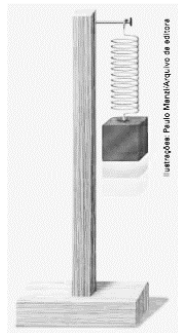
→ Medidas realizadas diversas vezes nas mesmas condições tendem a ter valores diferentes, mesmo que com pequenas diferenças, para corrigir essas diferenças na coleta de dados, pegamos vários valores e realizamos a média aritmética deles. Nos roteiros diversas vezes é indicado que se calcule a média de alguns valores. Para realizar esse cálculo teremos N valores de uma grandeza, x_1, x_2, \dots, x_N , que podem ser o período, constante elástica, aceleração da gravidade, velocidade entre outras, para determinarmos a média aritmética usamos a equação abaixo.

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum x_i$$

➤ ROTEIRO PARA O EXPERIMENTO DO SISTEMA MASSA-MOLA

Dispondo de uma massa presa a um suporte através de uma mola como representado na figura 8. Afastando essa massa de sua posição de equilíbrio a mola exerce uma força contrária, logo quando soltamos essa massa o sistema oscila, realizando um movimento harmônico simples, e a essa montagem damos o nome de sistema massa-mola.

Figura 8 – Sistema massa-mola



Fonte: Gaspar Alberto

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Em que

- T : período [s]
- k : constante elástica da mola [N/m]
- m : massa [kg]

O período de oscilação do sistema massa-mola é definido por:

MATERIAIS: - Suporte
- Mola
- Massas de valor conhecido
- *Smartphone* com o aplicativo *Phyphox*

OBJETIVO: Determinar a constante elástica de uma mola via oscilação.

PROCEDIMENTO

1ª ETAPA: Realizar a montagem do sistema massa-mola como demonstrado na figura 8.

2ª ETAPA: A primeira massa que iremos usar é o próprio *Smartphone*.

- ✓ O aplicativo *phyphox* deve estar aberto com a opção “Aceleração sem g” selecionada;
- ✓ Clicar no *play*;
- ✓ Iniciar a oscilação.

➡ Tome cuidado na hora de afastar a massa da posição de equilíbrio, pois pode causar uma deformação permanente na mola, então o ideal é causar um leve deslocamento na massa.

3ª ETAPA: Coletar 10 valores de período de oscilação para cada uma das massas, sendo que iremos usar 5 massas.

- ✓ Coletar os valores do gráfico senoidal criado pelo aplicativo;
- ✓ Para determinar os períodos deve-se coletar a diferença de tempo entre dois picos consecutivos ou dois vales consecutivos;
- ✓ Para ter 10 valores é necessário repetir esse procedimento 10 vezes.

➡ O aplicativo possibilita exportar os dados para uma análise mais precisa.

4ª ETAPA: Determinar a constante elástica da mola.

- ✓ A partir da equação que define o período do sistema massa-mola, encontre uma equação para determinar a constante elástica em função do período e da massa.

5ª ETAPA: Preencha a tabela a seguir com os dados obtidos do experimento.

Tabela 2 – Dados do experimento sistema massa-mola

	$m_1=$	$m_2=$	$m_3=$	$m_4=$	$m_5=$
T_1					
T_2					
T_3					
T_4					
T_5					
T_6					
T_7					
T_8					
T_9					
T_{10}					
\bar{T}					
k					

Fonte: O autor

6ª ETAPA: Apresente os cálculos para o período médio, \bar{T} , e para a constante elástica, k .

7ª ETAPA: Calcule a constante elástica média usando a constante elástica determinada para cada massa.

8ª ETAPA: Descreva suas conclusões a partir dos dados obtidos

- ✓ Qual a relação entre o período e a massa?
- ✓ Qual foi o valor determinado da constante elástica da mola?

Pêndulo Simples

Se dispormos de uma massa qualquer suspensa por um fio teremos um Pêndulo Simples. É possível fazer o mesmo tipo de análise que fizemos para o sistema massa-mola, considerando ainda um sistema conservativo, mas a Energia Mecânica fica definida como Energia Cinética somada com a Energia Potencial Gravitacional.

$$E_{mec} = E_{cin} + E_{pot.grav.}$$

A Energia Potencial Gravitacional é definida por:

$$E_{pot.grav.} = m \cdot g \cdot h$$

Em que:

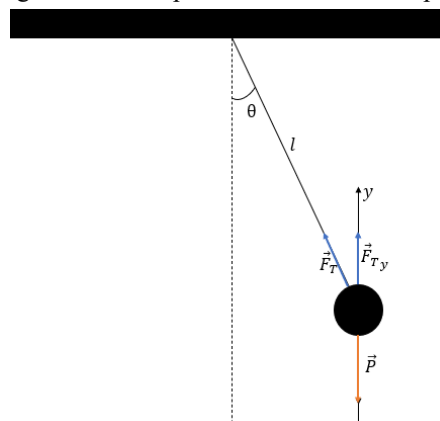
- $E_{pot.grav.}$: Energia potencial gravitacional [J]
- m : massa [kg]
- g : aceleração da gravidade [m/s^2]
- h : altura (medida em relação à posição de equilíbrio) [m]

Fora essas mudanças a metodologia de analisar os conceitos é da mesma forma que foi feita anteriormente.

Período do Pêndulo Simples

Para definirmos o período precisamos analisar algumas características presentes na figura 9.

Figura 9 – Exemplo de um Pêndulo Simples



Fonte: O autor

A partir da figura acima é possível observar que a massa suspensa pelo fio está sujeita à força peso e à tração do fio, a força de tração pode ser decomposta em suas componentes no eixo x e no eixo y. Para construir a equação que define o período do pêndulo simples serão observadas as forças que atuam na direção y, então:

$$\vec{F}_{ry} = \vec{F}_{Ty} + \vec{P}$$

Sendo F_{Ty} a componente da tração no eixo y, P a força peso e F_{ry} a força resultante na direção y. Como a aceleração se altera apenas no referencial x, a força resultante em y é nula, portanto:

$$F_{Ty} - P = 0$$

Sabendo que $F_{Ty} = F_T \cos(\theta)$ e $P = mg$, podemos reescrever da seguinte forma:

$$F_T \cos(\theta) - mg = 0$$

Como $F_T = ma$ e nesse caso a aceleração é a aceleração centrípeta $a = \omega^2 R$, reescrevendo a velocidade angular para $\omega = \frac{2\pi}{T}$, pois 2π será o deslocamento máximo de uma volta do movimento circular e T o período desse deslocamento e ainda escrevendo $R = l$, ou seja, o raio de curvatura igual ao comprimento do fio que suspende a massa, teremos:

$$a = -\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 l$$

$$F_T = -m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 l$$

Portanto teremos:

$$-m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 l \cos(\theta) + mg = 0$$

Reescrevendo a equação para isolar o período de oscilação do pêndulo simples:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l \cos(\theta)}{g}}$$

Ao realizar pequenas oscilações com pêndulo simples é possível considerar o $\cos(\theta)$ aproximadamente igual a 1, portanto:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$



Esta equação que define o período em função do comprimento (l) e da aceleração da gravidade (g) determina o período do Pêndulo Simples.

A equação é válida apenas para pequenos ângulos, preferivelmente abaixo de 10° , e que independe da massa a ser utilizada.

➤ ROTEIRO PARA O EXPERIMENTO DO PÊNDBULO SIMPLES

Embora seja uma atividade experimental muito simples, ela facilita muito o entendimento sobre oscilações.

Deslocando uma massa pendurada por um fio de comprimento l de sua posição de equilíbrio, essa massa passa a oscilar. Para pequenos ângulos de oscilação, menores que 10° , o movimento pode ser considerado harmônico simples. O período do pêndulo simples é definido por:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Em que:

- T : período [s]
- l : comprimento [m]
- g : aceleração da gravidade [m/s^2]

MATERIAIS: - Suporte
- Barbante
- Ímã
- *Smartphone* com o aplicativo *Phyphox*
- Massas
- Trena

OBJETIVOS: Demonstrar que o período do pêndulo simples independe da massa;
Determinar a aceleração da gravidade.

PROCEDIMENTO

1ª ETAPA: Realizar uma montagem como a da figura acima, prenda um ímã ao barbante e meça o comprimento l .

- ✓ No aplicativo *phyphox* abra a opção magnetômetro;
- ✓ Aperte o play;
- ✓ O celular deve estar fixo sobre a mesa para medir as oscilações do pêndulo através da oscilação do campo magnético.

➔ Cuidado para não deixar o ímã muito próximo ao celular, pois pode causar danos ao aparelho.

2ª ETAPA: Afaste o pêndulo da posição de equilíbrio, lembrando que deve ser pequenos ângulos, e solte.

3ª ETAPA: Coletar 10 valores de período de oscilação para cada um dos comprimentos, sendo que iremos usar 5 comprimentos l diferentes, varie de 10 e 15 cm entre os comprimentos.

- ✓ Coletar os valores do gráfico senoidal criado pelo aplicativo;
- ✓ Para determinar os períodos deve-se coletar a diferença de tempo entre dois picos consecutivos ou dois vales consecutivos;
- ✓ Para ter 10 valores é necessário repetir esse procedimento 10 vezes.

- ➔ O aplicativo possibilita exportar os dados para uma análise mais precisa. Experimente colocar uma massa junto ao ímã e observe o que acontece com o período de oscilação do pêndulo simples.

4ª ETAPA: Determinação da aceleração da gravidade.

- ✓ Usando a equação que define o período do pêndulo simples, encontre a equação para determinar a aceleração da gravidade em função do comprimento do fio e do período de oscilação.

5ª ETAPA: Preencha a tabela a seguir com os dados obtidos do experimento.

Tabela 3 – Dados do experimento pêndulo simples

	$l_1=$	$l_2=$	$l_3=$	$l_4=$	$l_5=$
T_1					
T_2					
T_3					
T_4					
T_5					
T_6					
T_7					
T_8					
T_9					
T_{10}					
\bar{T}					
g					

Fonte: O Autor

6ª ETAPA: Apresente os cálculos para o período médio, \bar{T} , e para a aceleração da gravidade, g .

7ª ETAPA: Calcule a aceleração da gravidade média usando a aceleração da gravidade determinada para cada comprimento do fio do pêndulo.

8ª ETAPA: Descreva suas conclusões a partir dos dados obtidos.

- ✓ Qual a relação entre o período e a massa do pêndulo?
- ✓ Qual a relação entre o período e o comprimento da linha?
- ✓ Qual foi o valor determinado da aceleração da gravidade?

Ondas

Se tivermos uma corda esticada e a balançarmos para cima e para baixo teremos um pulso, quando existe uma sequência periódica de pulsos definimos isso como onda. Uma onda tem algumas características, além de ser pulsos periódicos ela transporta energia, mas não transporta matéria.

Características das Ondas

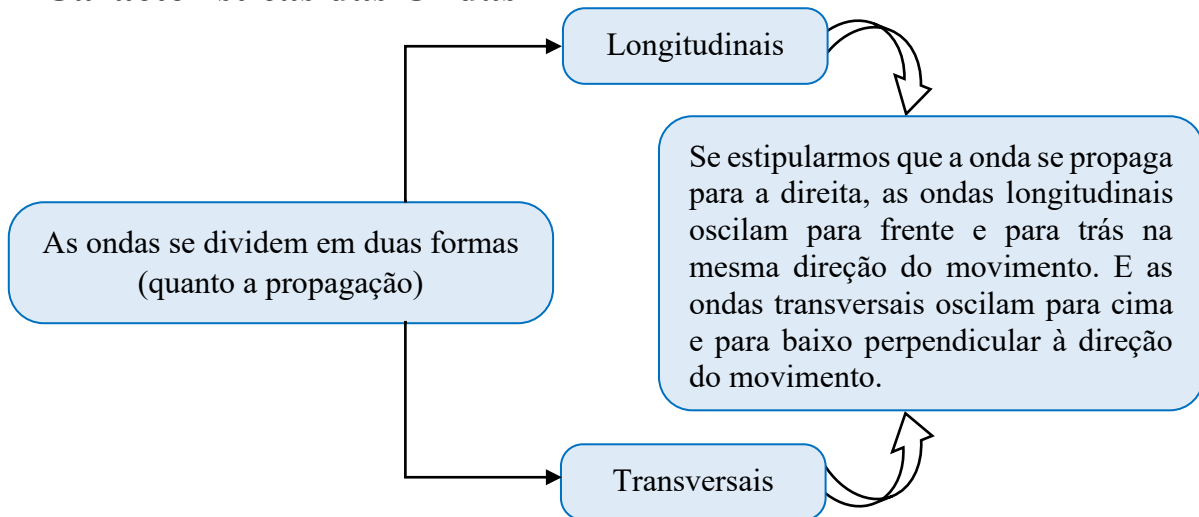
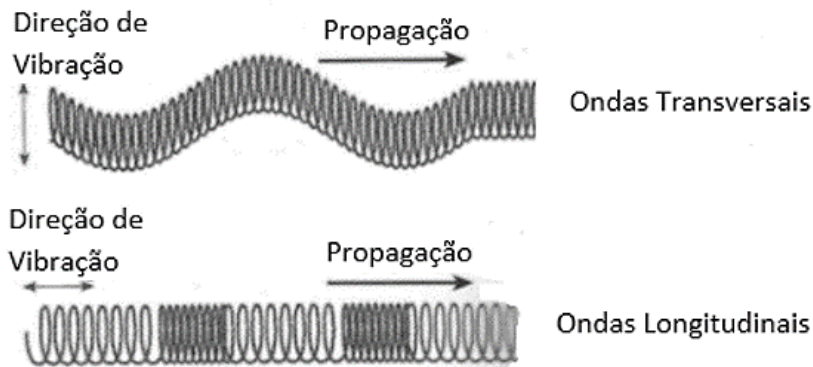
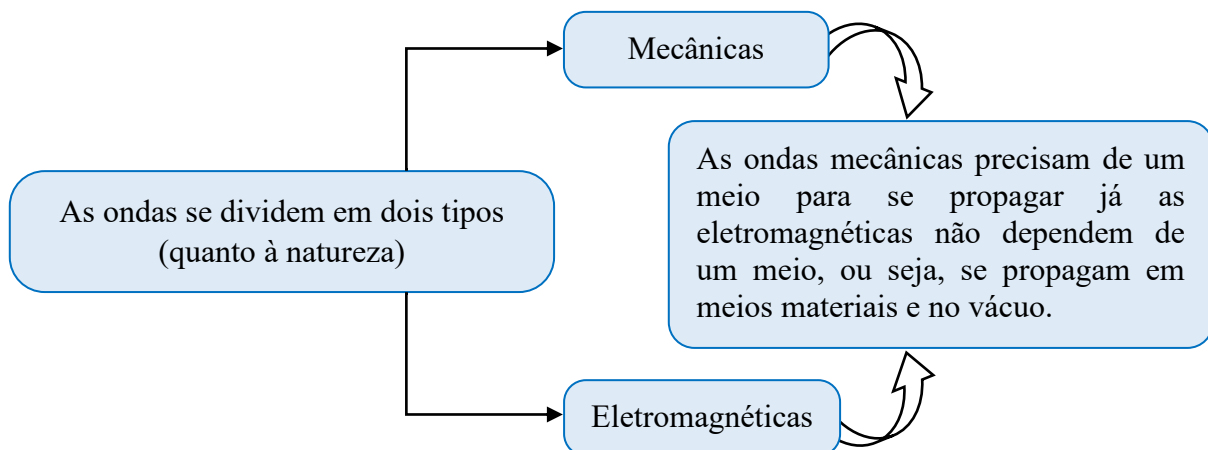


Figura 11 – Ondas transversais e longitudinais

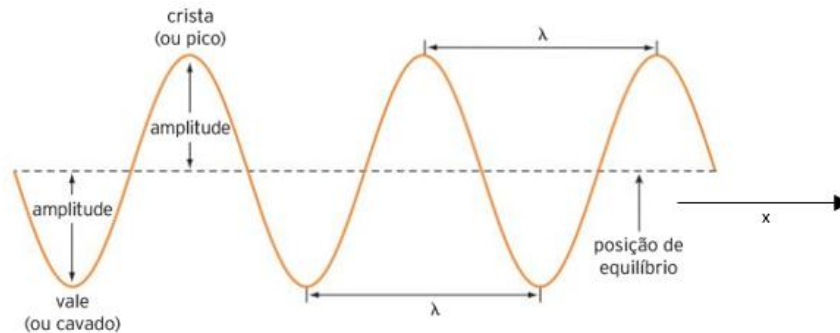


Fonte: Curso do Blog – Termologia, Óptica e Ondas, Os Fundamentos da Física



Ainda caracterizamos as ondas por algumas propriedades, como o ponto mais alto da onda, que denominamos de pico, e o ponto mais baixo da onda, chamado de vale.

Figura 12 – Propriedades das Ondas



Fonte: Ser protagonista box: física

Amplitude

É a distância de um pico ou de um vale até a posição de equilíbrio, ela representa o quanto de energia a onda está transmitindo, ou seja, quanto maior a amplitude maior a energia que a onda está transportando.

Comprimento de onda (λ)

Representa um ciclo completo realizado, a maneira mais fácil de determinar é medindo a distância de um pico até o imediatamente posterior, o mesmo vale se fizermos com dois vales, como é possível ver na figura.

Frequência

É o número de ciclos que são realizados em determinado intervalo de tempo, quando medimos em Hertz (Hz) é o número de ciclos que ocorrem em um segundo.

Período

É o tempo necessário para realizar um ciclo completo.

Velocidade de Onda

A onda percorre uma distância que chamamos de comprimento de onda em um tempo que chamamos de período. Em cinemática definimos:

$v = \frac{\Delta S}{\Delta t}$	Em que:	<ul style="list-style-type: none">• v: velocidade da onda [m/s]• ΔS: distância [m]• Δt: tempo [s]
---------------------------------	---------	--

Podemos afirmar que $\Delta S = \lambda$ e $\Delta t = T$, então a velocidade pode ser reescrita:

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

Ou ainda com a forma mais conhecida:

$v = \lambda \cdot f$	Em que:	<ul style="list-style-type: none">• v: velocidade da onda [m/s]• λ: comprimento de onda [m]• f: frequência [s]
-----------------------	---------	---

A velocidade da onda varia para cada meio, pois o comprimento de onda varia dependendo do meio em que a onda se propaga, a frequência depende exclusivamente da fonte geradora.

Acústica

Acústica estuda os sons e suas propriedades, os sons são ondas mecânicas portanto trataremos de fenômenos que ocorrem em meios materiais. Podemos dividir o som em três tipos: o intervalo audível compreendido entre as frequências de 20 Hz a 20 kHz, sons abaixo de 20 Hz são chamados de infrassons e acima de 20 kHz ultrassons. Diversos animais tem a capacidade de ouvir os infrassons ou ultrassons, mas o intervalo audível é definido pelo intervalo de som ouvido pelos seres humanos.

Velocidade do som no ar

Como a velocidade de uma onda depende do meio em que ela se propaga e o ar varia a densidade dependendo da altitude e da temperatura, a velocidade do som no ar varia conforme a temperatura e altitude local. A tabela a seguir mostra a velocidade do som a nível do mar em algumas temperaturas.

Tabela 4 – Velocidade das ondas sonoras

Velocidade das ondas sonoras a 1atm

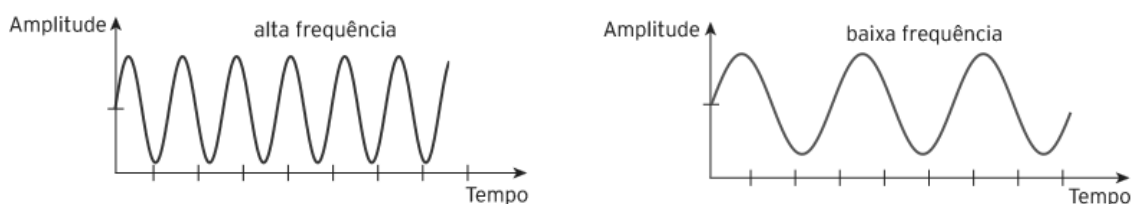
0°C	331,1 m/s
10°C	337,4 m/s
20°C	343,4 m/s
30°C	349,2 m/s

Fonte: Nussenzveig, H. Moysés

Altura do Som

A altura do som faz referência a frequência da onda sonora. Sons de alta frequência são denominados de sons agudos e musicalmente de altos, já as frequências mais baixas são chamadas de sons graves e musicalmente de baixos. Ao analisarmos a equação que caracteriza a velocidade do som vemos que o comprimento de onda e a frequência são inversamente proporcionais portanto, sons agudos têm um comprimento de onda pequeno e os sons graves têm comprimentos de onda grandes.

Figura 13 – Gráficos que representam ondas de alta e baixa frequência



Fonte: Ser protagonista box: física

Intensidade do Som

A intensidade do som depende da quantidade de energia que a onda transporta, na representação gráfica da onda a intensidade é associada a amplitude. A partir da fonte sonora as frentes de onda se dissipam em todas as direções, considerando que não há nenhum obstáculo e a que fonte esteja no solo, ou seja, em campo aberto, o som se propaga como uma cúpula. Podemos calcular a intensidade como a razão entre a potência da fonte sonora e a área em que o som se dissipa.

$$I = \frac{P}{A}$$

A intensidade basicamente define o que costuma ser chamado de volume, com a equação acima temos a medida em W/m^2 , mas é mais comum vermos a medida em decibel (dB) que é um submúltiplo de bel, unidade de medida do nível de intensidade da sensação sonora (β), representado matematicamente por:

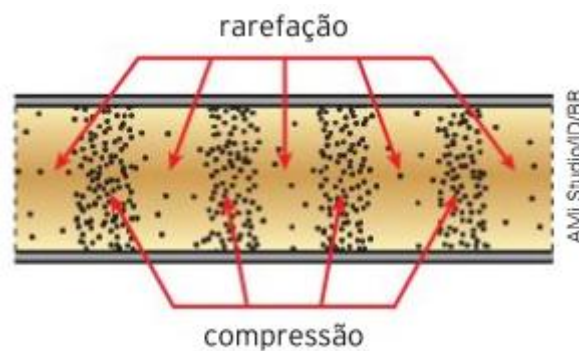
$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

O valor de I_0 é definido como o limiar da audição ou o silêncio e vale $10^{-12} W/m^2$.

Tubos Sonoros

Muitos instrumentos musicais produzem som através de tubos, o que produz esses sons é a capacidade dos tubos sonoros vibrarem a coluna de ar dentro deles, criando uma onda longitudinal capaz de criar áreas de compressão e rarefação.

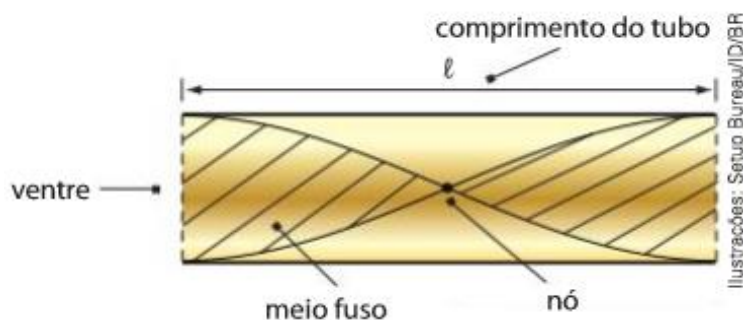
Figura 14 – Representação de uma onda no interior de um tubo



Fonte: Ser protagonista box: física

Nas regiões de compressão é onde ficam os nós e a pressão é máxima, nas regiões de rarefação se localizam os ventres e a pressão é mínima.

Figura 15 – Propriedades de uma onda no interior de um tubo



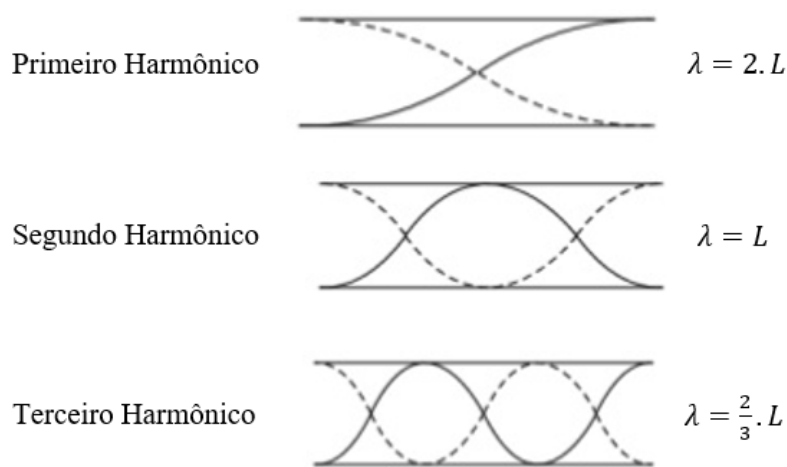
Fonte: Ser protagonista box: física

Os tubos se classificam de acordo com a configuração de suas extremidades, elas podem ser abertas ou fechadas, assim temos os tubos sonoros abertos onde as duas extremidades são abertas representados nas figuras acima e os tubos sonoros fechados, onde uma extremidade é aberta e a outra é fechada.

Tubo Sonoros Abertos

Como já discutido os tubos abertos são com as duas extremidades abertas e para determinarmos o comprimento de uma onda podemos medir o comprimento de um pico até o seguinte, então se medirmos de um vale até um pico teremos metade do comprimento de onda, então para a figura abaixo que representa o primeiro harmônico podemos escrever que o comprimento de onda é igual duas vezes o comprimento do tubo.

Figura 16 – Harmônicos nos tubos abertos



Fonte: Adaptado de João L.P.

Pelas representações acima vemos que o comprimento de onda varia dependendo do harmônico que estamos falando e representamos os harmônicos pelo número dele e representamos pela letra n , então temos $n = 1$, $n = 2$ e assim por diante. Observando o comportamento do comprimento de onda para cada harmônico podemos escrever a seguinte equação para qualquer harmônico.

$$\lambda = \frac{4.L}{2.n}$$

Ainda podemos reescrever a equação $v = \lambda.f$ em função do comprimento do tubo e do harmônico ao qual se está tratando.

$$f_n = \frac{n.v}{4.L}$$

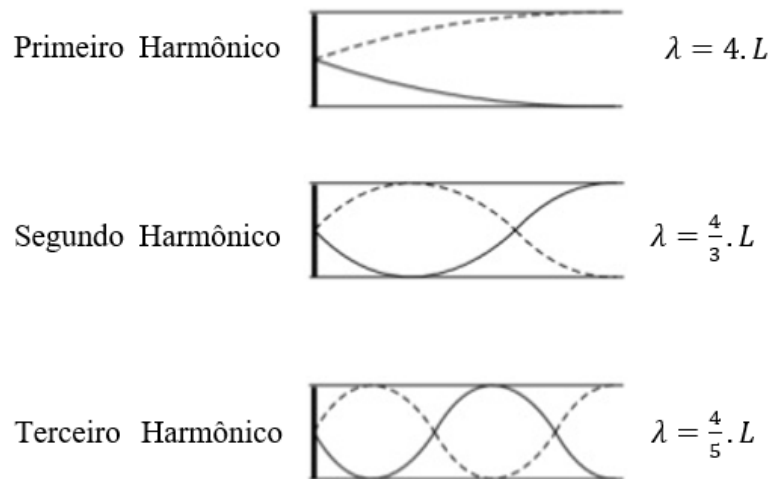
Em que:

- f_n : frequência
- n : número harmônico
- v : velocidade do som
- L : comprimento do tubo

Tubos Sonoros Fechados

Os tubos sonoros fechados têm uma configuração dos harmônicos diferente dos abertos, pois agora temos uma das extremidades aberta e a outra fechada. Ao analisarmos o primeiro harmônico vamos constatar que há a representação da quarta parte de um comprimento de onda, ou seja, o comprimento de onda vale quatro vezes o comprimento do tubo.

Figura 17 – Harmônicos nos tubos fechados



Fonte: Adaptado de João L.P.

Notamos que só existem números ímpares dividindo o 4, isso significa que só existem harmônicos ímpares quando estamos tratando dos tubos sonoros fechados. Genericamente o comprimento de onda pode ser escrito como $\frac{4}{n}. L$, mas para podermos usar a ordem dos harmônicos iguais aos tubos sonoros abertos ($n = 1, 2, 3, \dots$) escrevemos:

$$\lambda = \frac{4. L}{(2n - 1)}$$

E reescrevendo a equação que descreve a velocidade da onda para sabermos a frequência em termos do comprimento do tubo e do número do harmônico.

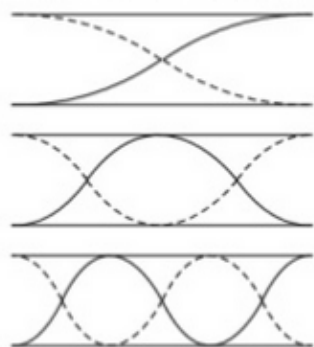
$$f_{(2n-1)} = \frac{(2n - 1). v}{4. L}$$

Identificando com qual tipo de tubos sonoros estamos trabalhando é possível determinarmos o número harmônico (n) através da quantidade de nós que se apresenta na representação da onda dentro do tubo. Isso vale tanto para tubos sonoros abertos quanto fechados.

➤ ROTEIRO PARA O EXPERIMENTO DO TUBO SONORO

Dependendo de como estão configuradas as extremidades dos tubos, podemos ter tubos abertos ou tubos fechados. Sendo que os tubos sonoros abertos têm as duas extremidades livres, como representado na figura. Nesse caso, a frequência pode ser encontrada pela equação (1).

Figura 18 – Tubos Abertos

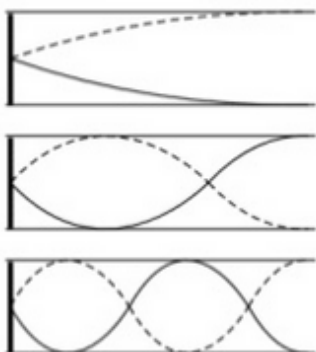


$$f_n = \frac{nv}{4L} \quad n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots \quad (1)$$

Fonte: Adaptado de João L.P.

Os tubos sonoros fechados têm uma extremidade aberta e outra fechada, nessa configuração temos apenas os harmônicos ímpares e a frequência pode ser obtida pela equação (2).

Figura 19 – Tubos Fechados



$$f_{(2n-1)} = \frac{(2n-1) \cdot v}{4 \cdot L} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

Fonte: Adaptado de João L.P.

Para as duas equações f é a frequência da onda, n é número do harmônico, v é a velocidade do som e L o comprimento do tubo. As duas equações acima derivam da equação fundamental das ondas que relaciona a velocidade v , o comprimento de onda λ e a frequência da onda f , descrita pela seguinte relação.

$$v = \lambda f \quad (3)$$

MATERIAIS: -Amplificador
- Alto-falante
- Suporte para o alto-falante
- Tubo sonoro principal
- Êmbolo
- Tubo sonoro secundário
- 2 *Smartphones* com o aplicativo *phyphox*

OBJETIVO: Determinar a velocidade do som.

PROCEDIMENTO

Para auxiliar a montagem do experimento foi criado um vídeo demonstrando os componentes do tubo e como usá-los. Para acessar o vídeo¹ faça uso do código abaixo.

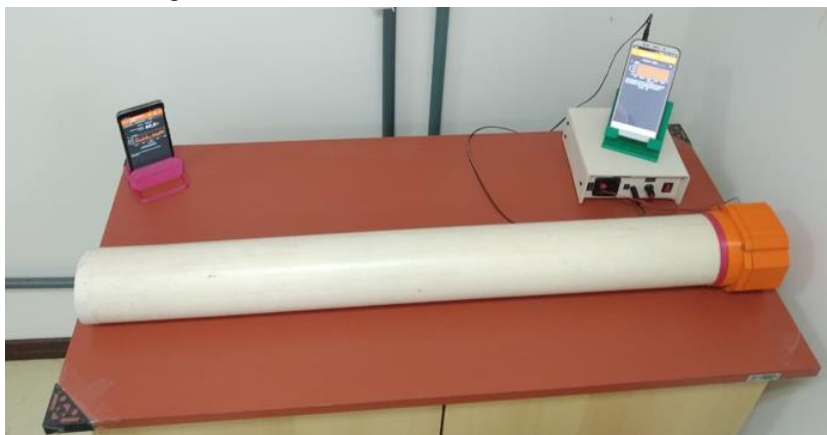
Figura 20 – *QR Code* para acessar orientações para a montagem



Fonte: O autor

1ª ETAPA: Usando o conjunto disponibilizado, monte a configuração de tubo aberto usando o tubo primário e secundário, como demonstrado na figura 20.

Figura 21 – Harmônicos nos tubos fechados



Fonte: O autor

¹ <https://youtu.be/bFh4ZWwj61E>

2ª ETAPA: Conecte um *smartphone* ao conjunto do alto-falante.

- ✓ Abra o aplicativo *phyphox*;
- ✓ Selecione a opção gerador de tom;
- ✓ Nessa opção será definida a frequência da onda sonora.

3ª ETAPA: Posicione um segundo *smartphone* de acordo com a montagem da figura 20.

- ✓ Abra a opção amplitude de áudio e aperte o *play*;
- ✓ Vá na aba calibração e aperte calibrar;
- ✓ Volte para a aba amplitude, deixe o *smartphone*, com o microfone, nas proximidades do alto-falante e do tubo.

4ª ETAPA: Movimentando o tubo secundário, que é a parte móvel da montagem, encontre dois picos ou vales consecutivos.).

- ✓ Para identificar os vales é preciso encontrar a posição em que a opção amplitude do áudio mostre o menor valor no nível da pressão sonora;
- ✓ Para identificar os picos, encontrar a posição onde tenha o maior valor no nível da pressão sonora.

5ª ETAPA: Após coletar os dados do tubo aberto, preencha a tabela 5 abaixo.

6ª ETAPA: Monte a configuração de tubo fechado usando o tubo primário e o êmbolo, como demonstrado na figura 21.

- ✓ Mantenha as etapas “2” e “3”;
- ✓ Para realizar a coleta de dados fazer o mesmo da etapa “4”, mas movimentando o êmbolo ao invés do tubo secundário.

Figura 22 – Harmônicos nos tubos fechados



Fonte: O autor

7ª ETAPA: Determinação da velocidade do som.

- ✓ Meça a distância entre dois picos ou vales para diferentes valores de frequência e preencha a tabela abaixo;
- ✓ Usando a equação (3), determine a velocidade do som nos tubos abertos. Faça o mesmo para os tubos fechados.

Tabela 5 – Dados do experimento tubos sonoros

Tubo Aberto			Tubos Fechados		
f (Hz)	λ (m)	v (m/s)	f (Hz)	λ (m)	v (m/s)

Fonte: O autor

8ª ETAPA: Apresente os cálculos para a velocidade do som, v e determine a velocidade média, \bar{v} .

- ✓ Compare o valor obtido \bar{v} com o valor esperado no ar ao nível do mar; não esqueça de levar em conta a temperatura do ambiente para considerar o valor teórico, se possível através dessa comparação determine a temperatura no dia da realização do experimento.

Bibliografia

Curso do Blog – Termologia, Óptica e Ondas, **Os Fundamentos da Física**, 2017. Disponível em:<http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2017/11/cursos-do-blog-termologia-optica-e-ondas_14.html>. Acesso em: 06/01/2021

Gaspar, Alberto. **Compreendendo a física: ensino médio. Volume 2** – Editora Ática, 2010.

Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl. **Fundamentos de física**. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2009 vol 2.

João, L.P. **Acústica**, Slideshare. Disponível em:<<https://www.slideshare.net/jlp1973/fenmenos-ondulatrios-ondas-estacionrias>>. Acesso em: 06/01/2021

Lage, Eduardo. **Pêndulo Simples**, Revista Ciência Elementar, 2018. Disponível em:<<https://rce.casadasciencias.org/rceapp/pdf/2018/054/>>. Acesso em: 06/01/2021

Nussenzveig, H. Moysés. **Curso de Física Básica 2: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor**. 4ª edição. São Paulo, SP: Edgar Blücher, 2002.

O. Helene e V. R. Vanin, **Tratamento estatístico de dados em Física Experimental**, Ed. Edgard Blücher, 2ª Edição (1991)

Ondas transversais e longitudinais, mpeac::sabrina. Disponível em:<<http://boltz.ccne.ufsm.br/st12/?q=node/70>>. Acesso em: 06/01/2021

PhET. **Laboratório do Pêndulo**. Disponível em:<https://phet.colorado.edu/sims/html/pendulum-lab/latest/pendulum-lab_pt_BR.html>. Acesso em: 11 de janeiro de 2021.

PhET. **Massas e Molas**. Disponível em:<https://phet.colorado.edu/sims/html/masses-and-springs/latest/masses-and-springs_pt_BR.html>. Acesso em: 11 de janeiro de 2021.

Ser protagonista box: **Física, ensino médio: volume único** /organizadora Edições SM; obra coletiva concebida, desenvolvida e produzida por Edições SM. - 1. ed. – São Paulo: Edições SM, 2014. – (Coleção ser protagonista box

Tipler, Paul. **Física, Vol 1** - Guanabara Dois, 4a. ed. – 2000

Apêndice 1 – Guia do professor

Este guia traz algumas dicas para facilitar o uso dos experimentos desenvolvidos neste produto educacional.

I. Roteiro para o Experimento do Sistema Massa-Mola

- Desenvolver os conhecimentos prévios necessários para a realização do experimento como massa, constante elástica da mola e período.
- O objetivo do experimento é determinar a constante elástica da mola, então é necessário discutir como obtê-lo a partir da equação do período.
- Obtêm-se os valores dos períodos para preencher a tabela a partir do gráfico senoidal produzido pelo aplicativo *phyphox*, existem dois métodos: exportando os dados em uma tabela Excel ou através do gráfico pegando os valores de dois picos consecutivos.
- É válido debater que o período depende apenas da massa e da constante elástica e independe da aceleração da gravidade, isso visando diferenciar o comportamento do sistema massa-mola e do pêndulo simples.

II. Roteiro para o Experimento do Pêndulo Simples

- Para o pêndulo simples valem os mesmos pontos do sistema massa-mola, mas os conhecimentos prévios necessários são comprimento e a aceleração da gravidade.
- O objetivo é determinar a aceleração da gravidade. O método para obter a partir da equação do período é a mesma do sistema massa-mola, para obter o período também segue o mesmo procedimento.
- O debate agora é para demonstrar que o período do pêndulo simples independe da massa, dependendo apenas do comprimento do fio que sustenta a massa e da aceleração da gravidade.

III. Roteiro para o Experimento do Tubo Sonoro

- Os conhecimentos prévios necessários para realizar o experimento são o comportamento das ondas sonoras nos tubos abertos e fechados, o conceito de nós e ventres das ondas dentro dos tubos, comprimento de onda, frequência e velocidade escalar, além do conhecimento de comprimento linear.
- O objetivo do experimento é determinar a velocidade do som usando a configuração aberta e fechada do tubo.
- Para determinarmos a velocidade do som é necessário saber a frequência da onda sonora que sai da caixa de som, podemos definir a frequência através do aplicativo *phyphox* na opção gerador de tom, mas também é possível usar outro meio de preferência e também, através do aplicativo, na opção espectro de áudio aferir o valor da frequência
- Também é preciso saber o comprimento de onda para calcular a velocidade do som. Para a configuração do tubo fechado temos um êmbolo que se move no interior do tubo e no tubo aberto há um tubo secundário que também se move no

interior do tubo, conforme movemos o êmbolo e o tubo secundário alteramos o comprimento do tubo sonoro e fica perceptível que o nível de intensidade sonora varia, para medirmos essa variação usamos a opção amplitude de áudio no aplicativo *phyphox*. Determinando a frequência escolhida e variando o comprimento do tubo encontraremos valores de máximos consecutivos, a distância entre esses dois picos corresponde a meio comprimento de onda, normalmente esse valor é obtido em centímetros e precisamos trabalhar com ele em metros

- Recomenda-se usar frequências entre 300 Hz e 1800 Hz, pois as frequências nesse intervalo são as que melhor funcionaram para o experimento, principalmente começando por 330 Hz e ir variando a cada 110 Hz.
- Se for necessário realizar o experimento em mais de um dia é possível discutir a influência da temperatura e da pressão atmosférica na velocidade do som no ar.

Apêndice 2 – Material de apoio

Atualmente existem diversos materiais de apoio disponíveis para usarmos em nossas aulas, um recurso que é muito abundante atualmente são vídeos que ensinam diversos assuntos. Portanto segue uma lista de sugestões disponíveis no *YouTube*.

A lista abaixo é do canal Chama o Físico de responsabilidade do Thales Rodrigues

- Sistema massa-mola
<https://youtu.be/dUb4QTNjU7I>
- Pêndulo Simples
<https://youtu.be/VDaFXRQNC3E>
- Harmônico Fundamental
https://youtu.be/vJNYHb7_fp8
- Tubos sonoros
https://youtu.be/odg_v408zK0

Os vídeos a seguir são produções do canal Ciência Todo Dia do Pedro Loos

- Onda
<https://youtu.be/M2D5-zXID6A>
- Som
<https://youtu.be/WLM6-By0qBg>

O seguinte vídeo é uma produção realizada para ser usado com os alunos, devido as aulas terem sido remotas, e serve de apoio para demonstrar como realizar a montagem e o funcionamento do experimento

<https://youtu.be/bFh4ZWwj61E>