

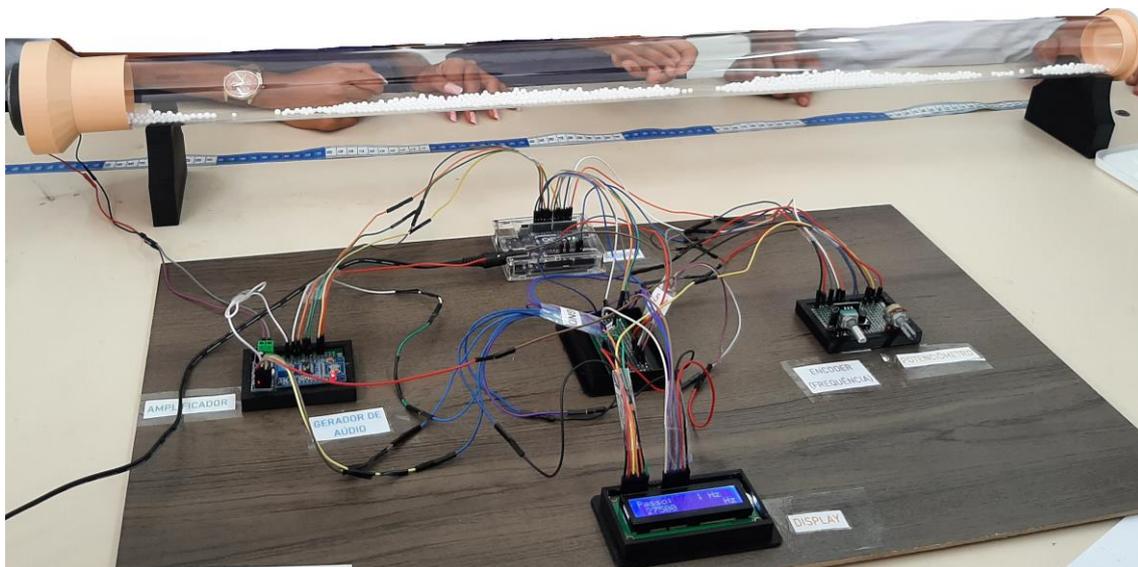
# Apêndice I

## Produto Educacional



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

## PRODUTO EDUCACIONAL



**Figura 1.** Experimento do tubo de Kundt

**CONSTRUÇÃO DE UM TUBO DE KUNDT CONTROLADO POR ARDUINO  
PARA O ENSINO DE ONDAS ESTACIONÁRIAS**

**SILVIO OLIVEIRA COSTA SILVA**

São Cristóvão - SE  
Julho/2022

# **CONSTRUÇÃO DE UM TUBO DE KUNDT CONTROLADO POR ARDUINO PARA O ENSINO DE ONDAS ESTACIONÁRIAS**

**SILVIO OLIVEIRA COSTA SILVA**

Produto Educacional de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Sergipe no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:  
Prof. Dr. Edvaldo Alves de Souza Junior

São Cristóvão - SE  
Julho/2022

## Sumário

Apresentação.....	86
Produto Educacional.....	87
Montagem do Circuito.....	87
Instalação do Software Arduino .....	92
Sketch do Arduino .....	96
Montagem do Tubo de Kundt.....	101
Sequência Didática .....	103
Apêndice A Questionário Investigativo .....	110
Apêndice B Slides Ondas Sonoras .....	111
Apêndice C Roteiro da Prática .....	119
Apêndice D Tabela de Anotações .....	120
Apêndice E Problema Contextualizado .....	121
Apêndice F Questionário Auto Avaliativo .....	122
Apêndice G Medidas dos materiais confeccionados .....	123
Referências Bibliográficas.....	124

## Apresentação

O produto educacional apresentado na sequência é fruto da dissertação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, da Sociedade Brasileira de Física, polo UFS em São Cristóvão/SE, denominada “Construção de um tubo de Kundt controlado por Arduino para o ensino de ondas estacionárias”.

O projeto proposto tem como finalidade a construção do experimento tubo de Kundt, utilizando uma linguagem via Arduino, para o estudo de ondas estacionárias e frequências de ressonância, tendo em vista a produção de uma aprendizagem colaborativa e construtivista que propicie um ensino de Física mais atraente e eficaz. Toda sua elaboração, inclusive a sugestão de uma sequência didática, estão descritas nos tópicos seguintes.

O experimento foi idealizado com o intuito de servir como instrumento para favorecer o desenvolvimento das funções mentais superiores dos alunos, na busca de alcançar a Zona de Desenvolvimento Proximal. Essa Zona deve ser acionada através das interações entre eles e seus signos já internalizados e diante da mediação do professor para obtenção de uma aprendizagem contextualizada, baseada na teoria Sociointeracionista de Vygotsky.

O produto desenvolvido pode ser aplicado utilizando uma abordagem STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*), propiciando o desenvolvimento de habilidades e competências ao abordar os conteúdos de forma integrada com as novas tecnologias e contextualizada com suas aplicações nas carreiras afins.

Com isso, este material se apresenta como uma ferramenta interessante para os professores de Física na contribuição do processo de ensino e aprendizagem, sendo passível de adequações para as suas realidades. Cabe salientar que este produto foi aplicado em sala de aula, obtendo resultados que atestam sua viabilidade para os professores que se disponham a utilizá-lo no Ensino Médio.

## Produto Educacional

O produto educacional consiste em uma sequência didática para aplicação do experimento tubo de Kundt utilizando a plataforma Arduino para o estudo de ondas estacionárias e frequências de ressonância de forma interativa.

A elaboração do experimento será descrita nos seguintes subtópicos:

- **Montagem do circuito**, com a indicação de todos os dispositivos utilizados e suas ligações com o Arduino;
- **Instalação do software Arduino**, demonstra como instalar o programa que carregará o microprocessador;
- **Sketch do Arduino**, descreve o código criado para a geração de ondas sonoras senoidais e demonstra como executá-lo no software e carregá-lo na placa Arduino;
- **Montagem do tubo de Kundt**, apresenta os materiais utilizados e o passo a passo da armação do experimento e seu acoplamento com o circuito montado.

A sequência didática de implementação do experimento é descrita na seção **Sequência Didática**, apresentando como deve ser feita a aplicação em sala de aula.

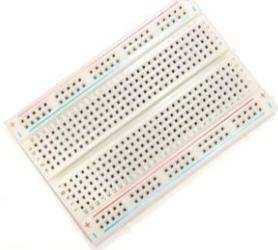
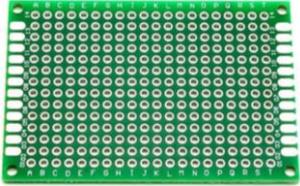
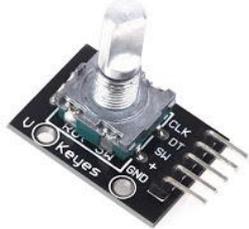
## Montagem do circuito

A tabela 1 apresenta os dispositivos utilizados para montagem do circuito responsável pela geração de ondas sonoras senoidais, com o detalhamento de suas funções.

**Tabela 1.** Dispositivos utilizados na montagem do circuito com suas funções e ilustrações.

DISPOSITIVO	FUNÇÃO	ILUSTRAÇÃO
<b>Arduino UNO R3</b>	Controlar todos os dispositivos enviando os comandos inseridos no Sketch (programação).	 <b>Fonte:</b> Arduino.cc <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Disponível em: <<https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3?selectedStore=us>>. Acesso em: 15 jul. 2022.

<p><b>Cabo USB Arduino</b></p>	<p>Fazer a ligação (comunicação) entre a placa Arduino e o computador.</p>	 <p><b>Fonte:</b> arduinoeletronica<sup>2</sup></p>
<p><b>Protoboard</b></p>	<p>Fazer uma extensão da saída de 5V e do GND da placa Arduino para serem ligadas aos outros componentes do circuito.</p>	 <p><b>Fonte:</b> shopee<sup>3</sup></p>
<p><b>Placa de circuito interno</b></p>	<p>Alternativa mais barata para substituir a protoboard. A desvantagem é que as trilhas nessa placa devem ser feitas com o uso de um ferro de solda.</p>	 <p><b>Fonte:</b> institutodigital<sup>4</sup></p>
<p><b>Jumpers</b></p>	<p>Fazer as ligações entre os dispositivos.</p>	 <p><b>Fonte:</b> filipeflop<sup>5</sup></p>
<p><b>Encoder Rotativo</b></p>	<p>Utilizado para selecionar as frequências que serão emitidas pelo gerador de áudio. Ele possui um botão (pressionando o eixo central) que servirá para adiantar o passo na seleção das frequências.</p>	 <p><b>Fonte:</b> arduinoecia<sup>6</sup></p>

<sup>2</sup> Disponível em: <<https://www.arduinoeletronica.com.br/produto/cabo-usb-tipo-a-b-perfeito-para-arduino-uno-mega-e-leonardo/>>. Acesso em: 19 set. 2022.

<sup>3</sup> Disponível em: <<https://shopee.com.br/Protoboard-Breadboard-De-400-Pontos-Furos-i.303566966.5953677982>>. Acesso em: 19 set. 2022.

<sup>4</sup> Disponível em: <<https://www.institutodigital.com.br/produto/placa-de-circuito-impresso-ilhada-de-fibra-de-vidro-5x7-cm/>>. Acesso em: 19 set. 2022.

<sup>5</sup> Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/jumpers-macho-macho-x40-unidades/>>. Acesso em: 19 set. 2022.

<sup>6</sup> Disponível em: <<https://www.arduinoecia.com.br/como-usar-encoder-rotativo-ky-040-arduino/>>. Acesso em: 19 set. 2022.

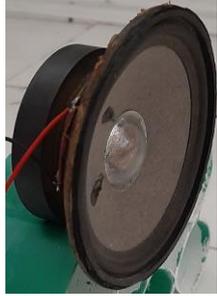
<p><b>Botão</b></p>	<p>Reduzir o passo na seleção das frequências emitidas pelo gerador de áudio.</p>	 <p><b>Fonte:</b> vidadesilicio<sup>7</sup></p>
<p><b>Potenciômetro 10K</b></p>	<p>Usado para controlar o contraste do LCD, e deve ser ajustado sempre que ligar o display para poder visualizar bem cada caractere.</p>	 <p><b>Fonte:</b> fermarc<sup>8</sup></p>
<p><b>Display LCD 16x2</b></p>	<p>Utilizado para visualizar as frequências que estão sendo emitidas e o passo utilizado para suas variações.</p>	 <p><b>Fonte:</b> próprio autor</p>
<p><b>Gerador de áudio AD 9850</b></p>	<p>Produzir ondas sonoras senoidais de frequências variadas. Ele é capaz de produzir frequências de 0 a 30 Mhz.</p>	 <p><b>Fonte:</b> curtocircuito<sup>9</sup></p>
<p><b>Amplificador LM 386</b></p>	<p>Amplificar e enviar o sinal de áudio do gerador para ser reproduzido no alto-falante.</p>	 <p><b>Fonte:</b> submarino<sup>10</sup></p>

<sup>7</sup> Disponível em: < <https://www.vidadesilicio.com.br/produto/chave-tactil-12x12/>>. Acesso em: 19 set. 2022.

<sup>8</sup> Disponível em: < <https://www.fermarc.com/potenciometro-linear-10k-120>>. Acesso em: 19 set. 2022.

<sup>9</sup> Disponível em: < <https://www.curtocircuito.com.br/modulo-gerador-de-frequencia-ate-40mhz-ad9850.html>>. Acesso em: 19 set. 2022.

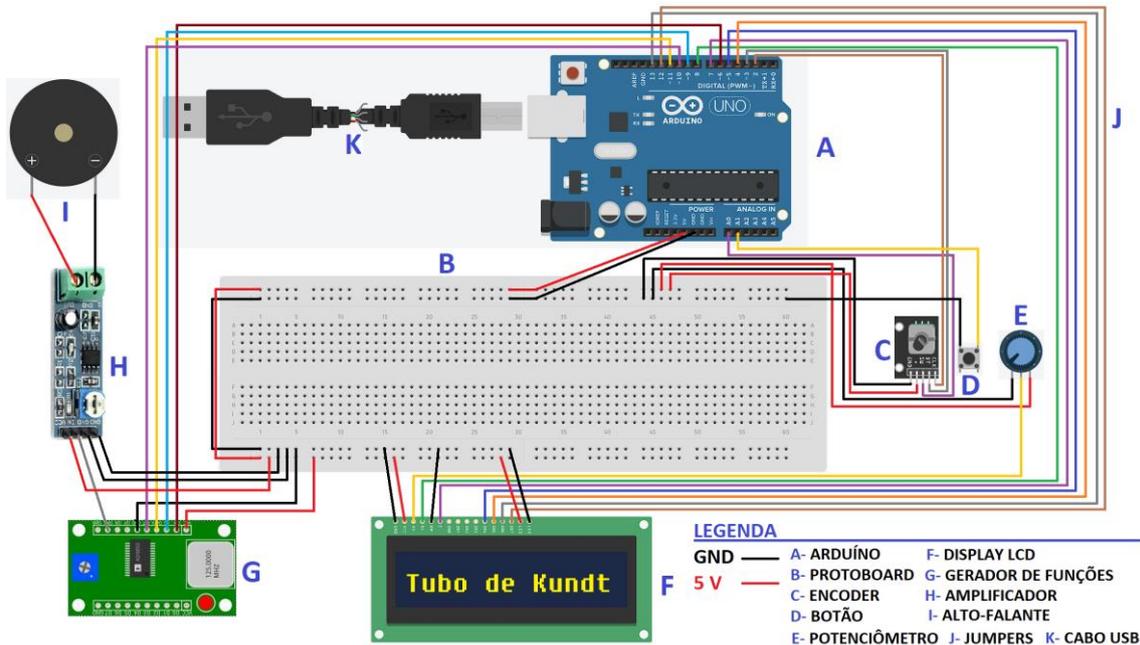
<sup>10</sup> Disponível em: < <https://www.submarino.com.br/produto/4059483001>>. Acesso em: 19 set. 2022.

<p><b>Alto-falante</b> <b>3 W 5 Ω</b></p>	<p>Emitir a onda sonora amplificada dentro do tubo.</p>	 <p><b>Fonte:</b> próprio autor</p>
---	---	--

Todos os dispositivos utilizados para montagem do circuito podem ser encontrados em lojas de eletrônica ou em sites de vendas deste seguimento.

O circuito tem a finalidade de produzir ondas sonoras senoidais com frequências variadas que podem ser controladas pelo encoder e visualizadas pelo display LCD. A figura 2 exibe a esquematização das ligações do circuito. Todas as ligações foram feitas através dos Jumpers.

**Figura 2.** Esquematização das ligações do circuito.



**Fonte:** PRÓPRIO AUTOR.

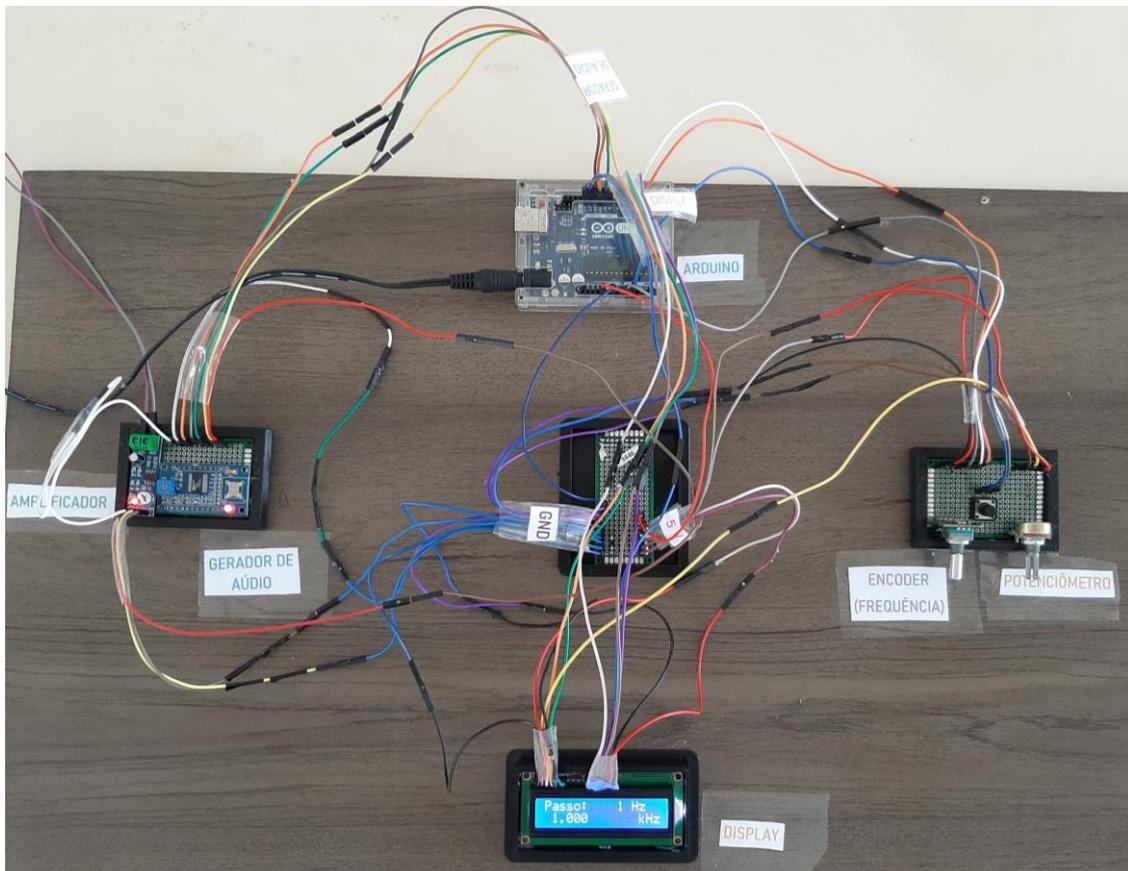
Para facilitar a visualização das conexões entre os dispositivos e os pinos do Arduino, foi elaborada a tabela 2.

**Tabela 2.** Conexões entre os dispositivos e o Arduino.

DISPOSITIVO	PINO DO DISPOSITIVO	PINO DO ARDUINO
Encoder Rotativo	CLK	2
	DT	3
	SW	A0
	+	5 V
	GND	GND
Botão	ESQUERDO	GND
	DIREITO	A1
Potenciômetro 10K	ESQUERDO	GND
	MEIO	V0 (PINO DO DISPLAY)
	DIREITO	5 V
Display LCD 16x2	GND	GND
	VCC	5 V
	V0	MEIO (PINO DO POTENCIÔMETRO)
	RS	8
	RW	GND
	E	7
	D4	5
	D5	4
	D6	13
	D7	12
	A	5 V
	K	GND
	Gerador de áudio AD 9850	VCC
W_CLK		6
FU_UD		9
DATA		11
RESET		10
GND		GND
SINE OUTPUT 1		IN (PINO DO AMPLIFICADOR)
Amplificador LM 386	VCC	5V
	IN	SINE 1 (PINO DO GERADOR DE ÁUDIO)
	GND	GND

	GND	GND
Alto-falante 3 W 5 $\Omega$	+	OUT (PINO DO AMPLIFICADOR)
	-	GND DO AMPLIFICADOR

**Figura 3.** Circuito montado.



**Fonte:** PRÓPRIO AUTOR.

Após a montagem do circuito (figura 3) é necessário instalar o software Arduino no computador, etapa descrita no tópico **Instalação do software Arduino**. Na sequência deve-se inserir o sketch no software para carregar a placa Arduino, esse processo está retratado na seção **Sketch do Arduino**.

### **Instalação do software Arduino**

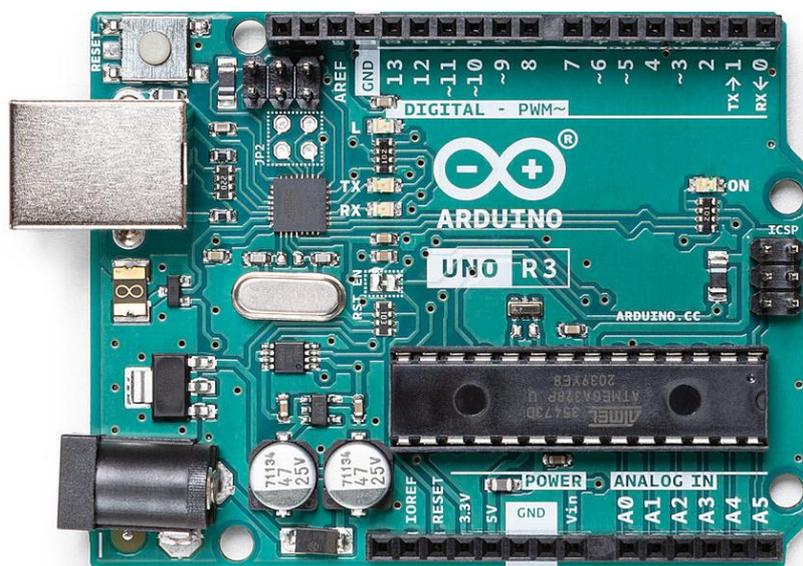
O Arduino é um microcontrolador de código aberto (hardware e software) que foi idealizado pelo italiano Massimo Banzi, juntamente com outros colaboradores, no Ivrea Interaction Design Institute, como um instrumento acessível de prototipagem rápida, dirigida a estudantes de design e artes sem nenhuma formação em eletrônica e programação. Com ele é possível controlar diversos circuitos utilizando uma linguagem

de programação Arduino (baseada em Wiring), e o Software Arduino (IDE), baseado em Processing (ARDUINO.CC, 2018).

O hardware da placa é constituído pelo microprocessador Atmega da Atmel de 8 bits, componentes de entrada e saída e memória. O software é uma IDE (Integrated Development Environment), baseado em uma linguagem de programação C++, usada para compilar pequenos programas denominados sketch, que são enviados para a placa Arduino utilizando uma comunicação serial. É o sketch que irá comandar as ações da placa em operação. Uma vez que o Arduino já esteja carregado com a programação, ele pode executar as tarefas de forma autônoma, sendo ligado diretamente a uma fonte de tensão (recomendada de 7 a 12 V).

Uma das grandes vantagens que levam a utilização do Arduino é o seu baixo custo, o modelo UNO R3 (figura 4), por exemplo, que foi utilizado neste produto, custa em média R\$ 60,00. Outro ponto interessante é que possui uma plataforma de código aberto, podendo compartilhar códigos e experiências com todos que estejam interessados. No site arduino.cc, existem vários projetos e possibilidades de utilização da placa disponíveis, além de vários fóruns à disposição para sanar dúvidas.

**Figura 4.** Arduino Uno é uma placa microcontroladora baseada no ATmega328P.



**Fonte:** <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3?selectedStore=us>

A plataforma Arduino possui uma infinidade de aplicações que podem ser úteis para o Ensino de Física, como utilização de sensores de temperatura, pressão, umidade, luz, ultrassônicos (para medição de distâncias), de gases, entre outros. Com ele também

é possível montar circuitos eletrônicos com leds, motores, resistores, capacitores e vários outros componentes. No trabalho em questão, o Arduino foi utilizado para criar um circuito gerador de ondas sonoras senoidais responsáveis pela formação das ondas estacionárias dentro de um tubo.

O download do software pode ser feito pelo site: <https://www.arduino.cc/en/software> (figura 5).

**Figura 5.** Página da internet para download do software Arduino.



## Transferências



### Arduino IDE 1.8.19

O software Arduino (IDE) de código aberto facilita a escrita de código e o upload para a placa. Este software pode ser usado com qualquer placa Arduino.

Consulte a página de [introdução](#) para obter instruções de instalação.

**CÓDIGO FONTE**

O desenvolvimento ativo do software Arduino é [hospedado pelo GitHub](#). Veja as instruções para [construir o código](#). Os arquivos de código-fonte da versão mais recente estão disponíveis [aqui](#). Os arquivos são assinados por PGP para que possam ser verificados usando [esta](#) chave gpg.

**OPÇÕES DE DOWNLOAD**

**janelas** Win 7 e mais recente  
**janelas** arquivo ZIP

**Aplicativo do Windows** Ganhe 8.1 ou 10 [Get](#)

**Linux** 32 bits  
**Linux** 64 bits  
**Linux** ARM 32 bits  
**Linux** ARM 64 bits

**Mac OS X** 10.10 ou mais recente

Notas de lançamento

Somas de verificação (sha512)

**Builds por hora**

Baixe uma **prévia da nova versão** com os recursos e correções de bugs mais atualizados.

**OPÇÕES DE DOWNLOAD**

**janelas**  
**Mac OS** 10.10 ou mais recente  
**Linux:** 32 bits, 64 bits, BRAÇO, ARM64

**ÚLTIMA ATUALIZAÇÃO** : 25 de abril de 2022, 03:52:49 GMT

**Versões anteriores**

Faça o download da versão anterior da versão atual, da versão clássica 1.0.x ou das versões beta antigas.

**OPÇÕES DE DOWNLOAD**

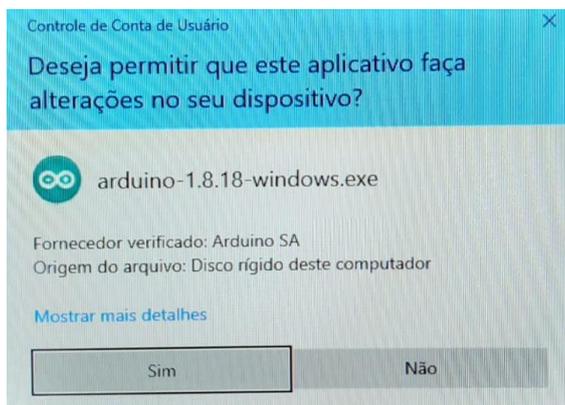
**Versão anterior 1.8.18**  
**Arduino 1.0.x**  
**Arduino 1.5.x beta**  
**Arduino 1.9.x beta**

**Fonte:** PRÓPRIO AUTOR.

Após entrar no site indicado, faça o download do software de acordo com o seu sistema operacional. No momento do download da versão atual 1.8.19, o site foi direcionado para uma página solicitando uma doação para seguir com o download. Para não precisar realizar essa doação, pode-se baixar a versão anterior 1.8.18, que também irá funcionar perfeitamente.

Após o término do download, abra a pasta de destino e click no aplicativo para fazer a instalação no computador (figura 6).

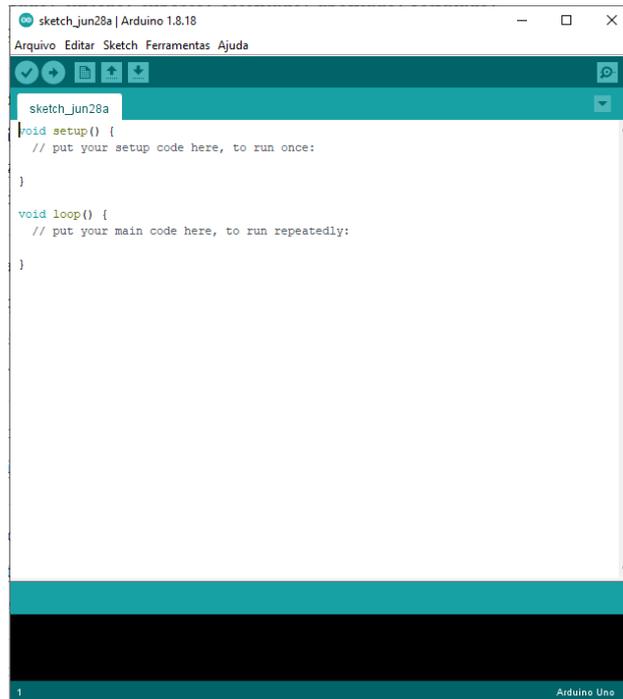
**Figura 6.** Instalação do software Arduino.



**Fonte:** PRÓPRIO AUTOR.

O sistema pedirá solicitação para instalar alguns softwares adicionais, aceite todos para completar a instalação. Ao término, aparecerá um ícone do programa na área de trabalho. A figura 7 mostra a tela ao abrir o software, o Arduino IDE, que é a interface de comunicação entre o computador e a placa Arduino. Nele será colocado o sketch para iniciar o funcionamento do circuito, processo exposto na seção **Sketch do Arduino**.

**Figura 7.** Tela inicial do Arduino IDE.



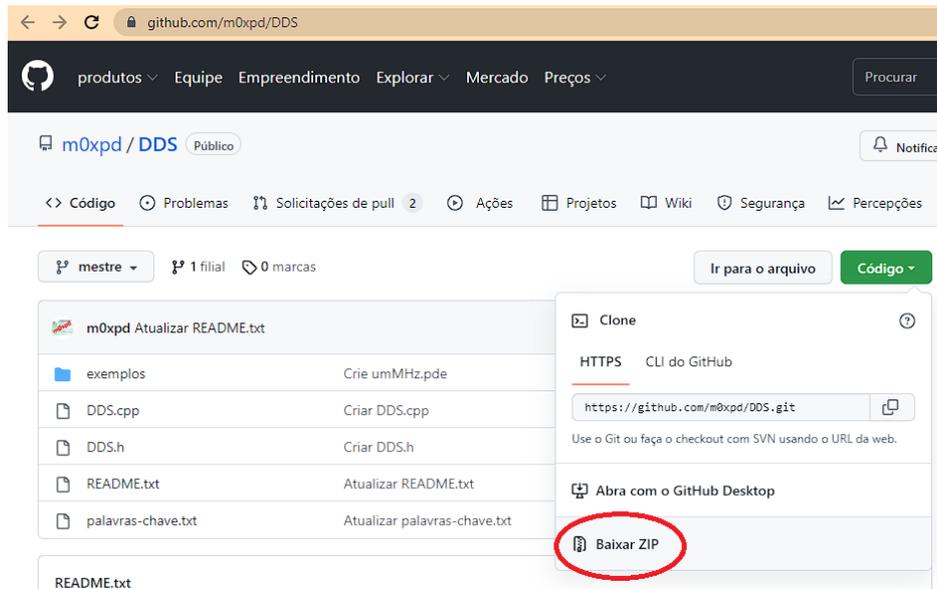
**Fonte:** PRÓPRIO AUTOR.

## Sketch do Arduino

O Sketch é o código (programação) que será utilizado para operar o circuito gerador de ondas sonoras e deverá ser escrito no Arduino IDE, onde será verificado e em seguida carregado para a placa Arduino.

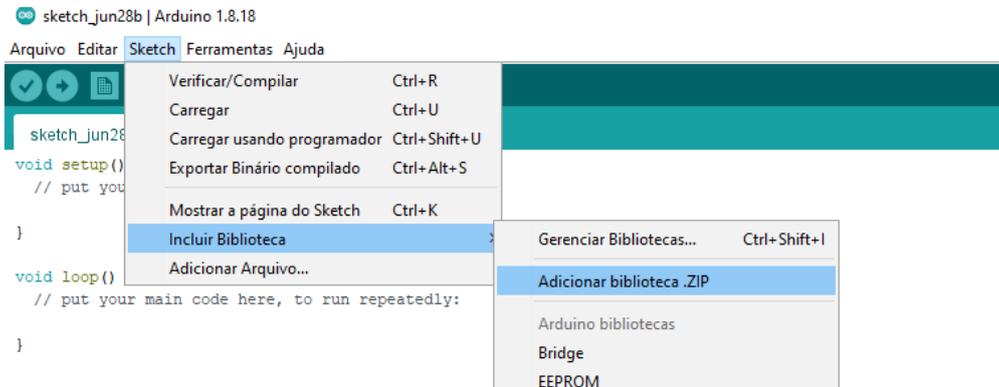
Para o funcionamento do código desenvolvido, há a necessidade de se utilizar **bibliotecas**, que são um conjunto de códigos responsáveis pela rotina de um determinado dispositivo que será gerenciado pelo Arduino. Algumas bibliotecas já estão presentes por padrão no Arduino IDE, já outras precisam ser instaladas. O método para instalação de novas bibliotecas consiste em realizar o seu download no formato compactado zip (figura 8) e depois incluí-la através do menu Sketch > Incluir Biblioteca > Adicionar biblioteca .ZIP, demonstrado na figura 9. Sempre que incluir uma nova biblioteca, deve-se fechar e reiniciar o Arduino IDE.

**Figura 8.** Como fazer o download de uma biblioteca no formato .ZIP.



**Fonte:** PRÓPRIO AUTOR.

**Figura 9.** Caminho para incluir uma nova biblioteca.



**Fonte:** PRÓPRIO AUTOR.

Para o projeto em questão, são utilizadas as seguintes bibliotecas:

- <DDS.h>: biblioteca responsável pelo gerador de áudio AD9850. A biblioteca está disponível para ser baixada no site: <https://github.com/m0xpd/DDS>;
- <Rotary.h>: biblioteca que gerencia o encoder rotativo. A biblioteca está disponível para download no site: <https://github.com/brianlow/Rotary>;
- <LiquidCrystal.h>: biblioteca atribuída ao gerenciamento do display LCD. A biblioteca já vem disponibilizada por padrão no Arduino IDE.

Após a inclusão das novas bibliotecas, o Sketch já pode ser escrito no Arduino IDE.

## SKETCH

```
#include <DDS.h> //biblioteca do AD9850
// Pinos do módulo AD9850:
const int W_CLK = 6;
const int FQ_UD = 9;
const int DATA = 11;
const int RESET = 10;
//double freq = 0;
DDS dds(W_CLK, FQ_UD, DATA, RESET); // Associação a biblioteca

#include <LiquidCrystal.h> //Biblioteca do LCD
LiquidCrystal lcd(8, 7, 5, 4, 13, 12); // Pinagem do LCD (RS,E,D4,D5,D6,D7)

#include <Rotary.h> //Biblioteca do Encoder

// Interrupção para o botão
#define stepPin1 A0 // Definindo os Pinos de interrupção do encoder
#define stepPin2 A1

Rotary r = Rotary(2, 3); // Associando os pinos a interrupção

// Frequência inicial
long unsigned int freq = 1000;

// Preparando vetor para escrever as unidades de frequência no LCD
char* stepText[11] = {" 1 Hz", " 10 Hz", " 50 Hz", "100 Hz", "500 Hz", " 1 kHz", "2.5
kHz",
    " 5 kHz", " 10 kHz", "100 kHz", "500 kHz"};

int stepPointer = 0; // Variável que indicará o passo de evolução da frequência
unsigned long incr = 0; //passo
String units = stepText[stepPointer];

void setup() {

  lcd.begin(16, 2); // Inicia o lcd de 16x2
  lcd.clear(); // Limpa o display

  dds.init();
  dds.trim(125000000); // Entra com a frequência do oscilador

  pinMode(2, INPUT_PULLUP); // Pinos direcionados a interrupção
  pinMode(3, INPUT_PULLUP);
```

```

pinMode(stepPin1, INPUT_PULLUP); //Pino para o botão de incremento do passo
no próprio encoder
pinMode(stepPin2, INPUT_PULLUP); //Pinos para o botão de decremento do passo

// Configura a interrupção do Encoder
PCICR |= (1 << PCIE2);
PCMSK2 |= (1 << PCINT18) | (1 << PCINT19);
sei();

//Atualiza o LCD
updateDisplay();
}
void loop()
{
    if (analogRead(stepPin1) <100 )
    {
        if (stepPointer < 10){ stepPointer++; delay(500);}
        updateDisplay(); }
    if (analogRead(stepPin2) <100) {
        if (stepPointer > 0){ stepPointer--; delay(500);}
        updateDisplay();
    } }
ISR(PCINT2_vect) {
    unsigned char result = r.process();
    if (result) {
        if (result == DIR_CW) {
            if ((freq + incr) <= 10000000) freq -= incr;
        } else {
            if ((freq - incr) >= 10) freq += incr;
        }
        if (freq <= 10) freq = 1000;
        if (freq >= 10000000) freq = 10000000;
    }
    dds.setFrequency(freq);
    updateDisplay();
}
void getStep() {
    switch (stepPointer) {
        case 0: incr = 1; break;
        case 1: incr = 10; break;
        case 2: incr = 50; break;
        case 3: incr = 100; break;
        case 4: incr = 500; break;
        case 5: incr = 1000; break;
        case 6: incr = 2500; break;
        case 7: incr = 5000; break;
        case 8: incr = 10000; break;
        case 9: incr = 100000; break;
        case 10: incr = 500000; break;
    } }
}

```

```

void updateDisplay() {
  getStep();
  units = stepText[stepPointer];

  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Passo:");
  lcd.setCursor(8, 0);
  lcd.print(units);

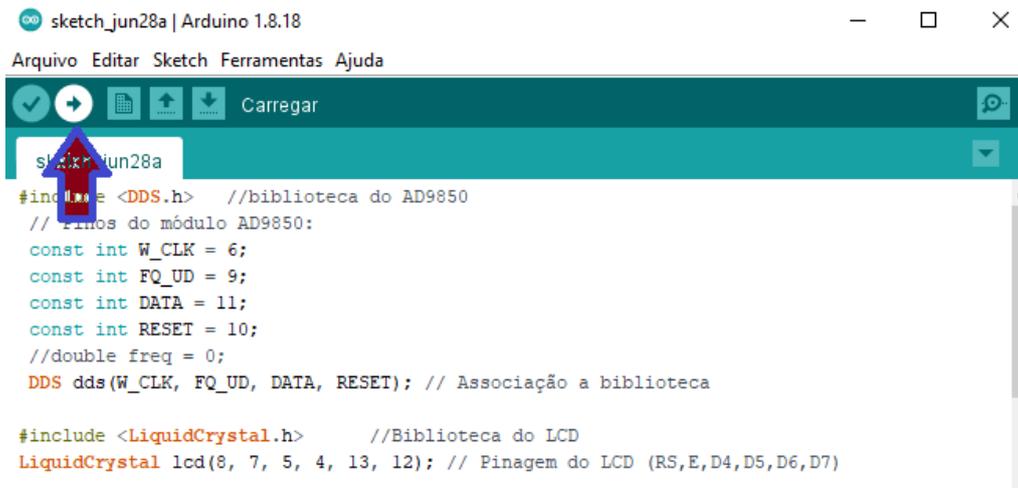
  if (freq < 1000)
  {
    lcd.setCursor(0, 1);
    if (freq < 1000) lcd.print(" ");
    if (freq < 100) lcd.print(" ");
    lcd.print(freq);
    lcd.setCursor(12, 1);
    lcd.print(" Hz");
  }
  else
  if (freq < 1000000) {
    lcd.setCursor(0, 1);
    if (freq < 10000) lcd.print(" ");
    lcd.print((float)freq/1000, 3);
    lcd.setCursor(12, 1);
    lcd.print(" kHz");
  } else {
    format(freq);
    lcd.setCursor(12, 1);
    lcd.print(" MHz");
  }
}

void format(long value) {
  int M = (value/1000000);
  int T100 = ((value/100000)%10);
  int T10 = ((value/10000)%10);
  int T1 = ((value/1000)%10);
  int U100 = ((value/100)%10);
  int U10 = ((value/10)%10);
  int U1 = ((value/1)%10);
  lcd.setCursor(4, 1);
  lcd.print(M);lcd.print(".");lcd.print(T100);lcd.print(T10);lcd.print(T1);
  lcd.print(",");lcd.print(U100);lcd.print(U10);lcd.print(U1);
}

```

Com o Sketch escrito e a placa Arduino ligada ao computador via cabo USB, basta clicar no botão carregar (figura 10) no Arduino IDE para que o código seja enviado para o hardware e ele possa gerenciar todo o circuito.

**Figura 10.** Botão para carregar o sketch no Arduino.



**Fonte:** PRÓPRIO AUTOR.

Com o circuito montado e o Arduino carregado com o Sketch, o seu funcionamento pode ocorrer de forma autônoma, sem ter mais a necessidade do computador, sendo apenas ligado a uma fonte externa de 12 V (figura 11).

**Figura 11.** Fonte externa de 12 V.



**Fonte:** google.com.

## Montagem do tubo de Kundt

A tabela 3 apresenta os materiais utilizados para a montagem do tubo de Kundt, juntamente com a descrição de cada um e sua imagem.

**Tabela 3.** Materiais utilizados na montagem do tubo de Kundt.

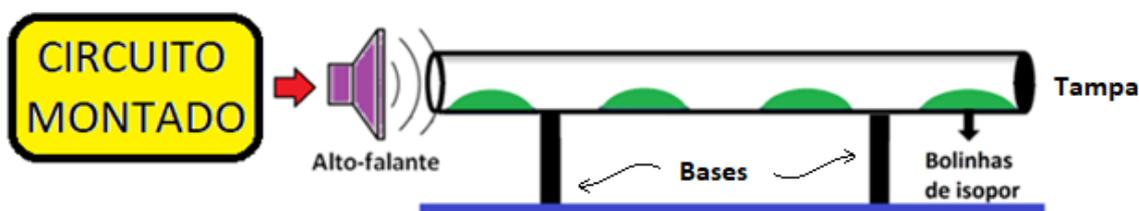
MATERIAL	DESCRIÇÃO	IMAGEM
<b>Tubo de acrílico 1 m</b>	Tubo de 1m de comprimento e diâmetro externo de 60 mm com 2 mm de parede.	 <p><b>Fonte:</b> próprio autor</p>
<b>Bolinhas de poliestireno</b>	Bolinhas de isopor de aproximadamente 4,0 a 5,0 mm.	 <p><b>Fonte:</b> próprio autor</p>
<b>Acoplador do alto-falante/tubo</b>	Peça utilizada para unir o alto-falante ao tubo de acrílico. As medidas dependeram do diâmetro do tubo e do alto-falante.	 <p><b>Fonte:</b> próprio autor</p>
<b>Tampa para o tubo</b>	Peça utilizada para fechar uma das extremidades do tubo de acrílico. As medidas dependeram do diâmetro do tubo.	 <p><b>Fonte:</b> próprio autor</p>
<b>Fita métrica</b>	Fita métrica com 1,5 m de comprimento.	 <p><b>Fonte:</b> próprio autor</p>
<b>Bases para o tubo</b>	Duas peças utilizadas para apoiar o tubo mantendo toda sua extensão em um mesmo nível.	 <p><b>Fonte:</b> próprio autor</p>

As bases para o tubo, o acoplador do alto-falante e a tampa para o tubo foram confeccionadas em uma impressora 3D. As medidas utilizadas estão no Apêndice G. Pode-se também utilizar madeira para produzir esses materiais, caso não tenha uma impressora 3D disponível.

As bolinhas de poliestireno e a fita métrica podem ser encontradas em armarinhos. Já o tubo de acrílico pode ser adquirido no site: <https://www.mercadolivre.com.br/>.

Para a montagem do experimento deve-se colocar uma pequena quantidade de bolinhas dentro do tubo, espalhando uniformemente. A tampa é utilizada para fechar uma das extremidades do tubo enquanto na outra extremidade é colocado o acoplador juntamente com o alto-falante. O tubo tem que ficar apoiado nas duas bases evitando qualquer desnível. A figura 12 ilustra como deve ficar a montagem.

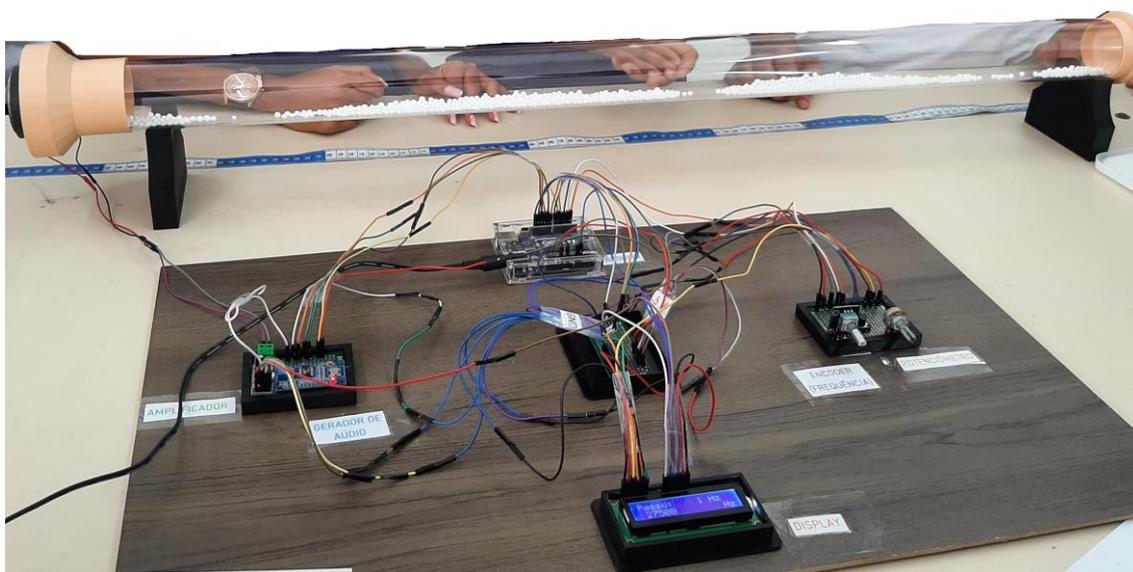
**Figura 12.** Esquemática do aparato experimental do tubo de Kundt.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

A figura 13 apresenta o experimento do tubo de Kundt com o circuito montado.

**Figura 13.** Experimento do tubo de Kundt com o circuito montado.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

## Sequência Didática

Para aplicação do experimento elaborou-se uma sequência didática com sete aulas de 50 minutos distribuídas em seis etapas. A separação em etapas deve-se ao fato de haver

uma etapa com a necessidade duas aulas para realização. A tabela 4 exibe um cronograma das tarefas aplicadas em cada etapa do processo.

**Tabela 4.** Cronograma da sequência didática.

<b>ETAPA</b>	<b>TAREFA</b>	<b>RESUMO</b>	<b>DURAÇÃO</b>
<b>01</b>	Questionário Investigativo	Aplicação de um questionário (apêndice A) para avaliar os conceitos prévios da turma sobre o tema que será proposto.	50 min
<b>02</b>	Aula expositiva	Apresentação de slides (apêndice B) contendo os principais tópicos necessários para o andamento da sequência didática.	50 min
<b>03</b>	Montagem e manuseio do circuito	Demonstração dos dispositivos do circuito e instruções de seu funcionamento. Produção de ondas sonoras com frequências variadas.	50 min
<b>04</b>	Experimento do tubo de Kundt	Os alunos foram desafiados a montarem o experimento do tubo de Kundt e manuseá-lo, observando o comportamento das bolinhas.	50 min
<b>05</b>	Roteiro da Prática	Criação de ondas estacionárias com as frequências de ressonância e formação dos harmônicos. Cálculo do número do harmônico e da velocidade do som no ar dentro do tubo.	100 min
<b>06</b>	Resolução de um Problema Contextualizado e de uma Auto Avaliação	Resolução em grupo de um problema (Apêndice E) envolvendo os conceitos trabalhados. Aplicação de uma Auto Avaliação individual (Apêndice F).	50 min

Para implementação da sequência didática, é importante que o professor observe a descrição detalhada de cada etapa do produto e, caso julgue necessário, realize algumas adaptações visando sua realidade no meio escolar, moldando-se ao número de alunos da

turma, recursos e espaço físico disponíveis, ou qualquer outra peculiaridade. Porém, não é recomendável que se faça alteração na ordem das etapas propostas.

### **ETAPA 01**

A primeira etapa se inicia com a aplicação de um questionário investigativo, apresentado no Apêndice A, com o intuito de identificar quais são os conhecimentos prévios dos alunos acerca do tema que será trabalhado durante todo o projeto. Serão abordados os conceitos de onda, som, onda estacionária, ressonância e tubos sonoros. Após coleta das respostas, o professor deve discutir com os alunos sobre o que foi perguntado no questionário e já começar a introduzir de forma expositiva os principais conceitos que serão trabalhados durante o processo. Ao final faz-se uma avaliação qualitativa sobre o conhecimento factual obtidos pelos alunos durante a aula através de uma breve arguição.

### **ETAPA 02**

Após análise das respostas do questionário aplicado na primeira etapa, realiza-se uma aula expositiva explicando os principais assuntos que serão abordados durante o experimento, focando nos pontos de maior déficit apresentados pela turma. A aula terá a utilização de slides (apêndice B), expondo as características das ondas sonoras, suas qualidades fisiológicas, a definição de ondas estacionárias, a formação de ventres e vales, harmônicos nos tubos sonoros, o experimento do tubo de Kundt e aplicação da equação da velocidade da onda. Também deve-se apresentar um vídeo demonstrando o funcionamento do experimento de Kundt (disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=qUiB\\_zd9M0k](https://www.youtube.com/watch?v=qUiB_zd9M0k)). Ao término da aula podem ser feitos alguns exemplos da aplicação da equação da velocidade da onda para verificação do aprendizado.

### **ETAPA 03**

Para essa fase a sala de aula ou laboratório (caso tenha na escola) deve estar preliminarmente preparado com o circuito previamente montado (figura 14), formado por um gerador de funções (áudio), um amplificador, um potenciômetro, um botão, um microcontrolador Arduino, um encoder rotativo, um display LCD e uma fonte de 12V. Deverão ser formados grupos de 5 ou 6 alunos, preferencialmente montados pelo professor para deixá-los o mais heterogêneo possível. Cada grupo receberá um circuito,

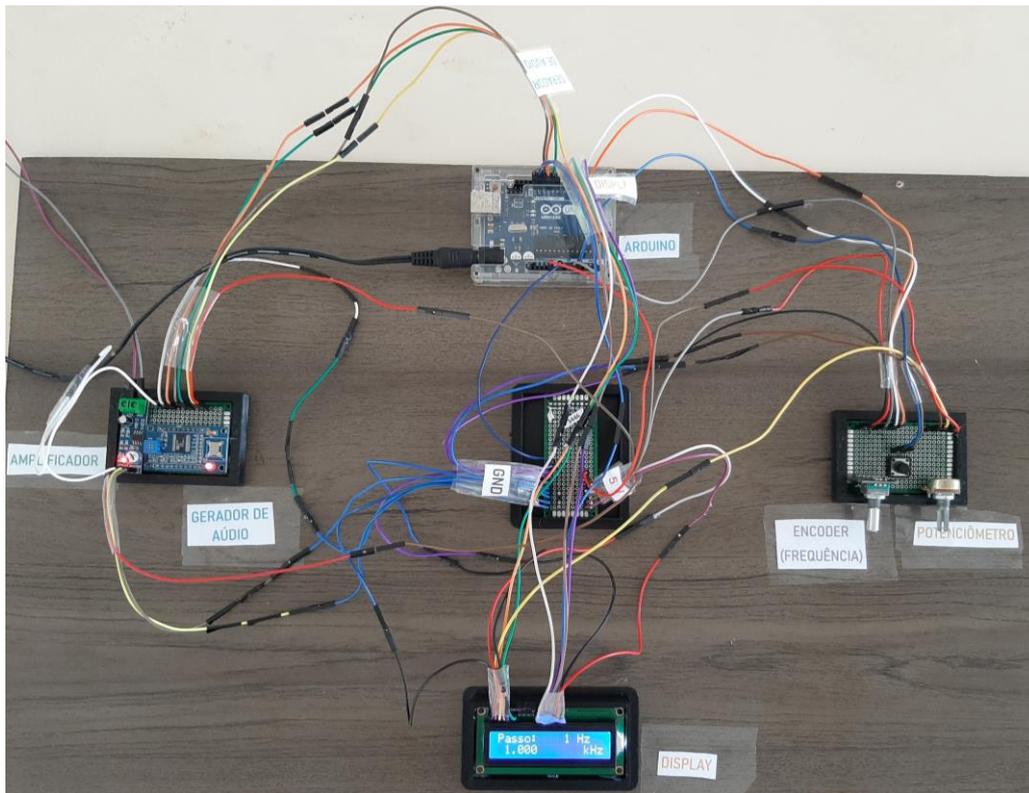
caso não haja circuitos suficientes para todos os grupos, poderá ser feito um rodízio entre eles. Também será entregue separadamente um alto-falante (figura 15). O professor irá apresentar todos os dispositivos e passar as instruções necessárias para seu funcionamento. Em seguida pede-se que cada grupo faça a conexão entre o circuito e o alto falante, ligando corretamente os fios e a fonte de energia para dar início ao experimento.

Os componentes dos grupos precisam ser instruídos a manipular o circuito gerando ondas sonoras com frequências a partir de 50 Hz, aumentando gradativamente esse valor para ter a percepção do quão agudo o som vai ficando. Solicita-se que continuem aumentando a frequência do som até que ele não seja mais audível, registrando esse valor. A intenção é mostrar a relação entre a frequência da onda sonora e a altura do som.

Espera-se que ao final desta etapa, os alunos já estejam conseguindo ter um bom domínio no funcionamento do circuito, tendo a habilidade de gerar ondas sonoras de variadas frequências. Durante todo o processo, o professor deve mediar e orientar os grupos no manuseio, mas sem mostrar exatamente como fazê-lo, justamente para fomentar o trabalho em equipe e a investigação de cada um.

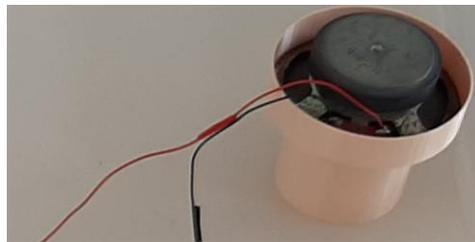
Como forma de verificar o avanço dos alunos nesta etapa, pode ser pedido um resumo escrito no final da aula sobre o funcionamento do circuito e a relação entre a altura do som e a frequência emitida.

**Figura 14.** Circuito previamente montado.



**Fonte:** PRÓPRIO AUTOR.

**Figura 15.** Alto-falante.



**Fonte:** PRÓPRIO AUTOR.

#### **ETAPA 04**

Nessa etapa os grupos devem receber um tubo cilíndrico de acrílico com 1 m de comprimento, dois suportes, uma tampa (conexão cega), uma fita métrica, bolinhas de poliestireno e um alto falante com acoplador (figura 16).

**Figura 16.** Materiais para montagem do experimento.



**Fonte:** PRÓPRIO AUTOR.

Com posse dos materiais e do circuito utilizado na etapa anterior, os alunos serão desafiados a montarem o experimento do tubo de Kundt. Deve-se sugerir que eles investiguem os materiais e façam as conexões.

Em seguida deve-se solicitar que os alunos comecem a emitir ondas sonoras de diferentes frequências, e verifiquem o comportamento das bolinhas de poliestireno com as modificações dessas frequências. Deve haver nesse momento uma mediação do professor sobre as frequências próximas da ressonância, que possuem a capacidade de fazer com que as bolinhas fiquem mais “agitadas” e comecem a se deslocar para formar a onda estacionária.

O propósito nesse estágio é que os alunos entendam como ocorre a ressonância e como se forma a onda estacionária para determinadas frequências específicas do som. Deseja-se que eles adquiram a habilidade de criar essas ondas estacionárias utilizando o aparato experimental construído.

## **ETAPA 05**

Nesse encontro, as equipes utilizarão o experimento já montado na etapa anterior para criar ondas estacionárias (figura 17), procurando as frequências de ressonância que formam os harmônicos dentro de um intervalo de frequência previamente estabelecido. Para cada frequência de ressonância, eles deverão medir a distância entre os nós formados, obter o comprimento de onda e, posteriormente, calcular a velocidade do som dentro do tubo com a equação da velocidade da onda (equação 3.3.1).

Também deverão calcular o harmônico da onda estacionária gerada, utilizando a equação que relaciona a frequência de ressonância com o número do harmônico (equação

3.3.8) e comparar esse valor com o número de nós observado no experimento. Todos esses passos serão apresentados em um Roteiro da Prática, mostrado no Apêndice C. Será entregue também uma Tabela de Anotações onde deverão ser registrados todos os valores obtidos durante a prática, Apêndice D.

Essa é a etapa mais crucial do processo, pois é nela que serão postos em prática todas as habilidades que pretendem-se ser desenvolvidas. Os alunos deverão criar as ondas estacionárias, observar o harmônico gerado, fazer as medições dos comprimentos de onda, calcular a velocidade do som e o número do harmônico e comparar os valores obtidos com o que foi visualizado na prática experimental.

A avaliação desta etapa será realizada verificando a forma como os alunos conseguem criar as ondas estacionárias, fazer as medições no experimento e os cálculos solicitados. Deve-se verificar os resultados encontrados e compará-los com os valores teóricos esperados.

**Figura 17.** Ondas estacionárias formadas dentro do tubo.



**Fonte:** PRÓPRIO AUTOR.

## **ETAPA 06**

Para finalizar o ciclo didático, será proposto para os grupos um problema contextualizado (Apêndice E), com o intuito de abordar os conceitos e conhecimentos trabalhados em toda a sequência proposta e verificar o quanto eles foram assimilados. Também deverá ser aplicado individualmente um questionário auto avaliativo (Apêndice F), para ser respondido em casa, com a finalidade de coletar informações pessoais sobre a satisfação em participar do processo de ensino apresentado dentro da perspectiva sociointeracionista.

A avaliação se dará pelas respostas apresentadas pelos alunos ao problema contextualizado proposto.

## Apêndice A

### Questionário Investigativo

**01.** Defina o que é uma onda no seu entendimento.

R. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**02.** Para você, o som é uma onda?

( ) Sim ( ) Não

**03.** Podemos calcular a velocidade de propagação de uma onda conhecendo as seguintes grandezas dela:

- a) Massa e comprimento de onda;
- b) Amplitude e frequência;
- c) Comprimento de onda e intensidade;
- d) Frequência e comprimento de onda.

**04.** A altura do som define:

- a) Seu volume;
- b) Sua velocidade;
- c) Seu alcance;
- d) O quão agudo ele é.

**05.** A característica do som que define sua altura é:

- a) Sua frequência;
- b) Sua amplitude;
- c) Sua velocidade;
- d) Sua intensidade.

**06.** Com relação a reflexão do som, podemos afirmar que:

- a) Ocorre quando ele se propaga passando de um meio material para outro alterando sua velocidade;
- b) Ocorre quando ele encontra um obstáculo e retorna para o meio de

origem de propagação sem alterar sua velocidade;

c) Ocorre quando ele encontra um obstáculo e retorna para o meio de origem de propagação alterando sua velocidade;

d) Ocorre quando ele se propaga passando de um meio material para outro sem alterar sua velocidade;

**07.** Você sabe o que é uma onda estacionária? Em caso afirmativo, descreva sua definição.

R. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**08.** Você sabe o que é ressonância e quais as condições para que ela ocorra?

R. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**09.** Você sabe o que são tubos sonoros? Poderia dar um exemplo?

R. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**10.** Você tem alguma noção de eletrônica? Já manuseou algum circuito eletrônico?

R. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## Apêndice B

### Slides Ondas Sonoras



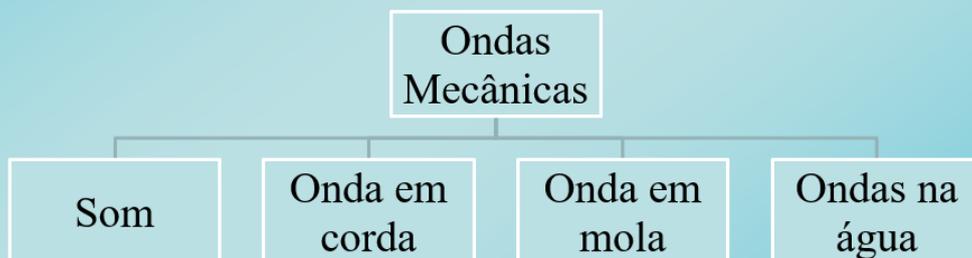
Um meio em perfeito equilíbrio sofre uma perturbação quando pelo menos uma das propriedades de um ou mais de seus pontos é alterada em relação aos demais pontos do meio.

## Onda

É Uma perturbação que se propaga em um meio, determinando a transferência de energia, sem transporte de matéria.

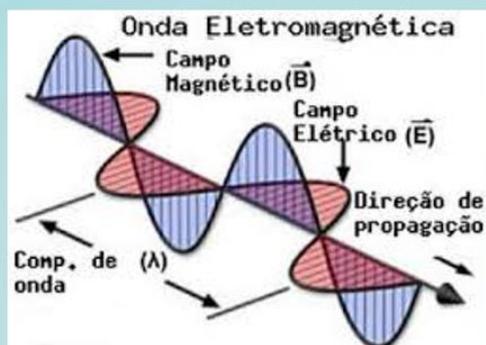
## NATUREZA DAS ONDAS:

**Mecânicas:** são ondas que se propagam através das vibrações das moléculas de um meio material.



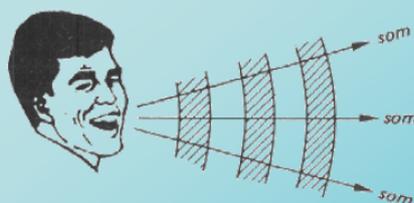
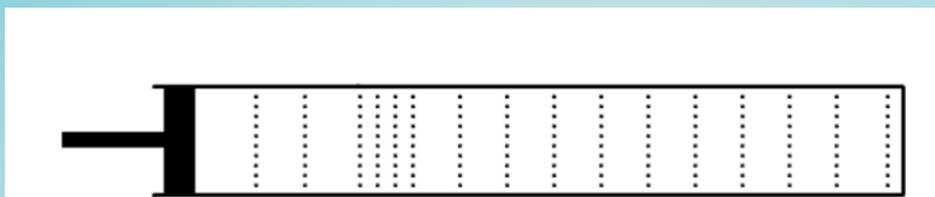
**Eletromagnéticas:** são ondas que se propagam através das vibrações de seus campos elétricos e magnéticos. Propagam-se no vácuo.

**Ex:** ondas de radio AM e FM, ondas TV, microondas (celular), infravermelho (calor), luz, UV, raio X e raio  $\gamma$  etc.

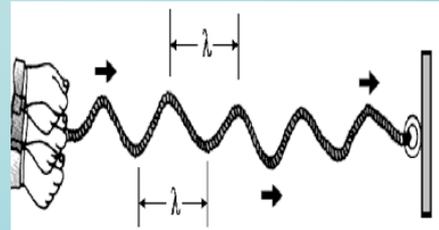
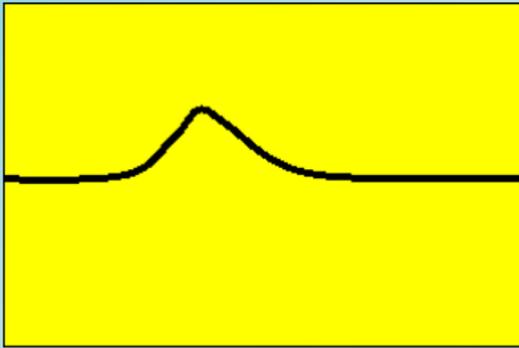


## TIPOS DE ONDAS QUANTO À DIREÇÃO DE PROPAGAÇÃO

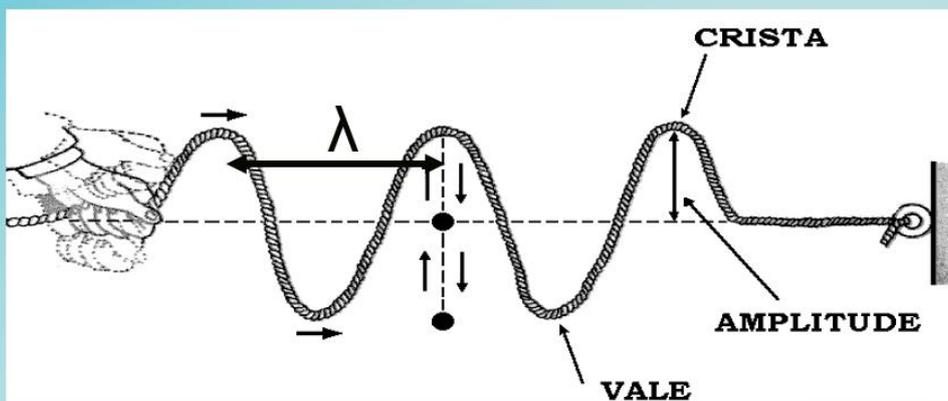
**LONGITUDINAL:** são as ondas que vibram ao longo da direção de propagação. Ex: som nos fluidos, uma mola tracionada etc.



**Transversais:** são ondas que vibram perpendicularmente a direção de propagação. Ex: Todas as ondas eletromagnéticas, ondas em cordas etc.



## Elementos de uma onda



**Comprimento de onda ( $\lambda$ ):** é distância entre duas cristas ou dois vales. Ou também a distância em que a onda se repete.



Fórmulas!!

Relação da velocidade de propagação da onda, o comprimento de onda e o período :

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad \text{OU} \quad v = \lambda f$$

Período Comprimento de onda Frequência

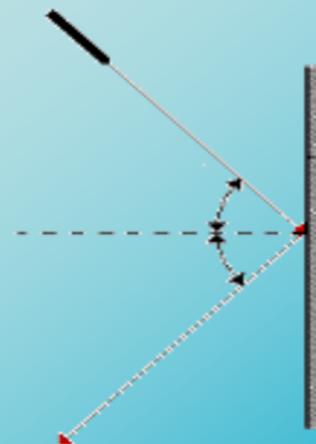
## FENÔMENOS ONDULATÓRIOS

### Reflexão

É o fenômeno em que uma onda propaga-se por um meio e ao encontrar um obstáculo retorna ao mesmo meio

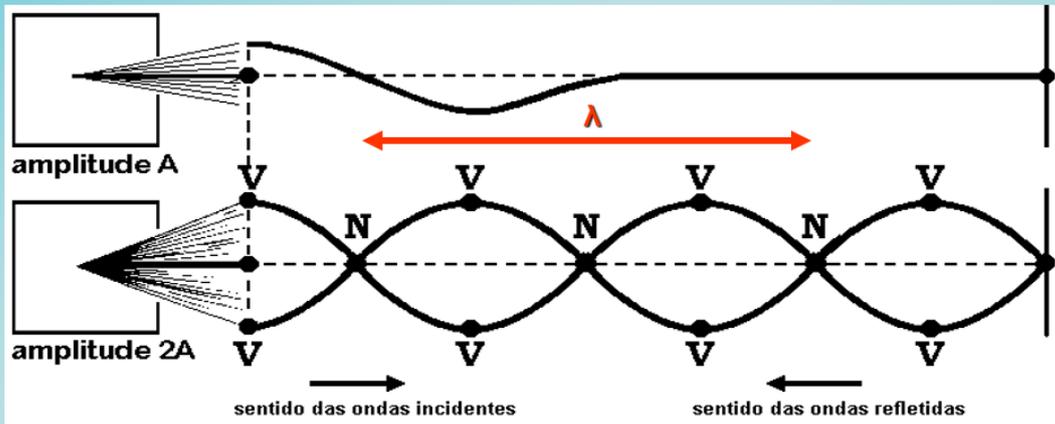
Não é alterada:

- frequência(f),
- período(T),
- comprimento de onda ( $\lambda$ ),
- velocidade(v)



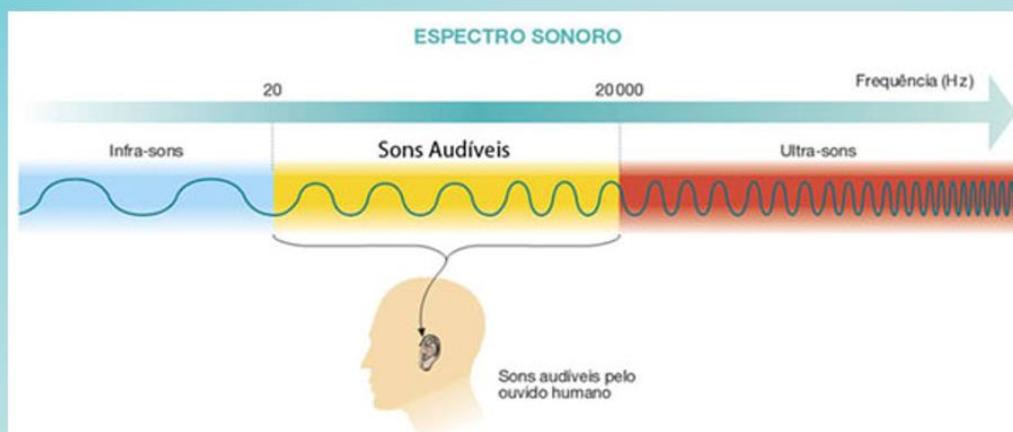
# ONDAS ESTACIONARIAS

É o fenômeno de um trem de ondas que incidem sobre um obstáculo e apresentam interferência das ondas incidentes com as ondas refletidas



A distância entre dois nós consecutivos é  $\lambda/2$

# FREQUÊNCIA AUDÍVEL



**ALTURA:** Diferencia sons graves (baixo) de sons agudos (alto).

Está relacionado a freqüência da onda

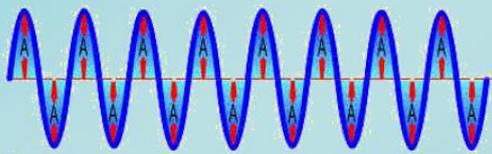


Figura 1

agudo

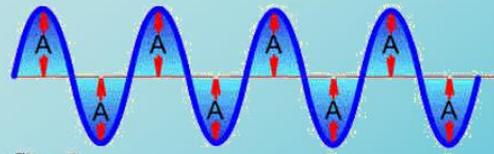


Figura 2

grave

**INTENSIDADE (VOLUME):** Diferencia sons fortes de sons fracos.

Está relacionado a Amplitude da onda

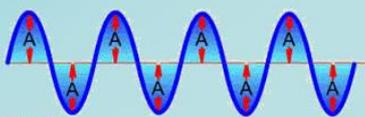


Figura 2

Fraco

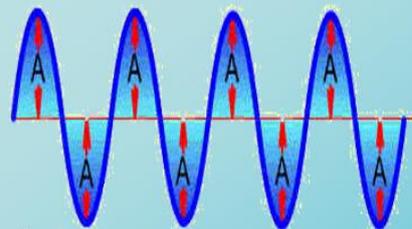
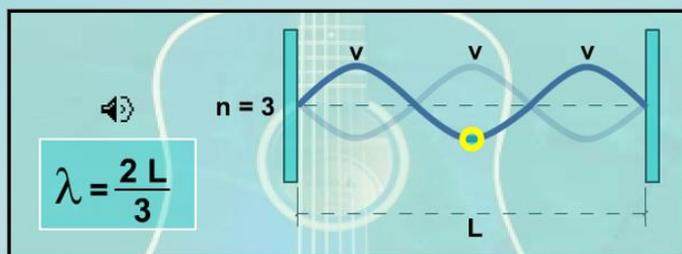
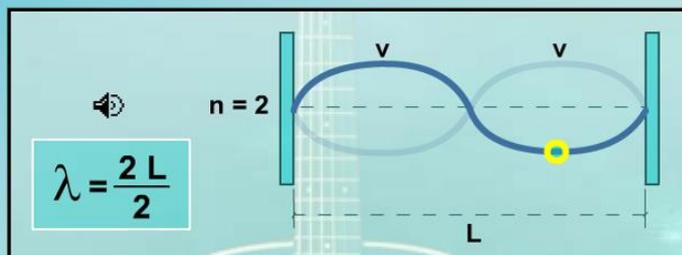
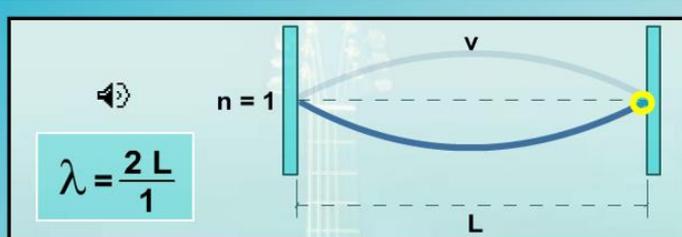
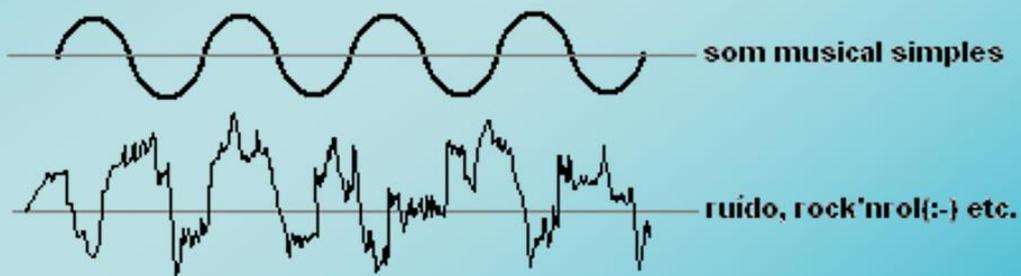


Figura 2

Forte

**TIMBRE: Diferencia sons de mesma altura, mesma intensidade tocados em instrumentos diferentes.**

Esta relacionado com a forma da onda.



## Cordas Vibrantes

- Instrumentos Musicais
- Corda fixa em seus extremos
- Propagação nas duas extremidades
- Modos de vibração

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

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

Para  $n = 1, 2, 3, \dots$

$L = 1 \cdot \frac{\lambda}{4}$

1º harmônico      n=1 ventre ou um nodo

$L = 3 \cdot \frac{\lambda}{4}$

3º harmônico      n=2 ventres ou 2 nodos

Digite a equação aqui

$L = 5 \cdot \frac{\lambda}{4}$

5º harmônico      n=3 ventres ou 3 nodos

## Tubos Sonoros Fechados

$$\lambda_n = \frac{4L}{n}$$

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

Para n = 1, 3, 5, ...

$L = 1 \cdot \frac{\lambda}{2}$

n=1 ( 1º harmônico - som fundamental)

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

n=2 (2º harmônico)

$L = 3 \cdot \frac{\lambda}{2}$

n=3 ( 3º harmônico)

## Tubos Sonoros Abertos

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

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

Para n = 1, 2, 3, ...

## Apêndice C

### Roteiro da Prática

# ROTEIRO DA PRÁTICA

## VAMOS COMEÇAR!

**SOUND  
ON**

 Utilizando o encoder rotativo, comece emitindo um som de 50Hz e vá aumentando a frequência gradativamente, de 10 em 10 Hz, até que perceba uma vibração mais intensa das bolinhas. Para um ajuste mais fino, utilize incrementos de 1Hz em torno da frequência encontrada de maior vibração (frequência de ressonância).

 Após encontrar a frequência de ressonância, aguarde um instante até verificar a formação de nó(s). Faça um esboço da onda estacionária formada e anote o número de nó(s) na tabela de anotações. 

 Meça a distância entre dois nós consecutivos, encontre o comprimento de onda e calcule a velocidade do som dentro do tubo. Anote os valores encontrados na tabela. 

 Com a velocidade encontrada, calcule o número do harmônico utilizando a equação que o relaciona com a frequência de ressonância (veja tabela). Registre o valor calculado na tabela. 

 Compare o número do harmônico calculado com os nós visualizados no experimento. O que se pode observar? Descreva os comentários no campo específico na tabela. 

## PROCURE MAIS FREQUÊNCIAS DE RESSONÂNCIA!



Repita os passos anteriores e encontre outras frequências de ressonância. Não esqueça de registrar os novos valores na tabela.



## Apêndice E

### Problema Contextualizado

Você mora ao lado de um grupo que constrói seus próprios instrumentos musicais de sopro. Os instrumentos consistem em vários canos de PVC, de comprimentos variados. Um dia você resolve ir observar os instrumentos e percebe algumas diferenças entre eles. Em alguns, uma das pontas dos canos é mantida fechada por uma membrana enquanto a outra é mantida aberta. Já em outros, não existe essa membrana, tendo as duas pontas do cano abertas. Nesse momento, você lembra-se dos tubos sonoros que estudara em Física e fala para um dos artistas, que ali se trata de um tubo sonoro aberto e o outro de um tubo sonoro fechado. O artista então lhe faz uma indagação: “Já que você é bom em Física, me diga qual desses dois instrumentos, que possuem o mesmo comprimento de 50 cm, vai emitir um som mais agudo ao serem tocados no mesmo harmônico?”.

#### RESOLUÇÃO:

##### Passo 1:

Frase: Qual a diferença de um tubo sonoro aberto para um tubo sonoro fechado?

Ideias físicas: qualidades fisiológicas do som, ressonância, tubos sonoros, velocidade do som no ar.

Abordagem: Precisaremos encontrar qual a frequência do 1° harmônio para um tubo sonoro fechado e para um tubo sonoro aberto, ambos com 50 cm de comprimento.

##### Passo 2:

$$\text{Temos: } V_{\text{som ar}} = 340 \frac{m}{s}, L = 50 \text{ cm}, n = 1.$$

$$\text{Equação utilizada: } f = \frac{nv}{2L}; f = \frac{nv}{4L}$$

##### Passo 3:

Aplicamos a equação da frequência para os tubos sonoros e comparamos em qual deles encontramos o maior valor para poder classificar em qual o som será mais agudo.

##### Passo 4:

Aplicando as equações, temos:

TUBO FECHADO

$$f_1 = \frac{1 \cdot 340}{4 \cdot 0,5} = 170 \text{ Hz}$$

TUBO ABERTO

$$f_1 = \frac{1 \cdot 340}{2 \cdot 0,5} = 340 \text{ Hz}$$

##### Passo 5:

Comparando os resultados, percebemos que o tubo sonoro aberto emitirá um som mais agudo.

## Apêndice F

### Questionário Auto Avaliativo

**01.** Como você avalia a sua participação e a dos outros integrantes da sua equipe em todo o projeto?

( ) Ótima ( ) Boa ( ) Regular ( ) Ruim ( ) Péssima.

**02.** Você acredita que, durante a atividade, o trabalho em grupo favoreceu no seu aprendizado?

( ) Nunca ( ) Raramente ( ) Ocasionalmente ( ) Frequentemente ( ) Sempre.

**03.** Houve satisfação na realização do experimento e na forma como o conhecimento foi transmitido em todo o trabalho?

( ) Nunca ( ) Raramente ( ) Ocasionalmente ( ) Frequentemente ( ) Sempre.

**04.** Você gostaria que os conteúdos de Física fossem trabalhados mais vezes com essa metodologia?

( ) Nunca ( ) Raramente ( ) Ocasionalmente ( ) Frequentemente ( ) Sempre.

**05.** Na sua avaliação, você acredita que houve ganho de aprendizado na disciplina de Física durante a elaboração do projeto?

( ) Nunca ( ) Raramente ( ) Ocasionalmente ( ) Frequentemente ( ) Sempre.

**06.** Após a realização da atividade, você conseguiria relacionar as frequências de ressonância com os harmônicos formados em um tubo sonoro?

( ) Nunca ( ) Raramente ( ) Ocasionalmente ( ) Frequentemente ( ) Sempre.

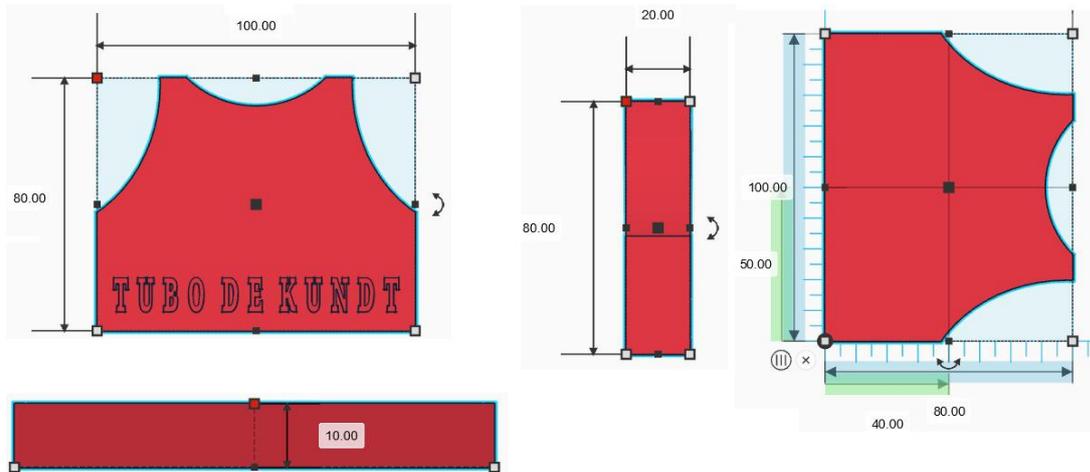
**07.** Após a realização do projeto, você se julga capaz de calcular a velocidade de uma onda sonora conhecendo sua frequência e a distância entre 2 nós formados pela onda estacionária?

( ) Nunca ( ) Raramente ( ) Ocasionalmente ( ) Frequentemente ( ) Sempre.

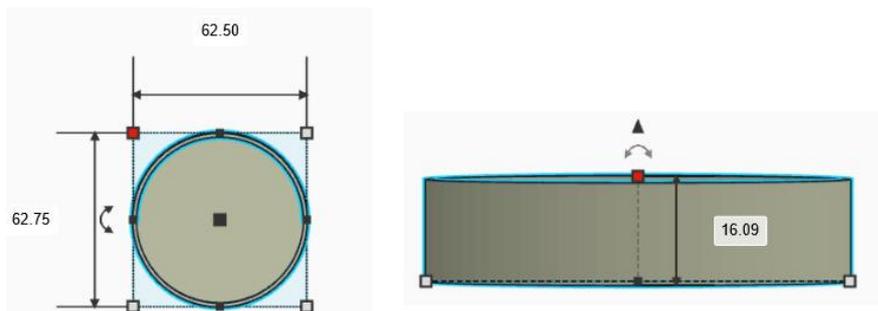
## Apêndice G

### Medidas dos materiais confeccionados

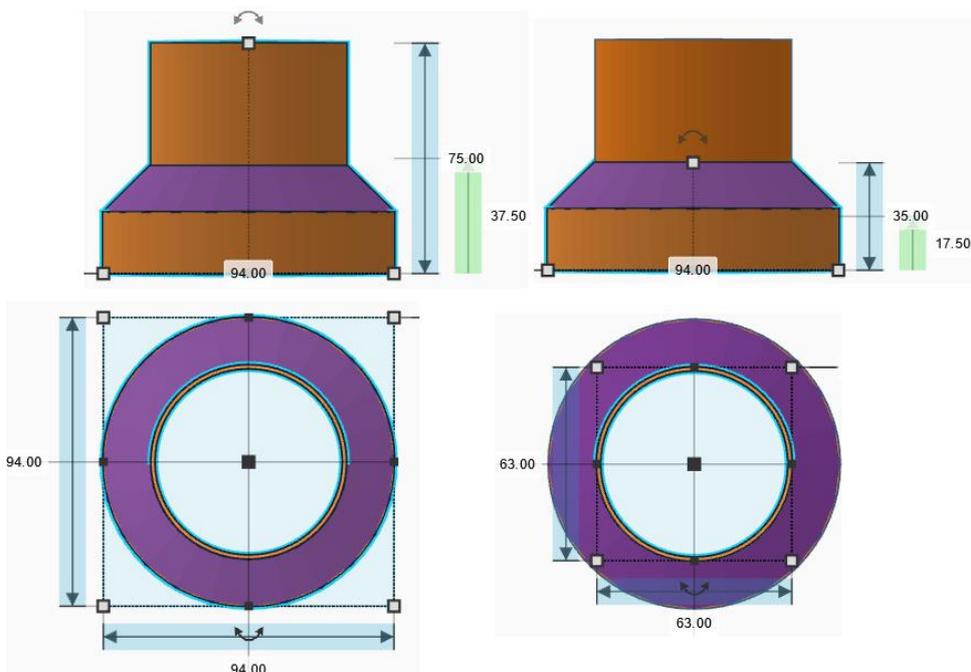
#### BASE PARA O TUBO



#### TAMPA PARA O TUBO



#### ACOPLADOR DO ALTO-FALANTE/TUBO



MEDIDAS EM MILÍMETROS

## Referências Bibliográficas

ARDUINO.CC. **O que é Arduíno?** Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acesso em: 15 jun. 2022.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: Gravitação Ondas e Termodinâmica**. 9ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. v. 2

SERWAY, R. A.; JEWETT JR., J. W. **Princípios de Física: Oscilações, Ondas e Termodinâmica**. 5ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014. v. 2

YOUNG, H. D. .; FREEDMAN, R. A. **Física II: Termodinâmica e Ondas**. 14ª ed. São Paulo: Pearson, 2015.