

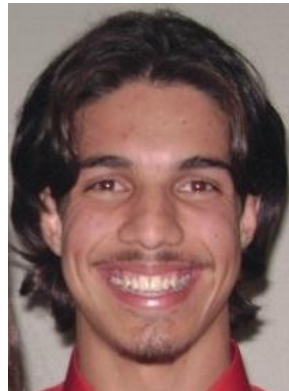


Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

Instituto de Física "Gleb Wataghin" – IFGW

Relatório Final

# VISUALIZANDO ONDAS SONORAS



**Aluno:** Paulo Vitor Firmino Berto

**Contato:** pvfberto X gmail.com

**Orientadora:** Prof.<sup>a</sup> Dra. Monica Alonso Cotta

**Contato:** monica X ifi.unicamp.br

**Coordenador:** Prof. Dr. Jose Joaquin Lunazzi

**Contato:** lunazzi X ifi.unicamp.br

**Disciplina:** F 609 – Tópicos de Ensino de Física I – 1º Semestre 2012



## **Agradecimentos**

A orientadora Prof.<sup>a</sup> Dra. Monica Alonso Cotta por sua disponibilidade e por compartilhar sua vasta experiência em física experimental. Ao amigo Dr. Sidney Aldo Granato por suas ideias e apoio no desenvolvimento dos dispositivos de madeira. Ao amigo Pedro Luís de Mello pela ajuda com o torno. Ao Prof. Dr. José Joaquin Lunazzi pelo apoio didático e pelas melhorias que propôs. Ao meu pai Newton José Berto pelo apoio e auxílio. A minha mãe Maria Bernadete Firmino Berto, pelo eterno apoio, incentivo nas horas difíceis. A minha irmã Ariane Firmino Berto pela companhia.  
***A DEUS!***

# 1. Resumo

Desde a antiguidade o som é algo que intriga o homem. Entender como ele é produzido, como se propaga e a forma como se manifesta no meio, sempre motivou o homem a pesquisar esse fenômeno. Nessa evolução histórica do estudo do som podemos destacar a escola pitagórica, os estudos matemáticos de Galileu sobre o som e os trabalhos de Joseph Sauveur, considerado o pai da acústica.

Sendo assim, com o caráter didático, atingindo principalmente alunos de ensino médio que estão aprendendo sobre a física do som pela primeira vez, este experimento consiste na visualização de ondas sonoras através da luz (laser). A forma demonstrativa permitirá a visualização de características das ondas sonoras como frequência e amplitude do som.

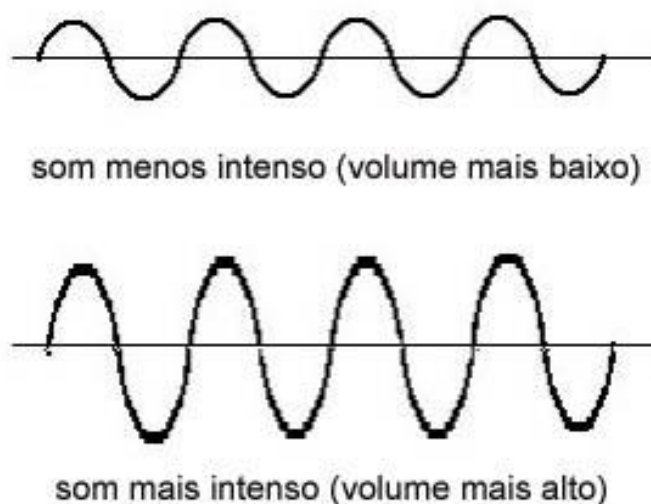
## 2. Teoria

### 2.1. Som

O som pode ser conceituado como ondas longitudinais que se propagam mecanicamente através de um meio elástico. Geralmente, o som é gerado pela vibração de um corpo. Essa vibração varia a pressão em torno do corpo, gerando expansão e/ou compressão do meio que o rodeia.

O som possui algumas características; nesse experimento vamos destacar duas delas, a intensidade e a altura.

A intensidade é uma característica ligada a quanto de energia é transportada pela onda sonora, popularmente chamamos de volume do som. Assim sendo, quanto maior a intensidade (maior o volume), maior será a amplitude da onda sonora (Figura 1) e maior a energia transportada.



**Figura 1** – Intensidade sonora

Já a altura é uma característica ligada diretamente à frequência do som. É comum classificar o som em grave ou agudo, portanto, um som com frequência alta (maior altura) é denominado agudo; por outro lado, um som com frequência baixa (menor altura) é chamado de grave (Figura 2).



Figura 2 – Altura sonora

## 2.2. Alto-falante

Alto-falante é basicamente um dispositivo que converte oscilação elétrica em oscilação mecânica. Cone, bobina móvel e imã permanente são suas principais partes. (figura 3)

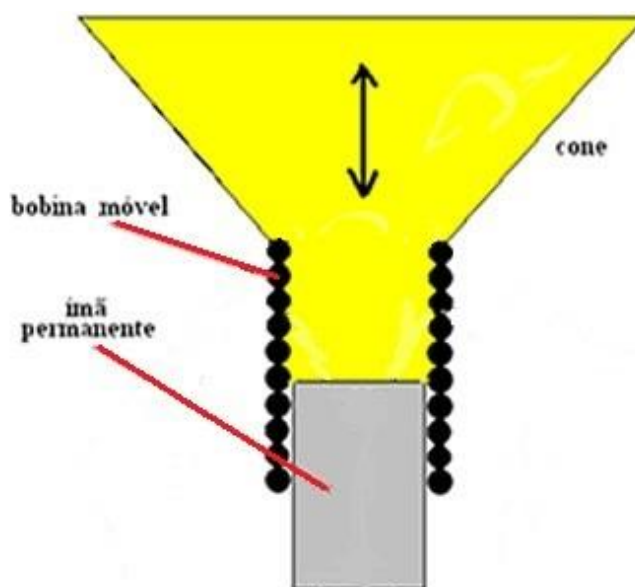
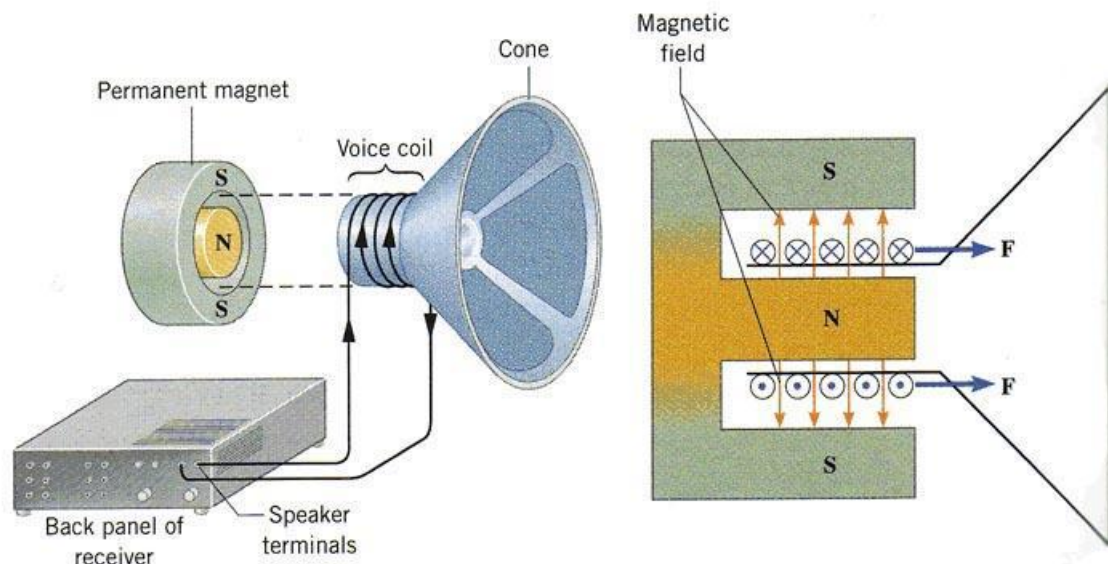


Figura 3 – Partes alto-falante

### 2.2.1. Funcionamento

O imã permanente pode ser dividido em duas partes separadas por uma cavidade (na forma de casca cilíndrica) onde será encaixada a bobina móvel. Os polos deste imã estão localizados no centro do imã e outro na extremidade, gerando um campo magnético na direção radial. (figura 4)

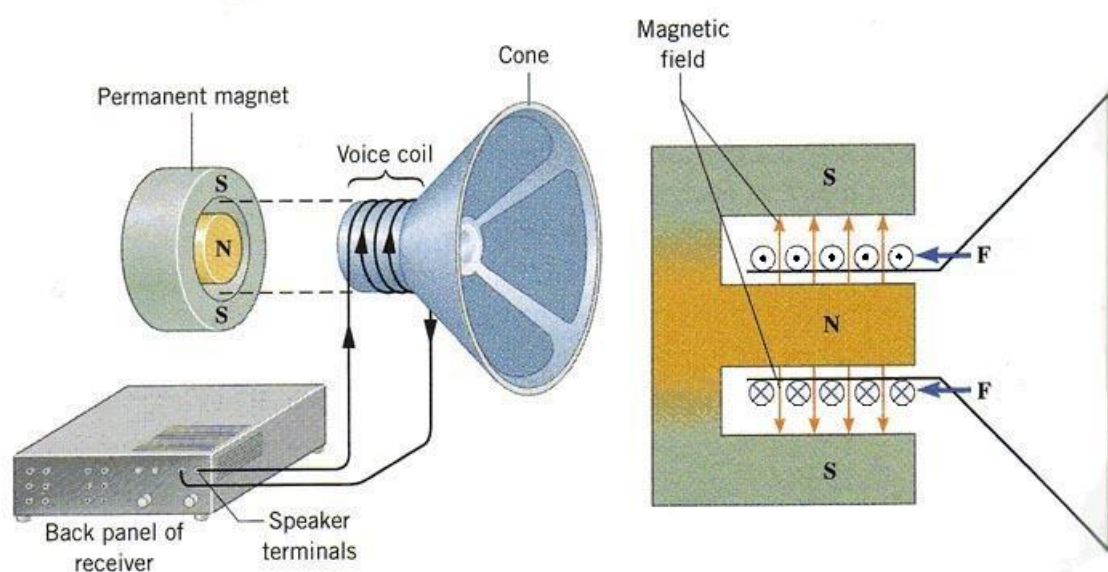


**Figura 4** – Funcionamento do alto-falante <sup>[8]</sup>

A bobina móvel fixada ao cone é encaixada na cavidade do imã permanente entre os dois polos, tendo então liberdade de deslocamento.

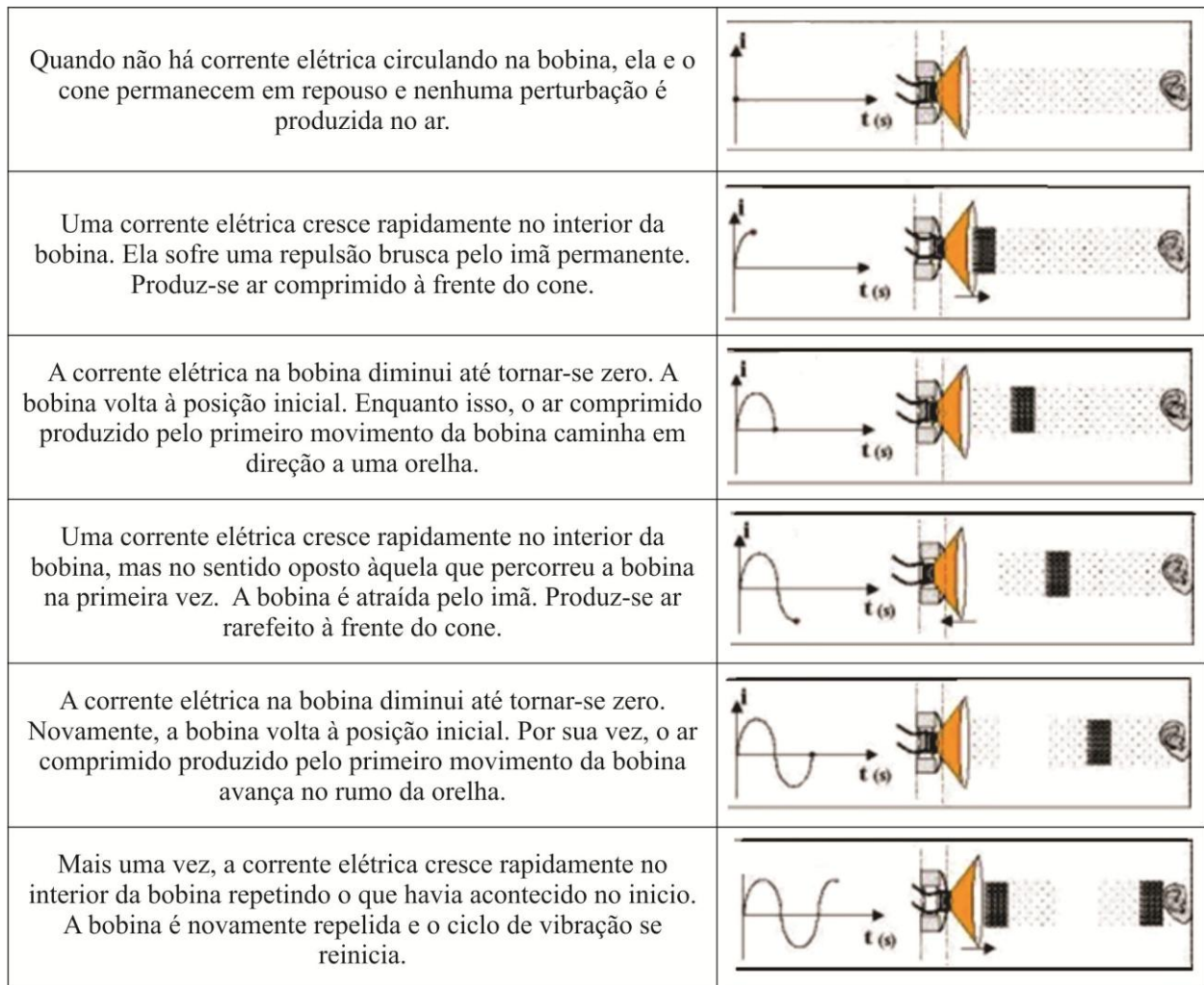
Sabe-se que o deslocamento de carga gera um campo magnético. Assim, ao aplicar uma corrente na bobina móvel, surgirá um campo magnético. A interação entre o campo magnético do imã permanente com o campo da bobina móvel resultará numa força que irá deslocar a bobina móvel e o conseqüentemente o cone ligado a ela.

O sentido de deslocamento desse conjunto depende do sentido que a corrente percorre a bobina móvel (figura 4 e 5). Portanto, ao oscilar o sentido da corrente numa determinada frequência, produziremos a mesma oscilação no cone.



**Figura 5** – Funcionamento alto-falante sentido contrário <sup>[8]</sup>

A vibração do cone perturba o meio (ar) a sua volta comprimindo-o e expandindo-o. Assim, o som é propagado até nossos ouvidos. (figura 6)



**Figura 6** – Produção de onda sonora por um alto-falante e propagação da onda no ar. <sup>[9]</sup>

## 2.3. Luz

### 2.3.1. Laser

Sigla que significa *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (Amplificação da Luz por Emissão Estimulada de Radiação). Um feixe de luz monocromático, cujos fótons estão exatamente em fase e colimados, ou seja, descrevem trajetórias paralelas.

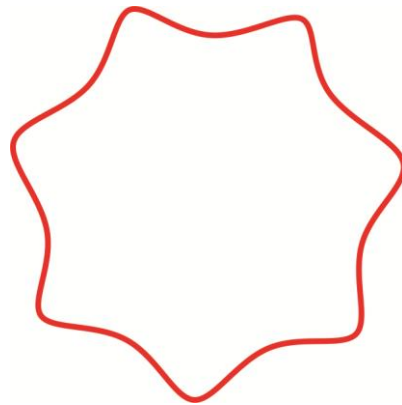
### 2.3.2. Reflexão da luz

É um fenômeno físico onde os raios de luz mudam sua direção de propagação ao incidir sobre uma superfície seguindo 2 leis:

1ª Lei: O raio de luz incidente e o raio de luz refletido são coplanares.



giratório, poderíamos ver por alguns instantes as ondas girando rapidamente a cabeça na direção horizontal.



**Figura 9** – Esquema da visualização da onda

Observando a figura projetada é possível notar as duas características do som mencionadas acima, a intensidade e a frequência. Ou seja, quanto maior o volume do som, maior a amplitude da onda projetada e quanto maior a altura do som emitido, maior será o número de ondas visto na projeção.

### **3.2. Material**

Os componentes utilizados neste experimento são:

- 1 laser comum;
- 1 alto-falante;
- 1 amplificador mono;
- 1 motor elétrico;
- 1 potenciômetro;
- 1 cooler;
- 1 espelho de acrílico;
- 1 espelho de vidro redondo;
- 1 gerador de sinal elétrico periódico (que pode ser: um gerador de áudio frequência, um computador, um celular, MP3, etc.)
- 1 fonte de alimentação;

Observação: Para ver especificações mais detalhadas dos equipamentos consulte o Anexo 1.

### **3.3. Montagem**

Para uma descrição mais detalhada da montagem vamos dividi-la em partes:



### **1ª Parte: Montagem do Laser**

Retirou-se todo envoltório do laser, permanecendo apenas a pequena placa que contém o laser e sua ponta que era responsável pela alimentação de um dos polos. Em seguida foi soldado 2 fios com pinos banana nas extremidade para alimentação do laser.

Para acionar o laser era preciso pressionar (e manter pressionado) um pequeno botão. Para isso, utilizou-se uma pinça com porca borboleta.

Para um ajuste do posicionamento do laser fabricou-se um dispositivo de madeira com 3 graus de liberdade propiciando um melhor ajuste da direção do feixe de luz. (figura 10)



**Figura 10** – Montagem Laser e Motor

### **2ª Parte: Motor elétrico**

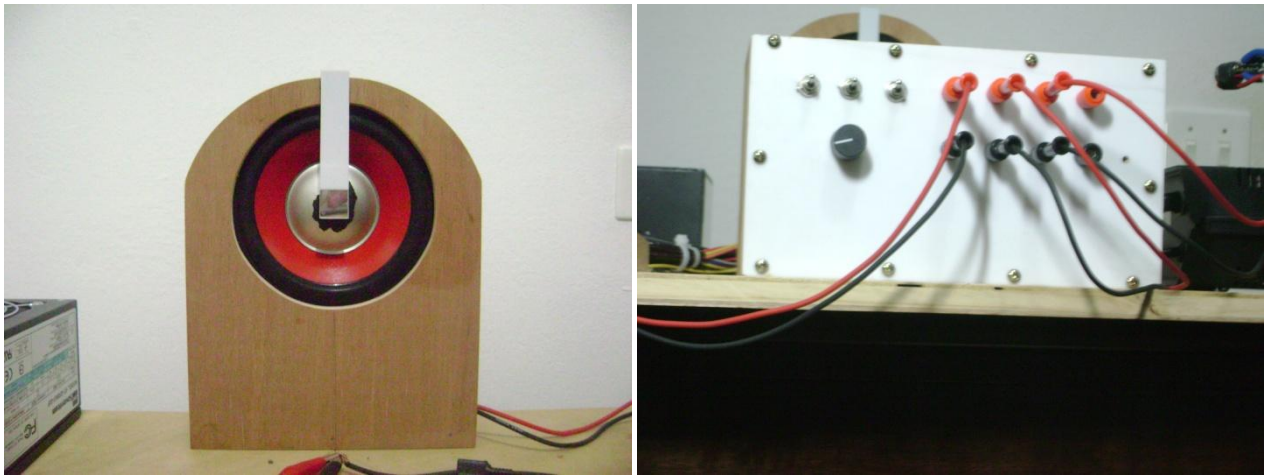
Produziu-se um eixo de madeira para ser o suporte do espelho redondo. Como o espelho tinha que ficar com uma pequena inclinação em relação à direção do eixo do motor, fabricou-se uma secção inclinada neste suporte. Em seguida colamos o espelho nesta secção e o suporte no eixo do motor.

Fabricou-se também um suporte para o motor com 2 graus de liberdade, também para ajuste do posicionamento (figura 10).

Por fim, soldamos os fios também com pinos banana para alimentação do motor.

### **3ª Parte: Montagem do alto-falante.**

Primeiramente produziu-se um suporte de madeira para a fixação do alto-falante. Em seguida fixamos um espelho, numa tira de acrílico cujo comprimento vai desde a borda do suporte ao centro do cone. Por último, utilizando um pedaço de EVA, ligando o cone ao espelho; dessa forma, todo movimento do cone será transmitido ao espelho (figura 11).



**Figura 11** – Montagem Alto-falante e Painel de controle

#### **4ª Parte: Painel de Controle**

Todos os componentes deste experimento são alimentados por uma única fonte de computador que possui diversas saídas de tensão. Precisava-se apenas de 2 saídas de 12 V e 1 saída de 3,3 V.

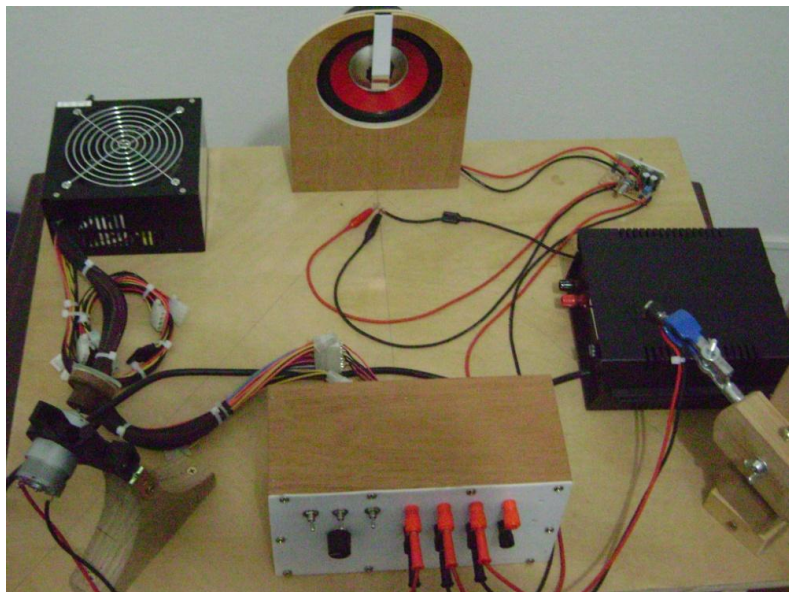
Assim, construiu-se um painel (figura 11) contendo 3 botões liga/desliga, bornes para as saídas das alimentações e um potenciômetro para o controle de rotação do motor.

Na entrada do painel soldou-se um conector ATX para ligá-lo a fonte. Fixou-se também um cooler para ajudar na dissipação do calor no potenciômetro.

#### **5ª Parte: Montagem Final**

Todos os componentes descritos nas 4 primeiras etapas foram fixados numa prancha de madeira figura 12.

Para finalizar a montagem soldaram-se os fios para: ligar o alto-falante ao amplificador, ligar a fonte de sinal ao amplificador e o painel ao amplificador.

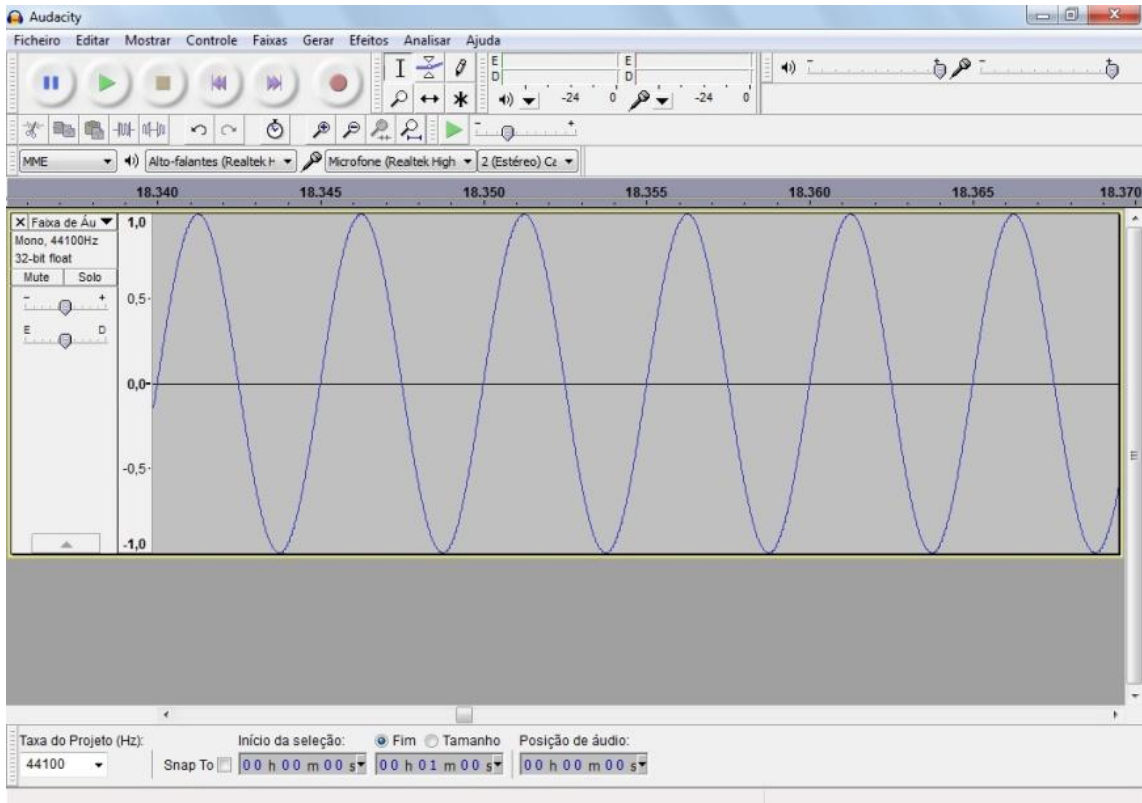


**Figura 12** – Montagem Final

### 3.4. Resultados

Como fonte de sinal sonoro utilizou-se um celular com arquivos de áudio em certas frequências gerados em computador. Testamos outras fontes de sinal como:

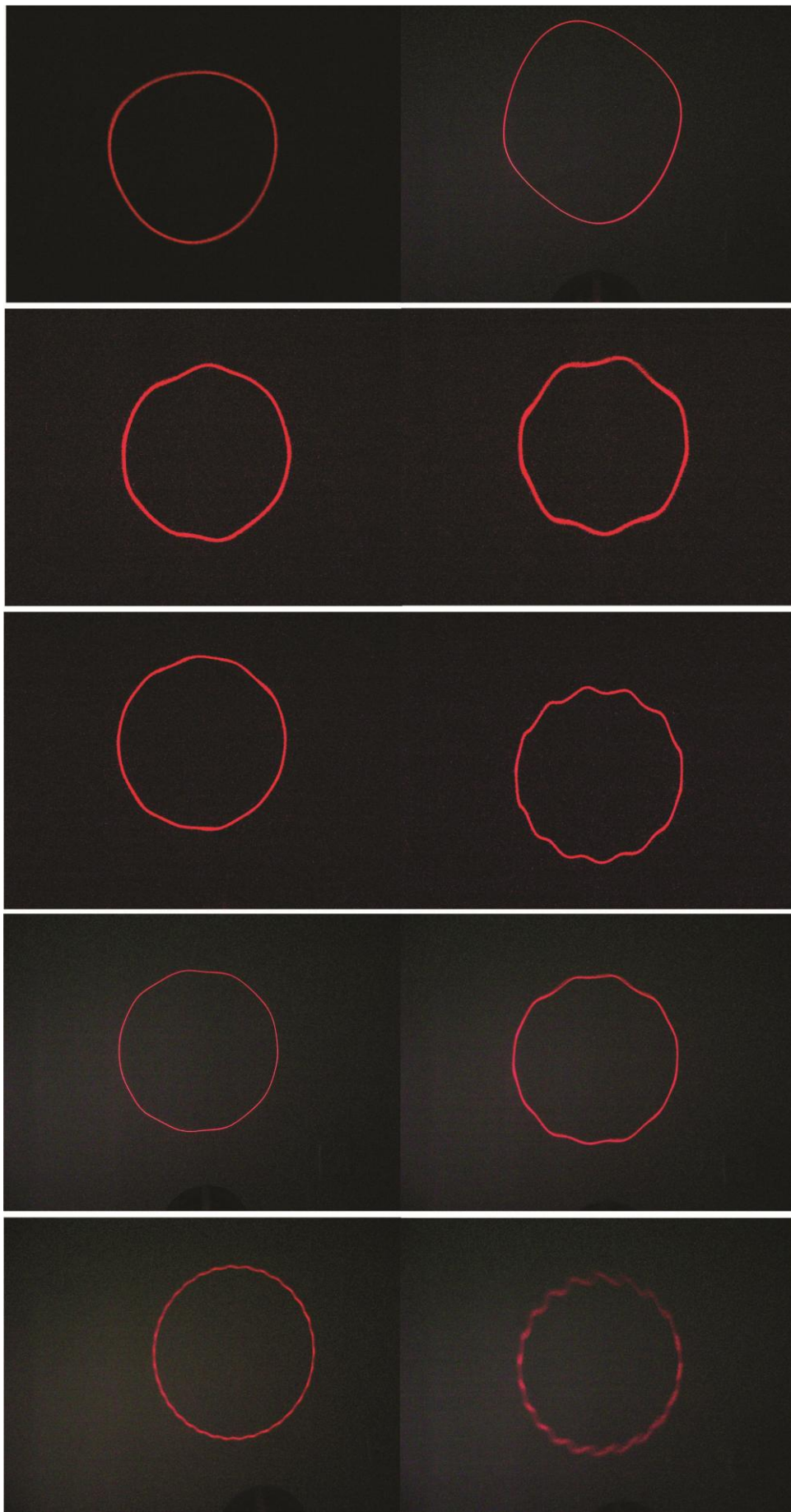
- 1) Gerador de áudio frequência;
- 2) Computador com o programa Audacity (figura 13), o mesmo que gerou os arquivos de áudio para o celular - este programa permite a execução ou criação de sinais de qualquer frequência.



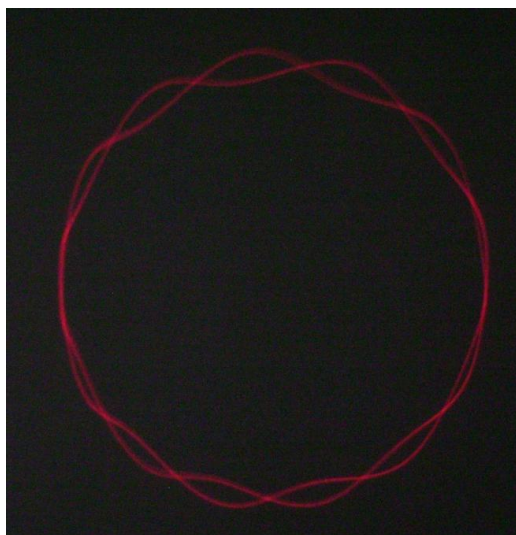
**Figura 13** – Programa Audacity 2.0

Independente da fonte geradora do sinal sonoro obteve-se o mesmo resultado, uma projeção próxima ao esquema da figura 9. Pode-se perceber que, à medida que aumentávamos a frequência o número de ondas também aumentava. E à medida que variávamos o volume do som variava até certo ponto a amplitude (figura 14).

Mas - como o Professor Lunazzi ressaltou - a projeção não corresponde exatamente à frequência e amplitude sonora, pois, há diversos aspectos que influenciam no resultado final da imagem formada. Um desses aspectos é a sobreposição de ondas devido à velocidade com que o espelho gira (figura 15).



**Figura 14** – Projeções obtidas ao variar frequência (vertical) e volume (horizontal)



**Figura 15** – Ondas defasadas sobrepostas

Para interpretar então a figura formada na projeção, vamos fazer algumas considerações teóricas. Supondo que o gerador esteja emitindo um sinal de 120 Hz, o cone do alto-falante oscilará produzindo este som. Da mesma forma, o espelho fixo ao alto-falante fará com que o feixe de luz refletido oscile nesta frequência. Assim, se o espelho giratório estiver numa velocidade angular  $\omega=2\pi$  rad/s (uma volta por segundo), as 120 oscilações ocorrerão numa rotação, portanto, visualizaremos exatamente 120 oscilações completas na projeção. Porém, nossa visão capta aproximadamente 24 fps (frames por segundo), logo, não conseguiremos ver uma projeção contínua do raio.

Nessas condições, ajusta-se a velocidade para que possamos ver uma forma contínua. Qualquer velocidade angular  $\omega=n.2\pi$  rad/s (onde  $n \in \mathbb{Z}^*$ ), permitiria uma sobreposição exata das ondas. Mas à medida que aumentamos o número de giros por segundo, o número de oscilações completas que vemos é:

$$N = \frac{f}{n}$$

Onde:

N – é o número de oscilações visualizadas na projeção;

f – frequência do som;

n – número de giros por segundo;

Na figura 13 temos imagens contínuas, o que nos leva a conclusão que o espelho estava girando no mínimo 24 vezes por segundo.

O Motor utilizado chegava até 150 rps (rotações por segundo) quando sujeito a tensão de 12 V. Para controlar a rotação utilizamos um potenciômetro de fio em série fazendo variar a tensão no motor, assim não se pode afirmar nada sobre o valor da velocidade de rotação do motor sem uma

medida independente que permita a calibração da velocidade em função da voltagem aplicada. Isso pode ser feito, por exemplo, usando uma luz estroboscópica, como se fazia há alguns anos na disciplina de F-229.

Em relação à intensidade sonora (volume), a imagem formada não pode revelar muito. pois, esta característica não está somente relacionada a amplitude de deslocamento do alto-falante. E sim com a energia transmitida pelo alto-falante ao ar a sua volta. Apenas pode dar uma ideia de que ao aumentar volume do som aumenta-se a amplitude da onda, mas este aumento não corresponde ao que é visualizado na imagem projetada.

Outros aspectos interferiram diretamente na transposição do som ouvido na imagem formada. As vibrações dos componentes (motor, suporte do alto-falante, a própria bancada, etc), também a massa do espelho preso ao alto-falante, pois, quanto maior a massa, maior a inércia do movimento, gerando uma defasagem em relação ao movimento do cone e alterando a amplitude do deslocamento.

## **4. Dificuldades**

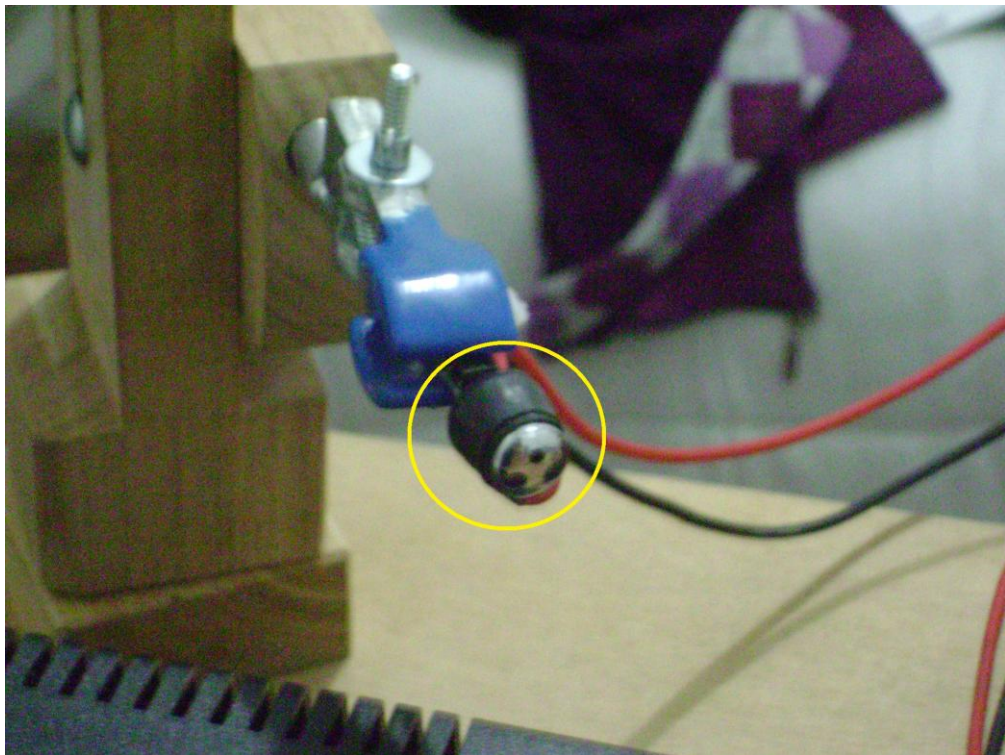
No desenvolvimento deste projeto algumas dificuldades tiveram que ser superadas para que o projeto inicial fosse satisfeito.

O primeiro que inicialmente adotamos um pequeno alto-falante, esses de caixinhas de computador, porém, como a amplitude destes alto-falantes é muito pequena, a figura projetada era bem pequena. Assim, tivemos que substituir por um alto-falante maior, o que acarretou em acrescentar um amplificador ao experimento. Com essa alteração tivemos um grande ganho na amplitude das ondas projetadas que posteriormente foi ampliada ainda mais com a alteração recomendada pelo Professor José Joaquin Lunazzi. Essa alteração consistia em substituir o espelho do alto-falante que era de vidro por um de acrílico. A diminuição da massa propiciou uma resposta maior ao movimento.

O segundo obstáculo foi em relação ao espelho giratório. Inicialmente fixamos o espelho numa posição perpendicular a direção do eixo de rotação, isso acarretava num projeção pequenina, a circunferência formada era de apenas alguns centímetros. Para resolver, fabricamos um suporte que deixou o espelho fixado com certo ângulo em relação ao eixo de rotação. Assim a circunferência projetada passou para dezenas de centímetros.

O terceiro foi em relação ao laser – como o Professor José Joaquin Lunazzi explicou – geralmente os lasers que existem no mercado são alimentados por três baterias de 1,5V em série, fornecendo para o laser 4,5V. Ao ligá-los numa fonte CC de mesma tensão nominal (4,5V) eles queimam com muito pouco tempo de uso. Ele explica que estes lasers são projetados para trabalhar com baterias, e essas sempre trabalham com uma tensão mais baixa do que a nominal. Para evitar a

queima, colocamos o laser numa tensão de 3,4V. Houve uma pequena perda de luminosidade, mas o laser ficou 3 horas em uso contínuo e não queimou. Outra alteração em relação a montagem inicial, foi soldar o polo positivo diretamente na placa do laser. Antes o polo positivo estava soldado na ponta do envoltório com a função de conduzir o polo positivo (figura 16), mas isso gerou mau contato, enfraquecendo o laser. Aproveitamos a oportunidade para soldar um pequeno diretamente nos contatos do botão que acionava o laser, assim, o botão (outra fonte de mau contato) foi inutilizado. Além disso, ao retiramos a ponta, ganhamos também maior dissipação do calor no laser. Segundo testes realizados pelo Professor Lunazzi, o calor é principal responsável pela queimar dos lasers.



**Figura 16** – Ponta do envoltório que foi retirada.

O quarto e último obstáculo foi proposto pelo Professor Lunazzi. Alterar o espelho de vidro do alto-falante por um de acrílico. Como já citado acima, quanto maior a massa maior a inércia do movimento, gerando uma defasagem entre o movimento do cone e o espelho ligado a ele, bem como, grande perda na amplitude do movimento. Ao fazer a substituição conseguimos excelentes resultados. Um problema ao usar um espelho de acrílico é a facilidade com que sua superfície risca. Ao fixar o espelho apareceram diversos riscos que foram retirados com polimento. Usamos massa para polir extrafina da marca Pérola (automotiva). Com um algodão aplicamos a massa na superfície, esperamos secar e com um algodão limpo retiramos a massa com movimentos leves rápidos e lineares. Assim a superfície voltou a ficar sem riscos.

## 5. Conclusão

Com os resultados obtidos podemos concluir que a projeção não permite visualizar exatamente a frequência da onda sonora ouvida. Permite apenas a demonstração de que o som é realmente uma onda. Da mesma, a projeção só permitiu ter uma ideia da relação entre o volume e a amplitude da onda, pois, a característica intensidade está relacionada mais com a energia transportada pela onda.

Porém, em condições controladas, esse experimento permitiria através da imagem projetada, calcular exatamente a frequência do som emitido. Para isso, teríamos dispor de um tacômetro para saber exatamente a velocidade de giro, de um controle bem mais preciso da velocidade do motor e de um gerador de sinal mais preciso. Neste caso poderia usar um computador com o programa Audacity citado no texto. Esse programa permite criar qualquer frequência.

Assim, pode-se afirmar que o experimento atingiu o objetivo inicial de caráter demonstrativo. Além disso, abriu uma possibilidade de calcular a frequência do som com certa exatidão.

## 6. PESQUISA

**6.1. Palavras Chave:** frequência sonora, audição, característica do som, estudo do som, potenciômetro, controle de rotação, gerador de frequência, fontes de tensão, alto-falantes, laser, amplificadores, movimento circular, reflexão da luz, funcionamento dos alto-falantes.

### 6.2. Referências:

1. Relatório “Construção de um defletor de laser por alto-falantes” disponível em: [http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530\\_F590\\_F690\\_F809\\_F895/F809/F809\\_sem1\\_2002/992399r\\_f.pdf](http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem1_2002/992399r_f.pdf) . Acessado em 13/05/2012 as 21:55 hrs;  
Este trabalho contribuiu com conceitos teóricos do som e para o conhecimento do funcionamento dos equipamentos utilizados.
2. Site: <http://m.algosobre.com.br/fisica/acustica.html> . Acessado em 13/05/2012 as 22:00 hrs;  
Esta fonte foi base da explanação sobre as características do som (intensidade e altura).
3. Site: [http://www.amattos.eng.br/Public/INSTRUMENTOS\\_MUSICAIS/Textos/Div/notas.htm](http://www.amattos.eng.br/Public/INSTRUMENTOS_MUSICAIS/Textos/Div/notas.htm) . Acessado em 13/05/2012 as 22:05 hrs;  
Este site contribuiu para os valores das frequências geradas, pois queria-se gerar a frequências das notas musicais centrais do sistema temperado.
4. TCC – “A Utilização da Ecolocalização por Morcegos”. Disponível em: <http://www.fisicajp.net/tccs/2010/tccluciano.pdf> . Acessado em 13/05/2012 as 22:17 hrs;



Este trabalho também contribuiu com conceitos teóricos do som (infrassom, ultrassom, frequências audíveis).

5. Relatório “Projeção de música 3D com óculos Bicolor” disponível em:

[http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530\\_F590\\_F690\\_F809\\_F895/F809/F809\\_sem1\\_2010/Marcelo\\_H\\_Lunazzi-RF3.pdf](http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem1_2010/Marcelo_H_Lunazzi-RF3.pdf). Acessado em 13/05/2012 as 22:30 hrs;

As ilustrações deste trabalho contribuíram com ideias para os dispositivos de fixação dos componentes envolvidos neste experimento.

6. Blog de Eletrônica disponível em: <http://hackedgadgets.com/2008/10/16/dual-speaker-laser-xy-mirror-display/>. Acessado em 13/05/2012 as 22:35 hrs;

7. Vídeo disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=5JyU2j8Zfsg>. Acessado em 13/05/2012 as 22:43 hrs;

As referências 6 e 7 contribuíram para a montagem e disposição dos componentes.

8. Blog sobre Alto-falantes disponível em:

<http://altofalanteufes2007.blogspot.com.br/2007/12/principio-de-funcionamento.html>. Acessado em 05/06/2012 as 15:00 hrs.

Essa referência foi a base da construção da teoria que fala sobre os alto-falantes.

9. Site do Instituto de Pesquisas e Inovações Educacionais disponível em:

<http://www.educativa.org.br/servicos/mad-a2-5.htm>. Acessado em 07/06/2012 as 20:35 hrs.

10. WALKER, Jearl; HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. Fundamentos de Física, Vol. 2 e Vol. 3. 8ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

Essas referências foram consultadas esporadicamente para revisão de conceitos.

## 7. Declarações da Orientadora

### **Relatório Parcial:**

Paulo é bastante comprometido com o desenvolvimento do projeto, tendo executado as primeiras etapas com sucesso e de maneira independente. Também tem se aprofundado no tema, levantando novas referências e adaptando a instrumentação para eliminar os problemas encontrados. Considero muito bom seu desempenho até o momento.

### **Relatório Final:**

Paulo mostrou uma dedicação muito grande a esta atividade, desde sua concepção e projeto até uma execução extremamente bem feita e caprichosa. Além disso, mostrou independência na pesquisa de conceitos e busca de soluções experimentais; isso é fundamental para a formação do professor, que em muitos casos não conta com suporte na própria escola para a realização deste tipo de projeto. Considero seu trabalho excelente em todos os aspectos.

## Anexo I

Tabela de especificações dos equipamentos.

<b>Equipamento</b>	<b>Tensão (V)</b>	<b>Potência (W)</b>	<b>Impedância (<math>\Omega</math>)</b>	<b>Resistência (<math>\Omega</math>)</b>
Laser	4,5	$5 \cdot 10^{-3}$	----	----
Alto-falante	----	75	8	----
Amplificador Mono	12	10 (RMS)	----	----
Motor (9000 rpm)	12	----	----	----
Potenciômetro	----	----	----	30
Cooler (75 mm)	12	----	----	----