



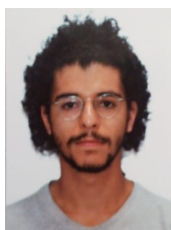
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP
INSTITUTO DE FÍSICA GLEB WATAGHIN – IFGW



CURSO DE TÓPICOS DE ENSINO DE FÍSICA – F 609

TUBO DE KUNDT MODERNO

EXPERIMENTO CAPAZ DE MEDIR COMPRIMENTO DE
ONDA SONORA



Aluno: Kaíque Thiago de Souza (kaiquethoco[arroba]gmail.com)

Orientador: Prof. Francisco Rouxinol (rouxinol[arroba]ifi.unicamp.br)

Coordenador: Prof. José J. Lunazzi (lunazzi[arroba]ifi.unicamp.br)

RESUMO

Este projeto de *Tópicos de Ensino de Física* visa o desenvolvimento de uma plataforma para o ensino de ondulatória utilizando materiais fáceis de serem encontrados em casa. O objetivo é a construção de um sistema para estudar ondas sonoras voltada para a aprendizagem dos conceitos de frequência, velocidade de ondas e outros, que são de grande importância tecnológica e social em nossa sociedade.

SUMÁRIO

1. DESENVOLVIMENTO	4
1.1. Materiais utilizados	5
1.2. Construção do experimento	5
1.2.1. AMPLIFICADOR DE SOM DO CELULAR	5
1.2.2. LATA PARA ENXERGAR A VOZ	6
1.2.3. UNIÃO DO AMPLIFICADOR COM A LATA	9
1.2.4. TUBO DE KUNDT MODERNO	10
2. TESTES E RESULTADOS	14
3. DIFICULDADES ENCONTRADAS	20
4. CUSTOS	21
5. CRÍTICA E AGRADECIMENTOS	22

INTRODUÇÃO

Nossas experiências estão baseadas em nossa habilidade de interagir com o mundo a nossa volta através de nossos sentidos. A audição é um dos sentidos mais importantes para o ser humano, servindo para a acumulação de conhecimento e compreensão de nosso mundo. O som é vital para comunicação com outras pessoas, criação de arte, regular nosso comportamento, e muitos outros aspectos de nossa vida. Além disso é uma das formas de transferência de energia através de meios materiais como o ar, água, ou sólidos.

O fascínio e curiosidade sobre como o som funciona intrigou diversas pessoas durante a história da humanidade, como: Aristóteles (384AC-322AC), Galileu Galilei (1564-1642), Robert Boyle (1627-1691), Joseph Fourier (1768-1830), e Christian Doppler (1803-1853). A importância do som e o seu impacto em nossas vidas é um tópico muito importante em nossa sociedade, sendo importante o conhecimento de suas principais propriedades.

Pensando nisso, este projeto tem como objetivo a construção de um equipamento para estudo do som. Tentaremos trazer aos professores do Ensino Médio um experimento de baixo custo, que possa ser construído pelos próprios alunos, abordando assuntos como ondulatória e óptica e sejam conceitualmente significativos. Esperamos também que, com este experimento possamos levar os alunos a se envolvam mais com a disciplina de Física e com a escola, criando neles o sentimento de coletividade com a escola, além de despertar sua curiosidade científica e o desenvolvimento do método/pensamento científico.

O objetivo do experimento é medir o comprimento de uma onda sonora. Com base nos resultados de experimentos que medem a velocidade do som (aproximadamente 340 m/s) e controlando sua frequência com ajuda de aplicativos para celular, iremos medir o comprimento de onda e fazer uma comparação com o valor esperado depois de explicar toda a teoria por trás do fenômeno.

1. DESENVOLVIMENTO

Ondas e partículas são dois dos mais importantes conceitos em mecânica clássica, associados a quase todos fenômenos descritos pela física. Estes conceitos são bastante diferentes; a ideia de partícula sugere uma pequena concentração de matéria e energia, enquanto o conceito de onda sugere uma distribuição de energia distribuído pelo espaço em que passa. Neste projeto vamos desenvolver uma série de experimentos para estudar conceitos básicos em ondulatória.

Apresentamos um conjunto de experimentos, que combina, de uma forma visual e interativa, diversos elementos simples de encontrar em casa, com elementos tecnológicos - lasers e celulares, de forma a aprimorar o conceito de ondas, e a implementação de diversos experimentos para medida do comprimento de onda (λ), e sua relação com a frequência (f) e velocidade de propagação da onda (v): $v = \lambda f$.

Para medir o comprimento de uma onda sonora vamos utilizar o conhecimento de outros experimentos já feitos, e construir novos equipamentos para atender esta necessidades. Precisamos de um dispositivo que tenha um som com frequência controlada e que possamos ajustar o seu tamanho.

Para nossa montagem vamos utilizar dois canos com diâmetros diferentes, mas próximos, que basculam entre si. Em um dos lados, tem a emissão de som com frequência conhecida, o outro lado é tampado por alguma borracha que vibra quando o som é ligado. No centro desta borracha, há um espelho colado capaz de refletir um laser. A imagem do laser refletido deve formar padrões diferentes com distâncias diferentes porém com a mesma frequência. Iremos procurar padrões de desenhos formados pelo reflexo do laser de acordo com a distância entre as extremidades do tubo.

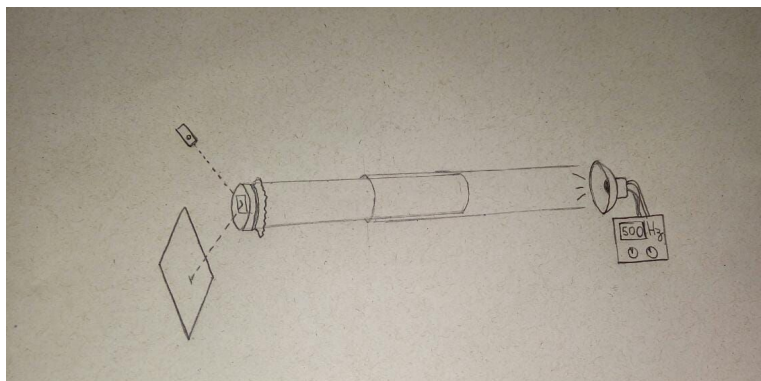


Figura 1: Idealização do Tubo de Kundt moderno.

1.1 Materiais utilizados

- 03 luvas de látex;
- 03 canos pvc (\varnothing 75 mm, \varnothing 60 mm e \varnothing 20 mm);
- 01 espelho/chapa de alumínio espelhado;
- 01 laser;
- 01 fita adesiva;
- 01 cola instantânea;
- 01 régua;
- 04 garrafas pet;
- 01 estilete;
- 01 serra;
- 01 lata;
- 01 abridor de lata;
- 02 buchas de limpeza;

1.2 Construção do experimento

Construímos um Tubo de Kundt moderno, onde em uma das laterais do tubo tem a transmissão do som e do outro lado uma luva de látex esticada com um pequeno pedaço da chapa de alumínio espelhada colado no centro, capaz de refletir um laser. Deve ser transferida energia sonora à bexiga, fazendo-a vibrar e, conseqüentemente formar “desenhos” com o reflexo do laser. A única variável deste tubo é o comprimento, basculando um cano dentro do outro. Ao encontrar padrões de desenhos formados com comprimentos diferentes e mesma frequência, descobriremos então o comprimento de onda do som emitido.

Para chegar no experimento final, fizemos antes um conjunto de experimentos: Um amplificador de som de celular com garrafa PET, um aparato de lata para “enxergar a voz”, depois pensamos em unir um amplificador com o aparato, onde a única variável é a frequência do som e, por fim, o tubo de Kundt moderno. O único que tem análise quantitativa será o Tubo, o restante apenas análises qualitativas.

1.2.1 AMPLIFICADOR DE SOM DE CELULAR

Com uma garrafa PET, cortamos a parte da tampa. No fundo da garrafa, abrimos uma fenda com o estilete, para que possamos colocar o celular dentro da garrafa. E então,

ligamos o som do celular, e ele foi amplificado na saída da garrafa, parte que cortamos perto da tampa. Note que o objetivo deste para o experimento final não é necessariamente amplificar o som, mas sim fazer que o som se propague para uma direção específica.



Figura 2 : Garrafa PET com o lado da tampa cortado.



Figura 3 : Fenda no fundo da garrafa PET.

1.2.2 LATA PARA ENXERGAR A VOZ

Com uma lata de metal (poderia usar qualquer outra lata, como de achocolatado ou conserva), abrimos os dois lados para que fique vazada. Em um dos lados, colamos uma luva de látex esticada, formando uma membrana.



Figura 4 : Lata vazada.



Figura 5 : Luva de látex esticada em uma das extremidades da lata.

Cortamos os canos de \varnothing 20 mm em comprimentos de aproximadamente 10 cm e então, em umas das extremidades, um corte em “V” para o encaixe do laser.



Figura 6 : Corte do cano em aproximadamente 10 cm de comprimento.



Figura 7 : Corte em "V" em uma das extremidades do cano para encaixe do laser.

Colamos com fita adesiva o este cano na lata, de modo que o laser que estará no cano mire diretamente no alumínio espelhado.



Figura 8 : Lata para enxergar a voz.

1.2.3 UNIÃO DO AMPLIFICADOR COM A LATA

Usamos duas garrafas PETs, em uma fizemos todos os passos para o amplificador de som de celular, e na outra quase todos os passos que fizemos na lata para enxergar a voz. Unimos as duas garrafas, de modo que o som que sai do celular vá diretamente para a bexiga. Em uma, cortamos a garrafa do lado que fica a tampa e abrimos também a fenda para o encaixe do celular; na outra, cortamos os dois lados da garrafa para que fique vazada, em um dos lados colocamos a bexiga e no outro lado, juntamos com a primeira garrafa.



Figura 9 : Montagem das garrafas.

Como na lata, colamos o alumínio espelhado na bexiga esticada e também o cano de \varnothing 20mm com o “V” de modo que o laser mire exatamente no alumínio.



Figura 10 : União do amplificador com lata para enxergar a voz.

1.2.4 TUBO DE KUNDT MODERNO

Utilizamos de dois canos PVC, um de \varnothing 75 mm e outro de \varnothing 60 mm. Para isolar o som dentro dos tubos e para bascularem entre si e sem folga, cortamos uma bucha de

limpeza em três pedaços iguais e colamos em uma extremidade de cada cano: no cano de \varnothing 60 mm do lado de fora e o de \varnothing 75mm no lado de dentro.



Figura 11 : Canos utilizados.



Figura 12 : Colagem da bucha cortada no cano menor.



Figura 13 : Colagem da bucha cortada no cano maior.

É importante colar as buchas de limpeza espaçadas em um dos canos, como na figura acima, para que não dê diferença de pressão entre o espaço de um cano e outro e a atmosfera quando mover os canos entre si.



Figura 14 : Como deve ficar depois de colocar um cano dentro do outro.

Para o encaixe do celular, fizemos um dispositivo de garrafa PET. Cortamos a garrafa em três posições, onde a parte do meio foi descartada, no fundo da garrafa foi feita uma fenda para encaixe do celular. Na parte de cima, cortamos a tampa ou o bico da garrafa, depois cortamos em tiras a garrafa até que fique no diâmetro do cano de menor diâmetro. Colamos o fundo da garrafa com o topo e colamos o dispositivo no cano.



Figura 15: Dispositivo para encaixar o celular.

Depois passamos fita adesiva para melhorar no isolamento do som dentro do tubo. No de maior diâmetro, colocamos uma luva de látex esticada em uma das extremidades. Colamos também o cano de \varnothing 20 mm com corte “V” de modo que o laser aponte diretamente para o centro.



Figura 16 :Tubo de Kundt moderno.

2. TESTES E RESULTADOS

Foram feitos alguns testes e análises qualitativas. Nas três partes que usam do laser, foram testadas bexigas e luvas de látex. Preferimos látex por ser mais leve, ter uma elasticidade melhor e pela bexiga rasgar muito fácil, dificultando os testes. Foram testados também 4 tipos de espelhos: espelho de vidro, chapa de alumínio e de inox espelhadas e uma chapa de silício disponibilizada pelo professor Rouxinol. O espelho de vidro e a chapa de inox não funcionaram e chegamos a conclusão que é devido a massa desses espelhos. Por ser mais massivo, tem maior inércia e assim não vibrou como deveria. A chapa de alumínio vibrou como esperávamos, porém a luz do laser refletida ficou borrada e não estava muito nítido, dificultando assim a verificação de quando estava vibrando ou não. A chapa de silício foi a melhor opção, pois é muito leve e reflete a luz com perfeição. Separamos algumas imagens para ilustrar o resultado encontrado .



Figura 17 : Imagem do reflexo do vidro de Silício, um único ponto sem muita difusão.

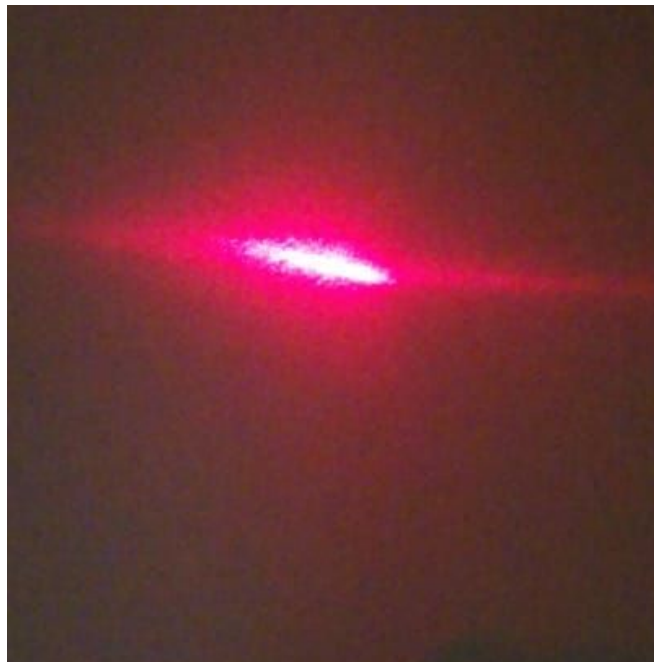


Figura 18 : Imagem de como ficou difuso o reflexo da chapa de inox.



Figura 19 : Imagem de como ficou difuso o reflexo da chapa de alumínio.

Note que as imagens acima é o reflexo dos espelhos sem que esteja vibrando, fazendo com que fique difícil saber quando está vibrando, já que a vibração quando é feita pelo celular é bem mais sutil do que quando feito com a voz. As próximas 3 imagens foram feitas com o experimento funcionando, ou seja, a luz é o reflexo de uma vibração.

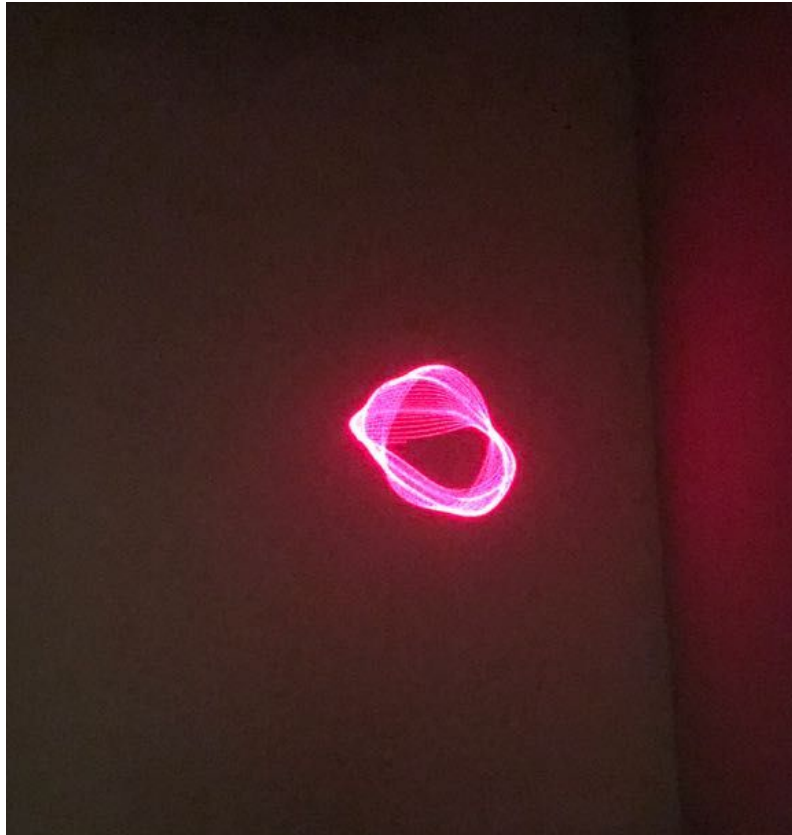


Figura 20: Imagem formada pela lata de enxergar a voz.

Na lata para enxergar a voz formou desenhos muito bonitos e grandes. Notamos que com voz mais aguda, os desenhos ficavam menores, quando com voz grave o desenho ficava maior e mais bonito. Logo, com uma frequência menor, a amplitude do desenho fica maior, enquanto com uma frequência maior, a amplitude do desenho fica menor.

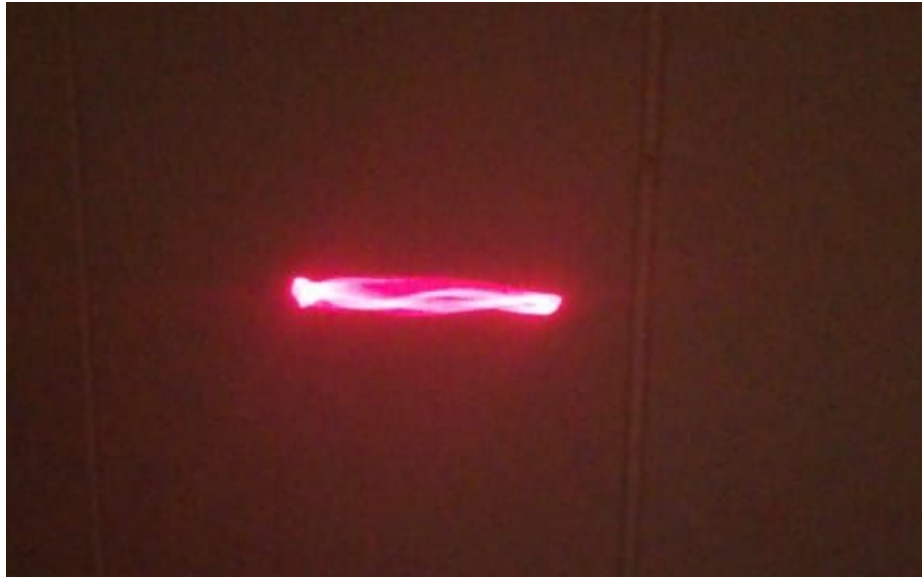


Figura 21: Imagem gerada pela união da lata para enxergar a voz com amplificador de celular.

Na união da lata com o amplificador, formam desenhos desse tipo, como linhas nas horizontais. Alterando a frequência do som do celular, essa linha gira em torno do centro e também aumenta e diminui de comprimento.



Figura 22: Imagem formada pelo tubo.

No tubo, a imagem formada também foi de linhas que diminuem e aumentam de comprimento, mas não gira em torno do centro como na garrafa. Colocando uma frequência controlada, acontece vibração apenas em alguns comprimentos e, quando isso acontece, o

som fica com intensidade maior, portanto concluímos que é ressonância das ondas sonoras.

Medindo os comprimentos em que acontece a vibração / ressonância, percebemos que acontece vibração a cada $\lambda/2$, onde λ é o comprimento de onda. Medimos os diferentes comprimentos do celular até a bexiga em que há vibrações, fazendo a subtração dos valores encontrados, vimos que é muito próximo do esperado para $\lambda/2$.

Notamos também que o tubo tem uma vibração mais intensa com frequências entre 500 Hz e 900 Hz.

Para saber se a bexiga estava realmente vibrando quando encontramos um múltiplo de $\lambda/2$, medimos a distância do celular à bexiga em dois casos que a bexiga está com vibração máxima. Subtraindo o comprimento de diferentes distâncias, devemos encontrar o $\lambda/2$. As medidas encontradas estão representadas na tabela abaixo.

Medidas do comprimento de onda				
	500 Hz	600 Hz	700 Hz	800 Hz
Medida 1 (cm)	170,7	180,7	155	173,3
Medida 2 (cm)	140,7	148,4	129,3	152
$\lambda/2$ (medida 1 - medida 2) (cm)	30	32,3	25,7	21,3
Valor teórico (cm)	34,3	28,6	24,5	21,4

Tabela 1: Medidas do comprimento de onda.

Note que os valores encontrados são pertinentes ao valor esperado ou valor teórico, comprovando assim a funcionalidade do experimento.

Foram feitas medidas também das amplitudes de vibração do tubo, utilizando de um papel milimetrado. É importante notar que, em todas as medidas, o papel milimetrado estava a uma distância de aproximadamente 313,5 cm do espelho.

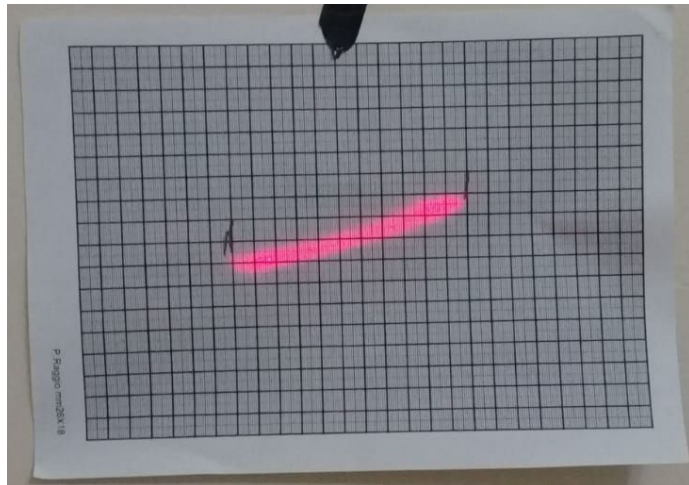


Figura 23: Ilustração do aparato de papel milimetrado - neste caso para 600 Hz.

Amplitude de vibração	
500 Hz	7,8 cm
600 Hz	12 cm
700 Hz	11 cm
800 Hz	5 cm
Sem vibração	3 cm

Tabela 2: Amplitude de vibrações para diferentes frequências.

3. DIFICULDADES ENCONTRADAS

Devido o espelho de vidro ser muito pesado, preferimos refletir o laser com a chapa de alumínio e os dois são fáceis de encontrar sem custo. O fato de preferir um espelho leve é que ele absorve menos a vibração da bexiga, assim teremos uma vibração mais intensa.

Trocamos de bexiga para luva de látex. A bexiga rasgava muito mais fácil e não tinha uma boa elasticidade, enquanto a luva de látex parece ser mais leve

Outra dificuldade que encontramos foi que o cano de maior diâmetro não era grande o suficiente para que coubesse um celular. Então começamos a pensar em alguma solução que usasse garrafa PET, pois já sabíamos que dá certo devido ao amplificador de som de celular.



Figura 24 : Fenda de como seria o encaixe do celular.

Pelo fato de que o espelho teria uma melhor vibração estando em uma luva de látex de maior área, decidimos trocar de posição o celular com a luva, assim seria mais fácil fazer um dispositivo para o celular que fique colado no cano e também teria a luva no cano de maior diâmetro a fim de ter melhores vibrações na lâmina de alumínio ou espelho.

Pensando que o som tenha menos perda de energia percorrendo um caminho menor, cortamos aproximadamente 40 cm do cano branco. Assim o som perderia menos energia até chegar no espelho, melhorando a qualidade da vibração.

Durante os testes, para mudar os espelhos ou a bexiga, tínhamos que desmontar e montar o experimento quase inteiro. Essa foi uma grande dificuldade, pois se gastava muito tempo para mudar de uma configuração para outra.

4. CUSTOS

Fizemos uma pesquisa de preços e calculamos uma média do quanto será gasto para realizar este projeto, contamos os preços das ferramentas utilizadas e também do material que é feito o experimento. Não foram contados materiais como garrafas PETs, latas, chapa de alumínio ou espelho ou qualquer outro material que pode ser facilmente encontrados sem custo.

MATERIAIS UTILIZADOS NO EXPERIMENTO			
Materiais	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Luva de Látex	3 unidades	0,15	0,45
Cano PVC ø 75 mm	1 metro	8,50 / metro	8,50
Cano PVC ø 60 mm	1 metro	20,00 / metro	20,00
Cano PVC ø 20 mm	0,5 metro	2,00 / metro	1,00
Laser	1 unidade	6,00	6,00
Fita adesiva 40 mm	1 unidade	5,00	5,00
Cola instantânea	1 unidade	7,00	7,00
Estilete	1 unidade	3,00	3,00
Serra	1 unidade	5,00	5,00
Bucha de limpeza	2 unidades	2,00	4,00
Total			59,95

Tabela 3: Tabela de custos dos materiais utilizados.

Como conseguimos alguns dos materiais e ferramentas sem custo, calculamos o custo da nossa construção, para que se alguém for construir esse experimento e já tenha alguns dos materiais utilizados, sem precisar comprar tudo, o quanto vai gastar em média. Os materiais e ferramentas que não aparecem nesta tabela ou já tínhamos em casa ou eram descarte de outras pessoas.

MATERIAIS QUE FORAM COMPRADOS PARA CONSTRUÇÃO DO EXPERIMENTO			
Materiais	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Cano PVC ø 60 mm	1 metro	20,00 / metro	20,00
Laser	1 unidade	6,00	6,00
Fita adesiva 40 mm	1 unidade	5,00	5,00
Cola instantânea	1 unidade	7,00	7,00
Bucha de limpeza	2 unidades	2,00	4,00
Bexiga / Luva de Látex	3 unidades	0,15	0,45
Total			42,45

Tabela 4: Materiais que compramos para realização do experimento.

Devido ao preço final do experimento e também da complexidade da construção, sugerimos que quando este projeto for trabalhado com alguma turma do Ensino Médio, que seja em grupos de cinco ou seis pessoas, para que o preço possa ser dividido entre eles e assim não ficar caro para nenhum dos integrantes do grupo.

5. CRÍTICA E AGRADECIMENTOS

Meu orientador concorda com o expressado neste relatório e deu a seguinte opinião:

Durante este semestre tivemos reuniões a cada duas semanas sobre o projeto. O aluno trabalhou bastante tentando resolver problemas de captação e amplificação do som. Muitos dos problemas foram resolvidos através da leitura de outros trabalhos, e da adaptação de equipamentos utilizados com outros fins para o desenvolvimento do projeto. Na segunda parte do trabalho o estudante vai adaptar uma ponteira laser portátil para poder converter o movimento das membranas nos tubos no movimento de um ponto luminoso em uma superfície. Discutimos bastante os resultados até o momento e espero que até o final do trabalho possamos desenvolver uma metodologia para aquisição de resultados quantitativos.

Além de relatar o trabalho feito durante o semestre, o relatório teve como objetivo criar um guia para o ensino de conceitos de ondas sonoras (velocidade, comprimento de onda e frequência etc.) para

alunos do ensino fundamental e médio. Devido ao trabalho feito durante este período, as interessantes conclusões sobre o funcionamento de ondas sonoras em diferentes condições, e o esforço do estudante, este merece um ótimo conceito na disciplina.

CONCLUSÃO

Esperamos com este experimento que os alunos trabalhem tanto qualitativamente quanto quantitativamente em cima dos dados coletados e que possam tirar suas próprias conclusões sobre o experimento, e uma ideia mais ampla do método científico.

Com a conclusão deste projeto esperamos providenciar aos estudantes de ensino médio uma plataforma para ajudar no aprendizado de modelos físicos importantes em sistemas sonoros, que podem ser aplicados em outras áreas de conhecimento; com também na história das pessoas que desenvolveram estes conhecimentos e o efeito desta tecnologia em nossa sociedade. Conhecimentos importantes para o desenvolvimento do estudante e cidadão em nossa sociedade.

Acreditamos que este é um ótimo experimento para os alunos de Ensino Médio e Fundamental, pois além de fazer com que eles pensem o porquê o experimento funciona, é um experimento que gera muito divertimento entre os alunos, principalmente com a lata para enxergar a voz, criando assim neles a ideia de que a Física é muito mais do que aulas expositivas.

Agradecimentos

Meus sinceros agradecimentos ao Professor Francisco Rouxinol por ter me ajudado muito em todos os aspectos do projeto e sem essa ajuda não seria possível a construção deste experimento. Ao Professor Lunazzi, primeiramente por ter proporcionado a oportunidade de trabalhar neste projeto, e também por ter citado referências para enriquecê-lo. À Unicamp pelo acesso à ciência, educação e aos professores do mais alto nível.

REFERÊNCIAS

Fundamentos de Física , D. Halliday, R. Resnick e J. Walker.

Grupo de Ensino de Física - UnB. *Tubo de Kundt* [http://www.fis.unb.br/gefis/index.php?option=com_content&view=article&id=237&Itemid=365] Visitado em 06/06/2018.

[VÍDEO DE UM TUBO DE KUNDT] *Tubo ressonante* [<https://www.youtube.com/watch?v=37Kw61271Cs>]

SILVA, Aída Rita Tedesco. *Tubo de Kundt*. [https://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem1_2009/AidaT_Tessler_RP.pdf] Visitado em 9 de junho de 2018.

SILVA, Tiago Amancio. *Tubo de Quincke*. [https://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem2_2006/TiagoA-Tessler_RF.pdf] Visitado em 9 de junho de 2018.

LAVARDA, Welber Gianini Quirino. *Experimentos de Física para o Ensino Médio com Materiais do Dia-a-Dia* [http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/rbef_1pp.htm] Visitado em 10 de Abril de 2018.

SOUZA, Alessandra Cardosina. *A EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE CIÊNCIAS: importância das aulas práticas no processo de ensino aprendizagem* [http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4718/1/MD_EDUMTE_II_2012_20.pdf] Visitado em 10 de abril de 2018.

SANTOS, Keila Pereira. *A IMPORTÂNCIA DE EXPERIMENTOS PARA ENSINAR CIÊNCIAS NO ENSINO FUNDAMENTAL* [http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4270/1/MD_ENSCIE_2014_2_45.pdf] Visitado em 10 de abril de 2018.

Manual do Mundo. *COMO ENXERGAR A PRÓPRIA VOZ*. [<https://www.manualdomundo.com.br/2015/03/como-enxergar-a-voz/>] Visitado em 18 de abril de 2018.

