



**PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE
CIÊNCIAS E MATEMÁTICA – ENCIMA – IFSP**

PRODUTO EDUCACIONAL

**EXPERIMENTOS MUSICAIS: ELETRICIDADE, ONDA E MATEMÁTICA
COMO EXPERIMENTOS CIENTÍFICOS PARA PROFESSORES**

TIAGO LEITE TRUJILLANO

EMERSON FERREIRA GOMES

São Paulo

2023

Produto Educacional apresentado como requisito à obtenção do grau de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática pelo Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, campus São Paulo.

AUTORES

Tiago Leite Trujillano – Graduado em Licenciatura em Ciências da Natureza pela Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo (EACH-USP). Atualmente, participa do Grupo de Pesquisa INTERFACES - Núcleo Temático de Estudos e Recursos sobre a Fantasia nas Artes, Ciências, Educação e Sociedade na EACH-USP, colaborando com a BANCA DA CIÊNCIA. Foi bolsista CNPq do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação da Docência PIBID – USP. Atualmente, é professor do ENSINO FUNDAMENTAL 2 e ENSINO MÉDIO em instituição privada de ensino e mestrando no Programa em Ensino de Ciências e Matemática pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo.

Emerson Ferreira Gomes – Graduado em Licenciatura em Física pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2003). Possui título de Mestre (2011) e Doutor (2016) em Ensino de Ciências na modalidade de Ensino de Física pelo Programa de Pós-graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo. Atualmente, é Professor de Ensino Básico, Técnico e Tecnológico - Física, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Campus Boituva/SP e Professor Credenciado no Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática do IFSP, Campus São Paulo. Coordena o Grupo de Pesquisa INTERFACES - Núcleo Temático de Estudos e Recursos sobre a Fantasia nas Artes, Ciências, Educação e Sociedade na Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo (EACH-USP) e atua como orientador credenciado no Programa de Pós-Graduação em Estudos Culturais da EACH-USP. Atua principalmente nos seguintes temas: Interface entre Física e Literatura, Física e Música, Rock no Ensino de Ciências, Mídias no Ensino de Ciências, Educação Não-Formal em Ciências e Estudos Culturais.

Sumário

FAÇA VOCÊ MESMO: APRESENTAÇÃO DOS EXPERIMENTOS E REFERENCIAIS TEÓRICOS.....	4
EXPERIMENTO 1: MONOCÓRDIO DE PITÁGORAS.....	6
EXPERIMENTO 2: GERADOR DE ENERGIA ELÉTRICA – INDUÇÃO MAGNÉTICA ..	8
EXPERIMENTO 3: GERADOR DE ENERGIA – PIEZOELÉTRICO	14
EXPERIMENTO 4: TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA SEM FIO	18
EXPERIMENTO 5: AMPLIFICADOR DE BAIXA POTÊNCIA	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

FAÇA VOCÊ MESMO: APRESENTAÇÃO DOS EXPERIMENTOS E REFERENCIAIS TEÓRICOS

Este produto educacional integra a pesquisa que foi desenvolvida no Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), com a orientação do Professor Doutor Emerson Ferreira Gomes.

A pesquisa utiliza a guitarra elétrica como instrumento musical temático, para ser explorada do ponto de vista científico, envolvendo os conceitos de eletricidade, vibração e propagação de onda. Com isso, o objetivo da pesquisa foi analisar a relevância de experimentos que se baseiam no funcionamento da guitarra elétrica tem para o ensino de ciências. No entanto, os experimentos apresentados na proposta didática utilizam conceitos científicos individualizadamente, construindo gradualmente a ideia básica da guitarra elétrica.

É interessante que se faça a leitura da dissertação, que tem como título “A GUITARRA E A FORMA DO SOM: CIÊNCIA E MÚSICA ATRAVÉS DE EXPERIMENTOS MUSICAIS PARA ENSINO E DIVULGAÇÃO DA CIÊNCIA” para o enriquecimento do diálogo em relação aos experimentos descritos neste produto educacional, permitindo ao leitor o acesso ao relato dos experimentos usados nas oficinas dentro do contexto escolar.

Neste produto educacional, leitor encontrará cinco experimentos, desenvolvidos para as atividades, que foram usados como recurso didático e desenvolvidos pelos participantes ao longo do tempo.

Como primeira proposta, foi criada uma representação experimental semelhante ao monocórdio, experimento que, de acordo com alguns autores, foi criado por Pitágoras para estudar a harmonia que ocorreria com o som emitido pelo monocórdio ao alterar o comprimento da corda.

A segunda proposta fundamentou-se na ideia de gerar corrente elétrica através da variação do campo magnético, conhecido nos livros didáticos como

Lei de Faraday-Neumann-Lenz, na qual a variação do fluxo gera uma força eletromotriz induzida.

A terceira proposta utiliza a piezoelectricidade para gerar energia. A deformação de um tipo específico de material geram descargas elétricas necessárias para acender um LED.

Na quarta proposta visa construir um circuito elétrico oscilador, com uma bobina, que induz uma corrente elétrica em uma segunda bobina. Esta por sua vez usada para acender um LED.

A quinta e última proposta é criar um pequeno amplificador de baixa potência para amplificar os sinais de baixa tensão emitidos pelo piezoelétrico.

EXPERIMENTO 1: MONOCÓRDIO DE PITÁGORAS

O monocórdio de Pitágoras (ABDOUNUR, 2003) é composto, basicamente, por uma base de madeira do tipo "Pinus", com dois suportes em cada extremidade (figura 1). Neste experimento, utilizou-se uma ripa de madeira de aproximadamente 4 cm de largura e 35 cm de comprimento. Este comprimento não é um valor obrigatório, sendo de responsabilidade do professor/aluno escolher o tamanho adequado para o desenvolvimento do monocórdio.



Figura 1 - Base de madeira do tipo "Pinus"

Além da base de madeira, é necessário o uso de palitos de dente, facilmente encontrados em qualquer supermercado, uma corda de violão, preferencialmente as cordas E (mi) grave, A (Lá) ou G (Sol) e uma peça de plástico, neste caso feito a partir do corte de um cabide de guarda-roupa, de plástico, aproximadamente 4,5 cm de comprimento (figura 2):



Figura 2 - Tarraxa feita de plástico de cabide de guarda-roupa

O primeiro passo para o desenvolvimento do monocórdio é determinar o início e o término da demarcação do comprimento da corda. É sugerida que, na extremidade no qual a corda será fixada, haja, pelo menos, uma distância de 1 cm da borda da madeira e, no lado onde a tarraxa, componente de plástico, esteja a 3 cm da borda, como mostra a figura (3):

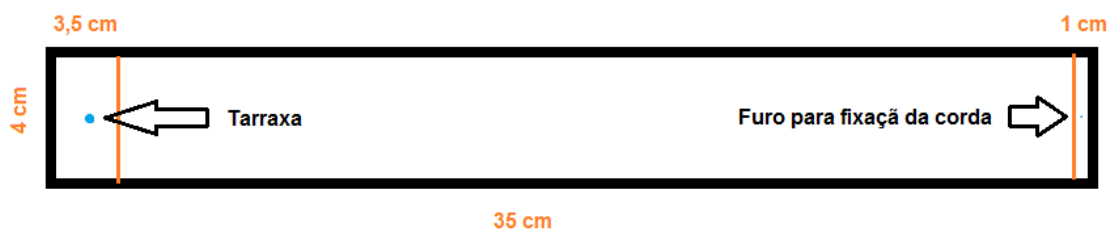


Figura 3 - Gabarito dos furos e posição do comprimento da corda

Na região indicada na figura 3, será feito um furo para a fixação da corda e da tarraxa, conforme demonstrado na figura. Os furos devem ser realizados sob a supervisão de um adulto, sendo que o furo de fixação da corda deve ter aproximadamente o diâmetro da corda e o furo da tarraxa, aproximadamente, o diâmetro da tarraxa. O diâmetro do furo não deve ser necessariamente proporcional ao diâmetro da corda, uma vez que é necessário que a corda transite pelo furo com facilidade. No caso da tarraxa, é necessário um furo mais justo, pois isso permitirá que a tarraxa se acomode de maneira natural ao ser colocada neste local, evitando a perda de tensão da corda.

Para finalizar o monocórdio, é necessário realizar os cálculos da posição dos trastes, conforme a figura 4:



Figura 4 - Distância dos trastes calculados

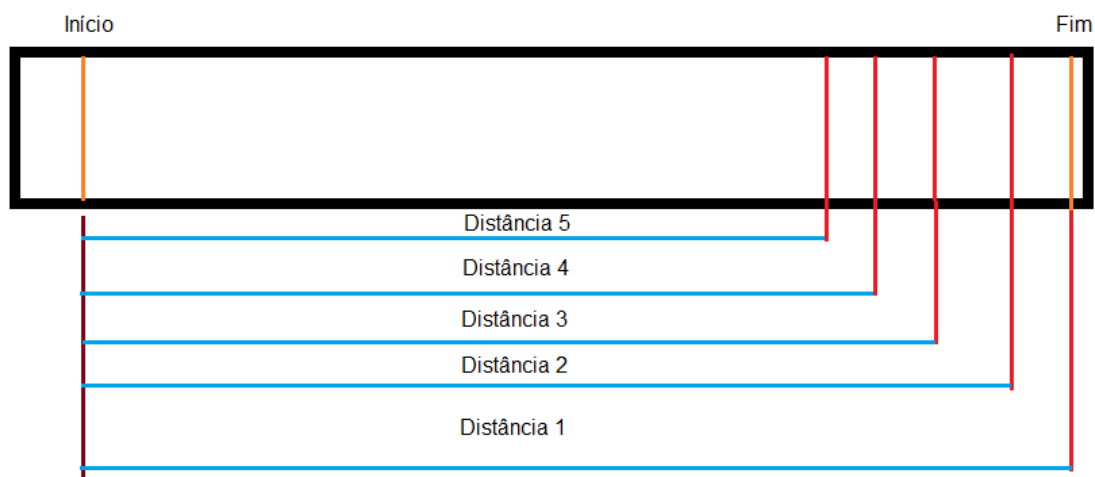


Figura 5 - Cálculo da distância do traste

Os cálculos são realizados da seguinte forma (figura 5):

- * A distância (distância 1) é calculada para o início e o término do comprimento da corda. Neste exemplo, usaremos o valor de 30,5 cm.
- * Para calcular a distância 2, faremos a divisão da distância 1 (30,5 cm) pela raiz duodécima de 2 ($^{12}\sqrt{2} = 1,05946309436$), resultando, neste exemplo, aproximadamente, 28,79 cm. O resultado será o valor da distância 2 a partir da marcação "início".
- * Para o cálculo da distância 3, faremos a divisão da distância 2 (28,79 cm) pela raiz duodécima de 2 (1,05946309436), resultando, neste exemplo, em aproximadamente 27,17 cm. O resultado será o valor da distância 3 a partir da marcação "início".
- * Para o cálculo da distância 4, faremos a divisão da distância 3 (27,17 cm) pela raiz duodécima de 2 (1,05946309436), resultando, neste exemplo, em aproximadamente 25,65 cm. O resultado será o valor da distância 4 a partir da marcação "início".

Os cálculos realizados acima seguem o mesmo padrão até a quantidade de distância de trastes desejada. No exemplo em questão, foram calculadas 12 posições, correspondendo à metade do comprimento definido para a corda (15,25 cm).

Após os cálculos, traçamos uma reta em cada uma das distâncias, indicando a posição dos trastes. Dessa forma, teremos a escala das notas musicais semelhante a um instrumento de corda.

A tarraxa de plástico de cabide deve ser moldada sob a supervisão de um adulto, aquecendo uma das extremidades e pressionando-a com um alicate. Dessa forma, teremos um apoio para girar a tarraxa visando aplicar uma tensão semelhante aos instrumentos musicais de corda (figura 6) e perfurada com auxílio de um prego fino, aquecido por fogo sob a supervisão de um adulto, perfurando a outra extremidade da tarraxa (figura 7). Este furo deve ter um diâmetro próximo ao diâmetro da corda do violão, uma vez que este será fixado neste ponto.



Figura 6 - Formação da base de aperto da tarraxa



Figura 7 - Furo na tarraxa para a fixação da corda

O desenvolvimento do monocórdio possibilita a discussão da importância da matemática no desenvolvimento das escalas musicais, como a matemática se desenvolveu-se através do problema da escala enquanto formada pela escola pitagórica e como Leonhard Euler propôs a solução com a raiz duodécima de 2 ($\sqrt[12]{2}$).

O monocórdio finalizado será semelhante ao que se observa na figura 8:

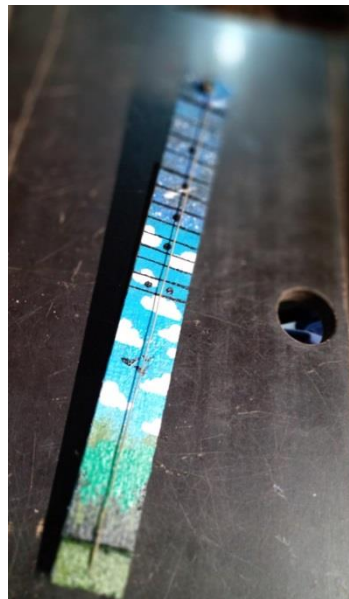


Figura 8 - Monocórdio finalizado

EXPERIMENTO 2: GERADOR DE ENERGIA ELÉTRICA – INDUÇÃO MAGNÉTICA

Este experimento consiste em, basicamente, utilizar uma bobina retirada de um transformador de fonte de alimentação, dois LED (preferencialmente de cores diferentes) e um ímã de neodímio.

Para fazer isso, é preciso desmontar um transformador pequeno, como mostrado na figura 9.

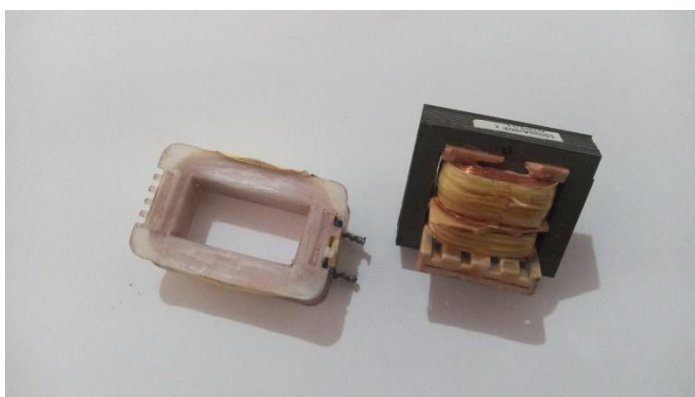


Figura 9 - Bobina retirada de um transformador

Os LEDs devem ser soldados, sob a supervisão de um adulto, na extremidade da bobina primária do transformador. Esta contém um fio de cobre mais fino, e com mais voltas ao redor do suporte da bobina, logo, sugerimos a bobina primária para o experimento, por ser mais prática para gerar energia elétrica.

É importante salientar que os LEDs têm polaridades, identificadas pelo comprimento dos seus pinos, o maior sendo positivo e o menor negativo (conforme a figura 10).



Figura 10 - LED e sua polaridade

Para obter um efeito interessante por meio de corrente alternada, os LEDs devem ser fixados em polaridades opostas (pino positivo do LED 1 no negativo do LED 2 e pino negativo do LED 1 no positivo do LED 2) na bobina, conforme a figura 11:

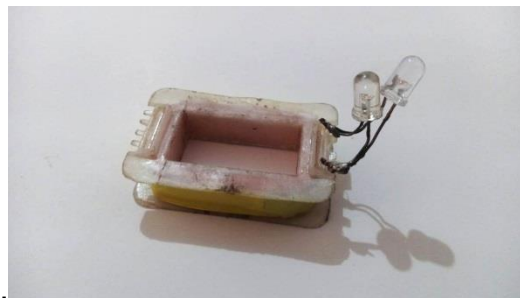


Figura 11 - LEDs soldados com polaridades opostas na bobina

O ímã de neodímio pode ser extraído de um HD de computador, comprado em lojas de utensílios domésticos ou materiais escolares, como suporte para fixação de papel em placa de metal (geralmente usado em portas de geladeira), conforme mostra a figura 12.

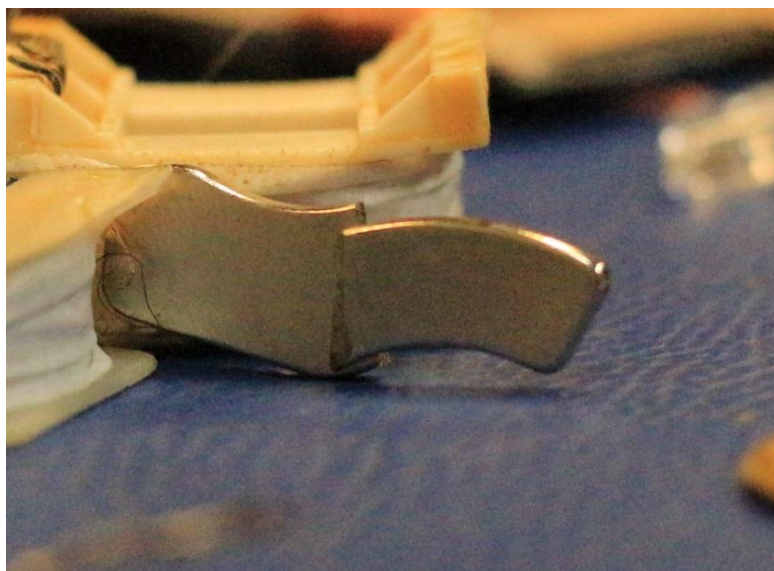


Figura 12 - Ímã de neodímio retirado de HD de computador

Para gerar energia elétrica, é necessário oscilar o ímã sob a bobina, logo, tem uma direção correta para que haja a indução de forma eficiente e isso depende da direção do campo de indução do ímã e que deve ser explorado pelo leitor e posteriormente pelo aluno, podendo-se discutir sobre a influência do ângulo em relação à bobina para o fluxo magnético. O efeito esperado é a alternância das luzes dos LEDs. Este fenômeno se dá devido à corrente elétrica induzida (HESSEL, R; FRESCHI, A. A; SANTOS, F. J, 2015), que se alterna devido à movimentação alternada do ímã, como sugerido na pesquisa sobre este produto educacional.

EXPERIMENTO 3: GERADOR DE ENERGIA – PIEZOELÉTRICO

O experimento que usa o piezoelétrico para gerar energia elétrica pode ser feito de duas maneiras: comprando o piezoelétrico, fios e LED numa loja de

componentes eletrônicos ou comprando um cartão musical, geralmente cartões de aniversário ou natal, vendidos em lojas de papelaria e materiais escolares.

O experimento consiste, basicamente, em conectar o LED ao piezoelétrico e, posteriormente, pressioná-lo para gerar cargas elétricas (AMORIM, C. A. et al., 2021) que acenderão o LED.

Para manipular o piezoelétrico (figura 13), se os componentes forem comprados em lojas de eletrônicos, é necessário ter cautela ao soldar os fios. A camada de metal sobre o cristal do piezoelétrico é fina e se desfaz facilmente com o excesso de calor. Sendo assim, é preciso controlar a temperatura do ferro de solda, sob a supervisão de um adulto, para fixar os fios que serão conectados ao LED (figura 14).



Figura 13 – Piezoelétrico



Figura 14 - Piezoelétrico com os fios soldados

Como sugestão, aplica-se resina transparente sobre o lado em que estão soldados os fios no piezoelétrico. Desta maneira preserva-se a solda e o próprio piezoelétrico a fim de evitar danos estruturais no componente.

Realizado esta solda dos fios no piezoelétrico, basta conectar o LED em cada uma das extremidades. A partir deste ponto o experimento está concluído.

Uma maneira fácil de construir este experimento é utilizar o piezoelétrico, juntamente com o LED, dos cartões musicais (figura 15). O piezoelétrico já vem com os fios soldados no piezoelétrico e fios soldados no LED (figura 16).



Figura 15 - Cartão musical

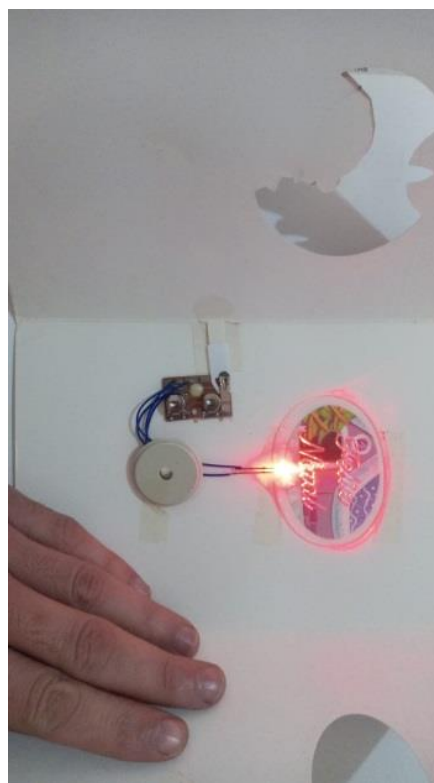


Figura 16 - Piezo e LED com fios soldados

Para a conclusão do experimento basta conectar os fios do LED em cada extremidade do piezo (figura 17 e 18), neste caso o LED pode ser conectado em qualquer polaridade, pois o efeito demonstrado ocorrerá de da mesma maneira (figura 19).



Figura 17 - LED e Piezoelétrico desconectados

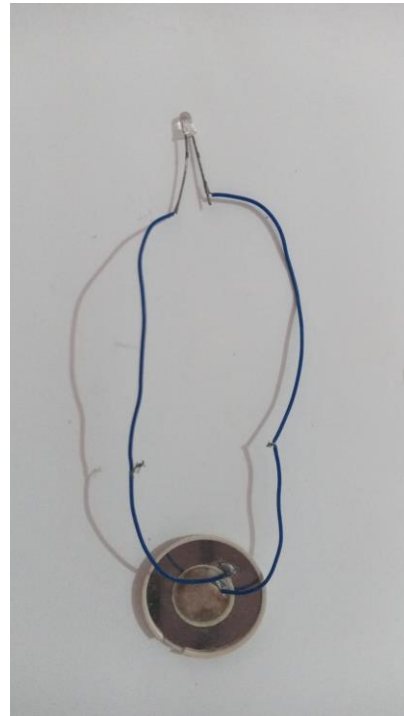


Figura 18 - LED e piezoelétrico conectado

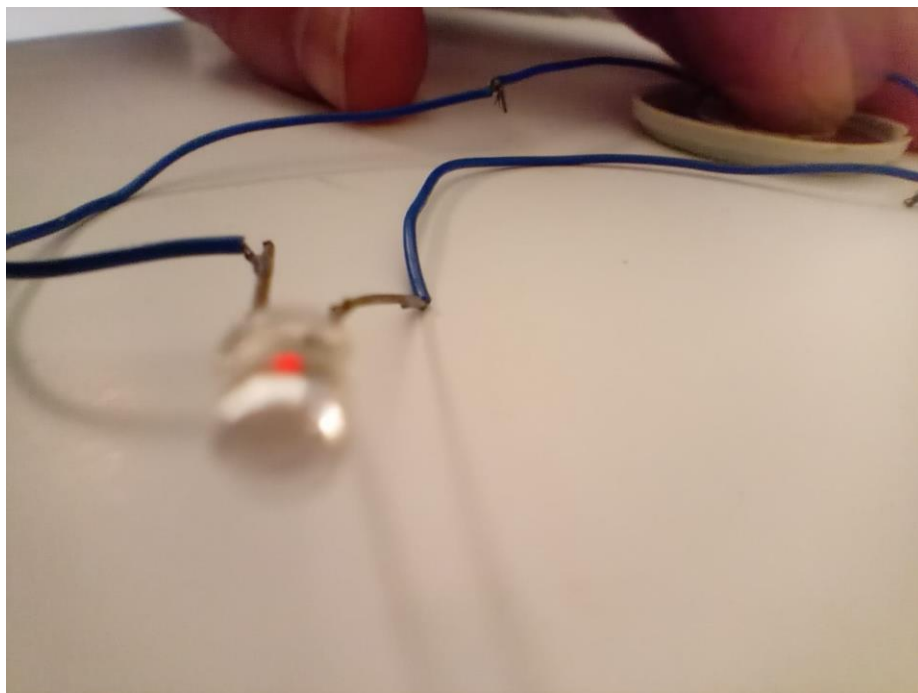


Figura 19 - Experimento funcionando

Este experimento permite discutir sobre a piezoeletricidade e as suas aplicações, como a emissão de ultrassom e captação de vibração mecânica.

EXPERIMENTO 4: TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA SEM FIO

Este experimento é, em certa medida, semelhante ao experimento 2 (gerador de energia - indução magnética). Aqui, não é utilizado o campo magnético permanente de um ímã, mas sim o campo magnético de um eletroímã. Este circuito elétrico é composto, basicamente, por um transistor bipolar de junção de código 2N3904 (figura 20), fios de cobre esmaltados e uma pilha AA de 1,5V. É um componente de baixo custo encontrado em lojas especializadas em componentes eletrônicos.

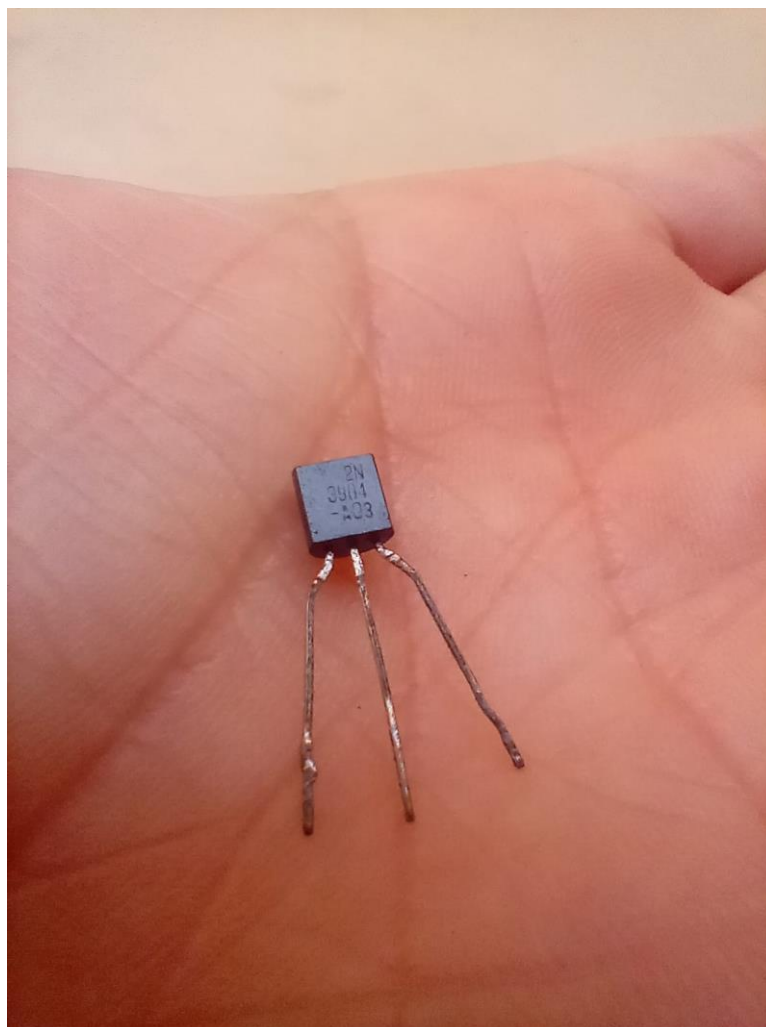


Figura 20 - Transistor 2N3904

Sua estrutura se baseia em duas bobinas feitas a partir do fio de cobre retirado do transformador de energia elétrica (similar ao que foi usado no

experimento 2). Cada bobina tem aproximadamente entre 3,5 m e 4,0 m de comprimento, sendo configurada da seguinte maneira:

* Enrola-se a bobina secundária em torno de um cilindro de aproximadamente 5 cm de diâmetro (use uma fita adesiva para fixar as voltas da bobina como visto na figura 20), a extremidade da bobina será conectada ao LED conforme visto na figura 21;



Figura 21 - Bobina secundária (5 cm de diâmetro), com fita adesiva, conectada ao LED

* Para a bobina primária, deve-se dobrar o fio no meio. A extremidade dobrada deve ser raspada, para retirar o esmalte isolante, permitindo o contato elétrico. Esta extremidade é chamada de "center tape" (em transformadores que possuem na bobina primária a opção 110V/220V), e será a conexão do polo positivo do circuito com a pilha (figura 22);

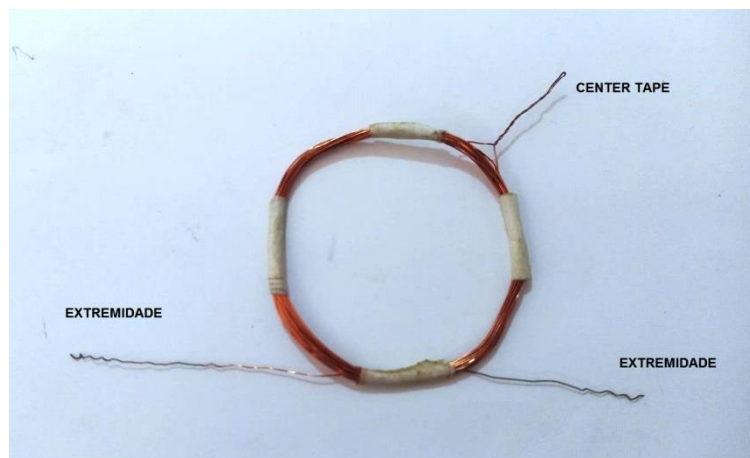


Figura 22 - Bobina primária

* Enrola-se a bobina primária em torno de um cilindro de aproximadamente 5 cm de diâmetro (use uma fita adesiva para fixar as voltas da bobina como sugerido) conforme está na figura 22 e 23;



Figura 23 - Bobina primária conectada ao transistor e os fios.

* Conecta-se as duas extremidades da bobina primária, deixando o "center tape" livre, na base e no emissor do transistor (figura 24) deixando o pino do coletor livre para a conexão do polo negativo da pilha;

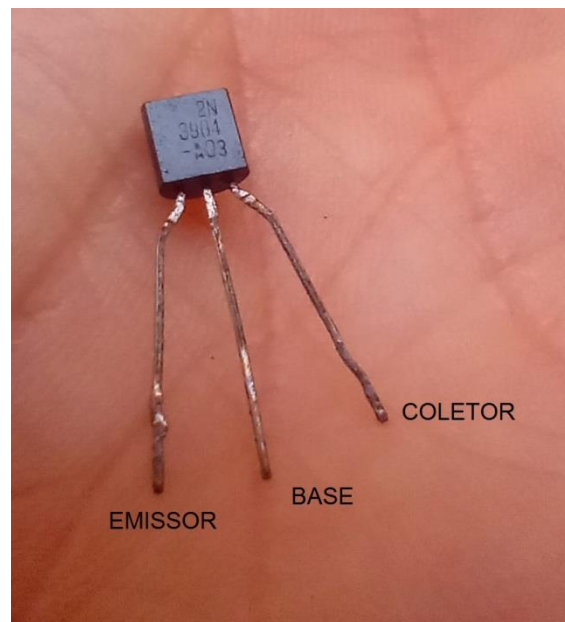


Figura 24 - Pinagem do transistor

Realizada as conexões, o experimento funcionará quando ligar a pilha, com sua devida polaridade, e aproximando a bobina secundária, conectada ao LED. O circuito é instável devido à indução magnética gerada pela própria bobina primária (HESSEL, R; FRESCHI, A. A; SANTOS, F. J, 2015), isto faz com que a intensidade da corrente elétrica se alterne, gerando conseqüentemente um fluxo de campo magnético variável. Este, por sua vez, irá induzir uma corrente elétrica na bobina secundária acendendo o led (figura 25).

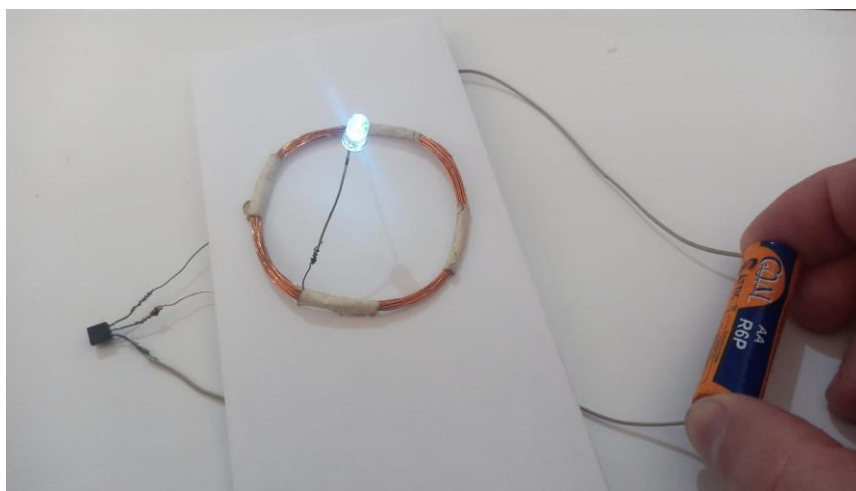


Figura 25 - Experimento funcionando

O experimento pode ser usado também alterando-se o ângulo da bobina secundária em relação à primária. Quando o entre as bobinas for 0° , a força eletromotriz induzida terá sua máxima intensidade, variando-se esse ângulo para 90° haverá uma redução do fluxo magnético, que depende do valor do cosseno do mesmo, e conseqüentemente o LED apagará.

EXPERIMENTO 5: AMPLIFICADOR DE BAIXA POTÊNCIA

Este amplificador deve ser construído por um adulto devido ao manuseio de materiais que exigem cuidados, além de utilizarem fontes de calor.

O projeto desenvolvido na oficina se baseia no circuito integrado LM386, este é um amplificador de baixa potência usado, geralmente, para amplificar sinais sonoros para fones de ouvido. Seu desenvolvimento foi baseado no

"datasheet"¹ da própria fabricante, acrescentando-se um transistor na entrada do circuito configurado para captar sinais de baixa amplitude. Esta adaptação se deve pelo fato dos sinais captados pelo piezoelétrico ser de baixa intensidade.

O diagrama elétrico do circuito pode ser observado na figura 26:

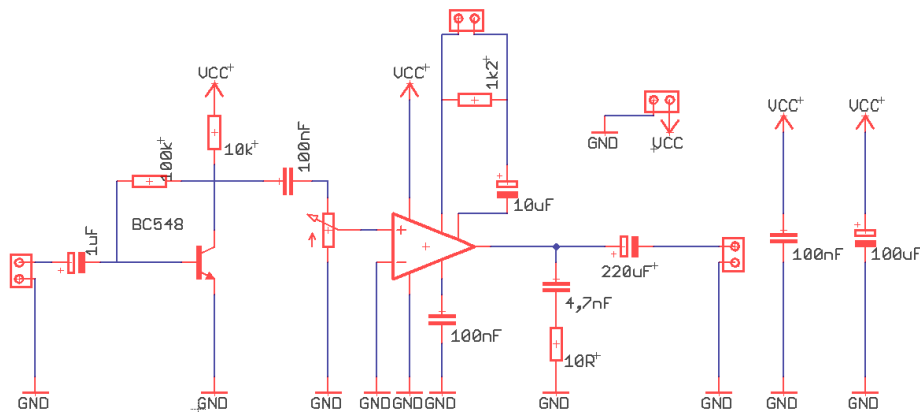


Figura 26 - Esquema elétrico do amplificador LM386

A posição dos componentes na placa pode ser observada na figura 27:

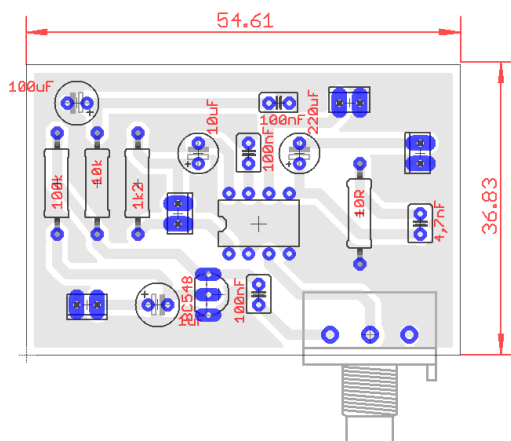


Figura 27 - Placa do amplificador com a posição dos componentes

1

https://www.ti.com/product/LM386?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=asc-null-null-GPN_EN-cpc-pf-google-wwe&utm_content=LM386&ds_k=LM386&DCM=yes&gclid=CjwKCAjw-7OIBhB8EiwAnoOEkyNikaeX_8hdP8Y38y-sjKrOK8CaajzgyW_RULs6bbEmNd9VAR9U1BoCFxMQAvD_BwE&gclid=aw.ds

O principal desafio no desenvolvimento deste amplificador está na construção da placa onde serão integrados os componentes. Não é uma tarefa simples mas é possível de ser executada, uma vez que a sugestão de como produzi-la é facilmente encontrada em tutoriais na internet, que ensinam passo a passo o processo de conclusão. A produção da placa é, basicamente, baseada na transferência térmica para a placa virgem cobreada. A transferência térmica é realizada através do Layout da placa (figura 28), impresso em um papel fotográfico conhecido como "Glossy", através de uma impressora a laser (impressoras a jato de tinta não funcionam).

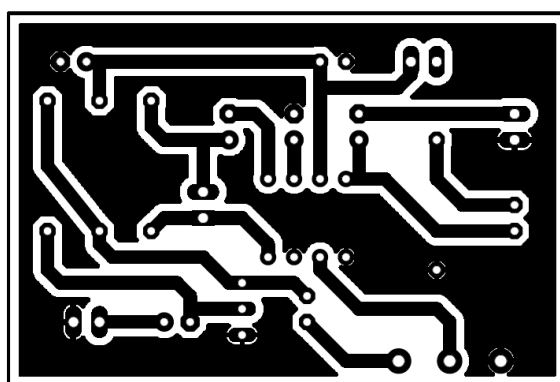


Figura 28 - Layout da placa para transferência térmica (altura: 36,8 mm; largura: 54,6 mm)

Após a impressão, deve-se limpar a placa virgem devido a eventuais contatos com as mãos na face cobreada. Aplicar o papel impresso no lado cobreado da placa e, com um ferro de passar roupas, movê-lo para todos os cantos da placa alternadamente. Não há um consenso sobre quanto tempo deve ser feito isso. Essa transferência deve ser monitorada, observando em partes menores do conjunto papel/placa para verificar a consistência da transferência do layout no papel para a placa (figura 29).

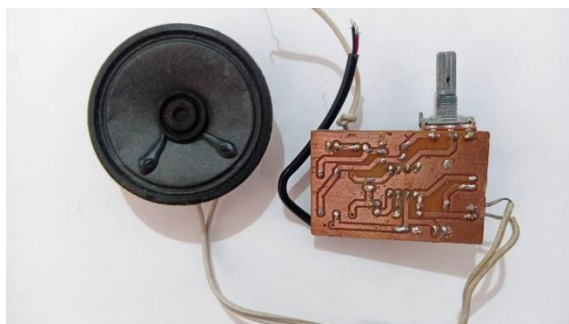


Figura 29 - Placa do amplificador com as soldas dos componentes

Após este procedimento, retira-se o papel com cautela para não prejudicar a transferência térmica realizada. O próximo passo será corroer a placa com percloroeto de ferro, material para corrosão de placas cobreadas vendidos em lojas especializadas em componentes eletrônicos. Sugerimos que seja comprado o produto diluído, como é oferecido normalmente, para evitar misturas incorretas entre percloroeto e água. É necessário um recipiente descartável, de plástico, para realizar a corrosão da placa. Este processo deve ser realizado aplicando-se percloroeto no recipiente, juntamente com a placa, e observando o progresso do processo. Não há um consenso sobre intervalo de tempo para corroer a placa, dependendo da qualidade do material corrosivo utilizado, o tempo pode variar de 10 min a 30 min.

Após a corrosão da placa, é recomendado limpá-la com água corrente para retirar o excesso do percloroeto, e, após secá-la, perfurá-la nos locais onde serão colocados e fixados, com ferro de solda e estanho, os componentes eletrônicos listados a seguir:

Resistores:

1 x 100k

1 x 10k

1 x 1,2k (opcional, não é necessário colocá-lo)

1 x 10R

Potenciômetro

1 x B10k

Capacitores

1 x 1uF

1 x 10uF

1 x 100uF (opcional, não é necessário colocá-lo)

1 x 220uF

2 x 100nF

1 x 4,7nF

Transistor

1 x BC548

CIRCUITO INTEGRADO

1 x LM386

ALTO-FALANTE

1 x Alto-falante 4 Ω a 8 Ω

O projeto, depois de concluído, deverá ficar similar ao da figura 30:

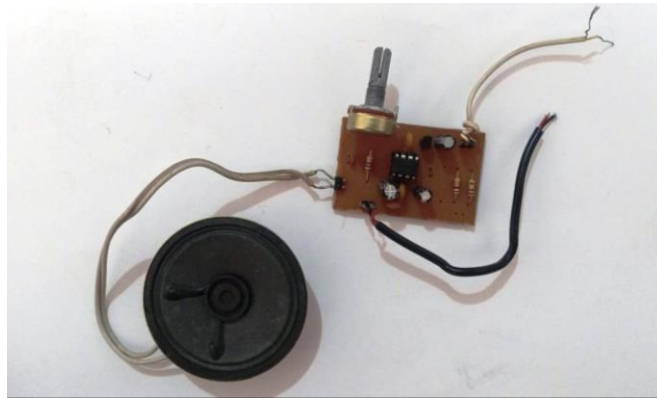


Figura 30 - Placa do amplificador com os componentes

O circuito opera com uma bateria de 9V, com o alto-falante conectado à saída do amplificador e um piezoelétrico, semelhante ao usado no experimento 3, conforme o diagrama apresentado na figura 26. Após a sua construção, o som emitido pelo amplificador será influenciado por qualquer vibração captada pelo piezoelétrico. Este, por exemplo, foi conectado ao monocórdio para captar a vibração da corda, mas pode ser usado para captar qualquer vibração, devido à sua elevada sensibilidade, conseqüentemente podemos escutar um som saturado ou não dependendo da intensidade do volume do amplificador, semelhante ao efeito de distorção de uma guitarra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, C. A. *et al.* Desenvolvimento de um sismógrafo empregando sensores piezoelétricos em plataforma Arduino. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. e20210267, 2021.

ABDONOUR, O. J., **Matemática e Música**. 3º. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2003.

HESSEL, R; FRESCHI, A. A; SANTOS, F. J. Lei de indução de Faraday: Uma verificação experimental. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, 2015.

