



## **PROPOSTA DE ENSINO INVESTIGATIVO USANDO A INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA E PIEZOELETRICIDADE APLICADOS AOS SENSORES DE GUITARRAS E VIOLÕES**

ISRAEL MAXSON RIBEIRO DE SOUZA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Pará no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Professor Dr. Antonio Maia de Jesus Chaves Neto

Belém - Pará

Agosto - 2018



**PARECER DA BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DO MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA.**

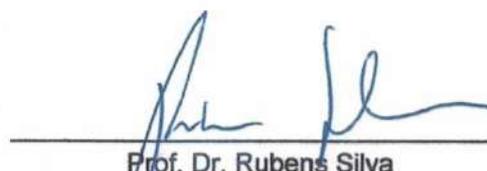
**TEMA: “Proposta de Ensino Investigativo Usando a Indução Eletromagnética e Piezoeletricidade Aplicados aos Sensores de Guitarras e Violões”.**

A Banca Examinadora composta pelos Professores: **Dr. ANTONIO MAIA DE JESUS CHAVES NETO** (Orientador), **Dr. RUBENS SILVA** (Membro Interno), e **Dr. RODRIGO DO MONTE GESTER** (Membro Externo) consideram o candidato **ISRAEL MAXSON RIBEIRO DE SOUZA**:

**APROVADO**

Secretaria do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal do Pará, em 03 de agosto de 2018.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Antonio Maia de Jesus Chaves Neto  
(Orientador - MNPEF - UFPA)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Rubens Silva  
(Membro Interno - MNPEF - UFPA)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Rodrigo do Monte Gester  
(Membro Externo - MNPEF - UNIFESSPA)



## ATA DA APRESENTAÇÃO E DEFESA DE DISSERTAÇÃO DO Mestrado NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA.

ATA DA 014ª SESSÃO DE APRESENTAÇÃO E DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE Mestrado INTITULADA "Proposta de Ensino Investigativo Usando a Indução Eletromagnética e Piezoelectricidade Aplicados aos Sensores de Guitarras e Violões " PARA CONCESSÃO DO GRAU DE MESTRE EM FÍSICA, DE ACORDO COM O ART. 33º DO REGIMENTO GERAL DO MNPEF, REALIZADA ÀS XX HORAS DO DIA 03 DE AGOSTO DE 2018, NO LABORATÓRIO DE FÍSICA-ENSINO. A DISSERTAÇÃO FOI APRESENTADA DURANTE 50 MINUTOS PELO CANDIDATO ISRAEL MAXSON RIBEIRO DE SOUZA, DIANTE DA BANCA EXAMINADORA APROVADA PELA SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA, ASSIM CONSTITUÍDA: MEMBROS: PROF. DR. ANTONIO MAIA DE JESUS CHAVES NETO (ORIENTADOR), PROF. DR. RUBENS SILVA (MEMBRO INTERNO) E PROF. DR. RODRIGO DO MONTE GESTER (MEMBRO EXTERNO). EM SEGUIDA, O CANDIDATO FOI SUBMETIDO À ARGÜIÇÃO, TENDO DEMONSTRADO SUFICIÊNCIA DE CONHECIMENTOS NO TEMA OBJETO DA DISSERTAÇÃO, HAVENDO À BANCA EXAMINADORA DECIDIDO PELA APROVAÇÃO DA MESMA. PARA CONSTAR, FORAM LAVRADOS OS TERMOS DA PRESENTE ATA, QUE LIDA E APROVADA RECEBE A ASSINATURA DOS INTEGRANTES DA BANCA EXAMINADORA E DO CANDIDATO.

### CANDIDATO:

Israel Maxson Ribeiro de Souza

### BANCA EXAMINADORA:

Antonio Maia de Jesus Chaves Neto  
Prof. Dr. Antonio Maia de Jesus Chaves Neto  
(Orientador - MNPEF - UFPA)

Rubens Silva  
Prof. Dr. Rubens Silva  
(Membro Interno - MNPEF - UFPA)

Rodrigo do Monte Gester  
Prof. Dr. Rodrigo do Monte Gester  
(Membro Externo - MNPEF - UNIFESSPA)

**PROPOSTA DE ENSINO INVESTIGATIVO USANDO A INDUÇÃO  
ELETROMAGNÉTICA E PIEZOELETRICIDADE APLICADOS AOS SENSORES DE  
GUITARRAS E VIOLÕES.**

**ISRAEL MAXSON RIBEIRO DE SOUZA**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Pará (UFPA) em Ensino de Física 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.

Aprovada por:

**ORIENTADOR:**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. ANTONIO MAIA DE JESUS CHAVES NETO  
(MNPEF – UFPA)

**MEMBRO INTERNO**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. RUBENS SILVA  
(MNPEF – UFPA)

**MEMBRO EXTERNO**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. RODRIGO DO MONTE GESTER  
(MNPEF- UNIFESSPA)

Belém - PA  
Agosto - 2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R484p Ribeiro de Souza, Israel Maxson

Proposta de Ensino Investigativo usando a Indução Eletromagnética e Piezoeletricidade Aplicados aos Sensores de Guitarras e Violões / Israel Maxson Ribeiro de Souza. — 2018 150 f. : il. color

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Física (PPGF), Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Antonio Maia de Jesus Chaves Neto

1. Indução eletromagnética, Piezoeletricidade, Sensores de guitarra, Competências práticas, Metodologias ativas. I. de Jesus Chaves Neto, Antonio Maia , *orient.* II. Título

CDD 530.07

Dedicado a grande pessoa que  
foi o meu pai, David Marinho de  
Souza, que deixou muitas  
saudades em 2015.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a pessoa mais importante da minha vida, meu Pai.

A minha mãe que sempre dedicou a sua vida a cuidar da nossa família.

Ao meu filho Isaac Albert Martins Souza que está distante de mim, mas sempre estará nas minhas lembranças e a minha filha Stela Maria Lessa de Souza.

Ao Prof. Dr. Antonio Maia por sempre estar disponível para a minha orientação.

A Escola Nossa Senhora do Rosário na pessoa de sua Diretora Maria da Conceição pelo incentivo e ao Diretor Carlos Fonseca.

Especificamente aos colegas de curso Antônio Silas e Márcio Tavares que muito contribuíram para a minha formação intelectual nesse mestrado.

A coordenação e ao corpo docente do MNPEF, Polo UFPA, pelo empenho e pelo compromisso com a qualidade do ensino.

Em particular ao Professor Dr. Marcelo Lima pelo excelente curso de eletromagnetismo.

A Professora Dr. Conceição Gemaque pelas valiosas dicas de leituras pedagógicas para alicerçar esse trabalho.

Aos professores participantes da banca que com perspicácia avaliaram essa dissertação.

Ao meu amigo Joatã Oliveira, grande amizade construída ao longo da nossa vida acadêmica.

## SIGLAS

**SBF** – Sociedade Brasileira de Física

**MNPEF** – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

**UFPA** – Universidade Federal do Pará

**PCNs** – Parâmetros Curriculares Nacionais

**BNCC** – Base nacional Curricular Comum

**SEI** – Sequência de Ensino Investigativa

**ZDP** – Zona de Desenvolvimento Proximal

**CTSA** – Ciência-tecnologia-sociedade-ambiente

**AE** – Alfabetização Científica

**ENEM** – Exame Nacional do Ensino Médio

**DCNENM** – Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio

**FEM** – Força Eletromotriz

**DC** – Corrente Direta

**CA** – Corrente Alternada

**PVDF** – Polifluoreto de Vinilideno

**PZT**– Titanato Zirconato de Chumbo

**AWG** – *American Wire Gauge* (Padrão americano para calibre de fio de cobre)

**LED** – Diodo Emissor de Luz

## RESUMO

A presente dissertação se propõe a sequenciar uma atividade de ensino investigativa para construir conhecimentos de eletricidade e magnetismo baseando-se no funcionamento dos sensores de guitarras e violões. Os sensores (ou captadores como são chamados comercialmente) eletromagnéticos das guitarras e os piezoelétricos dos violões acústicos transformam a energia mecânica associada a vibração das cordas em energia elétrica. O objetivo é desenvolver competências práticas associadas ao planejamento e construção de pequenos artefatos eletromecânicos que usam a indução eletromagnética ou a piezoeletricidade para gerar pequenas porções de energia elétrica em consonância com as metodologias ativas que orientam as práticas pedagógicas da escola do século XXI. A sequência é constituída de três aulas experimentais investigativas, planejadas para construir os conceitos teóricos e uma aula experimental demonstrativa cuja ferramenta de auxílio na aprendizagem será o bicórdio elétrico de Pitágoras, uma caixa de duas cordas com dupla captação, eletromagnética e piezoelétrica, que será usada para demonstrar através do som, algumas características qualitativas da transformação de energia nesses sensores. A metodologia teve como fonte teórica o construtivismo de Piaget e a psicologia histórico-cultural de Vygotsky. O processo avaliativo se deu durante a aplicação das atividades e pela posterior produção pelos alunos de pequenas usinas de geração de eletricidade. Foram obtidos resultados satisfatórios em duas turmas de ensino médio do 3º ano demonstrando o potencial educacional da proposta.

**Palavras-chave:** Indução eletromagnética, Piezoeletricidade, Sensores de guitarra, Competências práticas, Metodologias ativas, Geração de eletricidade.

## ABSTRACT

The present dissertation proposes to sequencing an investigative teaching activity to build knowledge of electricity and magnetism based on the functioning of the sensors of guitars and guitars. The electromagnetic sensors (or pickups as they are called commercially) of the guitars and the piezoelectric of the acoustic guitars transform the mechanical energy associated with the vibration of the chords into electrical energy. The objective is to develop practical skills associated with the planning and construction of small electromechanical artifacts that use electromagnetic induction or piezoelectricity to generate small portions of electric energy in accordance with the active methodologies that guide the teaching practices of the 21st century school. The sequence consists of three investigative experimental classes designed to construct theoretical concepts and a demonstrative experimental class whose learning aid tool will be the electric bicordium of Pitagoras, a double-stranded box with two electromagnetic and piezoelectric pickups that will be used to demonstrate through the sound some qualitative characteristics of the energy transformation in these sensors. The methodology had as its theoretical source the constructivism of Piaget and historical-cultural psychology of Vygotsky. The evaluative process occurred during the application of the activities and for the subsequent production by the students of small power generation plants. Satisfactory results were obtained in two 3-year high school classes demonstrating the educational potential of the proposal.

**Keywords:** Electromagnetic induction, Piezoelectricity, Guitar sensors, Practical skills, Active methodologies, Electricity generation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Em (a) cítara grega, a primeira hipótese para a origem do violão. Em (b) o Oud (esquerda) e o Alaúde (direita). Diferenças no formato do corpo e no braço. (c. 711-718 D.C.).....	24
Figura 2.2 – Pestana colocada a $\frac{3}{4}$ (a), a $\frac{2}{3}$ (b) e a $\frac{1}{2}$ (c) do comprimento da corda produzindo respectivamente a 4 <sup>a</sup> , 5 <sup>a</sup> e 8 <sup>a</sup> notas da escala musical .....	24
Figura 2.3 – Linhas evolutivas do alaúde em (a). Em (b) Rubad, (c) Rabeca, (d) Violino, (e) Vihuela, (f) Guitarra renascentista, (g) Guitarra barroca e em (h) Guitarra romântica.....	27
Figura 2.4 – Primeira guitarra funcional fio chamada de “Frigideira”. Corpo de alumínio e braço de madeira em (a). Em (b) a The log, de Les Paul, era um pedaço de madeira retangular colado nas laterais de um violão serrado ao meio .....	27
Figura 2.5 – Primeiro modelo de captador eletromagnético. "Ferradura" Rickenbacker.....	31
Figura 2.6 – Guitarra acústica equivalente ao nosso violão em (a) e guitarra elétrica moderna modelo Ibanez Signature Paul Stanley em (b) .....	31
Figura 4.1 – Versão moderna do experimento de Oersted. ....	59
Figura 4.2 – Padrão de alinhamento de limalhas de ferro causado pelas linhas magnéticas de força de um ímã em (a) e por um fio de corrente em (b).....	59
Figura 4.3 – Gravura com os materiais e a montagem de Faraday para mostrar as rotações eletromagnéticas .....	60
Figura 4.4 – Ilustração da tentativa de Faraday de influenciar a corrente de um solenoide pelo magnetismo de um ímã.....	61
Figura 4.5 – Ilustração da tentativa de Faraday de obter corrente elétrica de magnetismo.....	61
Figura 4.6 - Ilustração do circuito semelhante ao de Faraday. Fonte: Disponível em <a href="http://www.ghc.usp.br/Biografias/Faraday/faradeletr.html">http://www.ghc.usp.br/Biografias/Faraday/faradeletr.html</a> , acesso em 25/01/2018. ...	62

Figura 4.7 – Pinça formada por dois ímãs: obtenção de corrente induzida pela ação de um ímã permanente. ....	62
Figura 4.8 – O sentido da corrente induzida depende do polo que se aproxima da bobina .....	65
Figura 4.9 – Arranjo ilustrando obtenção de corrente induzida com variação de magnetismo.....	66
Figura 4.10 – Em (b) alteração da intensidade do campo, em (c) alteração da inclinação da espira e em (d) alteração da área da espira em relação a situação em (a).....	67
Figura 4.11 – Espira num campo magnético.....	68
Figura 4.12 – Sentido da corrente induzida (seta branca) e do campo induzido (seta verde) de acordo com a lei de Lenz .....	73
Figura 4.13 – Campo magnético genérico atravessando uma superfície qualquer...74	
Figura 4.14 – Captadores são transdutores que convertem a vibração mecânica da corda em sinal elétrico (a). Distância ideal entre a corda e o ímã (b).....	76
Figura 4.15 – Configuração das linhas de indução magnética para o captador de guitarra .....	76
Figura 4.16 – Orientação da corrente elétrica induzida durante a aproximação da corda em relação ao captador.....	78
Figura 5.1 – Efeito piezoelétrico. Em (a) a célula está em repouso com simetria na distribuição espacial de cargas. Se o cristal sofre uma compressão na direção do eixo y (b), essa distribuição é alterada formando um dipolo elétrico. Se o cristal for alongado ao longo do eixo y (c), se forma um dipolo na direção oposta.....	80
Figura 5.2 – Captador de rastilho em (a). Tem forma de uma lâmina metálica. É colocado sob as cordas. Em (b) captador de contato. É fixado no tampo do violão próximo ao cavalete. ....	81

Figura 6.1 - Em (a) a bússola responde ao campo da terra. Zeramos a agulha para essa orientação sem a presença de ímãs. Em (b) o ímã a 30 cm da bússola, inclina de 40° a agulha. ....	84
Figura 6.2 – Bússola artesanal para verificar o caráter vetorial tridimensional do campo magnético .....	85
Figura 6.3 – Aparato construído para produzir a rotação de um ímã ao redor de um fio de corrente. ....	88
Figura 6.4 – A seta verde indica o sentido da corrente elétrica e usando a regra da mão direita determinamos o sentido do campo magnético no eixo da espira (seta amarela) .....	89
Figura 6.5 – Arranjo experimental para demonstrar a rotação da agulha magnética em torno de um fio de corrente. Em (a) e em (b) a agulha se alinha como o campo circular da espira .....	89
Figura 6.6 – Motor de Faraday em funcionamento.....	92
Figura 6.7 – Conjunto de materiais apresentados durante a última aula experimental .....	95
Figura 6.8 – Bicórdio elétrico com quatro captadores diferentes, três eletromagnéticos e um piezoelétrico. ....	97
Figura 6.9 – Parte elétrica e os captadores originais que foram removidos de uma guitarra. ....	99
Figura 6.10 – Molinete com ímãs nas extremidades usado para manualmente alterar a velocidade do fluxo magnético próximo as bobinas.. ....	99
Figura 6.11 – Em (a) caixa amplificada (cubo de baixo) usado para reproduzir o som dos sensores e em (b) captador caseiro. ....	99
Figura 6.12 – Captador piezoelétrico preparado artesanalmente.....	101
Figura 6.13 – Alunos da escola Nossa Senhora do Rosário durante a aplicação do produto. ....	103

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	16
CAPÍTULO 1 .....	19
AS PRINCIPAIS MOTIVAÇÕES QUE LEVARAM A ESSE TRABALHO .....	19
CAPÍTULO 2 .....	23
BREVE HISTÓRICO EVOLUTIVO DA GUITARRA ELÉTRICA.....	23
2.1 - O monocórdio de Pitágoras.....	23
2.2 - Do alaúde a guitarra clássica .....	26
2.3 - A guitarra clássica e o começo da eletrificação .....	28
CAPÍTULO 3 .....	33
EPISTEMOLOGIA DO CONHECIMENTO E OS ALICERCES TEÓRICOS.....	33
3.1 - A IMPORTÂNCIA DA ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA NA SOCIEDADE ATUAL .....	41
3.2 - A METODOLOGIA .....	46
3.2.1 - A proposta de um problema físico como recurso metodológico ...	48
3.2.2 - Característica de uma sequência de ensino investigativa .....	51
CAPÍTULO 4 .....	55
BIOGRAFIA DE FARADAY E A DESCOBERTA DA INDUÇÃO .....	56
4.1 - Os caminhos que levaram a descoberta da indução .....	58
4.2 - Dois experimentos diferentes que evidenciam a indução .....	64
4.3 - A lei de Lenz .....	71
4.4 - Um tratamento mais aprofundado da lei de Faraday .....	73
4.5 - A física do captador eletromagnético .....	75
CAPÍTULO 5 .....	79
A HISTÓRIA DO EFEITO PIEZOELÉTRICO E SEU PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO.....	79
CAPÍTULO 6 .....	82

OS RECURSOS METODOLÓGICOS.....	82
1ª aula experimental: 90 min. Explorando o magnetismo de ímãs.....	83
2ª aula experimental: 90 min. As rotações eletromagnéticas: explorando o magnetismo de fios de corrente contínua .....	87
3ª aula experimental: 90 min. O motor de Faraday: produzindo rotação a partir de eletricidade e magnetismo.....	91
4ª aula experimental. 45 min. O bicórdio elétrico de Pitágoras e a micro geração de eletricidade .....	94
CONSIDERAÇÕES FINAIS E RESULTADOS.....	103
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	106
APÊNDICE A:.....	112
TRABALHO DOS ALUNOS DA ESCOLA ENEIDA DE MORAES. ....	112
APÊNDICE B:.....	133
TRABALHO DOS ALUNOS DA ESCOLA NOSSA SENHORA DO ROSÁRIO. ....	133
MATERIAL INSTRUCIONAL RELATIVO A DISSERTAÇÃO.....	137

## INTRODUÇÃO

Esta pesquisa em ensino de física trata da forma como podemos trabalhar conteúdos específicos da física usando metodologias que coloquem os alunos como protagonistas da fábrica de conceitos que podem ser construídos por eles mesmos (CARVALHO, OLIVEIRA, *et al.*, 2017). Temos hoje um grande dilema no currículo de ciências de uma forma geral. O que ensinar e como ensinar a fim de que os estudantes desenvolvam habilidades intelectuais e práticas no uso dos conhecimentos escolares? Com a universalização da informação com as tecnologias digitais e a internet, o que a escola pode ensinar que um aluno não possa aprender em casa?

Um dos assuntos tratados nessa dissertação, a indução eletromagnética, é parte essencial do componente curricular do ensino de física. É um dos fenômenos físicos mais importantes para o desenvolvimento tecnológico da sociedade moderna uma vez que através dele se gera a maior parte da energia elétrica que chegam das usinas hidrelétricas, termelétricas, eólicas e nucleares. A indução é também usada em diversos componentes eletrônicos e na indústria. Porém, vamos dar ênfase no seu uso em sensores de guitarra elétrica.

A piezoelectricidade, porém, é a grande novidade desse projeto de ensino e será usada como uma proposta de inclusão no currículo de física já que não é tratado nos manuais ou livros didáticos. Porém, essa proposta está de acordo com as tendências de renovação curricular que compõe a base nacional comum curricular (BNCC) para o novo ensino médio que foi formulada pelo ministério da educação onde o foco recai sobre as competências e habilidades. Em fevereiro de 2017 foi aprovada uma proposta de reforma do ensino médio no intuito de reestruturar os eixos temáticos e a distribuição deles ao longo do ensino médio, entre outras alterações.

A piezoelectricidade é também usada como sensor de som, mais comum para os violões elétricos de cordas de nylon. É aplicada em diversos aparatos tecnológicas da era digital como, por exemplo, nas balanças de supermercado, aparelhos de ultrassonografia médica, alto-falantes e está fundamentada em avanços científicos, frutos da física moderna.

Essa dissertação está dividida em seis capítulos. No capítulo 1, discorreremos a respeito dos motivos que orientaram nossa pesquisa. Com a universalização da informação através das mídias digitais, o ensino deixa de ser conteudista para se tornar humanista, ou seja, voltado para desenvolver não somente capacidades cognitivas, mas também psicomotoras e emocionais acentuando os aspectos práticos e sua relação com a vida do aluno. A motivação pessoal para esse trabalho vem de uma trajetória de vida dedicada ao instrumento que revolucionou a cultura musical na década de 50: a guitarra elétrica.

No capítulo 2, fizemos uma regressão histórica breve sobre a evolução dos instrumentos de corda até chegarmos às guitarras modernas. Não vamos fazer referências aos registros mais antigos na história de como surgiram os instrumentos de corda pois isso alongaria em demasia nosso caminho. Vamos avançar na história a partir de Pitágoras que foi o grande arquiteto matemático da música através das cordas.

No capítulo 3, trataremos dos fundamentos teóricos que foram escolhidos para sedimentar nosso pavimento educacional. Nele, veremos que as metodologias contemporâneas buscam propor uma educação onde os alunos são protagonistas na construção de saberes. Alguns aspectos das teorias de Piaget e Vygotsky serão analisados e exemplificados para entender como eles podem ser aplicados em metodologias ativas.

No capítulo 4, descrevemos um pouco da história de Michael Faraday e do percurso feito por ele até a descoberta da indução eletromagnética. Descreveremos o funcionamento dos sensores de guitarra elétrica para entender como as leis físicas regem seu design e funcionamento nesses dispositivos e a relação desses com a geração de eletricidade.

No capítulo 5, veremos que a piezoelectricidade é um fenômeno bem antigo. Foi descoberto em 1880 e seu uso ficou restrito ao sonar dos navios e submarinos durante a 2ª guerra mundial que serviam de sensores de localização. Com o avanço da pesquisa sobre esse efeito, novos materiais piezoelétricos foram sintetizados e surgiram outras aplicações importantes, entre elas os sensores de violões elétricos.

No capítulo 6, encaminhamos a metodologia que ajudará os alunos na aprendizagem dos fenômenos que são abordados nessa dissertação. Escolhemos como estratégia uma sequência de ensino investigativa (SEI) na qual os alunos são divididos em grupos para participarem da montagem e manipulação experimental dos materiais e métodos que objetivam construir as competências que serão avaliadas. E no fim desse capítulo, apresentamos os resultados obtidos com duas turmas de 3º ano ao aplicamos essa sequência de ensino, bem como fazemos algumas considerações avaliativas desses resultados.

## **CAPÍTULO 1**

### **AS PRINCIPAIS MOTIVAÇÕES QUE LEVARAM A ESSE TRABALHO**

O mercado de trabalho, os processos produtivos, as relações sociais, e várias outros aspectos da sociedade estão se modificando por conta da tecnologia (SILVEIRA e BAZZO, 2005). Nesse ambiente de inovações tecnológicas, a educação precisa se adequar a essa nova realidade.

Isso significa que é preciso redefinir os currículos. O conhecimento não é mais prioridade e sim a forma de aplicá-lo. Que utilidade determinado conhecimento de física terá para um aluno que conseguiu resolver extensas listas de exercícios de eletromagnetismo, mas não sabe sequer trocar ou fazer a manutenção da luminária de seu quarto? (Perrenoud, 1999, p. 2)

Nesse contexto, a educação precisa se adequar a essa nova realidade tendo agora como principal função gerar competências não só intelectuais, mas também habilidades psicomotoras. A grande novidade que a nova BNCC orienta é que os professores deverão ser qualificados pelos novos cursos de formação a desenvolver competências socioemocionais, visando novos comportamentos diante do novo saber recebido (BNCC 2017, p. 9-10). Para tanto, devemos rever estratégias de ensino de forma a permitir que os conteúdos curriculares sejam, de fato, compreendidos pelos alunos, a partir dessas competências, tanto pela via intelectual, quanto pela via prática.

Ajudar os alunos a aprender a saber o que fazer com os saberes adquiridos virou um grande desafio da minha carreira profissional e foi o que motivou em mim uma mudança de atitude na minha prática em sala de aula. Sempre buscamos usar recursos tecnológicos como data show, sala de informática, smartphone, ao longo do meu trabalho a fim de tornar as aulas mais atraentes usando animações e ilustrações mais elaboradas, vídeos paradidáticos e sempre que possível relacionando constantemente os saberes formais e sua utilização em situações concretas.

Porém, percebemos que isso era só mais uma maneira de explicar o assunto e que não produzia o impacto que esperava. A maioria dos alunos que estão no

nosso universo de escolas públicas hoje, projetam a curto prazo, um futuro mais profissional do que acadêmico, devido suas condições socioeconômicas. Eles querem se ver logo em uma atividade remunerada, a fim de satisfazer suas necessidades pessoais ou ajudar financeiramente a família, haja visto que muitos são de comunidades carentes. Portanto, a prática tradicional, conteudista, voltada para engajar os alunos na universidade, não é compatível com a realidade que convivo.

Diante desse quadro, desde que abraçamos essa profissão, procuramos adequar os conteúdos disciplinares a realidade e perspectivas dos alunos. Após várias reflexões em cima de pesquisas sobre estratégias de ensino, fomos forçados a abandonar aquela velha convicção de que assim como fomos ensinados, devemos ensinar. Os alunos de hoje, não se interessam por saberes sem sentido e principalmente sem utilidade, ainda mais quando são forçados por sua condição socioeconômica a precocemente trabalhar, tolhendo-os de trilharem caminhos mais promissores.

Por isso, foi escolhida uma estratégia de ensino que vise educar os alunos para adquirir competências (mobilizar mentalmente saberes) e habilidades (saber o que fazer com o conhecimento). Planejar aulas experimentais onde os alunos são convidados a resolver um problema prático que tenha alguma relação com o seu convívio imediato, sempre esteve nos meus planos como professor. Nosso objetivo é desenvolver não só as capacidades mentais, mas também, as habilidades psicomotoras. (BNCC, 2017, p. 8).

O grande problema é ter que superar os atrasos estruturais e as defasagens tecnológicas de nossas escolas e promover a existência de condições para gerar novos comportamentos em nossos alunos. Essa foi a principal motivação desse trabalho.

Além do mais, a utilização em larga escala da energia elétrica, que revolucionou a sociedade industrial e possibilitou uma série de outros avanços tecnológicos, tornou-se possível graças à descoberta, por Faraday, do fenômeno da indução eletromagnética (NUSSENVEIG, 1997).

Em meio ao grande consumo de energia elétrica, fica cada vez mais evidente que se deve buscar novos meios de obter energia limpa, sustentável e de baixo custo. A indução eletromagnética usada nas usinas hidrelétricas e termoelétricas tem sido a forma mais rentável de gerar eletricidade, porém, causam grandes impactos ambientais (SCHONARTH, 2017).

As preocupações com o meio ambiente e a sustentabilidade, tem fomentado várias pesquisas científicas para que outras fontes alternativas possam ser exploradas para suprir pequenas demandas, como consequência da miniaturização dos eletrônicos portáteis promovida pela nanotecnologia. Analisando em bibliografia pertinente, chegamos à conclusão que os métodos de transdução eletromagnética e piezoelétrica são as duas abordagens mais promissoras para a captação de energia mecânica e, portanto, podem ser usadas com eficiência como propostas para desenvolver pequenas usinas de geração de eletricidade a partir desses dois fenômenos (RANGEL, 2014).

Diante desse contexto, nossa pesquisa acompanha as novas tendências mundiais de colheita de energia alternativa (*Energy Harvesting*), que consiste na captação de energia em microescala através de dispositivos capazes de colher algum tipo de energia disponível no ambiente em consequência da miniaturização, mobilidade e baixo consumo dos tecnológicos atuais (RANGEL, 2014).

Outra motivação de cunho mais pessoal, mas não menos importante era a ideia de fazer um projeto de ensino envolvendo física e música. Já era um desejo bem antes do início do curso de Mestrado. Como admirador da guitarra desde os quinze anos e como professor de Física desde os vinte e cinco, há tempos que o autor dessa dissertação buscou fazer a conexão entre esses dois grandes prazeres a saber: ensinar e tocar guitarra. Mas a oportunidade surgiu apenas agora, quando nosso orientador ficou sabendo do interesse pela guitarra elétrica e usássemos a lei de indução de Faraday e a piezoeletricidade como tema do trabalho de conclusão do curso do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF).

Portanto, este presente trabalho é resultado de pesquisas científicas que direcionaram o tema escolhido bem como de reflexões e avaliações que foi feito sobre a prática pedagógica como professor e um pouco do contato com o

instrumento que mudou o comportamento de uma vasta geração de jovens em todo o mundo: a guitarra elétrica. Logo, pensamos em usar nossa experiência com instrumentos de corda como uma ferramenta pedagógica para tornar a prática docente mais atraente não só para os alunos, mas também para o autor, fugindo das incômodas e muitas vezes ineficientes aulas tradicionais.

## CAPÍTULO 2

### BREVE HISTÓRICO EVOLUTIVO DA GUITARRA ELÉTRICA

A guitarra teve sua origem nos violões, mas uma longa jornada foi trilhada para que hoje a mesma tivesse as características a que estamos acostumados. Vamos fazer uma regressão histórica, sem se preocupar muito com a exatidão ou a linearidade cronológica para os eventos, para mostrar como os instrumentos de cordas foram modificando sua estrutura até chegarmos aos formatos variados que temos hoje.

O nosso violão é sem dúvida o precursor da guitarra elétrica, sendo uma evolução natural do alaúde árabe ou da khetara grega. Esse último, pós o domínio do império romano passou a se chamar de cítara romana. As hipóteses para a origem do violão não são claras. Existem duas versões, veja a figura 2.1, para a origem do violão, por isso não nos preocuparemos aqui com a exatidão histórica, já que há controvérsias sobre o tema (CARVALHO, 2017).

A guitarra é um instrumento que tem seu embrião fecundado há milhares de anos atrás, com sua história passando por várias modificações estruturais de acordo com o contexto cultural da sociedade (ZACZÉSKI, BECKERT, *et al.*, 2017). Porém, vamos relatar sua evolução a partir de Pitágoras, que foi o primeiro a unir a música com a matemática e a física.

#### 2.1 - O MONOCÓRDIO DE PITÁGORAS

Acredita-se que Pitágoras foi o primeiro a estudar a música de forma empírica, estabelecendo uma relação matemática entre frações simples com os números 1, 2, 3 e 4 e os sons de uma corda. Possivelmente inventado por ele por volta de 530 a.C, o monocórdio, é um instrumento composto por uma única corda estendida entre dois cavaletes e um terceiro cavalete móvel, para dividir a corda em duas seções. Este experimento evidenciou a relação entre o comprimento da corda e a altura do som (frequência), resultante deste comprimento. Pitágoras buscava relações de comprimentos – razões de números inteiros – que produzissem determinados intervalos sonoros (ABDOUNUR, 2003).

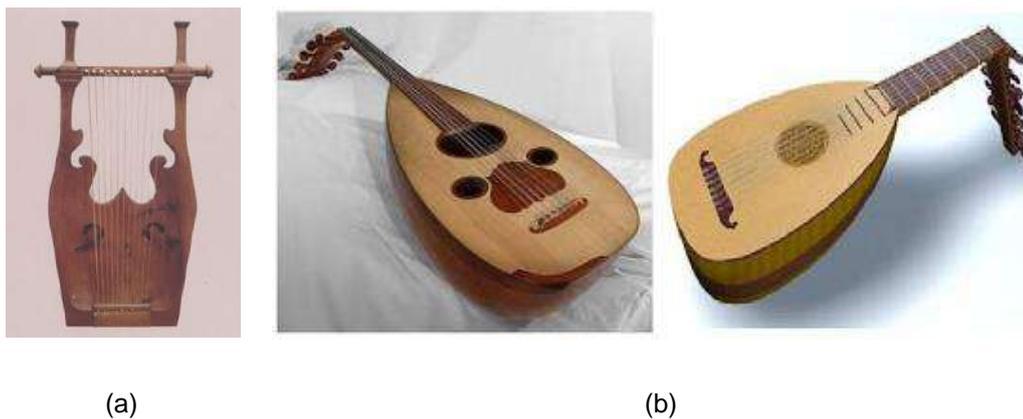


Figura 2.1 – Em (a) cítara grega, a primeira hipótese para a origem do violão. Em (b) o Oud (esquerda) e o Alaúde (direita). Diferenças no formato do corpo e no braço. (c. 711-718 D.C.). Disponível em: <https://www.consultoriadorock.com/2012/06/23/historia-da-guitarra/> acesso em 15/01/1018.

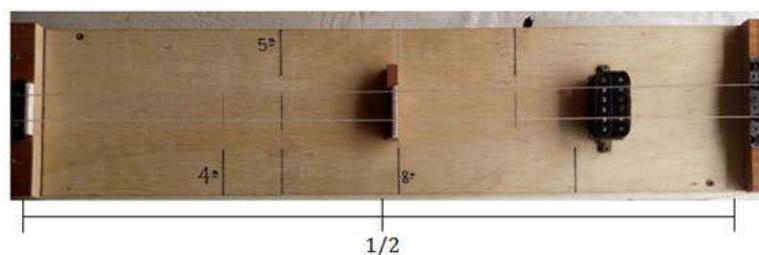
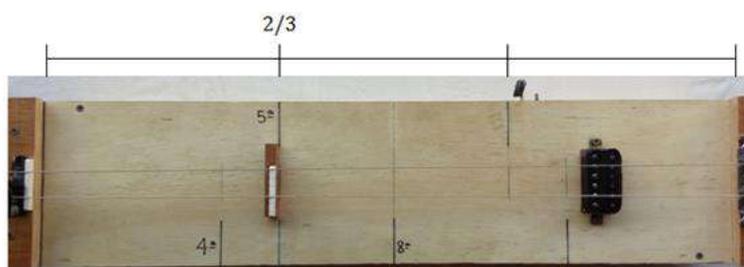
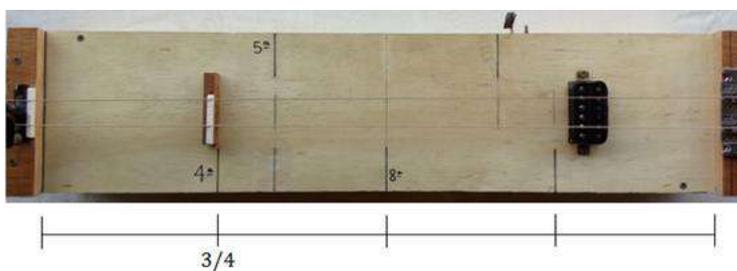


Figura 2.2 – Pestana colocada a  $\frac{3}{4}$  (a), a  $\frac{2}{3}$  (b) e a  $\frac{1}{2}$  (c) do comprimento da corda produzindo respectivamente a 4ª, 5ª e 8ª notas da escala musical. Fonte: Arquivos do autor.

Ele observou que o som produzido pressionando metade ( $\frac{1}{2}$ ) da corda era o mesmo, porém mais agudo que o som produzido pela corda solta (corda inteira), que é conhecido como oitava de um som. Analogamente, observou o som produzido pressionando a corda em ( $\frac{2}{3}$ ) e ( $\frac{3}{4}$ ), os dois sons combinavam com o som da corda inteira, a estes dá-se o nome, respectivamente, de quinta e quarta nota de uma nota padrão que no caso do experimento era a corda solta. Para exemplificar, supondo que o som da corda solta fosse a nota Dó, ao pressionar dois terços ( $\frac{2}{3}$ ) da corda teríamos o som da nota Sol que é a quinta de Dó, e ao pressionarmos a corda em três quartos do tamanho original ( $\frac{3}{4}$ ) obteríamos o som da nota Fá que é a quarta da nota Dó, e se, por fim, pressionássemos esta corda na metade ( $\frac{1}{2}$ ) obteríamos a nota Dó um pouco mais aguda que a corda solta, esta é a oitava de Dó (ABDOUNUR, 2003, p. 4).

Para facilitar o entendimento do que foi dito anteriormente, foi construído uma espécie de bicórdio elétrico, semelhante ao de Pitágoras, com as marcações de onde devemos pressionar a corda para obter as primeiras consonâncias pitagóricas. Também inserimos dois tipos diferentes de corda, uma de aço e outra de nylon e sensores diferentes para fazer a captação do som dessas cordas. Os detalhes desses itens e outros que foram incorporados nesse produto serão explicados no decorrer do trabalho. Por hora, é importante o leitor perceber na figura 2.2, as relações de comprimento da corda para obter os sons que eram “agradáveis” aos ouvidos de Pitágoras.

O monocórdio permaneceu como um elemento musical viável para ensino, afinação e experiências, até o advento de instrumentos mais precisos, no final do século XIX. Mais adiante, vamos demonstrar como usamos a nossa réplica modificada para trabalhar não só conteúdos relacionados à física do som, mas também a conteúdos de eletricidade e magnetismo. Como o som são vibrações mecânicas do ar, precisamos consolidar o conceito de frequência para entender que as correntes elétricas produzidas por indução eletromagnética oscilam na mesma frequência da fonte que as produziu.

## 2.2 - DO ALAÚDE A GUITARRA CLÁSSICA

Antes de Pitágoras fazer seus experimentos com cordas, já existiam registros de instrumentos de cordas usados pelos Sumérios, na mesopotâmia há 3000 anos antes de cristo (HOURNEAUX, 2014). Diversos instrumentos de corda surgiram ao longo dos séculos e foram passando por adaptações e mutações, de acordo com a cultura de cada civilização. Em ordem cronológica, esses instrumentos foram o Alaúde árabe (sec. VII), a Vihuela, versão espanhola do alaúde (sec. XV), a guitarra renascentista (sec. XVI), a guitarra barroca (sec. XVII), a guitarra romântica (sec. XVIII) e finalmente a guitarra clássica do final do século XIX.

O violão é conhecido mundialmente como guitarra. Curiosamente quando se fala a palavra guitarra aqui no Brasil, estamos nos referindo ao instrumento elétrico chamado guitarra elétrica. Isso ocorre porque, os portugueses que introduziram esse instrumento no Brasil, possuem um instrumento que se assemelha muito ao violão, que é igual a nossa viola caipira. A viola caipira possui as mesmas formas, as mesmas características sonoras, sendo apenas um pouco maior. Logo quando colonos brasileiros perceberam que a viola caipira era maior que a guitarra espanhola, colocaram o nome no aumentativo chamando-a de violão. Em outros países que não falam a língua portuguesa, chamam o nosso violão de guitarra acústica.

Portanto, o alaúde foi o precursor de duas linhas diferentes de instrumentos de corda que vão originar o violino e a guitarra. Uma linha de instrumento de cordas friccionadas (usando um arco com crina de cavalo) que é o caso do violino e outro grupo de instrumentos de cordas pulsadas ou dedilhadas que é o caso da guitarra. Não vamos comentar sobre a primeira linha evolutiva, pois foge do nosso tema, mas a figura 2.3 abaixo faz alusão a ela.

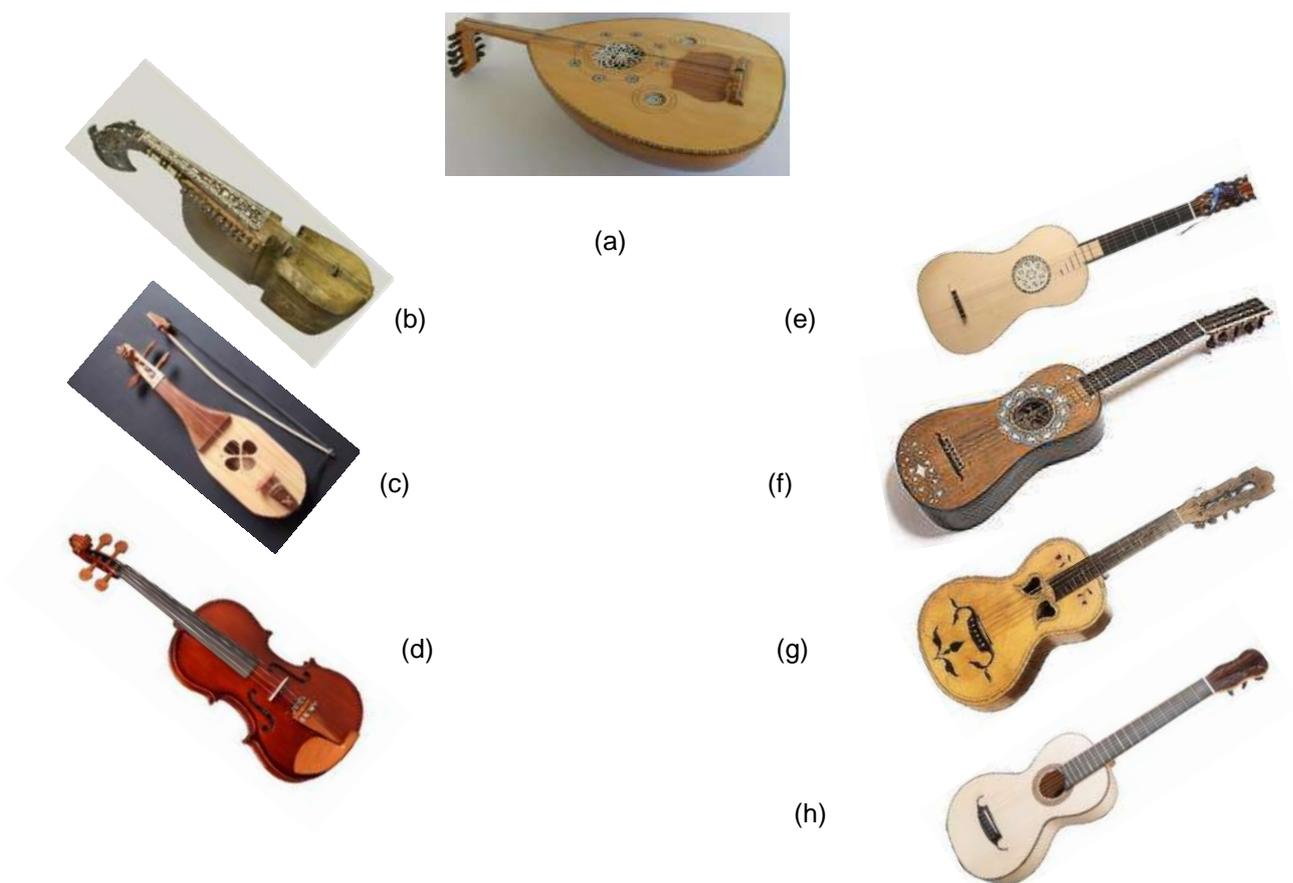


Figura 2.3 – Linhas evolutivas do alaúde em (a). Em (b) Rubad, (c) Rabeca, (d) Violino, (e) Vihuela, (f) Guitarra renascentista, (g) Guitarra barroca e em (h) Guitarra romântica. Adaptado de [https://www.youtube.com/watch?v=7m\\_HPFoFZyl](https://www.youtube.com/watch?v=7m_HPFoFZyl), acesso em 11/01/2018.



(a)



(b)

Figura 2.4 – Primeira guitarra funcional fio chamada de "Frigideira". Corpo de alumínio e braço de madeira em (a). Em (b) a The log, de Les Paul, era um pedaço de madeira retangular colado nas laterais de um violão serrado ao meio. Disponível em: <http://www.laparola.com.br/a-pre-historia-das-les-paul>, acesso em 17/01/2018.

### 2.3 - A GUITARRA CLÁSSICA E O COMEÇO DA ELETRIFICAÇÃO

O termo guitarra refere-se a uma série de instrumentos de cordas dedilhadas que possuem geralmente de seis a doze cordas. Apenas no século XX o termo guitarra retornou ao vocabulário corrente dos brasileiros, mas somente para se referir a versão elétrica, ou seja, a guitarra elétrica. Portanto quando usarmos o termo guitarra acústica, estaremos nos referindo ao nosso violão. E quando usarmos o termo guitarra ou guitarra elétrica estaremos nos referindo ao instrumento elétrico com captação eletromagnética (CARVALHO, 2017).

Os primeiros modelos de guitarra acústica do final do século XIX e início do século XX geravam um som muito suave e baixo, algo bem diferente do que conhecemos hoje em dia. Mais tarde, as grandes bandas, de 1920 a 1930, davam maior importância ao som e ritmo dos instrumentos de percussão, transformando a guitarra em um instrumento sem destaque, que produzia melodias que nem mesmo os músicos da banda podiam ouvir nos seus shows (BORGES, 2013).

As primeiras tentativas de projeção do som das cordas dos violões iam desde à mudanças na estrutura e tamanho da caixa de ressonância, passando pela substituição por cordas de aço, até o acoplamento de estruturas como cones que faziam a amplificação puramente mecânica do som (ZACZÉSKI, BECKERT, *et al.*, 2017). Porém sem muita eficiência.

Com o aperfeiçoamento dos microfones funcionais na década de 20, logo se pensou em usá-los no bojo das guitarras acústicas para captar o som das cordas. Porém, as guitarras agora semi-acústicas, pois foram amplificadas, sofriam de um mal terrível — o corpo oco, exatamente por ser projetado para ser acústico, absorvia e re-amplificava o som dela mesma que vinha das caixas de som conforme o aumento de volume; é aquele chiado medonho que os músicos chamam de **microfonia** ou **feedback** (CEZIMBRA, 2013). O feedback ocorre devido a ressonância, fenômeno físico em que um corpo vibrante estimula outro a vibrar na mesma frequência aumentando a amplitude da vibração. O captador ao receber do sistema sonoro o som amplificado, juntamente com o som direto das cordas, tem sua amplitude aumentada, fazendo a madeira do violão vibrar em demasia, transmitindo essa vibração ao captador. Isso gera um ruído desagradável.

A solução foi aumentar a massa do instrumento para reduzir esse efeito. Assim nos anos 40 apareceram as primeiras guitarras elétricas de corpo maciço. Muitas pessoas acreditam que foi Les Paul quem inventou a guitarra elétrica em 1940, a The Log, uma guitarra acústica serrada ao meio, embutida num núcleo de madeira com 4x4 polegadas colado entre estas laterais, onde eram instalados os captadores e a ponte do instrumento conforme pode ser visto na figura 2.4 (b) (BORGES, 2013).

O verdadeiro crédito pela criação do instrumento é de George Beauchamp (1899 - 1941), um músico, e Adolph Rickenbacker (1886 – 1976), um engenheiro eletricitista. Eles criaram a primeira guitarra elétrica, feita de alumínio, que mais parecia uma frigideira (Flying Pan) de som amplificável e comercialmente viável em 1931, na Califórnia, nos Estados Unidos (MIRAVALLS). Outros tinham tentado isso antes deles, usando microfones com botão de carbono (como em telefones antigos) ligado à parte oca das guitarras da época, mas sem qualidade sonora.

Depois de muitas tentativas, eles criaram um dispositivo que usa a indução eletromagnética para transformava as vibrações das cordas da guitarra em sinal elétrico, que era amplificado e transmitido através de alto-falantes. Instalaram o captador no corpo de uma guitarra que se assemelhava a uma guitarra havaiana, conforme mostra a figura 2.4 (a) (BORGES, 2013).

A essa altura o leitor talvez esteja se perguntando: o dispositivo que Rickenbacker e Beauchamp criaram foi uma invenção nova ou apenas um aperfeiçoamento do que já existia? Não se sabe ao certo quando a eletricidade passou a ser explorada como recurso para amplificar o som dos instrumentos de cordas. Porém, dois marcos no desenvolvimento da física foram cruciais para tornar isso possível.

Em 1865, baseando-se nos trabalhos de vários cientistas, o físico-matemático James Clerk Maxwell (1831-1879) deu um novo olhar ao que já havia sido descoberto na eletricidade e no magnetismo, formulando um conjunto de quatro equações (as “equações de Maxwell” são a base do eletromagnetismo). Com essas equações ele conseguiu provar, no papel, a existência das ondas eletromagnéticas

e em 1888 Heinrich Rudolf Hertz (1857 - 1894) conduziu experimentos comprovando o que Maxwell tinha previsto teoricamente (FILHO e CALUZI, 2009).

Outro marco foi a criação no começo do século XX, do rádio e com eles todos os dispositivos que fazem parte direta ou indiretamente do seu funcionamento como os alto-falantes e os microfones. Diante de toda essa gama de novos conhecimentos e dispositivos, os engenheiros elétricos e músicos reuniram esforços para desenvolver sistemas de captação e amplificação de áudio desses equipamentos bem como para os instrumentos em geral (VERÍSSIMO DA SILVA, 2001).

Então, respondendo a pergunta feita anteriormente, Rickenbacker e Beauchamp não criaram o primeiro sensor para a guitarra acústica. O músico e engenheiro acústico Loyd Loar (1886 – 1943) foi um dos pioneiros a amplificar os instrumentos eletricamente quando trabalhou na Gibson (grande empresa americana que fabricava instrumentos musicais) entre 1919 e 1924. A diferença era que o sistema de Loar não era eletromagnético como o de Rickenbacker (HOURNEAUX, 2017).

Beauchamp e Rickenbacker, após muita experimentação, inventaram um dispositivo eletromagnético que captava as vibrações das cordas da guitarra com grande clareza, figura 2.5. Seu funcionamento se baseia na lei de indução de Faraday que será explicada com mais detalhes adiante em outra secção. Por meio de placas de metal magnetizáveis, um ímã estende seu campo magnético até as cordas, magnetizando-as uma vez que são feitas de materiais magnéticos como o níquel ou o aço. Ao vibrar, as cordas se afastam e se aproximam de uma bobina instalada a alguns centímetros delas, fazendo variar o número de linhas de campo magnético que atravessam a bobina. Isso gera uma corrente elétrica alternada que oscila na mesma frequência da corda vibrante. Resumidamente: os eletroímãs convertem as vibrações em um sinal elétrico que é amplificado e reproduzido pelos alto-falantes (BIZZO, 2015).



Figura 2.5 – Primeiro modelo de captador eletromagnético. "Ferradura" Rickenbacker. Disponível em: <http://www.reidalespaul.com.br/2015/09/historia-dos-captadores-capitulo-1-em.html>, acesso em 16/01/2018.



(a)



(b)

Figura 2.6 – Guitarra acústica equivalente ao nosso violão em (a) e guitarra elétrica moderna modelo Ibanez Signature Paul Stanley em (b). Fonte: Arquivos do autor.

Em seguida, outros músicos e engenheiros começaram a copiar a ideia, sempre acrescentado alguma alteração na intenção ou de reduzir o feedback, ou melhorar os modelos de captação e amplificação para aumentar a projeção sonora. Porém isso é uma longa história e não podemos nos delongar mais. Por hora é suficiente sabermos que os sensores da guitarra surgiram na década de 20 da necessidade de maior projeção sonora das guitarras acústicas e de que os problemas gerados nas experimentações iniciais de amplificar as guitarras acústicas (o feedback), tornou possível a criação das guitarras elétricas de corpo sólido.

Outra constatação, é que não podemos atribuir a invenção da guitarra elétrica a um único autor. A quem diga que o primeiro instrumento elétrico construído num corpo sólido é brasileiro e conhecido como "Pau-elétrico" criado pela dupla baiana de músicos, Adolfo Dodô Nascimento e Osmar Álvares Macêdo em 1942. Foi a partir dessa ideia que esses músicos brasileiros levaram as ruas, durante o carnaval

baiano, o trio elétrico que foi criado a partir dessa iniciativa. Para que o cavaquinho pudesse ser ouvido junto com os demais instrumentos, Dodô, expert em eletrônica, teve a ideia de instalar um captador eletromagnético no final do braço do instrumento (HOURNEAUX, 2014). Tanto que hoje se questiona se a invenção da guitarra de corpo sólido nasceu da dupla Dodô e Osmar ou de Leo fender que nos Estados Unidos foi também um dos pioneiros na concepção de guitarras de corpo sólido.

Com o desenvolvimento de novas tecnologias e a descoberta de novos materiais, vários acessórios para melhorar a amplificação foram sendo incorporados aos mais diversos modelos de guitarras e violões, a figura 2.6 mostra dois desses modelos mais atuais. Com isso, surgiram vários tipos de captadores de arquiteturas diferentes com a capacidade de reproduzem fielmente o som produzido pelo instrumento.

Na década de 50 se consolidaram os captadores eletromagnéticos para amplificar especificamente instrumentos de cordas de aço como as guitarras e violões elétricos e posteriormente, para amplificar o som de violões com cordas de nylon, foram desenvolvidos os captadores piezoelétricos.

## CAPÍTULO 3

### EPISTEMOLOGIA DO CONHECIMENTO E OS ALICERCES TEÓRICOS

O termo epistemologia vem do grego [episteme]: conhecimento científico, ciência; [logos]: discurso, estudo de. Segundo Robert (1990, p. 674 apud Oliveira, 2000, p. 25) o objetivo da epistemologia é “determinar a origem lógica e a importância do conhecimento”. A trajetória do conhecimento humano passa por diferentes períodos antes e depois da era cristã. Antes de cristo, os filósofos gregos foram os sistematizadores dos conhecimentos de suas épocas (OLIVEIRA, 2000). Suas explicações eram essencialmente descritivas e argumentativas, baseando-se em mitos e divindades, sem haver nenhuma necessidade de confirmar empiricamente a realidade cósmica que observavam. A transmissão da cultura e dos conhecimentos estava fundamentada essencialmente na oralidade. O conhecimento prático e principalmente o religioso eram reproduzidos entre gerações sem nenhum questionamento.

O universo visto pelo Grego Aristóteles (384 - 322 a.C.), por exemplo, não era passível de ser mensurado matematicamente, embora acreditasse que as experiências sensoriais pudessem ser ponto de partida para gerar conceitos qualitativos. Essa ideia se prolongou durante a idade média onde a produção de conhecimento estava alicerçada na fé, que regulava fortemente as atividades humanas. Como consequência, se desvalorizava a observação dos fenômenos como meio para produção de conhecimento (ANDERY, 1996).

A possibilidade de propor e criar novos conhecimentos são reflexos das alterações nas condições materiais e de sobrevivência do homem ao longo de sua história evolutiva. Como por um longo período, o homem trabalhou para seu consumo imediato, pouco conhecimento se produzia e os ofícios eram transmitidos de pai para filhos sem inovações ou modificações profundas.

Com a reorganização política e econômica da sociedade, foi necessário derrubar a visão de mundo proposta por Aristóteles, uma vez que essa visão foi reinterpretada pelos teólogos medievais e vigorou por cerca de 1800 anos pela força da fé.

O pensamento racional se reestruturou nos séculos XVI e XVII com as ideias de vários cientistas que revolucionaram a forma de investigar a sua realidade empírica. De Roger Bacon (1214-1294) à Issac Newton (1642-1727), passando por, Francis Bacon (1561-1626) e René Descartes (1596-1650) e sofrendo influências de Nicolau Copérnico (1473-1543), Galileu Galilei (1564-1642) e outros, o método científico foi sendo moldado e aperfeiçoado ao longo de sete séculos por vários personagens.

Foi nesse contexto que surgiu o que chamamos de ciência moderna, no século XVII, com Galileu Galilei e Issac Newton. A nova visão de mundo implantada por eles era mecanicista. Eles perceberam as dimensões quantitativas dos fenômenos mecânicos, medindo-os com relativa precisão e propondo leis para os movimentos. (ANDERY, 1996). Embora não tenham elaborado uma teoria do conhecimento, as obras desses dois cientistas mostraram, na prática, os caminhos para se chegar a novas verdades.

Newton se apoiou nos ombros de Descartes (1596-1650) que se preocupou especificamente com o método de fabricação de novos conhecimentos em sua obra “O discurso do método”. Nela, o caminho que conduziria a verdade dos fatos é a razão e ele enumera um conjunto de procedimentos para se atingir o verdadeiro conhecimento. A partir desse momento, estava aberto o percurso para o rápido desenvolvimento que a ciência iria experimentar a frente (ANDERY, 1996).

Em resumo, podemos afirmar que as bases do desenvolvimento científico e tecnológico atual foram estabelecidas pelos métodos e trabalhos elaborados por esses grandes personagens da ciência ao longo do referido período. (OLIVEIRA, 2000, p. 37-38). A cultura contemporânea é influenciada pela forma científica de fundamentar o conhecimento.

Segundo Gil (2004) o conhecimento é construído a partir de um problema que se deseja solucionar. A seguir, propõe-se uma solução para esse problema através de uma proposição, ou seja, de uma explicação prévia, que pode ou não ser verdadeira. A esta proposição, chamamos de hipótese. A hipótese, em seguida é submetida a teste. Caso o teste confirme a proposição, esta pode vir a ser a solução do problema.

Porém, a medida que mais conhecimentos eram produzidos e seus métodos de obtenção eram aperfeiçoados, houve uma progressiva preocupação com as estratégias educacionais de transmissão desses conhecimentos. Os processos de transmissão dos saberes entre gerações, sofreu grandes mudanças em meados do século passado, basicamente por dois motivos. Primeiro, o volume de informações nas disciplinas aumentou consideravelmente. Não era mais possível ensinar tudo, mas somente os conteúdos que se julgavam de maior relevância, se concentrando na qualidade com que esses conhecimentos eram repassados. Usaremos esse pressuposto na apresentação do nosso trabalho, nos limitando a conceitos-chaves e privilegiando o método empregado. O segundo fator, foi o estudo perspicaz de pesquisadores que interessados em entender melhor os processos de aquisição de conhecimento, se debruçaram em estudos para entender como o homem se desenvolve intelectualmente para a aprendizagem. (CARVALHO, OLIVEIRA, *et al.*, 2017).

Segundo Carvalho (2017, p.1) dois pesquisadores modificaram radicalmente o processo de transferência do conhecimento de uma geração para outra: o epistemólogo Jean Piaget (1896-1980) e o psicólogo Lev Vygotsky. Piaget, biólogo de formação, propõe uma teoria do conhecimento centrada no desenvolvimento natural do sujeito. Ele pesquisou a respeito da interação entre estruturas internas e contextos externos na construção do conhecimento. Partindo da ideia de Piaget surge na educação o termo construtivismo. Já Vygotsky busca explicação, a partir das relações sociais. Sua teoria é tratada atualmente como um método histórico-cultural, logo, a educação para Vygotsky deve ser interpretado como um fenômeno que se apoia na relação do homem com elementos físicos e simbólicos (Teorias Psicogenéticas - PIAGET E VYGOTSKY , 2016).

De acordo com Carvalho (2017, p. 2), com teorias complementares, Piaget e Vygotsky mostraram como as crianças e os jovens constroem seus conhecimentos. Um dos pontos cruciais que Piaget trata na sua teoria é a importância de propor um problema, para dar início a construção de um conhecimento. A estratégia de usar um problema para que os alunos resolvam, quando bem encaminhada, pode proporcionar condições para que os grupos envolvidos possam tirar conclusões mais elaboradas sobre o assunto investigado.

Numa aula puramente expositiva, toda linha de raciocínio está centrada na fala do professor, os alunos só a seguem e tentam entendê-la. Posteriormente, repetem mecanicamente o processo, nas avaliações. O esforço cognitivo é mínimo. Ao propor um problema, a função do professor agora é orientar e conduzir dialeticamente o raciocínio dos estudantes em prol da solução do problema.

Porém a regra geral que norteia todas as teorias educacionais, obviamente incluindo a de Piaget, e que pode ser aplicada com eficácia na prática docente é a máxima de que qualquer conhecimento novo tem como suporte um conhecimento anterior (CARVALHO, OLIVEIRA, *et al.*, 2017). Aliás, outros teóricos da educação chegaram a mesma conclusão. David Ausubel (1918-2008) é o exemplo mais amplamente conhecido que abordou belamente esse princípio (MOREIRA, 2015). Quando preparamos uma aula levando em conta os interesses, experiências e conhecimentos prévios dos alunos, estamos valorizando a sua própria cultura. Isso faz parte do caráter afetivo da aprendizagem.

Para explicar como ocorre a maturação cognitiva de um indivíduo, Piaget propõe o conceito de equilíbrio, que é o alicerce de sua teoria. É um processo de autorregulação interna do organismo. Vamos descrever como esse processo ocorre.

### 1) ASSIMILAÇÃO

Quando uma pessoa entra em contato com um objeto novo de conhecimento, que pode ser um conceito abstrato ou algo concreto, ela retira (assimila) desse objeto algumas informações e rejeita outras, porque existe uma organização mental que interpreta aquelas informações deixando outras de lado. Logo, ver o mundo não é simplesmente olhar o mundo, mas interpretá-lo, torná-lo seu, alguns elementos do mundo (NPDGIRASSOL, 2017). Na prática, podemos observar isso, quando apresentamos aos nossos alunos um fenômeno natural novo, através de um experimento. Dependendo de suas experiências anteriores, o receptor decide como representar em sua mente o fenômeno observado e conforme Moreira (2015, p. 230) sugere como irá “funcionar” na sua mente, para ele.

## 2) ACOMODAÇÃO

A estrutura mental que a pessoa tem para conhecer o mundo é capaz de se modificar para dar conta das singularidades de um objeto de conhecimento. Portanto, conhecer um objeto é *assimila-lo*, mas como esse objeto pode oferecer certas resistências ao conhecimento, a organização mental do sujeito se modifica e a essa modificação Piaget chamou de *acomodação*. É nesse momento que ocorre a aprendizagem pois, com a acomodação, a estrutura cognitiva do sujeito se reestrutura aumentando seu grau de organização interna e adaptação ao meio físico e sociocultural (MOREIRA, 2015). Podemos explicar esse fato, dialogando um pouco com a neurociência. O sistema nervoso tem uma enorme plasticidade, ou seja, uma grande capacidade de fazer e desfazer as ligações entre as células nervosas como consequência da permanente interação do indivíduo com o seu meio externo (GUERRA e CONSENZA, 2011). Um exemplo típico dessa situação ocorre quando, por exemplo, o aluno já possui na sua estrutura cognitiva o conceito de força, mas diferenciamos ainda mais esse conceito informando que as forças podem ser de longo alcance, como a gravidade e de curto alcance, como a força eletromagnética entre os átomos numa ligação química.

## 3) EQUILIBRAÇÃO

O sujeito ao entrar em contato com um objeto novo, pode ficar em conflito com esse objeto novo, *desequilibrado*, no sentido de que o objeto não se deixa conhecer facilmente por ter singularidades ou diferenças ainda não conhecidas. Para conhecer esse objeto, ele tem que *acomodar-se*, ou seja, reorganizar a sua estrutura mental, para adaptar-se a esse objeto. Essa busca incessante pelo equilíbrio ou estabilidade da organização mental, Piaget chamou de *equilibração* (Teorias Psicogenéticas - PIAGET E VYGOTSKY , 2016). É o que ocorre, por exemplo, quando apresentamos ao aluno o conceito de campo físico de forças. As propriedades de um campo não podem ser conhecidas e assimiladas somente pela via sensorial óptica. A via tátil pode trazer informais mais específicas para conhecer a estrutura do campo físico.

Para que os alunos percebam as singularidades do campo magnético, planejamos aulas experimentais manipulativas, permitindo maior interação com os

objetos de conhecimento partindo do pressuposto Piagetiano de que vários estímulos sensoriais são necessários para dar início ao processo de desequilíbrio.

Em resumo, a equilibração é a organização mental que busca adaptação a novas situações. É um processo dinâmico e constante do organismo, na busca por um novo estado superior de equilíbrio. Podemos fazer uma metáfora da inteligência como se fosse uma espiral crescente, onde uma estrutura é sempre base de uma outra que a sucederá bem como foi a ampliação de uma estrutura que a antecedeu.

Portanto, uma implicação imediata da teoria de Piaget para a educação é a de que as atividades de ensino devem vir acompanhadas de ações e demonstrações e, sempre que possível, deve-se dar aos alunos a oportunidade de *agir* (atividades práticas) desde que tais ações estejam entegradas a argumentação do professor (MOREIRA, 2015).

Propondo problemas, questões ou desafios para que os alunos resolvam (ou seja, desequilibrando-os), eles terão condições de construir novos conhecimentos (reequilibração). Dessa forma, a construção do conhecimento se dá através de ciclos sucessivos de equilibração, desequilibração e reequilibração. Para que ocorra de fato a reequilibração, ou seja, a construção de um novo conhecimento, duas condições são imprescindíveis: A transformação da inteligência prática para a inteligência intelectual e a importância dos alunos tomarem consciência de seus atos durante esse processo (CARVALHO, OLIVEIRA, *et al.*, 2017).

Com base nesse pressuposto, o planejamento de nosso produto educacional inclui uma sequência de atividades experimentais investigativas e o convite a resolver um problema físico motivado por essa sequência de demonstrações e orientações teórico-práticas para conduzir os alunos ao resultado desejado.

Durante a sequência de ensino, a passagem da ação manipulativa para a construção intelectual, será um processo que envolverá dois momentos pedagógicos: durante as exposições, onde os alunos vão refletir sobre suas ações colocando suas dificuldades e estratégias para resolver o problema. Durante a sistematização, os alunos serão conduzidos através de uma abordagem teórica a relacionarem os conhecimentos práticos que construíram com as teorias científicas que descrevem os princípios físicos envolvidos.

Outro pressuposto da teoria de Piaget que será levado em consideração na avaliação dos alunos é a importância do erro na construção de novos conhecimentos (CARVALHO, OLIVEIRA, *et al.*, 2017, p. 3). É preciso deixar claro aos alunos que é da natureza humana errar e que ninguém precisa se envergonhar disso. Mostrar que a história da ciência está repleta de erros que foram corrigidos e superados. Aprender criticamente com os erros é rejeitar certezas, encarando o erro natural e aprendendo emocionalmente a superá-lo (MOREIRA, 2015).

Os erros serão socializados durante uma das fases da sequência de ensino para fundamentar discussões sobre o assunto, por exemplo: Quais são os fatores que de fato interferem no fenômeno descrito? Quão precisa foram as medidas obtidas? Se fosse usado outras técnicas e manipulações, o resultado seria diferente? O material selecionado foi o mais adequado para solucionar o problema? Se tivesse um envolvimento maior dos componentes do grupo, o resultado seria diferente? Todos esses questionamentos serão levantados aos grupos na tentativa de fazê-los refletir sobre seus erros e buscar corrigi-los.

Temos então uma estratégia baseado na teoria de Piaget. Vamos a escola aplicá-la. Quando entramos na sala de aula, nos deparamos com uma sala com 40 alunos. Como nivelar essa proposta para que ela chegue a grande maioria dos alunos e todos se sintam envolvidos? Ou como indaga Moreira (2015, p. 226) como levar os alunos a perceber como relevante o conhecimento que queremos que construa? Como provocar a predisposição para aprender? Uma grande ajuda pode vir dos saberes produzidos por Vygotsky (1896-1934) (CARVALHO, OLIVEIRA, *et al.*, 2017).

O ensinamento mais fundamental de Vygotsky foi mostrar que o crescimento da inteligência do indivíduo será fortemente determinado pelo meio sócio-histórico-cultural. A interação social, na visão desse autor, é a força motora principal para a dinâmica do conhecimento (MOREIRA, 2015). A interação social de sua teoria supõe um envolvimento ativo de ambos os participantes com um intercâmbio de informações, experiências e conhecimentos. Ao longo de nossa evolução como civilização humana, contruímos ferramentas e artefatos culturais com os quais mediamos a interação entre os indivíduos e entre os indivíduos e seu meio físico. Esses artefatos sociais e culturais são constituídos por signos, conjunto de símbolos

significantes (imagens ou sons) que transmitem ideias, palavras, informações e todo um conjunto de significados culturalmente aceitos, a linguagem sendo o exemplo mais importante dessa construção. E por instrumentos, ferramentas contruídas para mediar a interação homem-ambiente, dominando a natureza ao invés de usá-la (MOREIRA, 2015).

Para Vygotsky, é pela interiorização de instrumentos e signos que o homem se desenvolve cognitivamente. Utilizando-se dessa premissa, tomamos o cuidado em nossa proposta para que não só a linguagem seja acessível ao aprendizado, mas também o cuidado de propor um problema que tenha uma relação social próxima com a vida dos estudantes. Como vamos trabalhar com a questão energética, a solução do problema será mostrar se podemos ou não construir pequenos artefatos para gerar energia elétrica em pequenas quantidades a partir da energia mecânica usando processos indutivos ou da piezoelectricidade e usá-la como fonte alternativa, economizando energia da rede elétrica.

Outro ensinamento de sua teoria, está relacionado com a importância de deixar os alunos interagirem entre si em trabalhos em grupo (CARVALHO, OLIVEIRA, *et al.*, 2017). Para Vygotsky, cada indivíduo apresenta um nível de desenvolvimento real com habilidades mentais e motoras correlatas a esse nível. Se solicitado para resolver um problema que esteja dentro desse nível de desenvolvimento, este o fará sem ajuda. Porém, esse mesmo indivíduo tem um nível de desenvolvimento potencial, relacionado a habilidades mentais menos elaboradas com as quais não conseguiria resolver sozinho um determinado problema. A distância entre essas duas possibilidades, Vygotsky chamou de zona de desenvolvimento proximal. Nosso trabalho irá explorar essa orientação na medida em que aqueles alunos que tem um nível de desenvolvimento menor, poderão ser auxiliados pelo professor ou por seus colegas que tem um nível real mais desenvolvido. Além do mais, estando todos de um grupo, dentro da mesma zona de desenvolvimento real, o entendimento entre eles é facilitado.

Dentro dessa proposta sociointeracionista de Vygotsky, o papel do professor é conduzir os alunos da zona de desenvolvimento real para a zona de desenvolvimento potencial, auxiliando-os nessa direção, “pois segundo ele o desenvolvimento consiste em um processo de aprendizagem dos usos das

ferramentas intelectuais, pela interação social com outros mais experimentados no uso dessas ferramentas” (CARVALHO, OLIVEIRA, *et al.*, 2017).

### 3.1 - A IMPORTÂNCIA DA ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA NA SOCIEDADE ATUAL

A ideia de alfabetização científica foi introduzida no final dos anos 50 por Paul Hurd, estudioso do currículo de ciências. Para Hurd, as aulas de ciência devem ensinar o que está no cotidiano dos alunos. Uma vez que a sociedade se beneficia dos conhecimentos científicos construídos, é necessário que as pessoas saibam mais sobre ciências e suas contribuições para a sociedade.

Podemos fazer uma analogia do termo alfabetização científica com a definição de letramento alfabético segundo Paulo Freire:

A alfabetização é mais que o simples domínio psicológico e mecânico da técnica de escrever e ler. É o domínio dessas técnicas em termos conscientes. (...) Implica uma autoformação de que possa resultar uma postura interferente do homem sobre seu contexto. FREIRE, P. Educação como prática da liberdade. São Paulo: Paz e Terra, 1980.

Olhando por esse ângulo, a alfabetização científica consiste num conjunto de práticas que leve o aluno não só olhar e entender o mundo, mas também o leve a interagir com o mesmo, ou seja, letramento científico significa dominar e fazer uso dos conhecimentos científicos. Analisando friamente, a escola de hoje não está proporcionando condições para que haja uma efetiva alfabetização científica dos alunos.

Conforme Carvalho (2010, p. 1), hoje há um grande distanciamento entre o que a escola apresenta aos alunos e o dia-a-dia deles. A formação que as escolas de ensino médio oferecem hoje está sendo questionada em seus objetivos. Parece que a escola média não está mais respondendo as expectativas de formação e preparação para enfrentar as dificuldades que a juventude irá encontrar na vida. Podemos observar esse fenômeno nas mudanças estruturais que o governo federal pretende implantar a partir do ano que vem, fazendo a reforma do ensino médio.

É fato que as pessoas estão convivendo cada vez mais com fenômenos sociais que tem alguma relação com a ciência, logo, ao pensar em currículo de ciências, é necessário levar em consideração como esses conhecimentos estão presentes no nosso cotidiano afetando positivamente ou não, as nossas vidas.

Podemos citar como efeitos negativos, desastres ambientais como o ocorrido em Barcarena, Pará, provocando sérios impactos ambientais, econômicos e a saúde da população com o naufrágio de um navio em 2015 lançando ao mar 5000 bois e 700 toneladas de óleo combustível (Telejornal liberal edição de 06/10/15) e mais recentemente, ainda no mesmo município, a contaminação de rios e mananciais na região ao redor do polo industrial minerador da empresa norueguesa Hidro-Alunorte com forte suspeita de contaminação na água de metais como chumbo e alumínio (Jornal Amazônia, 3/04/18, p. 3). Como exemplos positivos, podemos citar os equipamentos sofisticados de comunicação como os smartphones, tablets, as smart tvs com acesso a internet e todo um conjunto de softwares embutidos nesses dispositivos com suas múltiplas funcionalidades capazes de gerenciar, desburocratizar e entreter a vida de qualquer cidadão.

Portanto, vivemos atualmente os benefícios de uma era altamente evoluída, técnica e cientificamente, a *chamada era digital*. Evoluída nos transportes, nas formas de se obter informação e se comunicar, na medicina permitindo que tenhamos uma maior expectativa de vida, na automação das máquinas que executam as mais diversas funções, na forma como exploramos os recursos naturais, bem como no corpo de conhecimentos adquiridos ao longo dos últimos 400 anos que tornaram esses acessos possíveis.

Porém, nossa era é também marcada por uma vasta série de problemas graves inter-relacionados: contaminação e degradação dos ecossistemas provocados por desastres ou exploração desenfreada para suprir necessidades particulares e a curto prazo, esgotamento de recursos energéticos, materiais e alimentícios, desequilíbrios insustentáveis no clima, conflitos ideológicos, perda da diversidade biológica e cultural. Essa situação de emergência planetária nos coloca diante da necessidade como educadores de assumir um compromisso formal e informal de proporcionar uma percepção emergencial desses problemas e incentivar movimentos de valorização do fazer científico em grupos escolares a fim de construir um desenvolvimento sustentável (CACHAPUZ, GIL-PEREZ, *et al.*, 2005).

Segundo (CARVALHO, OLIVEIRA, *et al.*, 2017, p. 15),

Uma concepção de ensino de ciências que vise a alfabetização científica pode ser vista como um processo de enculturação científica dos alunos, no qual esperaríamos promover condições para que os alunos fossem inseridos em mais uma cultura, a cultura científica.

Na última década do século XX a expressão alfabetização científica verbalizou nos discursos de professores de ciências. Segundo Gil-Perez (2005), a educação científica para todos é um conjunto de conhecimentos científicos incorporados num currículo básico comum a todos os estudantes e com estratégias diferenciadas que evitem a propagação de desigualdades sociais no âmbito escolar. Esse corpo de conhecimentos, aplicados adequadamente deve ajudar os estudantes a desenvolver perspectivas da ciência e da tecnologia que incluam a *história das ideias científicas, a natureza da ciência e da tecnologia e o papel de ambas na vida pessoal e social*.

Especialistas em educação em todo o mundo tem convergido suas opiniões para a necessidade de ir mais além da tradicional transmissão de conhecimentos para incluir uma aproximação à natureza da ciência e a prática científica e sobretudo enfatizar as relações ciência-tecnologia-sociedade-ambiente (CTSA), de modo a incentivar os formandos a participar na tomada fundamentada de decisões (CACHAPUZ, GIL-PEREZ, *et al.*, 2005).

Conforme Cachapuz (2005, p. 20), reconhecer a importância da educação científica é uma coisa. Outra coisa é criar as estratégias para alcançar esse objetivo. Pelo que foi exposto, estamos diante da necessidade de preparar os estudantes para trabalharem, viverem e principalmente intervirem na sociedade, de maneira crítica e transformadora, para que possam tomar decisões responsáveis atreladas a seu futuro, da sociedade e do planeta. (CARVALHO, RICARDO, *et al.*, 2010). Em outras palavras, gerar as habilidades associadas ao fazer científico. Para gerar essas habilidades, precisamos antes pensar em como planejar um currículo com estratégias alternativas que alcance esse objetivo. Carvalho (2005) aponta três eixos estruturantes que listam as habilidades classificadas como necessárias aos currículos que almejam uma alfabetização científica.

O primeiro diz respeito a compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos. A importância desse eixo está em trabalhar a compreensão de conceitos-chave afim de entender informações e situações cotidianas. Por exemplo,

entender o conceito de resistência elétrica exige que o aluno saiba quais são os materiais que apresentam menor resistência (condutores) bem como aqueles de maior resistência (isolantes) podendo usar esse conhecimento para se prevenir de acidentes como a rede elétrica. Entender o conceito de voltagem e corrente elétrica exige que o aluno tenha a percepção de que cada aparelho funciona com uma voltagem e corrente específicas e que, portanto, usar uma voltagem inadequada poderá gerar ou um mal funcionamento ou a queima de um aparelho elétrico. Não é todo mundo que chega numa casa e ao ligar um equipamento, lembra de perguntar se a tomada é de 110V ou 220V.

O segundo eixo relaciona-se com a compreensão da natureza das ciências e dos fatores éticos e políticos associados a sua prática. Esse eixo valoriza o caráter humano e social da construção dos saberes científicos. Como exemplo podemos citar a forma como a indução eletromagnética foi descoberta por Michael Faraday, fruto de muita pesquisa, interação com outros cientistas, muita dedicação e investimentos políticos uma vez que ele trabalhava num laboratório bem equipado. O corpo de conhecimentos que ele pesquisou sofreu vários aperfeiçoamentos ao longo do tempo mostrando que a ciência está em constante transformação. Nesse eixo, o modo como as atividades serão encaminhadas precisa se aproximar da forma como os conhecimentos foram sendo concebidos e lapidados ao longo da história. Dessa forma a estratégia que condiz com esse eixo é oferecer condições para que os próprios alunos construam as concepções sobre os fenômenos que serão investigados.

O terceiro eixo está apoiado no quadrante ciência, tecnologia, sociedade e ambiente (CTSA). Esse eixo aponta para a necessidade de compreender as aplicações e possíveis repercussões na sociedade e no meio ambiente da revolução científica. Os impactos ambientais e sociais devem ser analisados caso tenhamos em mente o desejo de um futuro sustentável para nossa sociedade e o planeta. Podemos citar como exemplo a crescente demanda por alimentos e energia. Como vamos abastecer de alimentos e energia uma demanda que duplica a atual em poucos anos sabendo que é impossível duplicar a área cultivável e a produtividade da mesma, no mesmo período, valendo essa regra para a produção de energia? A ciência ainda não tem uma resposta definitiva para esse problema.

## Segundo Hodson (1992)

Os estudantes desenvolvem melhor a sua compreensão conceitual e aprendem mais sobre a natureza da ciência quando participam em investigações científicas, desde que haja suficientes oportunidades e apoio para a reflexão.

Isso sugere que a compreensão significativa dos conceitos exige apresentar o ensino de ciências como uma atividade próxima à investigação científica embora saibamos que o contexto original da produção da ciência física não é o mesmo da física ensinada na escola (CARVALHO, OLIVEIRA, *et al.*, 2017).

Para Vygotsky (2001), o que consolida o processo de aprendizagem é a formação de conceitos. O autor compara e relaciona dois tipos de conceitos: Conceitos espontâneos, construídos pela vivência direta dos alunos frente a realidade experimentada e observada por eles; e os conceitos científicos, construídos em situações formais de ensino-aprendizagem. Para Piaget (1997), o aluno somente poderá aprender um determinado conceito se dispuser de estrutura mental lógica para a compreensão desse conceito. Segundo o autor, mais importante do que ensinar um conceito seria capacitar a mente do jovem para apreendê-lo, estimulando a formação de suas estruturas mentais. Já para Vygotsky, não é preciso esperar amadurecer as estruturas mentais para a compreensão de um conceito. É o ensino desse conceito que desencadeia a maturação mental.

Portanto a estratégia que será abordada nessa dissertação é uma sequência experimental investigativa seguida de uma problematização. Os alunos serão convidados a investigar uma situação-problema, seriando as informações relacionados ao problema; organizando e classificando essas informações; levantando as hipóteses que sugerem uma possível solução ou levantando perguntas que ainda carecem de uma confirmação; testando as hipóteses e colocando a prova as suposições levantadas e no final desenvolvendo um modelo explicativo capaz de tornar clara a compreensão do problema (CARVALHO, OLIVEIRA, *et al.*, 2017).

Todos esses passos fazem parte do fazer científico e dizem respeito aos aspectos procedimentais da investigação direcionados pelo professor. Logo o sucesso dessas atividades depende muito do envolvimento do educador. Por outro lado, é preciso desenvolver as competências ou destrezas mentais que os

estudantes terão que demonstrar, necessárias para que esse conjunto de ações seja concluído satisfatoriamente, a saber, o raciocínio lógico e o raciocínio proporcional. (CARVALHO, RICARDO, *et al.*, 2010).

Quando se fala em raciocínio lógico, logo se pensa na capacidade de solucionar um problema matemático cuja solução não precisa de uma fórmula ou algoritmo específico, mas apenas uma operacionalização aritmética elementar. Embora essa competência seja “bem-vinda” para quem quer se desenvolver bem nas ciências de uma forma geral, não é um pré-requisito obrigatório. Ela consiste na capacidade de poder organizar as ideias de uma forma coerente e coesa assim como os saberes científicos o são em sua estrutura e organização.

O raciocínio proporcional por sua vez, trabalha junto com o raciocínio lógico e está fortemente ligado a matemática e consiste na capacidade de poder estabelecer as relações quantitativas entre as variáveis de um dado fenômeno buscando identificar e entender suas regularidades. Tais competências serão analisados avaliando as respostas do questionário que será aplicado aos alunos ao final de cada demonstração investigativa.

### 3.2 - A METODOLOGIA

Para referenciar metodologicamente um trabalho dessa natureza, tivemos por base autores contemporâneos que trabalham com atividades educativas usando métodos alternativos bem como teóricos da aprendizagem que mudaram radicalmente a forma de compreender os processos de aquisição de conhecimento pela mente humana. Tem-se observado hoje um aumento significativo desses trabalhos que se dedicam em vislumbrar novos métodos pedagógicos ou aprimorar os já existentes no que tange as práticas de ensino em sala de aula. Esse esforço de tentar elaborar novas estratégias de aprendizagem e como elas dialogam com outras áreas do conhecimento, se percebe pelo elevado número de artigos, livros, dissertações e publicações em geral que abordam o referido tema. Só para citar alguns exemplos podemos perceber isso em trabalhos como (Carvalho, Ricardo, *et al.*, 2010), (Carvalho, Oliveira, *et al.*, 2017), (Alves, Jesus e Rocha, 2012) e (Garcia, Higa, *et al.*, 2012) e (Guerra e Concenza, 2011), (MOREIRA, 2015).

Tanta pesquisa em ensino de física tem outra possível motivação. Nota-se ao longo dessa atividade profissional, um comportamento muito comum nas salas de aulas atuais: o contínuo e progressivo desinteresse dos nossos alunos frente as disciplinas escolares, mas acentuadamente, nas chamadas disciplinas científicas. Conforme Cachapuz (2005, p. 20), as pesquisas sobre a forma como as ciências são ensinadas atualmente tem revelado um constante fracasso escolar, assim como a falta de interesse e pior que isso, repulsa dos alunos para com as matérias científicas.

Parece que eles não estão aprendendo tanto quanto aprendiam ou estão mais desinteressados ou menos esforçados do que a algumas décadas atrás. Esse desinteresse em relação a escola não significa um desinteresse geral. Eles estão sim interessados em outras coisas, ou seja, existem fatores internos ou externos que conseguem tirar o foco da atenção que deveria ir para a escola. Isso tem causado um grande incomodo nos profissionais da educação que se veem desafiados por uma cruel concorrência com os fatores que tiram a atenção, concentração e interesse dos seus educandos.

Isso mostra que a escola de hoje não sofreu modificações profundas em sua estrutura político-pedagógica a fim de suprir as expectativas de uma sociedade em constante transformação. Nem tão pouco acompanhou a evolução de comportamento provocada pelo revolução técnico-científica (MOREIRA, 2015, p. 223). A própria formação dos professores estaria no cerne dessa questão (CACHAPUZ, GIL-PEREZ, *et al.*, 2005).

Vivemos numa sociedade tecnológica onde não precisamos sequer sair de casa para pagar uma conta de luz. As facilidades de comunicação e informação através de aparelhos tecnológicos e sofisticados impregnou definitivamente os lares das famílias por mais humildes que sejam e também nossa força produtiva, mas a escola parece que parou no tempo pois continuamos ensinando a ciência de séculos passados. Segundo Carvalho (2010) “espaço e tempo ainda são grandezas absolutas; o átomo ainda é um “pudim de passas” formado pelos indivisíveis prótons, nêutrons e elétrons; **a eletricidade e o magnetismo quase nunca se unem...**” (o grifo é nosso).

Diante dessas novas necessidades humanas, muitas delas influenciadas pelo cenário atual de uma sociedade tecnologicamente mais evoluída, que ferramentas alternativas de ensino, dispomos para tentar levar nossos alunos a uma aprendizagem que não somente seja motivadora na importância de adquirir uma formação científica melhor, mas também para se tornarem cidadãos capazes de aplicarem esses saberes para intervir na sociedade e no meio ambiente contribuindo para resolver seus conflitos e problemas?

### **3.2.1 - A proposta de um problema físico como recurso metodológico**

Tradicionalmente o ensino de ciências, especificamente de física, é voltado para a pura e simples transmissão de conhecimentos científicos elaborados didaticamente e ao treinamento de habilidades estritamente operacionais, em que, a linguagem matemática e as demais linguagens como, símbolos, gráficos, diagramas e tabelas são apresentadas sem contexto com a realidade imediata do aluno ou completamente alheia a experiência existencial dos educandos (CARVALHO, OLIVEIRA, *et al.*, 2017).

Listas de exercícios, resolução de problemas, provas com questões discursivas ou de múltipla escolha, simulados. Todas essas atividades distribuídas em onze matérias e um vasto conteúdo a ser vencido em cada disciplina: essa ainda continua sendo a décadas, a forma tradicional de cobrar dos alunos o retorno de sua aprendizagem na maioria esmagadora das atividades de avaliação. Isso deixa claro que as metodologias tradicionais também continuam imperando na regência dos professores. Em grande parte, por força da nossa própria estrutura educacional ou pelo comodismo e facilidade dessa metodologia. Atualmente as universidades brasileiras usam o ENEM (exame nacional do ensino médio) como processo seletivo, o que torna os currículos e sua aplicação, atrelados a métodos tradicionais.

De acordo com Delizoicov, Angoti e Pernambuco (2007), os saberes e práticas tradicionais dão sinais inequívocos de esgotamento. Ter domínio técnico dos conteúdos não é mais sinônimo de um bom desempenho docente. Para ensinar conhecimentos específicos de uma determinada área do conhecimento, além do domínio dos conceitos, procedimentos e teorias científicas, a ação pedagógica precisa ser tratada como um instrumental metodológico que precisa ser estudado e

transformado durante a formação continuada dos professores, superando o senso comum pedagógico, a saber, a mera transmissão mecânica de informações.

Mas o motivo desse esgotamento e fracasso das práticas tradicionais não está associado somente aos procedimentos do método em si, afinal por décadas esse foi a forma de conduzir as transmissões de conteúdo das disciplinas escolares aos alunos. Com a universalização do ensino a partir da década de 70 e do conhecimento através das mídias digitais a partir da década de 90, a escola atingiu um público nunca antes escolarizado com formas de expressão, crenças, valores e expectativas socioeconômicas diversas das camadas sociais antes atendidas pelos modelos tradicionais. Logo, o desafio de popularizar o saber científico para uma nova clientela não pode ser enfrentado com métodos de décadas passadas, onde a escola era de poucos e para uma elite urbana.

Diante desse novo paradigma educacional, Delizoicov e Angotti (1992) propõem encaminhar o processo de ensino-aprendizagem em três unidades didáticas: Problematização inicial, organização do conhecimento a aplicação do conhecimento.

Diante do exposto, nossa proposta é introduzir uma forma diferente de avaliar os alunos através de uma sequência didática-metodológica alternativa rompendo com práticas tradicionais de ensino. Consiste em transformar um problema que foi da ciência em épocas passadas em um problema para os alunos (CARVALHO, OLIVEIRA, *et al.*, 2017). Seria resolver um problema envolvendo fontes tradicionais e alternativas de energia dentro de um contexto de urgência em se buscar economia de recurso energéticos.

Buscar alternativas ao modelo tradicional de ensino-aprendizagem não é necessariamente algo novo. Os Parâmetros Curriculares Nacionais - PCNs do ensino médio apontam possíveis caminhos a serem trilhados na direção de uma prática pedagógica mais atualizada ao perfil das necessidades atuais da sociedade pós-moderna. No documento, entre outras possibilidades, é sugerido que:

(...) É fundamental que as atividades práticas tenham garantido o espaço de reflexão, desenvolvimento e construção de ideias, ao lado de conhecimentos de procedimentos e atitudes. Como nos demais modos de busca de informações, sua interpretação e proposição são dependentes do referencial teórico previamente conhecido pelo professor e que está em

processo de construção pelo aluno. Portanto, também durante a experimentação, a problematização é essencial para que os estudantes sejam guiados em suas observações (BRASIL, 1998, p. 122).

Isso deixa clara a necessidade de desenvolver e executar atividades experimentais que possam simular as dificuldades e problemas que os alunos terão na vida, gerando as competências atitudinais para buscar soluções adequadas. O principal objetivo dessa proposta é proporcionar aos alunos a capacidade de construir um conhecimento a partir de suas próprias ações.

Chevallard (1991) analisou o caminho percorrido pelos conhecimentos produzidos pela ciência até chegarem aos livros didáticos e percebeu que esses conhecimentos sofreram reorganizações, adaptações e modificações para que estivessem preparados para serem ensinados. Essa reorganização desses conhecimentos e preparação para o ensino é chamada de transposição didática. Esses conhecimentos reorganizados são chamados por Chevallard (1991, p. 18) de saber a ensinar. Para que o tempo de aprendizagem desses saberes possam ser respeitados eles são exilados de suas origens históricas e separados de sua produção como saber científico. Isso quer dizer que a maioria dos manuais didáticos fazem pouco ou quase nenhuma referência ao contexto histórico, e apresentam abordagens mais simplificadas dos modelos teóricos produzidos pelos saberes científicos em seus formatos originais.

De acordo com o Art. 9º, item I do DCNENM (2002, p. 115 PCN) “o conhecimento é transporte da situação em que foi criado, inventado ou produzido, e por causa dessa transposição didática deve ser relacionado com a prática ou a experiência do aluno a fim de adquirir significado”.

A transposição didática em geral mascara o como e o porquê as teorias e leis foram concebidas. Reproduzir a transposição didática dos livros de física, pouco contribuirá para que os alunos relacionem o aprendizado com sua realidade e muito menos perceberão a importância daquele conhecimento para sua vida fora da escola.

A transposição didática para a lei de Faraday e para a piezoelectricidade e suas aplicações (micro geração de eletricidade a partir da indução eletromagnética e da piezoelectricidade) será feita com o auxílio do material experimental que será

explicado com detalhes no capítulo 5, sem se distanciar muito de suas origens e produção histórica como será abordado no próximo capítulo onde percorremos o caminho temporal da descoberta da indução eletromagnética.

A fim de que a importância desses conhecimentos seja percebida e se transforme em objeto de reflexão, daremos ênfase nos aspectos históricos e nas dificuldades para a compreensão da realidade vividas pelos sujeitos. Pretendemos, pois, que os saberes ensinados nessa proposta de ensino façam sentido para o aluno, na medida em que os conteúdos tenham alguma relação com as necessidades da vida diária (FREIRE, 1985).

Existem dois tipos de problemas que podem ser propostos pelo professor. Os de verificação e os de investigação. No primeiro caso o professor indica o problema a ser analisado, conduz pessoalmente as demonstrações ou dá instruções para os alunos executarem o experimento com um roteiro explicando o passo a passo, como uma receita de bolo, sem discussão ou levantamento de hipóteses, ou seja, o problema, as hipóteses, o plano de trabalho e as próprias conclusões, já estão propostos. Ao se obterem os resultados, ou dados, os alunos provam que a teoria está correta. Não há surpresas e há pouca chance de algo dar errado durante a etapa procedimental, lembrando que o erro é importante na construção de conceitos pois aprendemos mais quando erramos e conseguimos superar os obstáculos que levaram ao erro do que quando acertamos com pouca ou nenhuma dificuldade (CARVALHO, OLIVEIRA, *et al.*, 2017).

O outro tipo de trabalho é chamado por Carvalho (2017, p. 61) de sequência de ensino para atividades experimentais ou *sequência de ensino investigativa* (SEI), que descreveremos nessa dissertação e aplicaremos no nosso produto educacional.

### **3.2.2 - Característica de uma sequência de ensino investigativa**

A característica geral mais importante das práticas experimentais dessa proposta, diz respeito a que resultados almejamos ao final de uma aprendizagem por investigação. O principal objetivo é incorporar uma nova cultura a vida do educando, ou seja, a cultura científica e para isso é preciso romper com a ideologia de gênero ou de aptidões. Em outras palavras, o ensino de física deve ser para todos (independentemente do gênero) e não somente para aqueles que almejam carreiras

científicas (independente da futura inclinação profissional do aluno) preparando *todos os nossos jovens* para uma participação ativa na sociedade. Fazer os alunos se apoderarem das diversas linguagens das quais as ciências se expressam para entender sua realidade e poder modificá-la, ou seja, transpor os conhecimentos apreendidos para a vida social, procurando estabelecer as complexas relações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente (CARVALHO, RICARDO, *et al.*, 2010).

Para que uma sequência de ensino tenha um caráter investigativo, Carvalho (2017, p. 61-65) lista características peculiares que devem ser materializadas nas atividades. Uma delas está relacionado ao grau de liberdade intelectual oferecido a atividade. Diferente das atividades de verificação descritas em parágrafos anteriores, cujo grau de liberdade é mínimo (grau I), na SEI, os alunos são convidados pelo professor a investigar uma situação-problema ficando totalmente responsáveis pelo trabalho intelectual e operacional (grau IV).

Lógico, que o trabalho dos alunos deve ser sustentado por uma base teórica prévia informadora de algumas características do modelo teórico que ajudará no andamento inicial da investigação. É o que será feito inicialmente nas aulas teóricas conjugadas a parte experimental elaborado pelo autor dessa dissertação e será demonstrada no próximo capítulo. Essa característica específica, quando bem conduzida, tem por objetivo gerar uma maior autonomia intelectual nos estudantes fazendo com que eles pensem e tomem suas próprias decisões e construam suas argumentações sobre o fenômeno estudado.

Essa estratégia de ensino deve ser separada em cinco etapas:

1. O problema propriamente dito.

O professor deve ter muita cautela com o problema a ser proposto. Ele deve ser compreendido pelos alunos. As atividades que serão motivadas por ele, devem desenvolver-se na “zona de desenvolvimento próximo”. Isso significa dizer que tais tarefas devem ser um desafio, porém com um nível de dificuldade passível de ser superada, constituindo um incentivo e não uma fonte de desânimo, desmotivação ou de difícil resolução (CACHAPUZ, GIL-PEREZ, *et al.*, 2005). As três aulas investigativas e a aula demonstrativa servirão de motivação e suporte teórico para

um desafio específico, porém tomaremos o cuidado de não dar as respostas prontas para resolver o problema.

## 2. O percurso em direção a solução do problema.

Nessa etapa, o papel do professor é acompanhar o processo de pesquisa dos alunos e orientar os possíveis procedimentos, sem interferir muito nessa decisão. Como já foi mencionado o erro faz parte do processo e é bem-vindo para se ter êxito na incorporação dos conceitos científicos. Nessa etapa os alunos ficam livres para interagirem entre si levantando as hipóteses e conjecturas e planejando os procedimentos e manipulações.

## 3. A mostra do que os alunos produziram

Essa, sem dúvida, é a etapa mais importante do processo. Nela os alunos demonstram diante de uma plateia e diante do professor, como resolveram o problema. Ao explicarem como chegaram nos resultados obtidos, tomaram consciência das variáveis que interferiram no fenômeno e das relações qualitativas entre elas. A base teórica prévia, já informara algumas dessas variáveis e suas relações qualitativas, porém, ficará a critério dos grupos analisar quais serão de fato importantes e como serão tratadas tecnicamente. Será sugerido, dependendo da evolução da turma, a coleta de dados das grandezas que podem ser medidas e a introdução da linguagem matemática com tabelas, gráficos e equações a fim de fazer a descrição quantitativa, deixando o trabalho de investigação mais completo.

## 4. A sistematização na busca de uma relação de causa e efeito.

A etapa anterior é descritiva. Isso significa que foi dito como um determinado fenômeno se comportou ao longo do seu estudo. Descrever um fenômeno é o primeiro passo para elaborar justificativas para seu comportamento. Essa é a competência mental mais complexa que se espera da investigação pois nela os conhecimentos são sistematizados em uma relação matemática e os conceitos são consolidados. Nessa fase, espera-se que o aluno entenda corretamente os conceitos, perceba as relações causais entre eles e se expresse adequadamente na linguagem científica.

## 5. A preparação de relatórios.

Escrever um relatório de forma a expressar cientificamente o que foi construído é outro desafio dessa sequência de atividades. Embora já tenha ocorrido um debate durante as apresentações dos resultados na fase 3, os alunos devem escrever um relatório sintetizando todo o processo de clarificação das ideias, com o objetivo de revelar as competências mentais e psicomotoras específicas de cada grupo.

Seguindo essas orientações, a sequência experimental investigativa que comporá essa dissertação será aplicada em três atividades experimentais investigativas e uma atividade experimental demonstrativa. Após essas aulas, os alunos em grupo, serão convidados a criarem ou fabricarem a partir de protótipos já existentes, dispositivos (micro geradores) que possam transformar pequenas quantidades de energia mecânica em energia elétrica. Essa será a situação-problema que vão buscar resolver ao longo do ano. As atividades demonstrativas introduzirão os conceitos e fenômenos que precisarão entender para provocar as competências mentais e atitudinais para resolver o problema.

Na primeira aula experimental, mostraremos através de experimentos simples como se comporta o magnetismo ao redor de ímãs naturais. Na segunda e terceira, trataremos de campos magnéticos gerados por correntes elétricas. Eletrizando bobinas e através do motor de Faraday faremos eles perceberem as características desses campos irradiados por correntes elétricas, semelhanças e diferenças em relação aos campos de ímãs naturais. Nessas aulas, faremos comentários sobre como esses experimentos contribuíram para que Faraday construísse o conhecimento que o levaria a descoberta da indução eletromagnética.

A interação social vygotskyana será mediada pelo professor através do estímulo a cooperação de todos em buscar em seu convívio social os materiais viáveis de serem obtidos ou fabricados e o compartilhamento dos artefatos culturais que cada aluno do grupo já trás de sua experiência pessoal ajudando no desenvolvimento dos que tem uma dificuldade maior de aprendizagem.

E finalmente na quarta aula demonstrativa, colocaremos eles em contato com o bicórdio elétrico adaptado de pitágoras, afim de mostrar o fenômeno da indução eletromagnética aplicado a guitarra elétrica e o fenômeno da piezoeletricidade

aplicado aos violões elétricos. As demonstrações serão explicadas com o apoio de animações em Flash (aplicativo digital em plataforma windows) para melhor visualização do caráter microscópico da indução e da piezoeletricidade.

Nosso objetivo com essa sequência é fazer com que as atitudes dos alunos se aproximem minimamente de uma investigação científica conforme descrito no começo desse capítulo a fim de que encararem a produção de conhecimento, como algo que deve fazer parte da cultura geral pertinente a formação de cada cidadão. Além do mais, essas atividades tem por finalidade chamar a atenção dos alunos para as preocupações com a diversificação da matriz energética, captando-a de fontes alternativas uma vez que as fontes tradicionais baseadas em combustíveis fósseis não são inesgotáveis.

Os pressupostos teóricos de Piaget e Vigostisk serão contemplados na medida em que eles terão a oportunidade de consolidarem conceitos e competências ao agirem sobre os objetos de conhecimento (os experimentos da atividade investigativa e os que eles mesmo criarão) e trabalharem em grupo interagindo entre eles e entre eles e o meio social que determinará os limites da sua ação e reação sobre as dificuldades que terão para solucionar o problema.

## CAPÍTULO 4

### BIOGRAFIA DE FARADAY E A DESCOBERTA DA INDUÇÃO

Michael Faraday (1791-1867) foi um dos quatro filhos de James Faraday, um ferreiro de vila no sudoeste de Londres, portanto de família humilde. Michael frequentou apenas por pouco tempo a escolar regular (pelo que tudo indica para ajudar a família financeiramente) e acabou praticamente se auto educando. Em 1804, com 13 anos, Faraday começou a trabalhar para G. Riebau, como ajudante em sua livraria. Sua função era transportar o material e ajudar nas encadernações.

Nesse contato com os livros ele teve a oportunidade de melhorar sua formação, lendo com grande interesse todos os livros que podia. Tinha interesse especial por eletricidade. Em 1812, com 20 anos, através da ajuda de um cliente da livraria, assistiu a uma série de quatro conferências do químico Humphry Davy (1778 – 1829), na Royal Institution. Faraday fez anotações detalhadas das palestras de Davy. Depois reuniu em um livro com mais de 300 páginas que ele mesmo encadernou e enviou a Davy. A intensão de Faraday era impressionar Davy e com isso trabalhar com ele em seu laboratório, pedindo-lhe um emprego em qualquer função relacionada à Ciência. Davy ficou impressionado com o presente, mas de imediato aconselhou Faraday a permanecer como encadernador (HEWITT, 2002).

Porém um acidente no laboratório de Davy provocado por um descuido do seu atual assistente o deixou temporariamente cego mudando a sorte de Faraday. Davy despediu seu assistente e no ano seguinte convidou Faraday para substituí-lo. Então, aos 21 anos, Faraday tornou-se auxiliar de laboratório de Humphry Davy na Royal Institution de Londres (KELLER, GETTYS e SKOVE, 1999).

Em outubro de 1813, Faraday acompanhou Davy em uma viagem pela França, Itália e Suíça, onde manteve contato com cientistas de diferentes áreas e aprendeu a “ver” e “pensar” os problemas científicos. Durante vários anos, apenas auxiliou Davy em seus estudos em química e foi assim que adquiriu um enorme traquejo experimental. Davy foi um químico brilhante e seu laboratório era um dos mais bem equipados da Inglaterra (DIAS e MARTINS, 2004).

Mas na rígida sociedade de classes inglesa da época, Faraday não tinha nenhum prestígio por não ter posses e educação formal superior. Foi tratado com desprezo pela esposa de Davy durante a referida viagem que ambos fizeram pela Europa. Apesar disso, Faraday teve a oportunidade de ter contato com grandes cientistas da época que lhe proporcionaram ideias estimulantes.

Faraday veio a ser considerado um dos mais importantes cientistas experimentais da época. E o que talvez poucos saibam é que ele fez descobertas significativas na química. Inventou uma lâmpada de segurança para mineração, conseguiu liquefazer o gás cloro e mais oito outros gases, descobriu que existe para cada gás uma temperatura crítica acima da qual o gás não pode ser liquefeito, descobriu o benzeno, introduziu o conceito de campo elétrico e magnético na física, descobriu a constante dielétrica, descobriu as leis que regem a eletrólise, inventou o primeiro motor elétrico, descobriu que o plano de polarização de luz pode ser girado dentro de um vidro na presença de campo magnético e inventou uma porção de vidros especiais (HEWITT, 2002).

Mas, como se tudo isto não bastasse, ele ainda descobriu uma das duas leis básicas que regem os fenômenos não estacionários do eletromagnetismo: a lei de indução eletromagnética. As suas descobertas na área do eletromagnetismo constituíram a base para os trabalhos de engenharia do fim do século XIX e que tornaram possível a eletrificação das sociedades industrializadas.

Em 1831, então com 40 anos, ao mover um ímã no interior de espiras de fio de cobre, induziu nelas uma corrente elétrica. Esse efeito físico provocado por um ímã sobre condutores chamamos de indução eletromagnética, fenômeno coincidentemente descoberto mais ou menos na mesma época, na América do Norte por Joseph Henry (1797 – 1878). Nessa época a única maneira de se produzir corrente elétrica era usando baterias. As correntes por indução iriam revolucionar a era da eletricidade (HEWITT, 2002).

Porém, como foi mencionado no início, a pobre formação educacional de Faraday o limitou na sua capacidade de descrever matematicamente os conceitos físicos que ele descobriu. As habilidades matemáticas de Faraday se limitavam à álgebra elementar e geometria euclidiana básica. As grandezas físicas que ele

vislumbrou só poderiam ser descritas em sua plenitude por relações matemáticas mais complexas que foram estabelecidas inicialmente por outros cientistas: O cálculo diferencial e integral. Por isso ele costumava exprimir suas ideias pictoricamente e com linguagem simples. Por exemplo, Faraday pensou nos campos magnetostáticos de ímãs, os gerados por correntes estacionárias e os elétricos gerados por cargas estacionárias, como linhas físicas de força. Por suas limitações matemáticas, essas linhas de força eram a forma mais adequada de visualizar a estrutura do que nós hoje chamamos de campos de força elétrico e magnético, ou campo eletromagnético (HEWITT, 2002).

No entanto, é importante destacar que essas contribuições não nasceram da noite para o dia. Pelo contrário, das primeiras investigações sobre o eletromagnetismo à lei da indução, passaram-se 10 anos. "A trajetória percorrida por Faraday até chegar à elaboração de lei da indução mostra que seus progressos dependeram muito mais de trabalho de pesquisa, de leitura e estudo, de seu interesse e esforços, do que de uma superioridade intelectual incomum" (Dias e Martins, p. 518). Faraday pode ser considerado um bom exemplo de que o fazer científico exige muita pesquisa, administração dos resultados positivos e negativos, investigações de hipóteses e ideias, diálogos e até mesmo conflitos com outros cientistas. Depois de 38 anos de trabalho na Royal Institution, Faraday se aposentou. Morreu em 25 de agosto de 1867, em Londres (HALLIDAY e RESNICK, 2009).

#### 4.1 - OS CAMINHOS QUE LEVARAM A DESCOBERTA DA INDUÇÃO

Se a corrente elétrica pode produzir magnetismo, o que acontece com o fenômeno inverso: será que o campo magnético pode gerar uma corrente elétrica em um condutor? Foi um raciocínio semelhante a esse que levou os cientistas, no início do século XIX, a buscar meios de produzir corrente elétrica a partir do magnetismo. (PENTEADO, 1998).

Para entender como isso seria possível, faremos uma breve descrição histórica dos acontecimentos que desencadearam as ideias de Faraday sobre indução. O primeiro acontecimento foi a descoberta de Hans Cristian Oersted em 1820 (1777-1851) de que corrente elétrica gera campo magnético. A figura 4.1

ilustra a primeira evidência da relação entre eletricidade e magnetismo. Nesse experimento uma bússola foi colocada próxima de um fio de corrente elétrica. A agulha imantada se orienta devido ao campo da terra (seta verde), porém, quando a corrente é ligada e o fio é colocado logo acima da agulha, surge um campo magnético orientado na direção perpendicular à direção do campo da terra (seta vermelha). Como resultado, a agulha deflete na direção da seta preta, pois estamos considerando que o campo da terra não é desprezível.

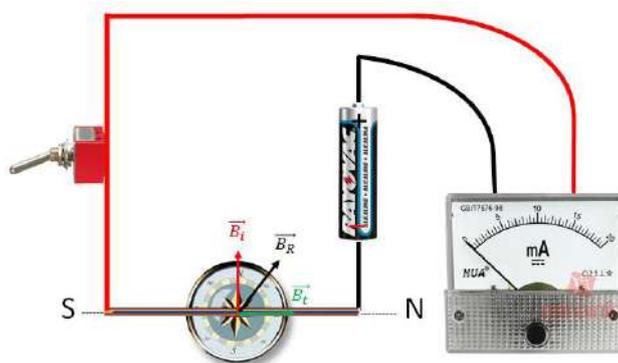
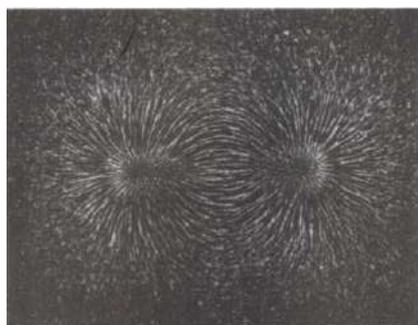
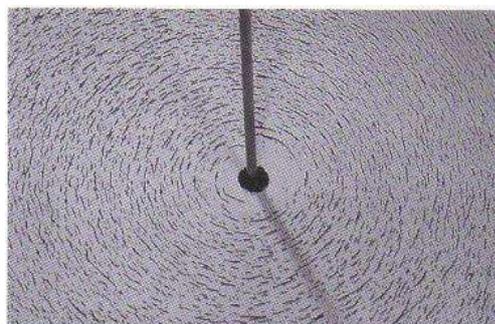


Figura 4.1 – Versão moderna do experimento de Oersted.  
Fonte: Arquivos do autor



(a)



(b)

Figura 4.2 – Padrão de alinhamento de limalhas de ferro causado pelas linhas magnéticas de força de um ímã em (a) e por um fio de corrente em (b) Fonte: (HALLIDAY e RESNICK, 2009).

Sabia-se na época, que uma carga elétrica estacionária, irradia uma força radial que atrai ou repele outra carga na direção da linha que as une. Pelo visto agora, Faraday estava diante de uma força estranha que irradia sua ação, lateralmente do fio. Como explicar essa força?

Faraday já sabia do padrão de orientação que limalhas de ferro, figura 4.2 (a), apresentavam na vizinhança imediata de um ímã natural. Sua grande contribuição foi imaginar que esse padrão era a materialização de linhas físicas de força que

davam a direção e o sentido da interação magnética. As limalhas podem formar linhas retilíneas ou curvilíneas dependendo de como o campo se espalha ao redor do material magnetizado como na figura 4.2 (b). Restava saber se existia alguma dinâmica nesse campo que pudesse ser usada para gerar movimento.

Após uma série de 24 experimentos envolvendo a descoberta de Oersted, Faraday concluiu que linhas circulares de força magnética se formavam ao redor do fio, modelo esse que explicava porque ocorria a rotação da agulha do experimento de Oersted. Suas investigações o levaram a produzir rotações contínuas de fios e ímãs em torno uns dos outros, ou em outras palavras, conseguiu transformar energia elétrica em energia mecânica concebendo o primeiro motor elétrico. Esse trabalho, conhecido como "as rotações eletromagnéticas", se constituíram sua primeira contribuição importante ao desenvolvimento da nova área (DIAS e MARTINS, 2004).

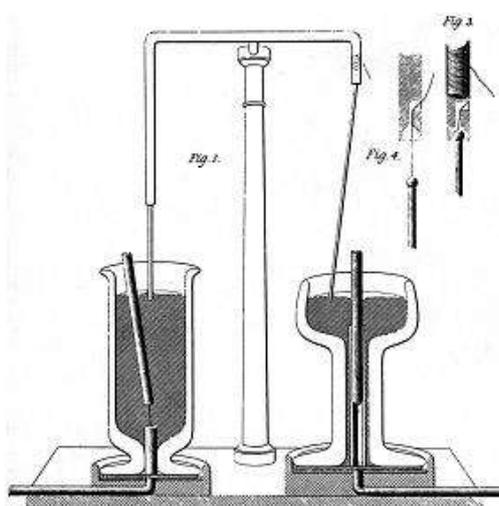


Figura 4.3 – Gravura com os materiais e a montagem de Faraday para mostrar as rotações eletromagnéticas. Fonte: (DIAS e MARTINS, 2004)

A lateralidade da força magnética combinada com a atualização da direção dessa força a cada nova posição, mantinha a constância da rotação que mudava de sentido quando se invertia a corrente. Ele usou o aparato mostrado na figura 4.3 que constava de um fio de cobre suspenso, um recipiente com mercúrio para conduzir bem a corrente elétrica e um ímã em forma de barra (DIAS e MARTINS, 2004).

Antes de chegar à indução propriamente dita, Faraday tentou em 1825, experimentos onde buscava influenciar a intensidade de correntes elétricas através de ímãs, porém com resultados negativos. “*Como a corrente elétrica [...] afeta*

*poderosamente um ímã, tendendo fazer seus pólos passarem ao redor do fio [...] a esperança era, por várias razões, que a aproximação de um pólo de um poderoso ímã diminuiria a corrente de eletricidade [...]” (Faraday, 1825, p. 338) (DIAS e MARTINS, 2004).*

Faraday conectou aos polos de uma bateria um solenoide e em paralelo um galvanômetro conforme ilustrado na figura 4.4. Dentro do solenoide ele inseriu um ímã e esperava observar alguma deflexão na agulha do galvanômetro, mas por algum motivo desconhecido isso não ocorreu embora houvesse chance de ocorrer. Se de algum modo o magnetismo do ímã pudesse alterar a corrente no solenoide, o galvanômetro sofreria alguma deflexão (DIAS e MARTINS, 2004).

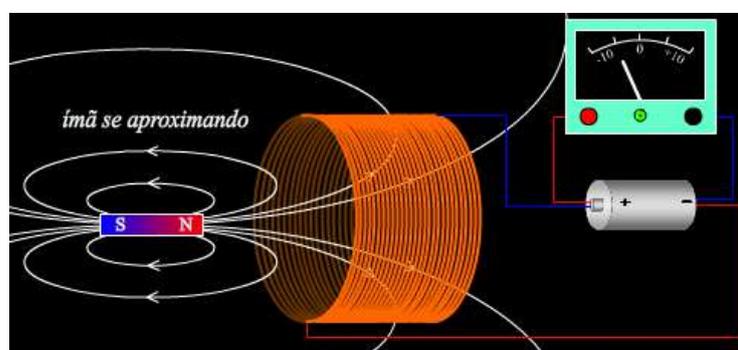


Figura 4.4 – Ilustração da tentativa de Faraday de influenciar a corrente de um solenoide pelo magnetismo de um ímã. Fonte: Arquivos do autor

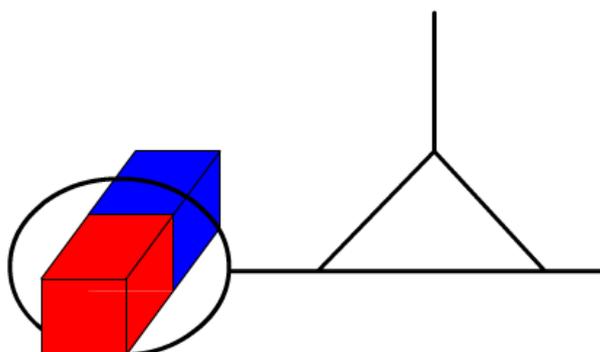


Figura 4.5 – Ilustração da tentativa de Faraday de obter corrente elétrica de magnetismo. Fonte: Arquivos do autor

Em 1828 Faraday faz outra tentativa de obter eletricidade por meio de magnetismo. Ele fez um enrolamento com fio de cobre suspenso através de um barbante conforme a figura 4.5. Aproximou o polo de um ímã em forma de barra de um enrolamento de fio de cobre e não observou efeito algum. Experimentou usar outros materiais para fazer o enrolamento, mas também não obteve sucesso.

Provavelmente o fracasso dessa tentativa estava relacionado com a quantidade de magnetismo do ímã ser insuficiente para gerar uma corrente que pudesse arrastar o enrolamento ou ao peso do mesmo ou a combinação desses dois fatores (DIAS e MARTINS, 2004).

Em 1831, sua busca finalmente chega ao fim. Michael Faraday usou um circuito semelhante ao mostrado na figura 4.6. Ele enrolou 70 metros de fio de cobre em torno de um núcleo toroidal, ligando um galvanômetro (equivalente a bússola) no circuito. Enrolou outros 70 metros, isolados do primeiro enrolamento e ligou-os a uma bateria (NUSSENVEIG, 1997). Faraday inicialmente se decepcionou com o resultado porque pensou erroneamente que um campo magnético estacionário pudesse produzir uma corrente. Notou, porém, que a deflexão do galvanômetro só aparecia quando o circuito era ligado e desligado.

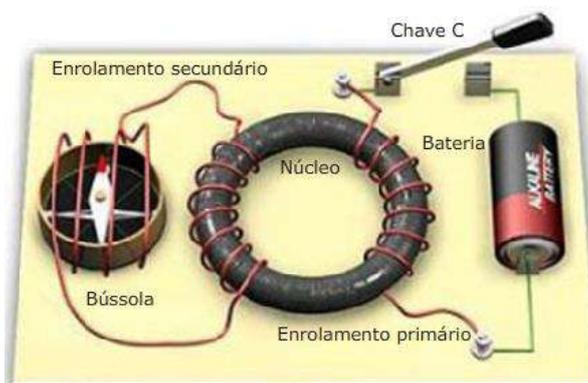


Figura 4.6 - Ilustração do circuito semelhante ao de Faraday. Fonte: Disponível em <http://www.ghc.usp.br/Biografias/Faraday/faradeletr.html>, acesso em 25/01/2018.

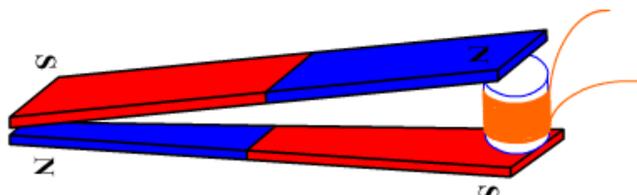


Figura 4.7 – Pinça formada por dois ímãs: obtenção de corrente induzida pela ação de um ímã permanente. Fonte: Adaptado de (DIAS e MARTINS, 2004)

Quando a chave C é fechada a corrente elétrica não aumenta de zero para seu valor máximo instantaneamente no enrolamento primário. Durante um curto lapso de tempo a corrente aumenta de intensidade gerando um campo magnético

que é reforçado com o tempo no interior do núcleo. Esse campo magnetiza o núcleo toroidal (preferencialmente de material ferromagnético) e sua variação se propaga, circulando ao longo de sua extensão. Ao atingir a região do enrolamento secundário, o campo magnético variável induz uma corrente neste que será medida pelo amperímetro. Essa corrente de curta duração é também obtida se desligarmos a chave C. Neste caso o campo magnético enfraquece com o tempo induzindo uma corrente no sentido contrário ao primeiro caso, mantendo as características de intensidade e duração (KELLER, GETTYS e SKOVE, 1999).

Faraday percebeu que enquanto a corrente do primário fosse mantida constante, não se percebia nenhuma corrente induzida no secundário. Logo, concluiu que alguma “coisa” precisava estar variando dentro do núcleo para que o medidor de corrente se mexesse. A conclusão parecia óbvia: a simples presença do campo magnético não gera corrente elétrica. Para gerar corrente é necessário variar o magnetismo (HALLIDAY e RESNICK, 2009).

Esse experimento feito por Faraday evidencia apenas uma das formas de gerar corrente por variação de magnetismo. Como podemos observar, nesse sistema, houve somente uma transferência de energia elétrica entre os enrolamentos. Existe outro mecanismo de indução que vamos examinar adiante, onde energia mecânica é transformada em energia elétrica, logo a variação de magnetismo é obtida por outro processo diferente.

Para chegar a simetria das relações entre eletricidade e magnetismo, Faraday procurou entender como o magnetismo se manifesta na matéria ordinária para saber como promover essa variação que gerava esse efeito. Esse entendimento foi evidenciado por todos os experimentos que já foram mencionados acima. No mesmo ano de 1831, ele finalmente consegue transformar energia mecânica em energia elétrica usando dois ímãs em forma de barra e um filamento enrolado em forma de hélice nas extremidades dos polos de barras imantadas, conforme figura 4.7.

Este último experimento foi bem-sucedido, pois Faraday obteve (pela primeira vez) corrente elétrica induzida pela ação de um ímã permanente, produzindo através desse dispositivo uma rápida variação magnética no cilindro de ferro. Nenhuma bateria foi utilizada. A “pinça” formada pelos dois ímãs produzia o efeito desejado.

Importante destacar que esse tipo de experimento é muito mais fácil de reproduzir do que o experimento descrito nos livros didáticos, de aproximar e afastar rapidamente um ímã de uma bobina. Não houve nenhuma tentativa de reproduzir esse experimento devido a dificuldade de encontrar ímãs com polaridade nessa direção (DIAS e MARTINS, 2004).

Nesse momento, Faraday já estava ciente de que era possível produzir correntes elétricas tanto a partir de outra corrente elétrica (a indução volta-elétrica) como pela variação magnética brusca (no experimento com a “pinça” formada por dois ímãs). Por isso ele insistiu e no dia 17 de outubro de 1831 Faraday realizou o seu experimento mais conhecido, a indução de corrente pela movimentação de uma barra magnética dentro de uma bobina.

Vamos descrever então esses dois mecanismos diferentes que geram indução eletromagnética, começando pelo último experimento de Faraday com o qual ele revela a simetria da relação entre eletricidade e magnetismo.

#### 4.2 - DOIS EXPERIMENTOS DIFERENTES QUE EVIDENCIAM A INDUÇÃO

Faraday, conforme já exposto, fez dois tipos de experimentos indutivos. No que será apresentado a seguir, ele mostrou que não era necessária qualquer bateria ou outra fonte de tensão para gerar corrente elétrica. Tinha descoberto o mecanismo mais eficiente de induzir corrente elétrica. Uma força eletromotriz induzida (FEM) surge se o campo magnético de um ímã (fonte natural de magnetismo) se move próximo a um condutor estacionário ou se o condutor se move em um campo magnético estacionário. A figura 4.8 ilustra o efeito. É importante o leitor notar que o sentido da corrente depende não apenas do sentido do movimento do ímã em relação à bobina, mas também de qual polo magnético está voltado para ela. Porém, independentemente do sentido do movimento que seja executado (aproximação ou afastamento) sempre aparecerá uma corrente elétrica.

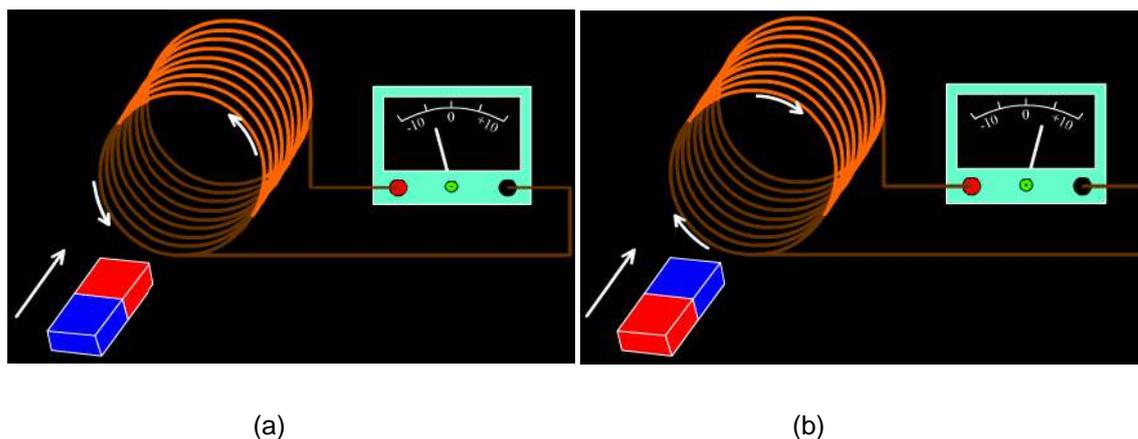


Figura 4.8 – O sentido da corrente induzida depende do polo que se aproxima da bobina. Fonte: Arquivos do autor.

Repetindo o experimento algumas vezes tiramos as seguintes conclusões:

- I. A corrente se manifesta somente durante a movimentação relativa entre bobina e ímã. A corrente se anula no momento em que o movimento relativo cessa.
- II. A rapidez do movimento influencia proporcionalmente na corrente.
- III. Se aproximarmos o polo norte, a corrente é no sentido anti-horário, quando afastamos o polo norte a corrente é no sentido horário. (observador se movendo no referencial do ímã). Se aproximarmos o polo sul, a corrente é no sentido horário e quando afastamos o polo sul a corrente é no sentido anti-horário. (observador se movendo no referencial do ímã).

Importante citar agora que a indução eletromagnética a partir dessa forma é mais eficiente de gerar energia elétrica e será produzida pelos alunos nas aulas experimentais exploratórias e na construção das miniusinas.

No segundo experimento, que foi o primeiro usado por Faraday para gerar indução, mostramos uma versão moderna na figura 4.9. Essa forma não será usada na sequência de ensino por ter pouco rendimento.

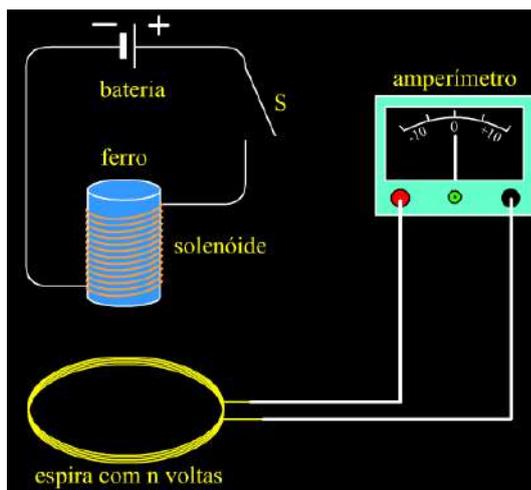


Figura 4.9 – Arranjo ilustrando obtenção de corrente induzida com variação de magnetismo.  
Fonte: Arquivos do autor.

Nesse arranjo, um solenoide com um núcleo de ferro é usado como fonte de magnetismo e está ligado a uma bateria de voltagem CC. Colocamos uma espira próxima desse arranjo conectada a um amperímetro. Quando a chave S é fechada, fazendo passar uma corrente no solenoide, o amperímetro registra, por um breve instante, uma corrente na espira logo abaixo. Quando a chave é aberta, o instrumento também registra uma corrente no sentido oposto. Nesse caso, conforme já explicamos, a corrente está sofrendo uma variação, pois seu valor não aumenta (quando ligamos) ou diminui (quando desligamos) instantaneamente. Observamos uma corrente induzida na espira (logo uma FEM) quando a corrente no solenoide está variando, mas não quando é constante (com a chave sempre ligada ou desligada). A FEM e a corrente induzida nesses dois experimentos são aparentemente causadas pela variação de alguma “coisa”. Mas que coisa é essa?

Faraday percebeu que era preciso variar a “quantidade de magnetismo” que atravessa as espiras dos dois experimentos mencionados para gerar uma FEM. Aqui entra outra de suas contribuições. Associou a “porção” de magnetismo gerado por uma fonte magnética, com a ideia de linhas de força ou como é mais aceito atualmente, linhas de campo magnético ou fluxo magnético.

No nosso primeiro experimento, ao aproximarmos o imã, aumentamos o número de linhas de campo magnético e ao afastarmos diminuimos, alterando o magnetismo que flui no interior da espira. No segundo experimento, quando ligamos

a chave, o número de linhas de campo magnético aumenta e quando desligamos diminui variando também a porção de magnetismo que flui pela área da espira.

Para quantificar a magnitude de linhas que flui pelo interior de uma espira, vamos introduzir intuitivamente a ideia de fluxo magnético. Note na figura 4.10 as maneiras diferentes de se variar o fluxo magnético.

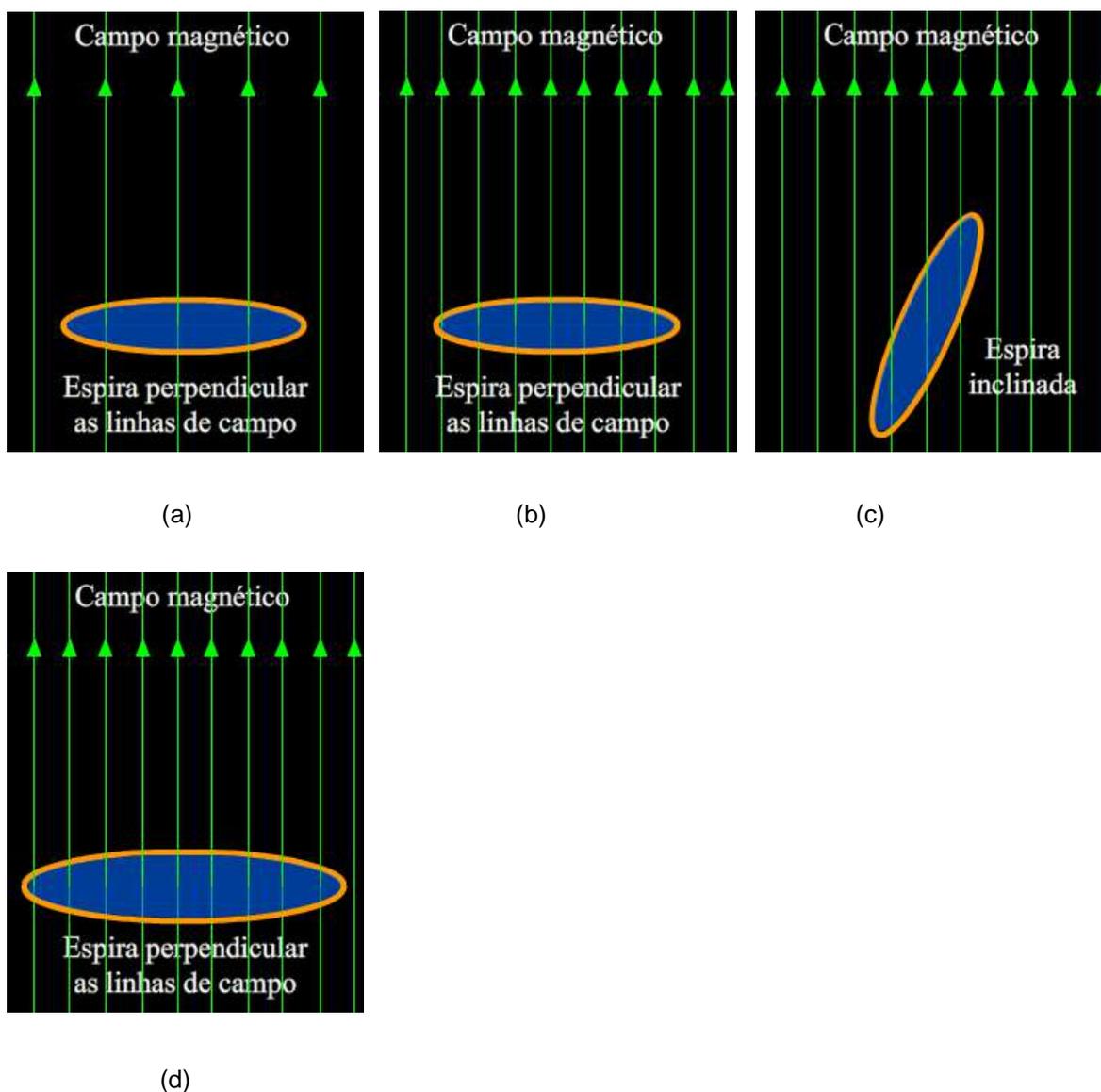


Figura 4.10 – Em (a) alteração da intensidade do campo, em (c) alteração da inclinação da espira e em (d) alteração da área da espira em relação a situação em (b). Fonte: Arquivos do autor.

Tomando a espira em (b) como referência, onde sete linhas de força atravessam sua área, a espira em (a) tem um fluxo menor, pois a intensidade do campo foi diminuído, em (c) o fluxo também diminuiu em relação a (b), pois a espira foi girada de um certo ângulo porém sem alteração do campo magnético e em (d) o

fluxo aumentou pelo aumento da área da espira. Portanto, o fluxo magnético nada mais é que a densidade de linhas de campo que “fluem” ou atravessam a região considerada. A partir desse esquema intuitivo, concluímos que o fluxo magnético que atravessa a espira, depende de três elementos básicos: o campo, a área e a orientação. Uma variação em qualquer desses elementos pode alterar o fluxo e levar a uma FEM induzida (HALLIDAY e RESNICK, 2009).

A grandeza que está associada a quantidade de linhas de campo magnético que passam por certa área considerada é chamada de **fluxo de indução magnética**, ou simplesmente **fluxo magnético**, o qual vamos representar por  $\Phi$ , passando através da área da espira. Para o caso mais simples considere um campo de indução magnética uniforme  $\vec{B}$  e uma espira de área  $A$  imersa nesse campo. Seja  $\theta$  o ângulo entre o vetor  $\vec{n}$ , normal ao plano da espira, e o vetor  $\vec{B}$ , como ilustrado na figura 4.11. Como foi abordado intuitivamente, concluímos que o fluxo magnético,  $\Phi$ , depende do valor do campo, da área da espira (ou da área onde o campo está atuando) e da orientação da espira nesse campo. Logo podemos definir matematicamente uma expressão que quantifica esse número de linhas por:

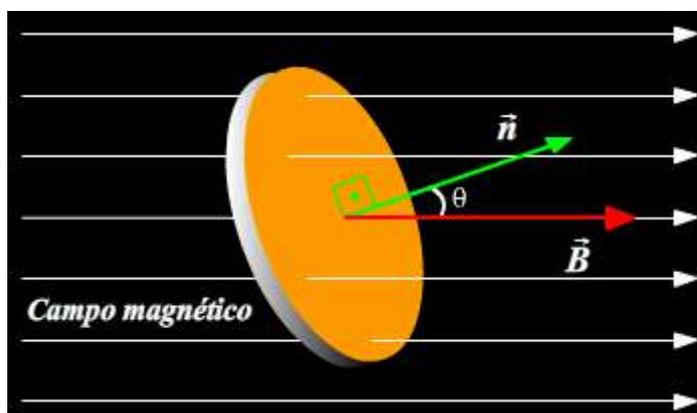


Figura 4.11 – Espira num campo magnético. Fonte: Arquivos do autor.

$$\Phi = B \cdot A \cdot \cos\theta \quad \text{equação 4.1}$$

onde:

$\Phi = \text{fluxo magnético}$  (indica o número de linhas de campo magnético que atravessam a área considerada, medido em Weber:W)

$B = \text{intensidade do campo magnético}$  (medido em Tesla:T)

$A = \text{área da secção transversal da espira (medida em metro quadrado: m}^2\text{)}$

$\theta = \text{ângulo entre o campo magnético e ao vetor normal a superfície. (medido em graus) (HALLIDAY e RESNICK, 2009).}$

Caso o campo magnético sofra uma variação, umas das condições necessárias para que ocorra a indução, sem mudar os demais fatores, podemos escrever:

$$\Delta\Phi = \Delta B \cdot A \cdot \cos\theta \quad \text{equação 4.2}$$

Faraday percebeu que não importa o número de linhas de campo que atravessam a área da espira. Os valores da FEM induzida e da corrente induzida dependem da taxa de variação desse número. Medindo a rapidez com que o campo magnético varia, Faraday pode determinar empiricamente uma lei qualitativa para o fenômeno da indução:

“A voltagem induzida (V) em uma espira é proporcional a taxa com a qual o campo magnético varia no interior da espira”.

$$V = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad \text{equação 4.3}$$

Aplicando a lei de Faraday a definição de fluxo magnético podemos escrever a lei de Faraday como:

$$V = \frac{\Delta B}{\Delta t} \cdot A \cdot \cos\theta \quad \text{equação 4.4}$$

Considerando o caso em que o ângulo entre o vetor normal e a direção do campo da figura 4.11 é  $0^\circ$  então  $\cos 0^\circ = 1$ , logo:

$$V = A \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t} \quad \text{equação 4.5}$$

(espira de área A perpendicular a orientação de um campo uniforme)

Outros cientistas estudando de forma mais aprofundada o fenômeno, perceberam também que quanto maior for o número de espiras de fio, maior é a

voltagem induzida. Empurrar um ímã com duas vezes mais espiras, induzirá uma voltagem duas vezes maior (HEWITT, 2002).

Na prática, frequentemente lidamos com a indução magnética em bobinas com múltiplas espiras de fio nas quais cada espira contribui com a mesma FEM. Por essa razão, um termo adicional  $N$ , representando o número de enrolamentos, é muitas vezes incluído.

$$V = N \cdot A \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t} \quad \text{equação 4.6}$$

ou simplesmente

$$V = N \cdot \frac{\Delta \phi}{\Delta t} \quad \text{equação 4.7}$$

Cabe ressaltar que se acrescentarmos um núcleo de material ferromagnético no interior da bobina, a FEM induzida se intensifica bastante. Na engenharia de alguns modelos de captadores de guitarra, se usa núcleos de material ferro magnético que ao sofrerem variações magnéticas melhoram o processo indutivo além de ajudarem a direcionar o campo magnético para as cordas. Mas adiante vamos explicar melhor esse fator

Vale ressaltar também que se o fluxo magnético varia uniformemente como o tempo, a FEM induzida é constante. Entretanto, quando o fluxo varia de modo irregular, a FEM induzida terá seu valor oscilando e, portanto, a lei de Faraday nos fornecerá apenas o seu valor médio. O seu valor instantâneo será obtido somente com cálculo avançado.

Diante de todas essas evidências experimentais descobertas por Faraday e outros cientistas, podemos listar os fatores que afetam a FEM induzida:

- 1) A rapidez com que varia o campo magnético através da espira.
- 2) A área da espira.
- 3) A inclinação da espira.
- 4) O número de espiras do filamento induzido.
- 5) A presença ou não de um núcleo ferromagnético.

Por sua vez, a corrente produzida pela indução eletromagnética depende não só da voltagem induzida, mas também da resistência da própria bobina e do circuito ao qual ela está ligada. Por exemplo, podemos aproximar e afastar um ímã de uma bobina de borracha e de outra feita de cobre. Mas a corrente será maior na bobina de cobre por ter menor resistência elétrica embora as voltagens induzidas nos dois casos sejam as mesmas. Vale a pena ressaltar também que a corrente depende de outro fator: a indutância da bobina. A indutância mede a tendência da bobina de resistir às variações da corrente, já que o magnetismo produzido por uma parte da bobina se opõe à variação da corrente em outras de suas partes. Em circuitos de corrente alternada, a indutância é equivalente à resistência e depende da frequência da fonte CA e do número de espiras da bobina (HEWITT, 2002).

Portanto, podemos resumidamente dizer que a geração de energia elétrica pode ser obtida a partir de dois processos:

- 1) Com um campo magnético de um ímã ou de uma bobina eletrizada.
  - a) aproximação do condutor ou da fonte magnética (aumento do magnetismo);
  - b) afastamento do condutor ou da fonte magnética (diminuição do magnetismo);
  - c) fazendo a variação da área da espira;
  - d) rotacionando a espira.
- 2) Fazendo variar a magnitude do campo magnético da fonte magnética que está próximo a espira, ambos estacionários.

#### 4.3 - A LEI DE LENZ

É muito comum encontrarmos a equação que determina a FEM induzida escrita conforme a expressão a seguir:

$$V = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad \text{equação 4.8}$$

O sinal negativo da fórmula indica que a variação de fluxo, induz uma corrente contrária à sua causa. Quem melhor interpretou esse aspecto da lei de Faraday foi o físico russo Heinrich Lens em 1833. Lenz estabeleceu que o sentido da corrente elétrica induzida é tal que o campo magnético criado por ela se opõe à variação do

campo magnético que a produziu. Em outras palavras, para gerar uma corrente induzida numa espira, pela aproximação de um ímã, é necessário gastar energia. Se o fluxo induzido não contrariasse a sua causa, a energia mecânica inicialmente fornecida ao ímã, geraria energia infinita na espira, numa retroalimentação positiva. Isso violaria um princípio fundamental que regem todos os fenômenos naturais: não é possível obter mais energia do que aquela que foi fornecida inicialmente ao sistema físico. A energia mecânica fornecida ao ímã se transforma em energia eletromagnética armazenada nos campos elétrico e magnético induzidos. O campo magnético das fontes usadas nos experimentos de indução media a transformação de uma modalidade qualquer de energia em energia elétrica. Portanto, a energia que entra no sistema, no máximo é igual a energia que sai. Nenhuma “gota” de energia a mais pode ser medida após o processo de transformação.

Por isso, chamamos de lei de Lenz, a regra para determinar o sentido da corrente induzida, que, em palavras, pode ser escrita:

“Em um circuito fechado (espira ou bobina), a corrente elétrica induzida apresenta um sentido que contraria a sua causa (que é a variação do fluxo magnético no circuito).”

Repare na figura 4.12 que os ímãs 1 e 3 farão com que o fluxo magnético aumente na espira uma vez que estão se aproximando dela e os ímãs 2 e 4 farão com que o fluxo magnético diminua pelo motivo oposto. O campo magnético induzido está representado pela seta verde. As correntes induzidas são as setas brancas.

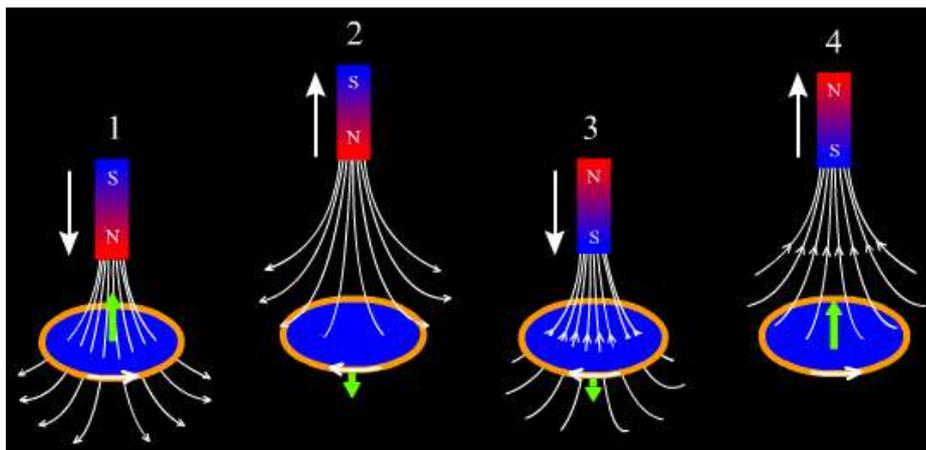


Figura 4.12 – Sentido da corrente induzida (seta branca) e do campo induzido (seta verde) de acordo com a lei de Lenz. Fonte: Adaptado de Sistema de Ensino Bernoulli.

O ímã 1 induz um campo na espira que tenta reduzir o fluxo externo, logo seu sentido é o oposto ao do campo externo. O ímã 2 induz um campo na espira que tenta conter a diminuição do fluxo, logo para que isso ocorra o campo induzido deve ter o mesmo sentido do campo externo. O ímã 3 induz um campo na espira que tenta conter o aumento do fluxo. Como o campo externo aumenta de intensidade para cima, o campo induzido deve apontar para baixo para frear esse crescimento. O ímã 4 induz um campo na espira que reage tentando conter a diminuição do fluxo externo. Como o campo desse fluxo aponta para o ímã, o campo induzido deve também ter sentido para cima.

#### 4.4 - UM TRATAMENTO MAIS APROFUNDADO DA LEI DE FARADAY

Nos casos mais gerais, os campos magnéticos, sejam de correntes ou de ímãs, se espalham no espaço sem convergência ou divergência, fazendo curvas fechadas onde em cada ponto do espaço preenchido por ele, a direção e a intensidade do campo mudam, ficando impossível calcular sua variação usando matemática elementar.

A forma mais completa de apresentar a lei de Faraday é usando a definição geral de fluxo para uma superfície qualquer:

$$\phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad \text{equação 4.9}$$

Onde  $d\vec{A}$  é um vetor de módulo  $dA$  e perpendicular a um elemento de área.

A integral acima é calculada sobre a superfície que tem a curva C como contorno e representa a soma vetorial de todos os componentes de B que são paralelos a dA em cada ponto da superfície delimitada pela área escolhida, conforme ilustra a figura 4.13.

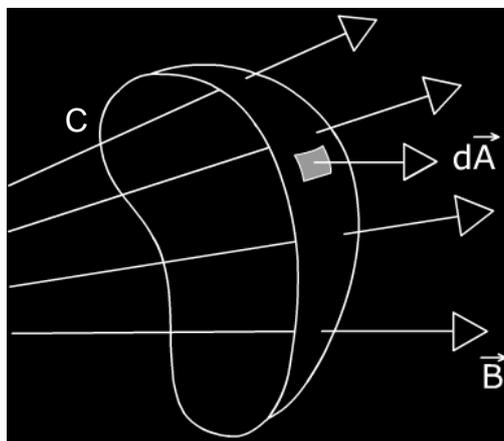


Figura 4.13 – Campo magnético genérico atravessando uma superfície qualquer. Fonte: (HALLIDAY, RESNICK e KRANE, 2012, p. 229)

O caso mais simples de aplicação dessa integração é supor que a espira esteja em um plano onde o campo magnético é perpendicular a ela. Nesse caso, podemos escrever o produto escalar da equação 4.9 como  $B \cdot dA \cdot \cos 0^\circ = B \cdot dA$ . E se o campo magnético for uniforme, B pode ser colocado para fora do sinal de integração. Neste caso, a integral que sobra para ser calculada corresponde a própria área da espira logo:

$$\Phi = B \cdot A \quad (\vec{B} \text{ perpendicular a área } A \text{ e } \vec{B} \text{ uniforme}) \quad \text{equação 4.10}$$

Para os casos mais gerais onde temos que usar a equação 4.9, depois de feita a integração, devemos aplicar a lei de Faraday no seu formato mais geral:

$$\epsilon = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad \text{equação 4.11}$$

#### 4.5 - A FÍSICA DO CAPTADOR ELETROMAGNÉTICO

Os modelos de captadores eletromagnéticos consistem em um ou dois ímãs com uma ou duas bobinas com  $N$  espiras enroladas num material plástico. Uma guitarra que apresenta captadores de bobina simples são seis polos de alnico (liga metálica composta por Al, Ni e Co) e uma bobina com cerca de 7800 a 9000 espiras de fio esmaltado, geralmente de calibre AWG 42. Acima de cada peça polar, passa uma corda de material ferromagnético, que é magnetizada pela presença do ímã. Ao ser tocada a corda vibra e perturba o campo magnético nas proximidades da bobina, gerando uma corrente elétrica na mesma (ZACZÉSKI, BECKERT, *et al.*, 2017).

O fluxo magnético através de uma espira do captador de área  $A$  pode ser obtido pela equação 4.9, porém temos agora que perceber que o fluxo magnético irá variar com o tempo de acordo com a oscilação da corda, ou seja, a corrente induzida guarda uma memória da fonte que a produziu. Assim podemos descrever o fluxo indutor como:

$$\phi(t) = \int \vec{B}(t) \cdot d\vec{A} = \int \vec{B}(t) \cdot n dA \quad \text{equação 4.12}$$

Onde  $\vec{B}(t)$  é o campo magnético que passa através da espira e  $\vec{n}$  é o vetor normal a espira. Como as espiras tem estrutura fixa, sua área não varia e, portanto, a variação do campo dependente do tempo será a única contribuição para a corrente induzida. Logo a corrente elétrica induzida também irá variar com o tempo sendo dada por:

$$i(t) = -N \frac{1}{R} \frac{d\phi(t)}{dt} \quad \text{equação 4.13}$$

Essa corrente terá a mesma frequência de oscilação das cordas e será ainda processada pelos componentes internos da guitarra como o controle de volume e tone, para depois ser amplificada (ZACZÉSKI, BECKERT, *et al.*, 2017).

“Quem faz a transformação do som em energia elétrica é um ímã fabricado industrialmente que é instalado a baixo da bobina”. A própria corda é magnetizada pela presença do ímã. Porém, como o campo magnético do ímã se espalha e cai rapidamente com a distância, a magnetização da corda seria fraca. Esse problema poderia ser resolvido usando um ímã com um campo magnético mais forte e que,

portanto, se espalha mais longinquamente, mas isso exigiria um ímã mais caro ou de maior tamanho. A solução do problema é colocar uma peça de material ferro magnético que concentra e direciona o campo magnético do ímã até a corda sem a necessidade de um ímã com campo magnético muito forte. A figura 4.14, mostra a posição de cada elemento que compõe o sensor eletromagnético que daqui para frente, vamos chamar somente de captador.

Repare que o ímã fica a aproximadamente 20 mm das cordas, e a essa distância o campo do ímã enfraquece a ponto de não magnetizá-las. A função das peças polares é justamente concentrar e direcionar o campo magnético para que alcance as cordas.

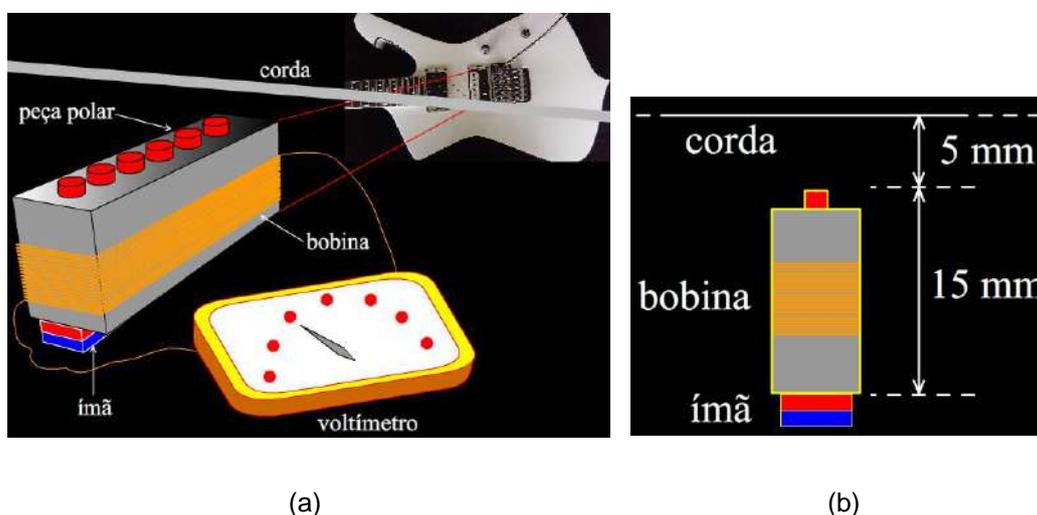


Figura 4.14 – Captadores são transdutores que convertem a vibração mecânica da corda em sinal elétrico (a). Distância ideal entre a corda e o ímã (b). Fonte: Arquivos do autor.

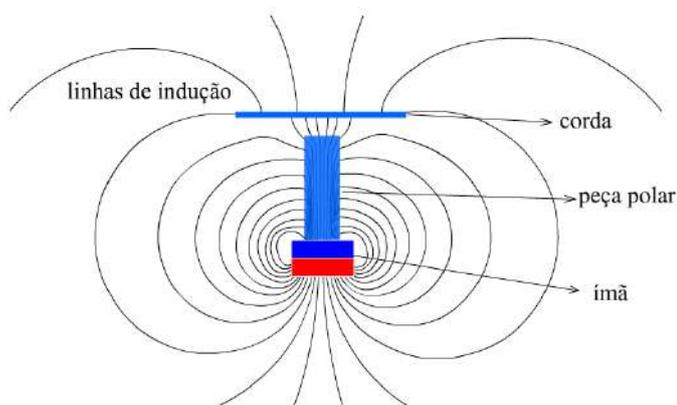


Figura 4.15 – Configuração das linhas de indução magnética para o captador de guitarra. Fonte: Arquivos do autor.

São seis barras cilíndricas de ferro que funcionam como portadores do campo magnético. A figura 4.15 mostra um corte lateral do captador formado pelo ímã na parte inferior, a peça polar em cima dele e magnetizada por ele, e logo acima, a corda recebendo o fluxo magnético (a bobina não é mostrada nesse desenho). Observe como o campo magnético sofre uma forte concentração dentro da peça polar, enquanto que fora dela as linhas ficam mais espalhadas.

Para esclarecer esse efeito é preciso saber que um material pode alterar a distribuição das linhas de força de um campo magnético. Se diferentes materiais com as mesmas dimensões físicas são colocados num fluxo magnético, a intensidade com que as linhas são concentradas varia. Esta variação se deve a uma grandeza associada aos materiais chamada permeabilidade magnética,  $\mu$ . A permeabilidade magnética de um material é uma medida da facilidade com que as linhas de campo podem atravessar um dado material.

Ainda na figura 4.15, se o leitor der um zoom na imagem, caso esteja lento em um dispositivo digital, poderá notar uma grande concentração das linhas de campo devido à presença da peça de ferro relativamente a região ao seu redor. Um material de alta permeabilidade como o ferro concentra mais o magnetismo que o atravessa. Podemos entender a permeabilidade magnética como um conceito similar ao conceito da condutividade elétrica dos materiais.

A indução de corrente elétrica se faz pela variação do fluxo magnético que a corda provoca na área da bobina. O trecho da corda que fica magnetizado se transforma num pequeno dipolo magnético que hora se aproxima, hora se afasta da bobina. A frequência com que essa oscilação acontece depende da densidade linear da corda, do seu comprimento e da tensão aplicada a mesma.

A densidade linear de massa depende da espessura da corda. Essa grandeza é definida pelo fabricante. As tensões podem ser alteradas pelo músico através das tarraxas, para obter a frequência de afinação das cordas soltas. Porém, ao apertar uma corda em certa casa, o músico altera o comprimento da corda vibrante, obtendo assim a frequência desejada. Independente de, com que frequência a corda oscile, ela irá induzir na bobina um sinal elétrico alternado que oscila na mesma frequência do movimento que lhe deu origem.

De acordo com Zaczéski (2017) a arquitetura de um captador tem uma forte influência no fluxo magnético, afetando conseqüentemente no resultado sonoro do instrumento. Como a integral da equação 4.10 é feita sobre a superfície de contorno da espira, diferentes formas de enrolamentos da espira que formam a bobina geram diferentes fluxos magnéticos para um mesmo ímã e uma mesma corda. Por outro lado, para uma mesma corda e um mesmo enrolamento de bobina, ímãs diferentes levam a diferentes magnetizações. É exatamente esse último aspecto da lei de Faraday que vamos explorar no nosso experimento do bicórdio. Os captadores humbucker tem ímãs mais fortes gerando um fluxo mais intenso em uma de suas bobinas, afetando sutilmente na intensidade e o timbre do som produzido.

Supomos para simplificar na simulação que foi produzida na figura 4.16 que o campo da peça polar não é afetado pelo campo que ela mesma induziu na corda. Dessa forma, podemos afirmar com boa aproximação que o campo magnético da corda terá a maior contribuição na indução de corrente conforme a lei de Faraday-Lenz.

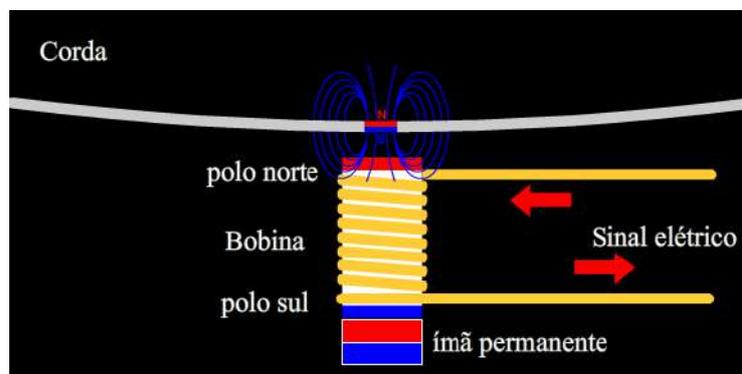


Figura 4.16 – Orientação da corrente elétrica induzida durante a aproximação da corda em relação ao captador. Fonte: Arquivos do autor.

## CAPÍTULO 5

### A HISTÓRIA DO EFEITO PIEZOELÉTRICO E SEU PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

O efeito piezoelétrico foi descoberto no final do século XIX, em 1880, pelos irmãos Curie: Pierre e Jaques. Eles descobriram que certos cristais como cristais de quartzo, turmalina, sal de Rochelle, topázio, etc. exibem efeito piezoelétrico em seu estado natural, tornam-se eletricamente carregados quando submetidos a esforços mecânicos. Essa carga elétrica é proporcional a pressão aplicada e desaparece quando se retirava a pressão (SOUSA e COSTA, 2016).

A descoberta não foi por acaso. Antes, Pierre Curie já suspeitava dessa propriedade haja visto que havia descoberto que polos elétricos são produzidos num cristal de quartzo quando se varia a temperatura do mesmo. A esse efeito elétrico em virtude da temperatura deu-se o nome de piroeletricidade. Posteriormente se verificou que todos os materiais piroelétricos são intrinsecamente piezoelétricos. O efeito piezoelétrico basicamente é a conversão de energia mecânica em elétrica (a palavra piezo vem do grego e significa pressão). O efeito inverso foi matematicamente deduzido de princípios fundamentais da termodinâmica por Gabriel Lippmann em 1881, que consiste no aparecimento de uma deformação do material quando submetido a um campo elétrico. Nesse mesmo ano, os irmãos Pierre demonstraram experimentalmente a piezeletricidade inversa, fato muito importante, pois quase todos os atuais circuitos eletrônicos digitais recorrem a este fenômeno (SOUSA e COSTA, 2016).

A estrutura atômica do quartzo, por exemplo, é constituída por uma hélice que se estende ao longo do eixo Z conforme esquematizado na Figura 5.1, com dois átomos de oxigênio (cargas negativas) e um de silício (carga positiva). No plano XY os átomos formam um hexágono que, no estado natural (ausência de pressão) tem carga total nula. A aplicação de forças de tração ou compressão na direção X ou Y do cristal faz com que haja um desbalanceamento de cargas e gera cargas elétricas externas. A aplicação de forças no eixo Z não gera cargas elétricas. O efeito inverso, isto é, a aplicação campos elétricos externos nas direções X ou Y faz com que o

material se deforme, sendo que a magnitude dessa deformação é proporcional a este campo (LEO, 2007).

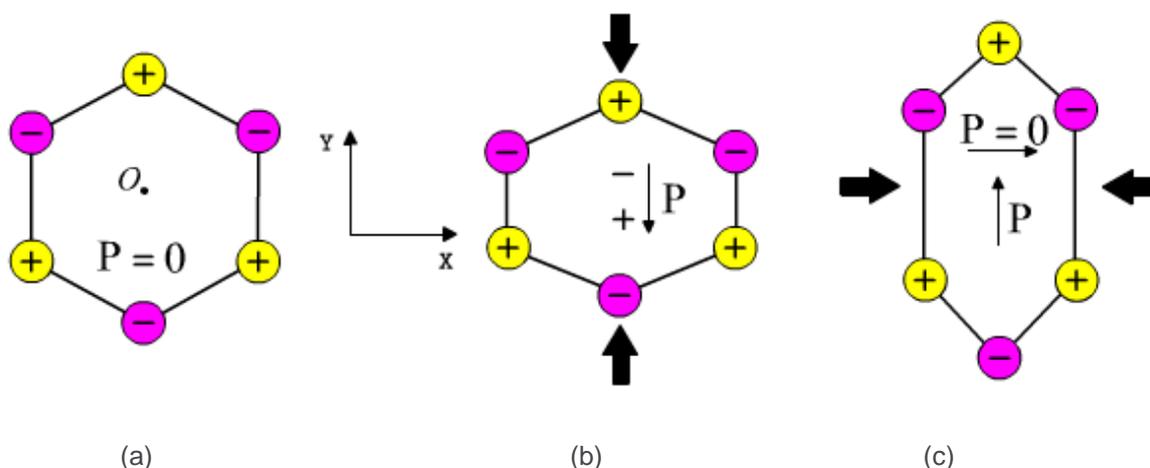


Figura 5.1 – Efeito piezoelétrico. Em (a) a célula está em repouso com simetria na distribuição espacial de cargas. Se o cristal sofre uma compressão na direção do eixo y (b), essa distribuição é alterada formando um dipolo elétrico. Se o cristal for alongado ao longo do eixo y (c), se forma um dipolo na direção oposta. Fonte: adaptado de (LOPES, MARTINS e LANCEROS-MENDEZ, 2014)

Os materiais piezoelétricos não naturais são chamados de polímeros eletroativos e apresentam grande importância devido ao seu enorme potencial de aplicação na área biomédica, geração e armazenamento de energia, monitorização e controlo, entre outras. As principais aplicações desses materiais no nosso cotidiano imediato são isqueiros, balanças de supermercados ou de precisão, aparelhos de ultrassom, alarmes antifurto automotivos, microfones, agulha do toca disco (hoje obsoleto), alto-falantes e captadores de violões, apenas para citar alguns exemplos.

A piezoelectricidade está presente numa grande variedade de materiais, naturais tais como ossos, queratina, cristais de quartzo, ou sintéticos como o titanato de bário ( $BaTiO_3$ ) ou o polímero PVDF (polifluoreto de vinilideno). Os materiais com maior resposta piezoelétrica são os monocristais ou cerâmicos, como é o caso do titanato zirconato de chumbo (PZT), no entanto seu tamanho e rigidez limita bastante seu leque de aplicações. Atualmente o polímero PVDF é o componente químico que se tem centrado grande parte do interesse científico e tecnológico. Apesar de ele apresentar uma resposta piezoelétrica moderada em relação aos compostos cerâmicos, ele permite uma maior e diferenciada gama de aplicações, pois são leves, flexíveis e podem ser produzidos a baixo custo e em larga escala, podendo

ser facilmente transformados na configuração desejada (LOPES, MARTINS e LANCEROS-MENDES, 2014).

Dentre todos os materiais citados acima, os captadores atuais de violões e guitarras são feitos de titanato de bário ( $\text{BaTiO}_3$ ), uma cerâmica que tem boa resposta piezelétrica sendo muito sensível a vibrações mecânicas, ideais para fazer a transdução do som em sinais elétricos em instrumentos musicais (OFICIÊNCIA, 2017).



(a)



(b)

Figura 5.2 – Captador de rastilho em (a). Tem forma de uma lâmina metálica. É colocado sob as cordas. Em (b) captador de contato. É fixado no tampo do violão próximo ao cavalete. Fonte: Arquivos do autor.

A figura 5.2 mostra as duas configurações que existem no mercado, usados como captadores de violão. O captador de rastilho em geral vem instalado em série com equalizadores que melhoram a qualidade do sinal amplificado, porém não preservam o timbre acústico característico do violão que é a combinação do som da corda com o som produzido pela vibração da madeira. Já os captadores de contato recebem a vibração direto da madeira conservando o timbre original do instrumento. A pastilha piezo usado em nosso experimento é do tipo disco de 35 milímetros (SOUSA e COSTA, 2016).

## CAPÍTULO 6

### OS RECURSOS METODOLÓGICOS

Falar para os alunos de campo magnético, linhas de indução, variação de campo magnético, campo elétrico induzido, força eletromotriz induzida, corrente elétrica alternada e o próprio conceito de energia subjacente a essas entidades físicas, colocam o professor e seus educandos numa verdadeira batalha de aprendizagem.

De um lado o professor tenta mostrar que a variação espacial ou temporal das linhas de forças “invisíveis” (embora estejamos convencidos da realidade física do campo eletromagnético) que emanam de uma fonte de magnetismo, pode gerar num condutor próximo, uma força eletromotriz (essa força pode ser elétrica ou magnética) que é responsável pela manutenção de uma corrente elétrica. De outro, o aluno que ao receber essa informação, não tem a priori, como montar um esquema mental de algo cuja estrutura física está oculta, tanto em qualidades como em quantidades, uma vez que os objetos físicos envolvidos no processo estão na escala subatômica e invisíveis a nossa percepção visual, logo não lhes é familiar. Essa mesma análise vale para o efeito piezoelétrico.

Nossa tarefa se torna mais difícil ainda pelo fato da formulação das leis envolvendo esses fenômenos exigirem técnicas matemáticas mais elaboradas que não estão dentro do currículo do ensino médio. Ensinar a lei de Faraday da indução é algo extremamente difícil (DO ENSINO, 2005).

Para tentar transpor essa dificuldade pedagógica, preparamos uma série de quatro aulas experimentais investigativas a fim de expor os alunos antecipadamente aos princípios básicos para a compreensão dos conceitos de campo magnético e do efeito piezoelétrico. Cada aula terá por objetivo construir os conceitos que darão sustentação teórica ao problema que será proposto aos alunos. O formalismo matemático se restringirá a uma abordagem qualitativa tanto da lei de Faraday como do efeito piezoelétrico.

## 1ª AULA EXPERIMENTAL: 90 MIN. EXPLORANDO O MAGNETISMO DE ÍMÃS.

Nessa aula visualizaremos qualitativamente o campo magnético gerado por ímãs diferentes. O material utilizado será:

- 1) Ímã de neodímio
- 2) Ímãs de ferrite de diversos tamanhos e formas
- 3) Bússola
- 4) Recipiente de plástico transparente
- 5) Agulhas de costura
- 6) Trenas

### Procedimentos da 1ª aula

Primeiramente, serão distribuídos aos grupos dois ímãs de formatos e tamanhos diferentes. Eles farão a identificação das faces que são polos magnéticos desses ímãs. A manipulação, por tentativa e erro, será aproximar as diferentes faces dos ímãs e perceber, entre quais faces, a atração e repulsão será mais intensa. Eles devem perceber também os limites espaciais do campo magnético ao redor de cada ímã pois, dependendo da face que está próxima da agulha, sua ação magnética se diferencia em direção e intensidade, sendo mais forte quando está voltada para a face que corresponde a seu polo magnético. Em seguida, mostramos uma bússola e descrevemos seu funcionamento baseado na ação magnética da terra sobre os polos da agulha da bússola.

Na sequência, distribuímos uma bússola para cada grupo e um dos ímãs que usaram na sequência anterior. Eles devem zerar o ponteiro da agulha da bússola e lentamente aproximar a face polar do ímã até a agulha sofrer uma pequena deflexão e anotar essa distância com o objetivo de estimar a amplitude espacial e os limites físicos do magnetismo de cada ímã, conforme figura 6.1.



Primeiro procedimento: zeramos a agulha para a orientação do campo magnético da terra.

(a)



Segundo procedimento: aproximamos o ímã até a agulha inclinar e medimos a distância.

(b)

Figura 6.1 - Em (a) a bússola responde ao campo da terra. Zeramos a agulha para essa orientação sem a presença de ímãs. Em (b) o ímã a 30 cm da bússola, inclina de  $40^\circ$  a agulha. Fonte: Arquivos do autor.

Cada grupo deve fazer um relatório usando a linguagem verbal e ilustrativa identificando corretamente as faces polares de cada ímã e indicando através de uma trena a distância para a qual a agulha sofreu uma pequena inclinação. Com isso, terão uma noção da projeção espacial de cada campo.



Figura 6.2 – Bússola artesanal para verificar o caráter vetorial tridimensional do campo magnético. Fonte: Arquivos do autor.

Para terem uma noção do caráter vetorial do campo magnético, eles farão uma bússola artesanal. Cada equipe receberá uma agulha de costura que deverá ser imantada previamente num dos ímãs que receberam. A agulha será posta a flutuar dentro de um recipiente com água conforme a figura 6.2. A agulha de costura deverá ter o comportamento idêntico ao da bússola original caso o processo de imantação tenha sido bem-sucedido.

Para esse experimento os grupos devem colocar os ímãs nas proximidades da agulha e notarem a direção de alinhamento que ele toma para cada posição em relação aos polos magnéticos. Com essa manipulação eles perceberão que o campo magnético se distribui tridimensionalmente ao redor do ímã e terão uma noção da direção e sentido desse campo pela forma como a força magnética age sobre a agulha imantada. Cada grupo deve descrever corretamente como a agulha se movimenta durante a inversão de polaridade. Esse comportamento revelará como as linhas de força são formadas ao redor do polo magnético.

O objetivo principal dessa aula experimental é ir construindo o conceito de campo magnético a partir da observação das propriedades desses campos físicos. Esse é o primeiro passo para descrever como sua ação magnética se propaga ao redor do material magnetizado. Não introduziremos uma visualização concreta do campo através de uma representação em linhas de força. Vamos deixar que os alunos tirem as suas próprias conclusões sobre como a ação magnética atua e como ela está distribuída vetorialmente ao redor dos ímãs e da terra, deixando-os manipular.

Objetivos de aprendizagem:

- 1) Perceber que a terra tem um campo magnético que provoca o alinhamento da agulha de uma bússola (artesanal ou original).
- 2) Identificar os polos magnéticos de ímãs naturais.
- 3) Mostrar que podemos inferir qualitativamente como a intensidade do campo magnético de ímãs varia com a distância e com a localização espacial do ímã.
- 4) Inferir que o campo magnético da terra tem uma direção fixa numa determinada localização geográfica.
- 5) Ter uma noção qualitativa do aspecto tridimensional e direcional do campo magnético.

Questionário preliminar: Responda verdadeiro ou falso

- 1) O que são os polos de um ímã?
- 2) Porque os ímãs se atraem e se repelem?
- 3) Depois de fazer os procedimentos para identificar os polos de um ímã, orientados pelo professor, podemos concluir que a ação magnética entre os ímãs:
  - a) depende do peso
  - b) depende do tipo de material de que é feito os ímãs
  - c) depende do tamanho do ímã
  - d) depende da distância entre o ímã e a bússola
  - e) não depende de onde colocamos o ímã ao redor da bússola
  - f) da velocidade com que aproximamos ou afastamos os ímãs dos objetos.
- 4) Uma lâmpada quando acessa espalha sua luz para todas as direções. Uma fonte de som, ao ser ligada, propaga o som também em todas as direções. Você vê alguma semelhança desses exemplos com a força irradiada pelos ímãs?

5) O campo de forças projetado pelos ímãs se espalha pelo espaço ou se propaga somente na direção do objeto com o qual está puxando (atraindo) ou empurrando (repelindo)?

- a) se espalha em todas as direções
- b) se projeta somente na direção do objeto com o qual interage

6) Em que direção e sentido atua a ação magnética da terra sobre a bússola? Somente uma alternativa é correta.

- a) na vertical para cima
- b) na vertical para baixo
- c) na horizontal, irradiando para o norte
- d) na horizontal, irradiando para o sul
- e) de forma inclinada, nem na horizontal, nem na vertical.

7) Porque, para o correto funcionamento da bússola, ela deve ser mantida na horizontal.

8) O campo magnético do ímã existe em todos os pontos ao redor dele?

9) A força magnética tem uma direção fixa, ou depende do lado do ímã que está perto da agulha?

10) Após observar como a agulha de costura se movimenta durante a inversão de polaridade, como a força magnética se distribui ao redor do polo magnético do ímã?

## 2ª AULA EXPERIMENTAL: 90 MIN. AS ROTAÇÕES ELETROMAGNÉTICAS: EXPLORANDO O MAGNETISMO DE FIOS DE CORRENTE CONTÍNUA

Essa aula é uma versão moderna das rotações eletromagnéticas produzida por Faraday. Montamos dois aparatos diferentes para reproduzir as rotações eletromagnéticas. Eles estarão disponíveis no laboratório da escola para uso de um dos grupos. As demais equipes serão orientadas a confeccionar as suas próprias

espiras (independente do formato) e trazer também pilhas, baterias ou fontes velhas de celular que ainda funcionam, para reproduzir o experimento. As bússolas serão fornecidas as equipes ou será usada as bússolas artesanais que cada grupo construiu no experimento anterior. E também serão orientadas a montar o motor de Faraday.

O primeiro aparato está mostrado na figura 6.3. Nele, faremos um dipolo magnético, no caso a agulha da bússola, girar ao redor do fio de corrente.



Figura 6.3 – Aparato construído para produzir a rotação de um ímã ao redor de um fio de corrente.  
Fonte: Arquivos do autor.

Material utilizado:

- 1) Suporte.
- 2) Fonte AC/DC ou outra fonte de corrente contínua.
- 3) Fio de cobre esmaltado AVG 28 com 25 voltas.
- 4) Bússola.

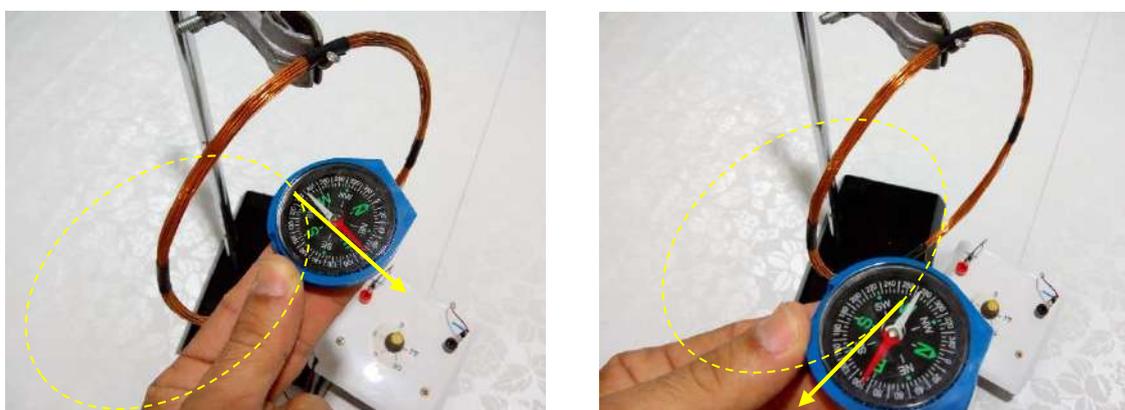
O objetivo desse experimento é produzir a rotação da agulha da bússola em torno do fio de corrente. Os grupos serão orientados a fazer as bobinas com número de voltas e formatos diferentes para posteriormente perceberem com as manipulações, como esses fatores afetam a quantidade de magnetismo produzido.

Procedimentos da 2ª aula

Primeiramente, pedimos para os grupos mantenham a bússola fixa no centro da espira com a fonte ajustado em 7 V DC aproximadamente. Eles devem notar que a agulha da bússola fica alinhada de acordo com a regra da mão direita, figura 6.4, que fornece a direção do campo magnético em função do sentido da corrente elétrica. Por último, pedimos para que se inverta o sentido da corrente e notem a inversão do campo magnético.



Figura 6.4 – A seta verde indica o sentido da corrente elétrica e usando a regra da mão direita determinamos o sentido do campo magnético no eixo da espira (seta amarela). Fonte: Arquivos do autor.



(a)

(b)

Figura 6.5 – Arranjo experimental para demonstrar a rotação da agulha magnética em torno de um fio de corrente. Em (a) e em (b) a agulha se alinha como o campo circular da espira. Fonte: Arquivos do autor.

Com a tensão ainda em 7 V DC, pedimos para que os grupos coloquem a bússola em posições diferentes ao redor do fio, conforme figura 6.5 (a) e (b) e mais afastada do fio para notarem como ela vai se alinhando e posteriormente perdendo o alinhamento circular, uma vez que o campo enfraquece com o aumento da distância.

Porém, eles devem afastar a bússola até uma posição que ainda dê para notar o alinhamento com o campo circular. Nessa nova posição, pedimos para que os grupos aumentem a voltagem para um valor maior, aproximadamente 15 V DC, afim de que notem como a agulha volta a ter o alinhamento circular, pois o campo foi fortalecido nessa nova posição mais afastada, por termos aumentado a corrente.

O professor deve tomar o cuidado em alertar os grupos quanto ao tempo de funcionamento da fonte nesse experimento. A corrente que irá percorrer a bobina pode provocar um efeito joule (aquecimento) intenso, podendo superaquecer e queimar o transistor de potência da fonte, bem como outros componentes como já ocorreu nas nossas aulas. Por isso recomendamos que se use um interruptor ou um filtro de linha que tenha uma chave liga-desliga acoplada na entrada de rede da fonte. Em vez de executar o experimento com a fonte ligada, podemos posicionar a bússola no local desejado e ligar a fonte momentaneamente para observar o resultado e depois desligar a chave interruptora, para então mudar a bússola para uma nova posição. Procedendo dessa forma evitamos a queima da fonte.

Após deixar os grupos de alunos atuarem sobre as montagens que eles mesmos produziram, eles terão que notar essas diferenças entre os campos irradiados por ímãs daqueles irradiados por correntes elétricas e perceberem também os fatores que interferem na irradiação desses campos produzidos por corrente. A verificação dessas competências será parcialmente analisada no questionário abaixo.

Objetivos de aprendizagem:

- 1) Mostrar que um fio de corrente produz um campo magnético.
- 2) Verificar que invertendo o sentido da corrente se inverte o sentido do campo magnético.
- 3) Concluir que esse campo não atrai nem repele a agulha da bússola sendo, portanto diferente do campo produzido por ímãs.
- 4) Perceber que esse campo tem um formato circular, pois a agulha tende a girar ao redor do fio.
- 5) Identificar o sentido da corrente na espira.

- 6) Mostrar que o campo magnético depende do sentido e da intensidade da corrente e da distância da bússola ao fio.
- 7) Demonstrar como se usa a regra da mão direita para determinar a direção e sentido do campo magnético em uma espira.
- 8) Identificar os polos magnéticos de uma espira.
- 9) Descobrir como o magnetismo de uma espira está distribuído nas suas proximidades.

Questionário preliminar:

- 1) Como a ação magnética produzida pela corrente se espalha ao redor do fio depois de observar o movimento da agulha da bússola? Tente descrever em suas próprias palavras.
- 2) Em que direção e em que sentido está atuando a ação magnética no centro da espira?
- 3) O campo da espira, independentemente da posição que você coloca a bússola, atrai ou repele a agulha?
- 4) Em que posição especificamente você percebe a atração ou repulsão do fio pela agulha?
- 5) Que fatores modificam a intensidade da ação magnética sobre a bússola?
- 6) O aparato montado fez com que você entendesse corretamente a regra da mão direita?
  - a) Sim
  - b) Não
  - c) Fiquei em dúvida ainda

### 3ª AULA EXPERIMENTAL: 90MIN. O MOTOR DE FARADAY: PRODUZINDO ROTAÇÃO A PARTIR DE ELETRICIDADE E MAGNETISMO

Nessa aula, produziremos a rotação de um fio de corrente em torno de um dipolo magnético fixo. O material utilizado será:

- 1) Um pedaço de fio de cobre esmaltado.
- 2) Um suporte para manter o fio de cobre suspenso.
- 3) Um recipiente.

- 4) 45 pastilhas de ímãs de neodímio de 4mm de diâmetro por 1mm de espessura (dipolo magnético).
- 5) Água e sal (solução condutora de eletricidade).
- 6) Uma fonte de tensão AC/DC.

A figura abaixo mostra a montagem completa do motor de Faraday. Conforme pode ser visto na figura 6.6, penduramos no suporte, usando clips de papel, o fio de cobre. Este fio deve ficar parcialmente mergulhado na água. A coluna de ímãs de neodímio no interior do recipiente deve ficar logo abaixo do fio de cobre. Optamos por colocar os ímãs dentro de um tubo para protegê-los de quedas e da oxidação muito rápida que eles sofrem em contato com o ar e a umidade. Diluímos duas colheres cheias de sal na água para torná-la condutora de eletricidade e aplicamos uma diferença de potencial de 15 V DC para gerar a corrente elétrica necessária para produzir a rotação. Para fazer contato elétrico com um dos polos da fonte, mergulhamos na solução com água e sal, uma lâmina de papel alumínio conforme pode ser observado na figura 6.6.



Figura 6.6 – Motor de Faraday em funcionamento. Fonte: Arquivos do autor.

### Procedimentos da 3ª aula

O primeiro procedimento dessa aula é pedir para que os alunos, invertam a polaridade da fonte para observarem a mudança na rotação da agulha magnética. Com isso, terão que perceber que o campo circular produzido pelo fio muda de orientação com a mudança de polaridade da fonte, justificando a inversão no sentido da rotação.

E finalmente eles são orientados a alterarem a tensão da fonte para um valor maior, notando a mudança nas características da rotação. A rotação aumenta de velocidade? O fio fica mais perto ou mais longe dos ímãs? As duas coisas acontecem simultaneamente?

Nesse experimento, é importante que os grupos passem pelas dificuldades inerentes a fabricação desse motor para entender quais os fatores que podem estar contribuindo para não funcionar. Pouca quantidade sal, uma voltagem fraca, a não retirada completa do esmalte das extremidades do fio de cobre, serão dificuldades que surgirão e que eles devem perceber e tentar superar.

Outra coisa que pode afetar drasticamente o resultado, pode ocorrer no momento em que eles forem fazer a troca da polaridade da fonte. Com o uso do motor, numa determinada polaridade, a passagem da eletricidade vai fazendo com que os portadores de carga (íons) se depositem tanto na água como na extremidade do fio. Isso fica nítido com a mudança de coloração do fio juntamente com a água. Pode ser que, no momento em que a polaridade for trocada, as cargas já estão numa quantidade insuficiente para fazer o motor funcionar no sentido contrário. Essa dificuldade em geral é difícil de solucionar se não houver uma orientação prévia do professor para saber o que de fato está ocorrendo.

A única forma de transpor essa dificuldade é renovando a água salgada do recipiente e raspando novamente a extremidade do fio que fica mergulhada na solução, uma vez que ela fica impregnada com o soluto que se deposita, interrompendo a corrente.

Objetivos de aprendizagem:

- 1) Perceber o caráter circular do campo magnético gerado pela corrente que passa pelo fio.
- 2) Observar a lateralidade da ação magnética, por isso o fio gira ao redor do ímã.
- 3) Transpor as dificuldades inerentes ao processo de funcionamento do motor.

Questionário preliminar:

- 1) A ação magnética entre o ímã e o fio que gira, é atrativa ou repulsiva, ou seja, o ímã puxa o fio para mais perto ou empurra o fio para mais longe? Ou, nenhuma coisa nem outra?
- 2) Para que lado de fato aponta a força magnética que atua sobre o fio?
- 3) Que característica da rotação se altera se aumentarmos a tensão da fonte?
- 4) Porque o sentido da rotação muda se invertermos a polaridade da bateria?
- 5) Que dificuldades você teve para fazer o motor funcionar adequadamente? Descreva todas elas.

#### 4ª AULA EXPERIMENTAL. 45 MIN. O BICÓRDIO ELÉTRICO DE PITÁGORAS E A MICRO GERAÇÃO DE ELETRICIDADE

O protótipo que foi construído para essa última aula experimental, será usado para demonstrar o fenômeno da indução eletromagnética e da piezoelectricidade como formas de produzir eletricidade em pequena escala. Ele na verdade é uma aplicação desses fenômenos. Dessa forma, preliminarmente, vamos apresentar alguns materiais, figura 6.7, que foram selecionados para serem manipulados primeiramente pelo professor e depois pelos alunos para que tenham um contato visual e percebam os fatores que provocam os referidos efeitos.

Materiais para a apresentação preliminar de geração de eletricidade:

- 1) Um ímã cilíndrico formado por 40 pastilhas de ímãs de neodímio de 2 mm de altura por 12 mm de diâmetro e um ímã em forma de barra de 39 mm x 18 mm x 9 mm.
- 2) Duas bobinas retiradas de motor de máquina de cortar cabelo, uma com núcleo ferromagnético e outra sem, ligadas a dois leds de alto brilho, em paralelo, com as polaridades invertidas.
- 3) Ímãs retirados de alto-falantes de tamanhos diferentes, dois ímãs de ferrite retirados de um motor de ventilador industrial e um ímã de ferrite em forma de barra usado como trinca magnética de portão.
- 4) Bobinas de fio de cobre AWG 39 com quantidades diferentes de voltas, uma com 4300 voltas, outra com 2150 voltas e outra com 1600 voltas, todas com suas extremidades ligadas a LEDs.

- 5) Molinete de vara de pescar com cinco ímãs cilíndricos de 2mm x12mm grudados em lados diametralmente opostos.
- 6) Um captador single com LED em seus terminais

#### Procedimentos da 4ª aula

Iniciamos a aula comentando que o processo de geração de eletricidade numa usina hidrelétrica se utiliza da indução eletromagnética e pode ser reproduzido em pequena escala usando uma bobina e um ímã e que, portanto, é um processo físico bem simples embora para os alunos não seja naturalmente óbvio. A primeira pergunta que logo surge é: como um ímã em movimento pode produzir eletricidade?

Esses materiais podem ser visualizados na figura 6.7.



Figura 6.7 – Conjunto de materiais apresentados durante a última aula experimental. Fonte: Arquivos do autor.

A primeira ação é usar a bobina sem núcleo e aproximar e afastar o ímã cilíndrico de neodímio. Eles perceberão que uma pequena quantidade de eletricidade será produzida ao verem os LEDs acender de forma intermitente. Durante a aproximação, um dos LEDs acendi e o outro só acende durante o afastamento. Isso ocorre porque os LEDs são ligados aos terminais da bobina em paralelo e com as suas polaridades invertidas. Como o LED é feito de um material semicondutor, ele conduz corrente num sentido e corta a corrente no sentido oposto. Durante a aproximação a corrente produzida pela indução, liga o LED que está

polarizado no sentido do fluxo de corrente induzida e no outro corta essa corrente. Durante o afastamento, ocorre o processo inverso.

Outra variante desse experimento é usar outra bobina com o mesmo número de enrolamentos, mas com a presença de um núcleo ferromagnético. Se aproximarmos o ímã cilíndrico de neodímio dessa bobina, a indução será mais intensa. Após essa verificação, mostrarmos a indução de corrente na bobina sem e na bobina com núcleo, para notarem a diferença de brilho nos LEDs, confirmando como esse fator interfere substancialmente. Para encerrar essa manipulação, fazemos a indução na bobina sem núcleo com um ímã fraco de alto-falante e notamos que não conseguimos fazer o LED brilhar enquanto que na outra bobina com núcleo, conseguimos.

O núcleo sofre magnetização e desmagnetização devido a aproximação e afastamento do ímã. Isso gera um aumento na variação do fluxo magnético, pois essa variação terá duas contribuições: a variação produzida pela própria movimentação do ímã e a variação produzida pela alteração da magnetização do núcleo.

Com o auxílio do molinete de vara de pescar, na qual formam grudados 5 ímãs cilíndricos em lados diametralmente opostos, podemos aumentar a rapidez com que o fluxo magnético varia girando os ímãs próximos as bobinas. Colocamos as bobinas com e sem núcleo lado a lado próximo dos ímãs girando e mostramos a diferença que o núcleo provoca no processo indutivo. E depois colocamos próximos do molinete girando manualmente, bobinas de diferentes espiras para perceber que a quantidade de voltas é mais um fator que afeta no fenômeno. Isso é verificado pelo brilho dos LEDs ligados a essas bobinas.

Objetivos de aprendizagem:

- 1) Materializar o processo de indução eletromagnética
- 2) Mostrar que a corrente gerada é alternada
- 3) Mostrar que a forma como aproximamos o ímã da bobina interfere no rendimento do processo, ou seja, existe uma geometria mais adequada para realizar o movimento.

- 4) Concluir que a quantidade de energia gerada é função da rapidez com que movimentamos as partes do sistema, ou seja, quanto mais rápido variamos o fluxo magnético mais voltagem é induzida.
- 5) Perceber que a presença de um núcleo ferromagnético melhora o rendimento do processo.
- 6) Mostrar que a intensidade do campo produzido pelos ímãs também influencia na variação do fluxo magnético.
- 7) Verificar que um número maior de espiras promove uma maior quantidade de voltagem induzida. Ou seja, a voltagem induzida é diretamente proporcional ao número de espiras.

Para finalizar essa apresentação experimental mostramos o bicórdio elétrico da figura 6.8.



Figura 6.8 – Bicórdio elétrico com quatro captadores diferentes, três eletromagnéticos e um piezoelétrico. Fonte: Arquivos do autor.

Os materiais que assessoram essa apresentação com o bicórdio são:

- 1) Um captador piezoelétrico.
- 2) Um captador caseiro
- 3) Um captador single retirado de uma guitarra Tagima
- 4) Um captador humbucker malagole comprado em uma loja de instrumentos musicais.
- 5) Uma caixa amplificadora.
- 6) Um molinete de vara de pescar com 10 ímãs de neodímio em forma de pastilha (2mmx12mm), 5 em cada extremidade.

Ele é o resultado de uma tentativa de criar um monocórdio de Pitágoras, afim de mostrar como as primeiras notas da escala ocidental foram concebidas por Pitágoras. Usamos ele durante o projeto Física na Praça, que levou através de experimentos físicos, um pouco da cultura científica para alguns municípios do interior, como parte da avaliação da matéria Atividades Experimentais para o Ensino Médio e Fundamental ministrada durante o curso do MNPEF.

Montamos uma caixa de ressonância para mostrar o funcionamento dos sensores de guitarra e violão. Foi feita inicialmente de MDF, mas por ser um material frágil, trocamos posteriormente para compensado. Instalamos uma ponte Floyd rose para fixar uma das extremidades das cordas, uma pestana de violão na outra extremidade da caixa e dois afinadores, também de violão e duas cordas, uma de aço e outra de nylon. Esses acessórios foram retirados de uma guitarra usada de uso pessoal. Aproveitamos também, dois, dos seus três captadores, um single e um humbucker. A parte elétrica da guitarra foi aproveitada, figura 6.9, inclusive a chave seletora de cinco posições, porém a ligação ficou restrita a duas posições somente, no início e no fim, a fim de fazer a mudança rápida do captador.

Para começar, comentamos que o captador de uma guitarra elétrica é também um dispositivo onde ocorre a indução eletromagnética sendo uma miniusina de geração de corrente alternada. Para isso movimentamos os ímãs presos ao molinete da figura 6.10, próximos ao captador e induzimos corrente, acendendo o LED a ele conectado.

Como já foi mencionado no capítulo 4, o captador single apresenta uma única bobina e um ímã de Alnico em baixo dela. Já o captador humbucker, tem uma arquitetura diferente.



Figura 6.9 – Parte elétrica e os captadores originais que foram removidos de uma guitarra.  
Fonte: Arquivos do autor.

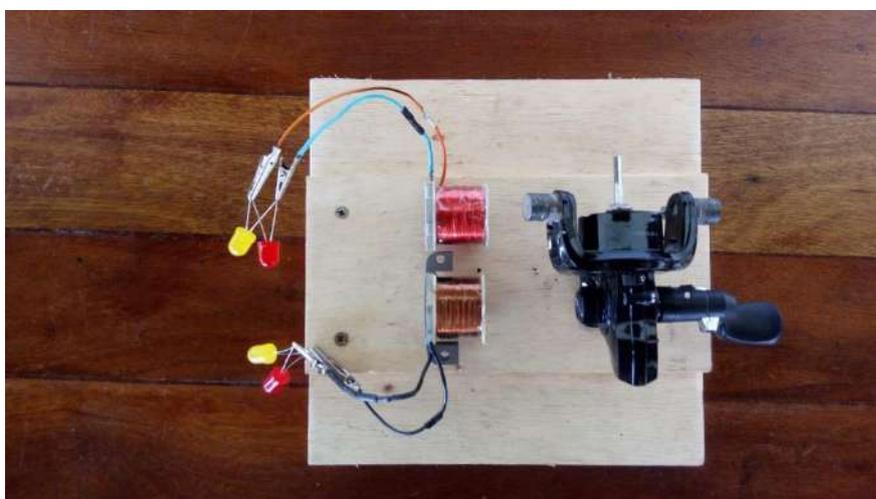


Figura 6.10 – Molinete com ímãs nas extremidades usado para manualmente alterar a velocidade do fluxo magnético próximo as bobinas. Fonte: Arquivos do autor.



(a)

(b)

Figura 6.11 – Em (a) caixa amplificadora (cubo de baixo) usado para reproduzir o som dos sensores e em (b) captador caseiro. Fonte: Arquivos do autor.

Ele tem duas bobinas e um ímã mais forte. Essa diferente gera um rendimento diferente no timbre do som processado por esses captadores. Por ter um ímã mais forte, o humbucker tem um sinal mais forte também, ou seja, ele gera uma corrente induzida maior em comparação ao single, sem falar que ele é mais sensível as frequências mais graves, mas isso é uma outra história que não nos interessa.

Essa diferença de eletricidade produzida por esses dois modelos de captadores é notada através do som que eles geram. Inicialmente tocamos a corda de aço com o captador single selecionado. O som é amplificado pela caixa de som da figura 6.11 (a). Antes de deixar o som captado pelo single “morrer”, trocamos para o humbucker e pedimos para que os alunos ouçam a diferença que notaram no som. A diferença é nítida. Além de perceberem a diferença na intensidade do som, eles notam também a diferença de timbre. O humbucker gera um som mais forte (mais intenso) e mais grave. Após pedir a opinião dos alunos do porque essa diferença, explicamos que o humbucker por ter um ímã mais forte, conseqüentemente induz uma corrente mais intensa, e como resultado um som mais forte.

Prosseguindo, mostro que os captadores eletromagnéticos não apresentam uma tecnologia que pode ser produzida somente num laboratório especializado. Apresento o captador caseiro que fabricamos para mostrar que ele funciona de forma a induzir uma corrente suficiente para gerar som. Veja a figura 6.11 (b). Esse captador é formado por uma bobina de 3533 voltas de fio AWG 36. Seus terminais foram ligados a um plug P2, para fazer a ligação com o amplificador.

Retiramos o captador single e coloco o caseiro para funcionar e faço a mesma manipulação. Tocamos a corda de aço para mostrar o som produzido por esse captador e antes do som “morrer” mudamos para o humbucker através da chave seletora. Eles devem notar uma diferença maior já que o ganho do captador caseiro é inferior ao do captador original da guitarra.

Após essas demonstrações, seleciono o captador humbucker e tocamos a corda de nylon. O captador eletromagnético não capta a vibração desse tipo de corda. Perguntamos aos alunos porque isso ocorre. Alguns, em raras exceções respondem corretamente. Em geral aqueles alunos que talvez já tiveram contato

com esse instrumento. Após as respostas, perguntamos como o som de um violão de cordas de nylon é amplificado.

Antigamente, não havia recursos tecnológicos para amplificar o som de cordas de nylon. Os primeiros captadores inventados foram os eletromagnéticos que são sensíveis somente a materiais que podem sofrer magnetização conforme já foi explicado no capítulo anterior. Por isso as cordas são feitas de aço, material que se magnetiza na presença de um campo magnético (carbono e ferro). Durante nossa pesquisa, não descobrimos quando exatamente os captadores piezoelétrico foram introduzidos no mercado musical para amplificar a vibração de cordas de nylon. Abaixo, na figura 6.12, um captador piezoelétrico confeccionado especialmente para a apresentação. A pastilha piezo foi comprada numa loja de eletrônica, juntamente com o cabo e o plug P2 que foram instalados para usa-la como sensor sonoro de contato.



Figura 6.12 – Captador piezoelétrico preparado artesanalmente. Fonte: Arquivos do autor.

Colocamos o captador piezo em contato com a ponte do bicórdio para mostrar que ele é sensível a vibração da corda de nylon, porém ele não capta a vibração direta da corda. Ele capta a vibração da madeira, vibração essa, que foi transmitida pela corda. Quando a corda vibra, ela transmite essa vibração para o resto da caixa de ressonância e como consequência essa vibração é transmitida ao piezo. Para terminar, colocamos o piezo na garganta de um dos alunos para eles perceberem que a cerâmica piezo é sensível a vibração mecânica das pregas vocais, funcionando como um microfone.

Após deixar os grupos manipularem os materiais que foram usados nessa demonstração final, colocamos aos grupos o desafio que irá conduzir os caminhos teóricos e práticos do conteúdo a ser ensinado no resto do ano:

É possível fabricar miniusinas para produzir pequenas quantidades de energia elétrica a partir dos fenômenos apresentados nessa apresentação? Esta será a tarefa que teremos de orientar os alunos ao longo do ano.

No ano de 2017, aplicamos nossa proposta a duas turmas de 3º ano de ensino médio em duas escolas diferentes. Uma turma da escola de Ensino Fundamental e Médio Nossa Senhora do Rosário situada no município de Marituba e outra na escola de Ensino Fundamental e Médio Eneida de Moraes situada no município de Ananindeua. Porém, como a parte experimental só ficou pronta no fim de setembro desse ano, não tivemos tempo hábil para aplicar uma avaliação mais adequada a proposta. Apenas solicitamos aos grupos de alunos que fabricassem as miniusinas de eletricidade a partir dos conhecimentos construídos nas atividades experimentais que foram descritas nesse capítulo.

Nenhum dos grupos se interessou em usar a piezoeletricidade como fonte de energia. Um dos possíveis motivos talvez seja pelo fato de ser um material muito pequeno gerando a falsa impressão de que eles não iriam obter bons resultados. Um dos grupos até se interessou em usar as pastilhas piezo, mas não a encontraram para vender no comércio local. Realmente, eu pessoalmente fui as lojas de eletrônica da cidade e o material estava em falta. Logo os grupos fizeram miniusinas de indução eletromagnética. Os resultados desses grupos são mostrados nos apêndices dessa dissertação.

A figura 6.13 mostra os alunos da escola Nossa Senhora do Rosário participante da manipulação experimental durante a última sequência demonstrativa. Nesse mesmo ano a escola fez uma feira de matemática onde apresentamos nosso produto como parte dos trabalhos que estavam relacionados com os temas transversais do evento.

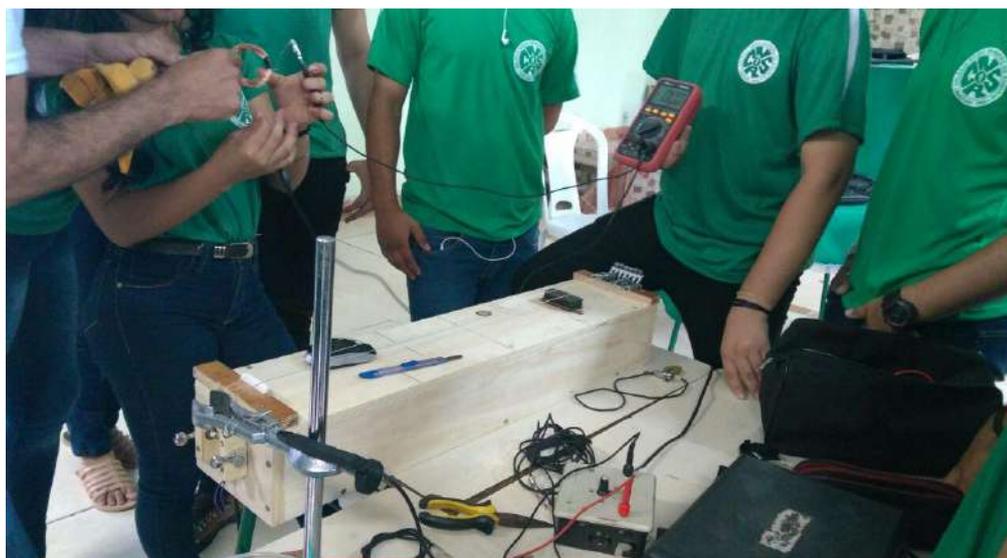


Figura 6.13 – Alunos da escola Nossa Senhora do Rosário durante a aplicação do produto. Fonte: Arquivos do autor.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS E RESULTADOS

Esperamos que a partir dos resultados que obtemos dessas duas turmas, aplicar essa atividade investigativa nas próximas turmas de 3º ano do ensino médio de forma completa e poder no final realizar uma avaliação mais detalhada da aprendizagem que desejamos com esse projeto de ensino.

O grupo da escola Nossa Senhora do Rosário, situada no município de Marituba, demonstrou habilidade em identificar os motores que poderiam ser usados para gerar uma boa indução eletromagnética. Compreenderam corretamente as características das ligações em série e em paralelo e foram habilidosos e capazes de colocar os motores na ligação mais adequada para aumentar a tensão de saída e interligá-los corretamente aos LEDs que seriam acionados por esses motores. Nesse trabalho pode-se observar o uso da linguagem científica, de forma coerente e bem aplicada, mostrando que os alunos desse grupo absorveram o mínimo da cultura científica necessária para expressar e explicar corretamente os resultados por eles obtidos. No apêndice B, pode ser visualizado o relatório manuscrito descrevendo como eles montaram a miniusina.

O grupo da escola Eneida de Moraes, situada no município de Ananindeua, foi o mais interessado e motivado para resolver o desafio. Eles conseguiram produzir

um motor de indução com voltagem máxima de 10 V AC sem retificação. Às saídas desse motor, foi instalada uma linha de transmissão que levou energia alternada as casas de uma maquete que foi construída especialmente para demonstrar como a energia elétrica é gerada nas usinas e como ela é transmitida até seu consumo final. O relatório desse grupo foi muito bem elaborado, com riqueza de detalhes técnicos pois eles descrevem todos os passos da construção, incluindo os erros no planejamento, embora tenha lhes faltado uma explicação de como o fenômeno se processa com o uso da linguagem científica.

O fato é que mesmo sem ter usado uma linguagem mais elaborada para explicar o fenômeno em si e os resultados, superaram as dificuldades técnicas da confecção do processo indutivo e desenvolveram uma maneira bem diferente da forma como tradicionalmente se obtém indução, maximizando os fatores que melhoram o processo, fatores esses abordados nas atividades experimentais da sequência de ensino investigativa. Durante uma das aulas, foi dito a eles que, para se ter um melhor resultado, deve-se movimentar rapidamente os ímãs pelo interior de uma bobina e que a presença de um núcleo de ferro também melhora o processo. Mas como fazer passar um ímã por dentro de uma bobina que está preenchida com um núcleo no seu interior? Segundo eles, sem consultar fontes na internet, desenvolveram um formato de gerador de indução que funcionou muito bem, embora o ímã não passe de fato por dentro da bobina já que no seu interior há um núcleo ferromagnético. Para conferir o relatório desse trabalho e os detalhes estruturais do motor que foi construído esse por esse grupo, consultar os apêndices dessa dissertação.

Uma dificuldade que precisa ser superada para tornar mais eficiente a energização das bobinas é o custo de fabricação das fontes AC/DC a fim de realizar as rotações eletromagnéticas e a obtenção de limalha de ferro como recurso material. Cada equipe de alunos precisa de uma fonte para poder energizar a bobina com corrente contínua, devendo variar a tensão de entrada. A priori solicito que tragam pilhas, baterias, fontes para carregar celular ou outras fontes que retificam corrente para aparelhos diversos, porém não é possível com elas alterar suas tensões de saída. Será preciso fabricar pelo menos cinco fontes iguais para atender pelo menos seis ou mais equipes que serão formadas, já que o contingente de

alunos em uma sala típica de ensino médio de uma escola estadual é em geral em torno de 40 alunos.

O processo de confecção dessa fonte exige alguns conhecimentos e competências em eletrônica básica como, saber fazer a trilha na placa onde vai ser instalada as peças, soldar peças na placa, adaptar esse arranjo a caixa onde será instalado o transformador junto com a placa, sem contar com as ferramentas necessárias a esse trabalho.

Por conta do custo financeiro e do tempo demandado na confecção das fontes, nosso intuito é desenvolver essa sequência de ensino somente no segundo semestre de cada ano, a fim de se planejar no primeiro semestre para levantar o material e fabricar as fontes necessárias para a realização do trabalho bem como encontrar a limalha em oficinas de serralheria para visualização do campo magnético.

As competências Piagetianas e Vygotskianas não puderam ser mensuradas ou avaliadas em sua plenitude devido ao pouco tempo que tivemos para aplicar o produto. Mas podemos listar algumas capacidades correlatas ao referencial teórico que ficaram evidentes nos trabalhos que foram apresentados e que tem relação com os objetivos almejados, como:

- 1) Preparação de relatórios bem elaborados
- 2) Uso incipiente da linguagem científica
- 3) Relativa compreensão do conteúdo disciplinar
- 4) Grande articulação entre teoria e prática
- 5) Domínio das faculdades psicomotoras
- 6) Evolução na construção dos conceitos
- 7) Elaborado conhecimento digital em um dos trabalhos
- 8) Interação social intensa entre eles e o professor

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDOUNUR, O. J. **Matemática e Música: O pensamento analógico na construção de significados**. 3ª edição. ed. São Paulo: Escrituras Editorra, 2003.

ALVES, Á. S.; JESUS, J. C. O. D.; ROCHA, G. R. **Ensino de Física: Reflexões, abordagens e práticas**. 1ª. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2012.

ANDERY, A. **Para Compreender a ciência: uma perspectiva histórica**. Rio de Janeiro: Educ, 1996.

AYRES, A. T. **Prática pedagógica competente: ampliando os saberes do professor**. 7ª edição. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2012.

BAUER, W. **Física para universitários: eletricidade e magnetismo**. Tradução de Trieste Freire Ricci. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2012.

BESCHIZZA, C.; CAVERNA, ; BERNARDON, V. Origem, evolução e desenvolvimento do violão. **cavernadolenhador**, 2013. Disponível em: <<https://cavernadolenhador.wordpress.com/tag/guitarra-renascentista/>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

BIZZO, L. HISTÓRIA DOS CAPTADORES. **reidalespaul**, 2015. Disponível em: <<http://www.reidalespaul.com.br/2015/09/historia-dos-captadores-capitulo-1-em.html>>. Acesso em: 16 jan. 2018.

BORGES, C. QUANDO E QUEM INVENTOU A GUITARRA ELÉTRICA? **megacurioso**, 2013. Disponível em: <<https://www.megacurioso.com.br/papo-de-bar/39720-quando-e-quem-inventou-a-guitarra-eletrica-.htm>>. Acesso em: 17 jan. 2018.

BRASIL, M. D. M. E. E. **Matriz Energética Nacional 2030**. MME:EPE. Brasília. 2007.

CACHAPUZ, A. et al. **A necessária renovação no ensino das ciências**. São Paulo: Cortez, 2005.

CALÇADA, C. S.; SAMPAIO, J. L. **Física Clássica**. São Paulo: Atual, v. Eletricidade, 1998. Ensino Médio.

CARVALHO, A. Deus Criou a Música. **deuscriouamusicablogspot**, 25 fev. 2017. Disponível em: <<https://deuscriouamusicablogspot.com.br/2017/02/a-historia-do-violao.html>>. Acesso em: 10 dez. 2017.

CARVALHO, A. M. P. D. et al. **Ensino de Ciências por Investigação: Condições para implementações em sala de aula**. São Paulo: Sengage Learning, 2017.

CARVALHO, A. M. P. et al. **Ensino de Física, coleção ideais em ação**. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

CEZIMBRA, P. Ícone: Gibson ES-335. **trastejando**, 2013. Disponível em: <<http://trastejando.com.br/icone-gibson-es-335/>>. Acesso em: 16 jan. 2018.

CHIBENI, S. S. Introdução à filosofia da ciência: As origens da ciência moderna. **www.unicamp.br/~chibeni**, 2010. Disponível em: <<http://www.unicamp.br/~chibeni/textosdidaticos/cienciaorigens.pdf>>. Acesso em: 09 abr. 2018.

CLONE MUSIC - LOJA DE INSTRUMENTOS MUSICAIS E ÁUDIO. História Do Violão e Dos Intrumentos de Cordas. **Youtube**, 2015. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=7m\\_HPFoFZyl](https://www.youtube.com/watch?v=7m_HPFoFZyl)>. Acesso em: 11 jan. 2018.

DIAS, S.; MARTINS, R. D. A. MICHAEL FARADAY: O CAMINHO DA LIVRARIA À. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 3, São Paulo, 2004. p. 517-530.

DO ENSINO, G. D. R. **Física 3: eletromagnetismo**. São Paulo: EDUSP, 2005.

DOMINGOS, C. B.; , C. W.; WOLF, L. S. [S.I.].

FARIAS, F. A Pré-História da Les Paul. **laparola**, 2013. Disponível em: <<http://www.laparola.com.br/a-pre-historia-da-les-paul>>. Acesso em: 17 jan. 2018.

FERREIRA, L. F. S. S. **SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA VIA SENSORES PIEZOLÉTRICOS**. Centro Universitário de Brasília - UniCeub. Brasília. 2017.

FILHO, P. D. S.; CALUZI,. Sobre as experiências relativas a imantação do ferro e do aço pela ação da corrente elétrica: uma tradução comentada do artigo escrito por François Arago. **Revista Brasileiro de Ensino de Física**, São Paulo, 31, 2009.

GARCIA, N. M. D. et al. **A Pesquisa em Ensino de Física e a Sala de Aula: Articulações Necessárias**. São Paulo: Livraria da Física, 2012.

GASPAR,. **Compreendendo a física: ensino médio**. 1ª. ed. São Paulo: Ática, v. 3º Eletromagnetismo e física moderna, 2010.

GASPAR, A. **Compreendendo a Física**. 3ª edição. ed. São Paulo: Ática, 2016.

GUERRA, L. B.; CONSENZA, R. M. **Neurociência e educação: como o cérebro aprende**. Porto Alegre: artmed, 2011.

HALLIDAY, ; RESNICK, J. W. **Fundamentos de física**. Tradução de Ronaldo Sergio de Biasi. 8ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. Volume 3: Eletromagnetismo, 2009.

HALLIDAY, ; RESNICK, R.; KRANE, K. S. **Física 3**. Tradução de Pedro Manuel Calas Lopes Pacheco e Leydervan de Souza Xavier. 5ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. Volume 3: Eletromagnetismo, 2012.

HEWITT, P. G. **Física conceitual**. Tradução de Treste Freire Ricci. 9ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

HEWITT, P. G. **Física Conceitual**. 11ª edição. ed. Porto Alegre: bookman, 2011.

HISTÓRIA da Guitarra. **consultoriadorock.**, 2012. Disponível em: <<https://www.consultoriadorock.com/2012/06/23/historia-da-guitarra/>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

HOURNEAUX, E. Laboratório de Luthieria. **laboratoriodeluthieria.wordpress**, 14 ago. 2014. Disponível em: <<https://laboratoriodeluthieria.wordpress.com/2014/08/14/a-verdadeira-e-completa-historia-da-guitarra/>>. Acesso em: 10 dez. 2017.

HOURNEAUX, E. Laboratório de Luthieria, Experiências, estudos e divagações. **laboratoriodeluthieria.wordpress**, 25 set. 2017. Disponível em: <<https://laboratoriodeluthieria.wordpress.com/2017/09/25/captadores-parte-1-corrida-decibelica/>>. Acesso em: 11 dez. 2017.

KELLER, J.; GETTYS, W. E.; SKOVE, M. J. **Física volume 2**. Tradução de Alfredo Alves de Farias. São Paulo: Makron Books, 1999.

LOPES, A. C.; MARTINS, P.; LANCEROS-MENDES, S. **Polímeros piezoelétricos: Características, aplicações e perspectivas**. Braga. 2014.

LOPES, A. C.; MARTINS, P.; LANCEROS-MENDEZ, S. **Polímeros piezoelétricos: Características, aplicações, perspectivas**. Braga, p. 7. 2014.

MIRAVALLS, J. O inventor da guitarra elétrica. **Guitar exchange**. Acesso em: 18 maio 2018.

MOREIRA, A. **Teorias da aprendizagem**. 2<sup>a</sup>. ed. São Paulo: E.P.U., 2015.

NPDGIRASSOL. COLEÇÃO GRANDES EDUCADORES JEAN PIAGET. **Youtube**, 2017. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=rRLuke2HGzA&t=1987s>>. Acesso em: 14 abr. 2018.

NUSSENVEIG, H. M. **Curso de Física básica**. 1<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Blucher, v. 3, 1997.

OFICIÊNCIA. Como Funciona: Efeito Piezoelétrico. **Youtube**, 2017. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=3grgGrHiNg&t=2s>>. Acesso em: 05 jan. 2018.

OLIVEIRA, A. P. D. S. Frações: a música da matemática. **sites.google.com**, 16 jan. 2013. Disponível em:

<<https://sites.google.com/site/musicadamatematica/pitagoras-e-o-monocordio>>.

Acesso em: 10 dez. 2017.

OLIVEIRA, C. D. S. **metodologia científica, planejamento e técnicas de pesquisa**: uma visão holística do pensamento humano. São Paulo: LTR, 2000.

OLIVEIRA, M. D. **Como fazer pesquisa qualitativa**. 6ª. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2014.

PAGNI, A. **A filosofia da educação platônica: o desejo de sabedoria e a paideia justa**. universidade estadual paulista júlio de mesquita filho. São Paulo, p. 1-18. 2010.

PENTEADO, P. C. M. **Física**: conceitos e aplicações. 1ª. ed. São Paulo: Moderna, v. Eletromagnetismo, 1998. Ensino Médio.

PRIMON, A. L. D. M.; JÚNIOR, L. G. D. S.; ADAM, M. História da ciência: da idade média a atualidade. **Psicólogo inFormação**, São Paulo, p. 35-51, jan/Dez 2000. ISSN 4.

RANGEL, R. F. **Caracterização de uma Célular Tubular Piezoelétrica para Geração de Eletricidade**. Universidade Federal da Paraíba.UFPb. João Pessoa, p. 99. 2014.

SILVEIRA, M. C. F.; BAZZO, J. **Transformando a relação do ser humano com o mundo**. Universidade tecnológica federal do paraná. Ponta Grossa. 2005.

SOUSA, L. C. D.; COSTA, J. ESTUDO SOBRE O POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA PARA SEMÁFOROS A PARTIR DE PLACAS PIEZOELETRICAS. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, Itapetininga, 3, 2016. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO.

SOUSA, L. C. D.; COSTA, M.. ESTUDO SOBRE O POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA SEMÁFOROS A PARTIR DE PLACAS PIEZOELÉTRICAS. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, Itapetininga, v. 3, n. 3, 2016. Disponível em:

<<https://itp.ifsp.edu.br/ojs/index.php/IC/article/viewFile/273/406>>. Acesso em: 15 maio 2018.

TEORIAS Psicogenéticas - PIAGET E VYGOTSKY. **Youtube**, 2016. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=XcVQsUENF6A>>. Acesso em: 14 abr. 2018.

TRANSDUÇÃO DA ENERGIA SONORA PARA SINAIS ELÉTRICOS. UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. Curitiba. 2013.

VERÍSSIMO DA SILVA, J. **Toquei algo como blues, sem me dar conta disso.breves considerações sobre blues e a minha vivência musical**. Brasília: Thesaurus, 2001. URL: <https://books.google.com.br/books?id=yIO5GAce54cC&pg=PA36&lpg=PA36&dq=captores+eletrost%C3%A1ticos+de+loar&source=bl&ots=AuG13jEMB1&sig=WksoCW5o5riGDnellr8Y90kVdAo&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwikipqq5ZLbAhWMHpAKHfBBAREQ6AEILzAB#v=onepage&q&f=false>.

ZACZÉSKI, et al. Violão: aspectos acústicos, estruturais e históricos. **Revista brasileira de Ensino de Física**, Curitiba, 40, n. 1, 2017.

**APÊNDICE A:**

Nesta sessão, apresentamos na íntegra os relatórios dos grupos que desenvolveram suas miniusinas de eletricidade.

**TRABALHO DOS ALUNOS DA ESCOLA ENEIDA DE MORAES.**

# Trabalho

# De

# Física

EEEFM: Eneida De Moraes

Prof<sup>o</sup>: Israel

Alunos: Rafael cunha, Emanuel  
Santana.

Ano: 3º ano                      turma: 301

Assunto: Relatório do Gerador de Energia.

### Relatório

No início do período de 4ª avaliação o professor Israel de física lançou um desafio como prova. O desafio consistia em fazermos um gerador de energia elétrica baseado nas suas aulas e limitado as suas regras. Regras que diziam que não poderia gerar energia elétrica utilizando outra fonte de energia elétrica como por exemplo a energia em nossa casa, somente seriam permitido utilizar energia mecânica, energia por combustão e energia por rotação. Baseados nessas regras e nas aulas começaram o projeto do gerador de energia elétrica.

#### Primeiro Gerador de Energia Elétrica

O primeiro gerador foi feito de maneira simples e com materiais fáceis de encontra lojas de matérias de construção.

#### Materiais

- Cano PVC de 50mm
- Duas tampa de cano PVC de 50mm
- Fio de cobre esmaltado
- Um eixo de ventilador
- Um cano de alumínio 5cm x 5mm
- Um parafuso de 7cm x 4 mm
- Madeira
- Compensado
- Pregos
- 10 Imã de neodímio 12mm x 3mm
- Fita isolante

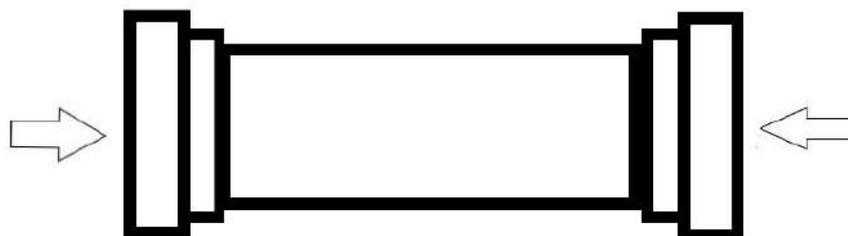
- Um LED

### Ferramentas

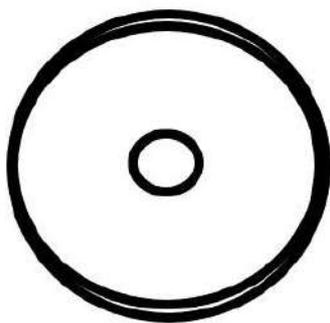
- Furadeira
- Martelo

### Montagem

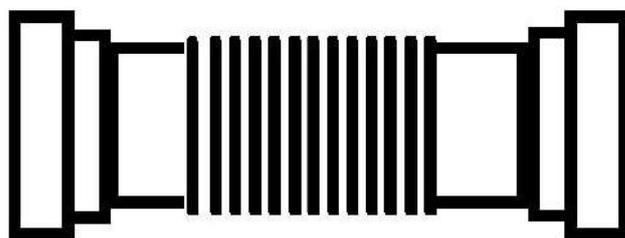
1. Coloque as tampa no cano de PVC.



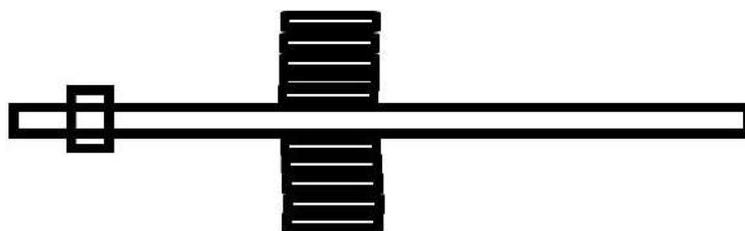
2. Fure no centro das duas tampas com um milímetro de diâmetro mais do que o eixo de ventilador.



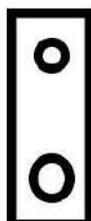
3. enrole o fio de cobre esmaltado no cano deixando as duas pontas para fora.



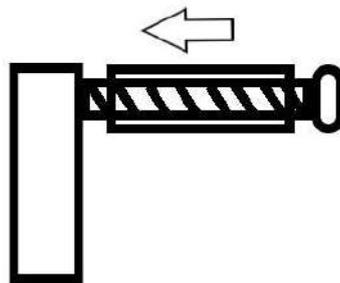
4. coloque os 10 imãs de neodímio no eixo de ventilador e passe a fita isolante para deixar bem preso os imãs no eixo.



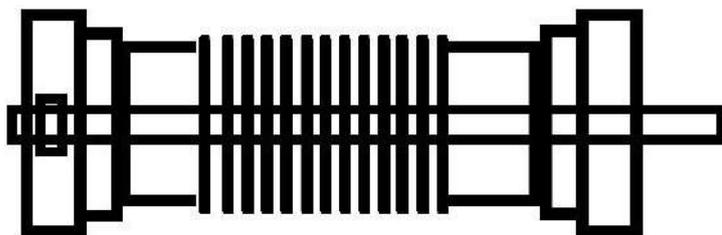
5. faça dois furos na madeira um com o mesmo diâmetro do parafuso e outro com o mesmo diâmetro do eixo do ventilador.



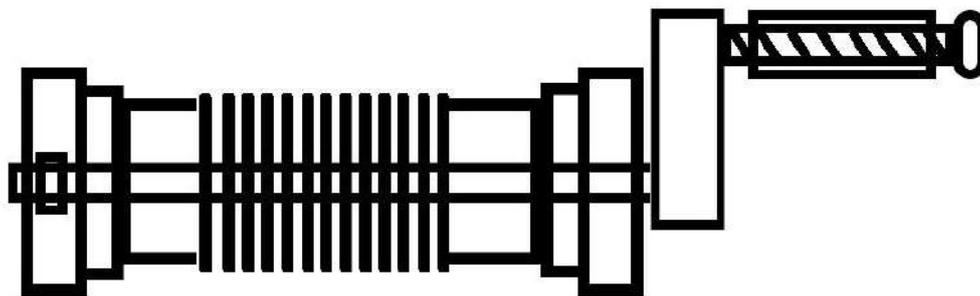
6. Coloque o parafuso com o cano de alumínio no seu respectivo furo para fazermos a manivela.



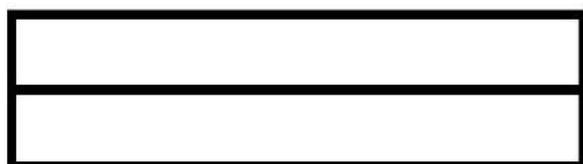
7. Coloque o eixo do ventilador com os imãs, dentro do cano de PVC no furo da tampa para fazer um eixo funcional.



8. Coloque o eixo no buraco da manivela.



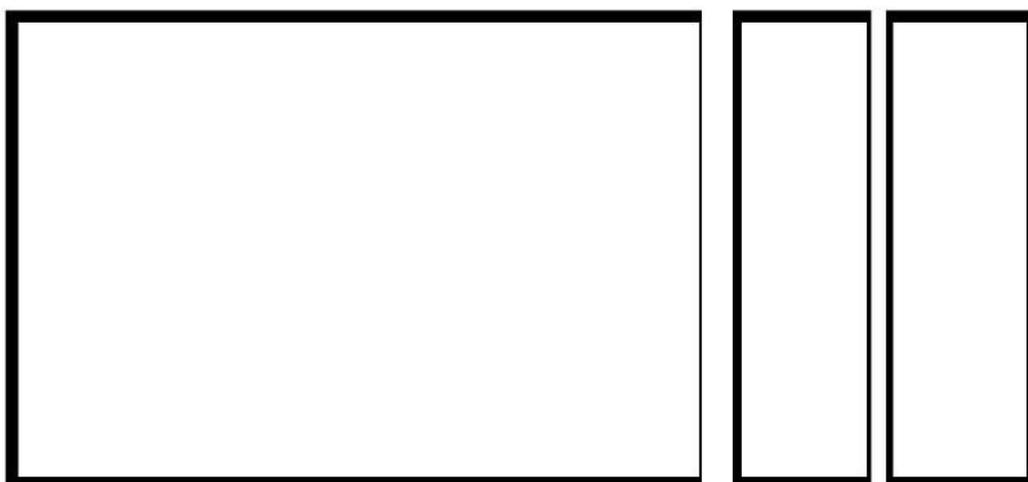
9. Faça uma chapa de PCV utilizando o cano de 50 mm. Para fazer a chapa de PVC é necessário fazer um corte no meio do cano.



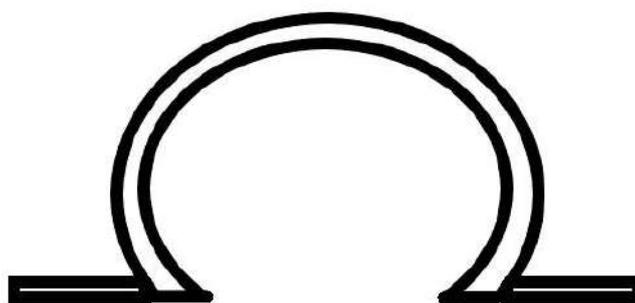
Em seguida usando o fogão aqueça até abrir, após aquecido procure uma área plana para deixa o PVC mais reto possível espere esfriar até volta fica rígido.



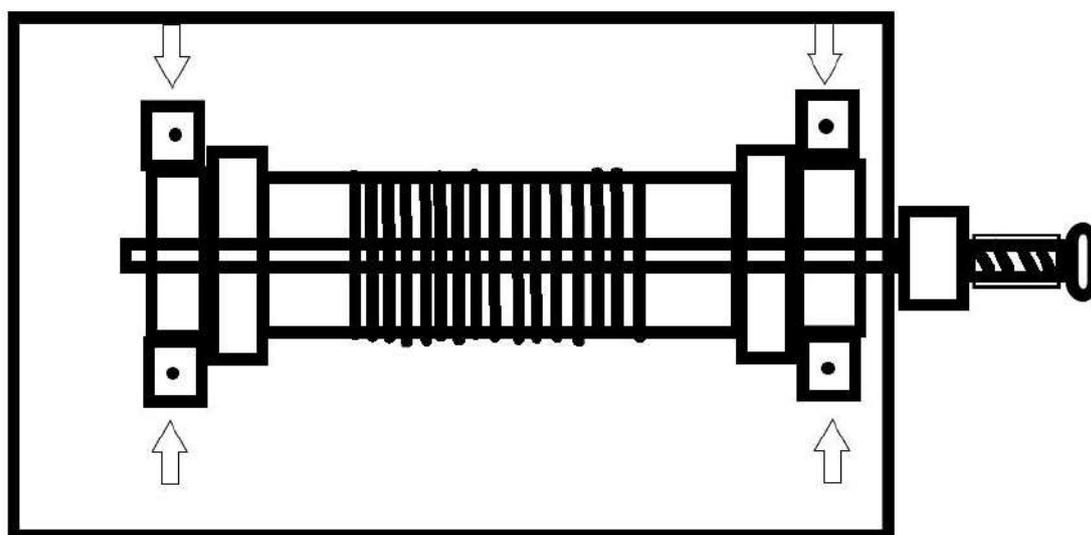
10. Faça dois corte para com altura e comprimento que de certo com a metade da tampa do cano de PCV. Esses dois pedaços serão usados para fixar o gerador no compensado.



Usado novamente o fogão, molde o cano no formato da tampa deixando um espaço nas pontas para prender no compensado.



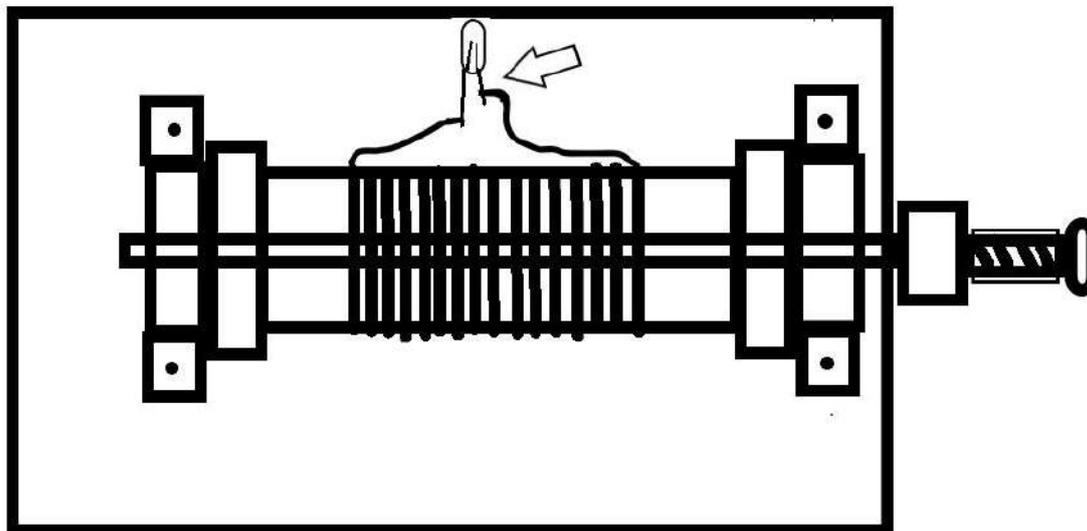
11. Pegue a braçadeira que fizemos no passo anterior e coloque sobre as tampas de PVC que está no gerador, pegue o compensado coloque de baixo de gerador e pregue a braçadeira no compensado.



Obs: pregue de forma que a manivela tenha espaço livre para girar

12. Agora o primeiro gerador de energia elétrica já estar pronto.

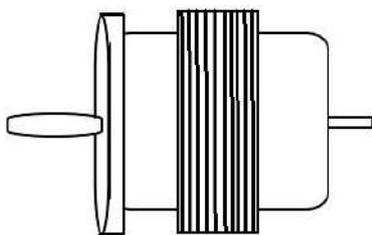
13. Agora adicione o LED nas duas pontas soltas do fio de cobre esmaltado.



Esse primeiro gerador não funcionou, pois não havia rotação suficiente para gerar energia. A parte desse problema teve que refazer o projeto, pedimos ajuda ao professor Israel, informamos o problema que tivemos ao montar o gerador. E ele nos forneceu um transmissor de rotação. A parte desse transmissor começou o novo projeto.

#### Segundo Gerador de Energia Elétrica.

O segundo gerador teve que ser baseado e montado na estrutura do transmissor de rotação.



Então tinha que ser um projeto mais elaborado. A maioria das peças teve que ser criadas manualmente, seus materiais é um pouco mais difícil de ser achado.

### Materiais

- Um transmissor de rotação
- Cano PVC de 50 mm
- Fio de cobre esmaltado
- Um cano de alumínio 5cm x 5mm
- Um parafuso de 7cm x4 mm
- Madeira
- Compensado
- Prego
- 10 Imã de neodímio 12mm x 3mm
- Fita isolante
- Um LED
- Um núcleo ferromagnético de um driver de voz
- Papelão

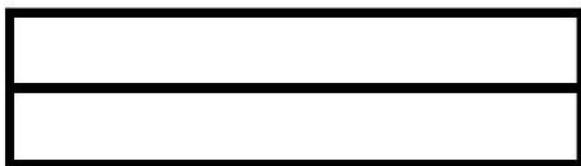
### Ferramentas

- Furadeira

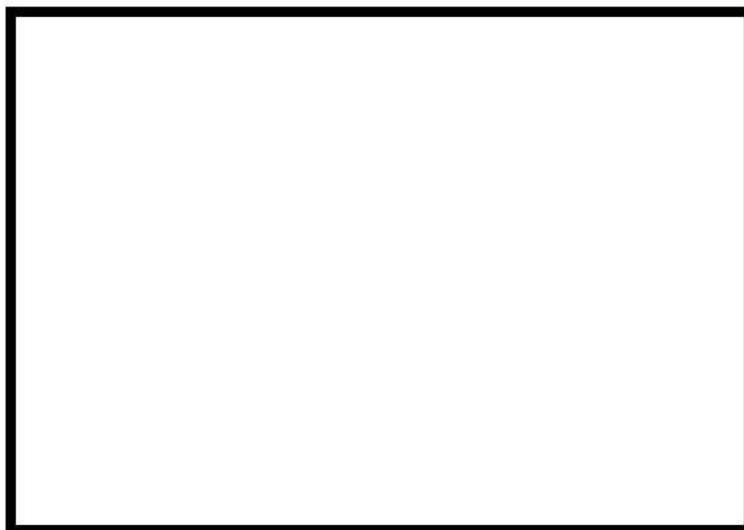
- Martelo

### Montagem

1. Faça uma chapa de PCV utilizando o cano de 50 mm. Para fazer a chapa de PVC é necessário fazer um corte no meio do cano.



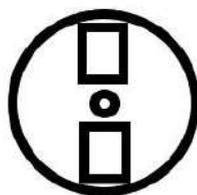
2. Em seguida usando o fogão aqueça até abrir, depois de aquecido procure uma área plana para deixar o PVC mais reto possível espere esfriar até volta a ficar rígido.



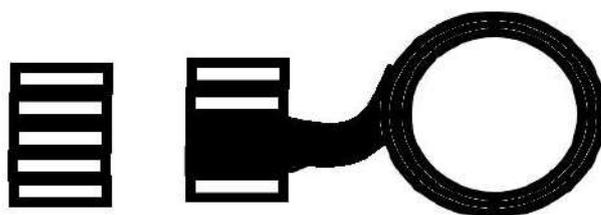
3. Faça um molde de uma circunferência na chapa de PVC com as seguintes especificações: 5cm de diâmetro, dois buracos simétrico retangular com altura 15mm x 12mm e um furo no meio da circunferência com o mesmo diâmetro do eixo de transmissão.



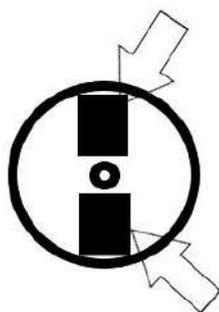
4. Após ter feito a peça.



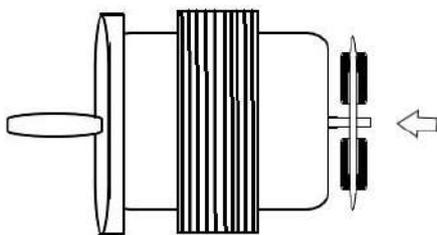
5. Faça grupos de 5 unidade de imãs e passe fita isolante entre eles para que fique seguro.



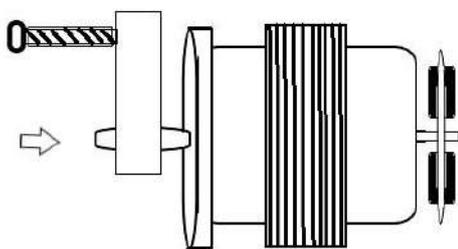
6. Após isso coloque os imãs onde a seta abaixo indica.



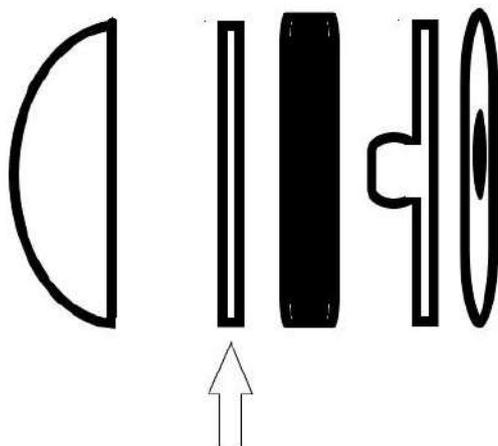
7. Coloque agora a peça no eixo de transmissão.



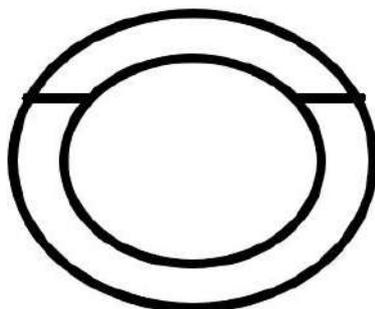
8. Usando a manivela do primeiro gerador, coloque-o no segundo eixo do transmissor.



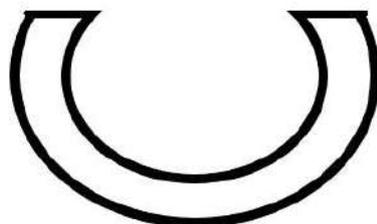
9. Abra o driver de voz e retire o núcleo ferromagnético de dentro.



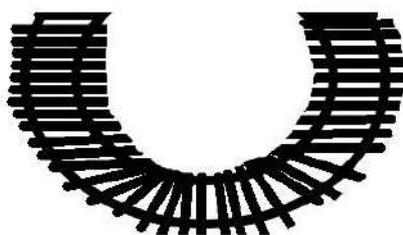
10. Faça dois cortes onde a figura indica.



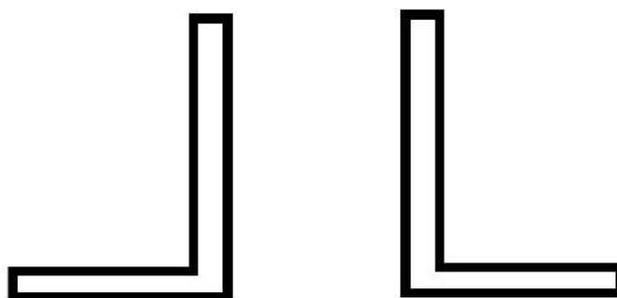
Após o corte ficara assim o núcleo.



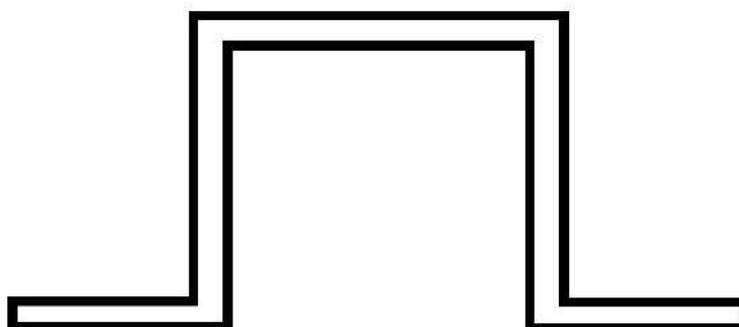
11. Agora faça um molde de papelão no formato do núcleo cortado e cole com cola quente. Em seguida enrole o fio de cobre esmaltado deixando duas pontas soltas.



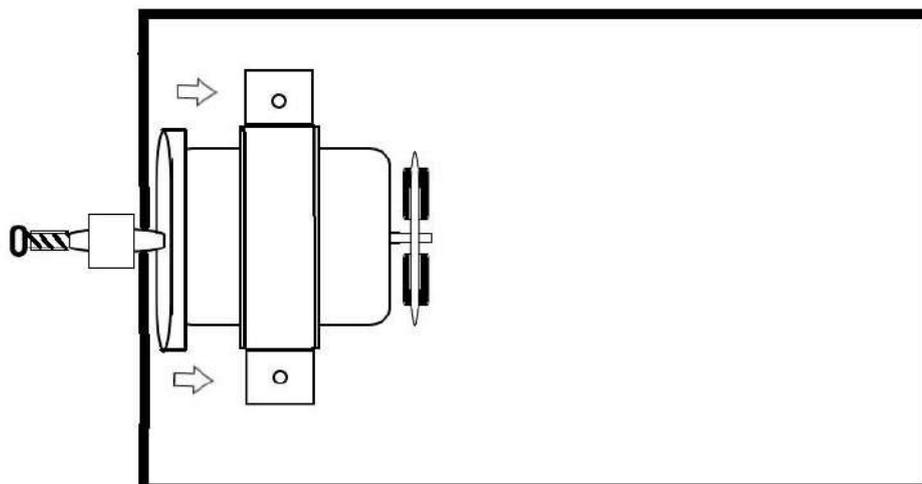
12. Com o que sobrou da chapa de PVC, faça duas cantoneiras. Que vai servir de suporte para a bobina.



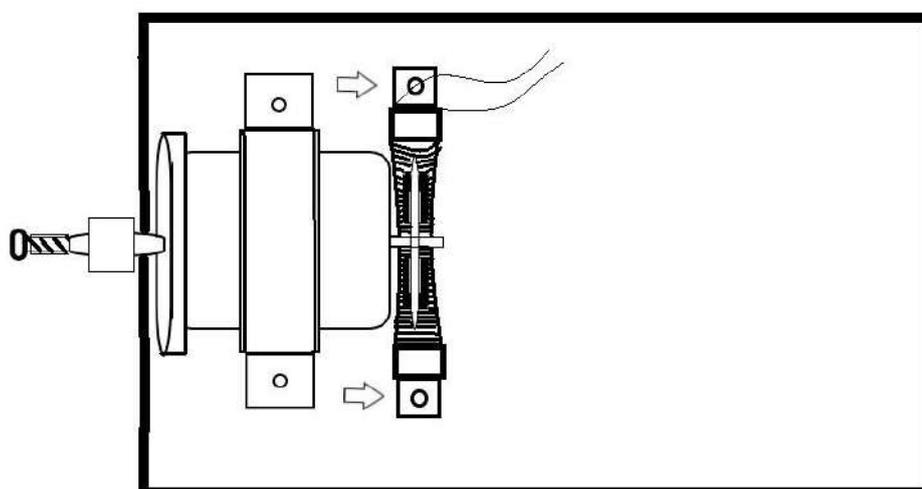
13. E com mais um pedaço de PCV faça uma braçadeira no formato do transmissor de rotação.



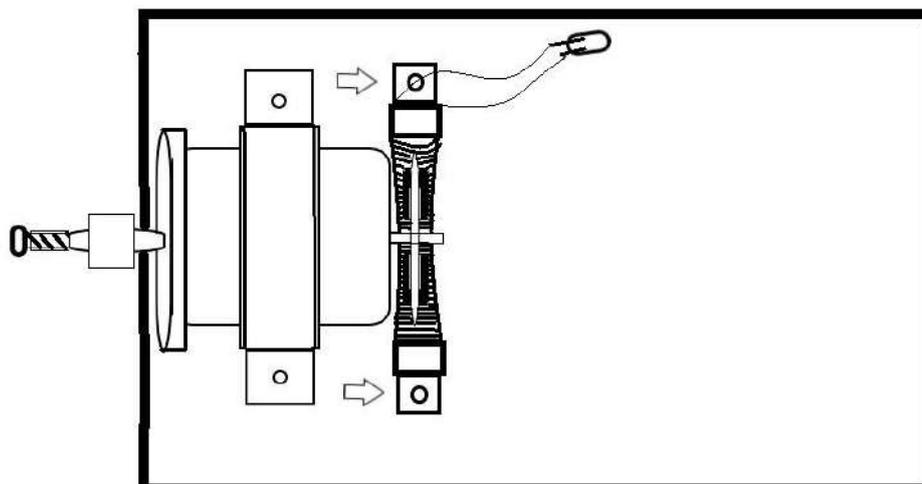
14. Pegue o compensado, coloque a braçadeira no gerador e pregue a braçadeira no compensado.



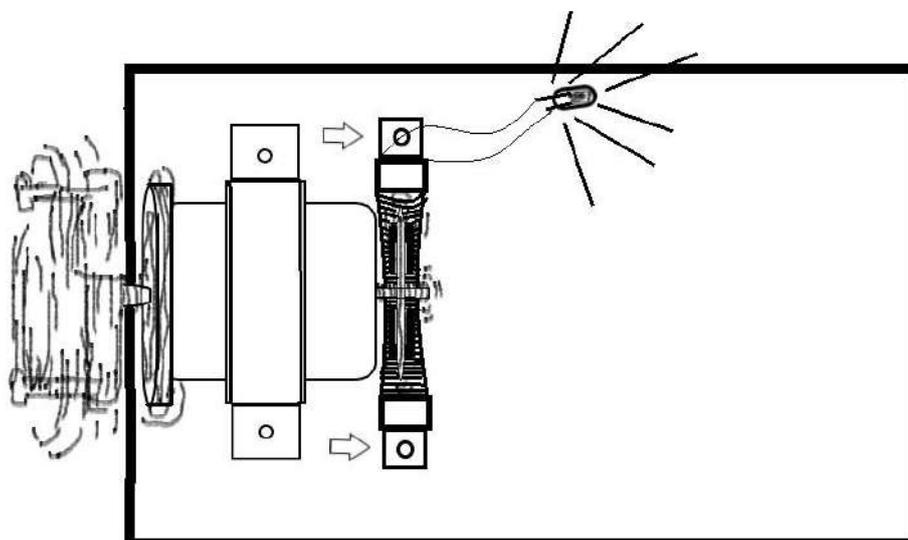
15. Cole com fita isolante as duas cantoneiras de PCV na lateral da bobina e pregue à bobina a frente dos ímãs de forma que os ímãs fiquem dentro da bobina.



16. Coloque o LED nas pontas soltas.



O gerador já estar pronto para ser usado, basta girar a manivela para gerar energia elétrica fazendo com que o LED acenderá.



O segundo gerador funcionou bem, pois solucionamos o problema de baixa rotação e colocamos um núcleo ferromagnético entre a bobina para melhorar o campo magnético, e assim dando mais eficiência para gerar energia.

Com esse gerador fizemos dois testes para saber sua capacidade, o primeiro teste consistia em colocar vários LEDs no gerador para saber quantos LEDs ficariam ligados de uma vez só, nesse teste tivemos o resultado cinco LEDs simultâneos.

No segundo teste tentamos carregar um celular, mais não foi possível pelo fato de não haver uma voltagem suficiente para carregar um celular.

E para deixar o trabalho mais apresentável foi feito uma maquete, de uma rua com três casas e sua iluminação vinha do gerador.

## APÊNDICE B:

## TRABALHO DOS ALUNOS DA ESCOLA NOSSA SENHORA DO ROSÁRIO.

## 1) Pesquisa:

Fiz meu trabalho baseado na aula do professor Israel, sobre transformar energia mecânica em energia elétrica. Na aula ele usou um ímã e uma bobina com cobre e ao passar o ímã perto do cobre, um LED conectado ao cobre e acendeu. Eu já tinha aberto uma vez aqueles motores pequenos, e dentro deles a um núcleo com cobre em volta e ímã nas paredes do motor, e um colega meu já tinha me dito desses motores dão energia. Sabendo dessas coisas eu fiz o trabalho.

Obs: Não usei absolutamente nada da internet.

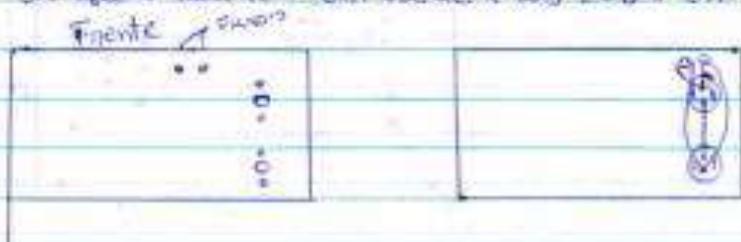
2) Bem na primeira vez que tentei, usei 1 papelão, 3 motores pequenos, fios de cobre finos e escapadores, fios de cobre grossos de escapadores, 1 LED com verde e de cor vermelho.

Montagem:

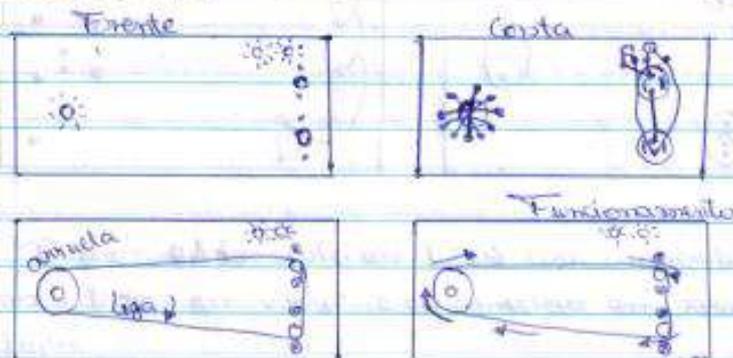
Coloquei os 2 motores no papelão e os empurrei.



Depois fiz dois fios e coloquei os LEDs, conectei os ~~dois~~ motores em série e os LEDs em paralelo.



Em seguida peguei o outro motor e o coloquei longe dos outros, anexei ele com o cabo grosso no papelão, coloquei a aroela no eixo do motorzinho, e coloquei a liga como corveia.



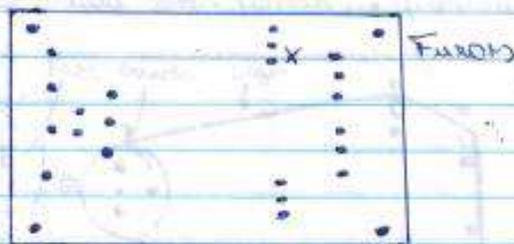
As girar a aroela as LEDs atendem.

### 3) Materiais

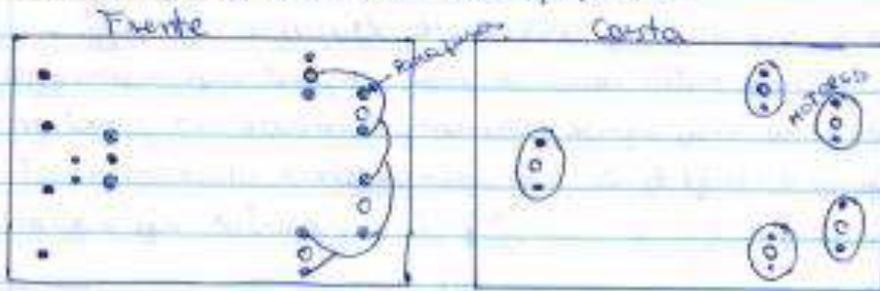
- 1 Compensado de mais ou menos 30 cm por 20 cm,
- 2 LEDs de brilho vermelho e 1 LED de brilho branco,
- 3 motores pequenos, fios de cobre finos encapados, 1 cabo de canseira, 1 fita adesiva, 1 aroela de plástico,
- 1 liga curvável e usaper bande.

### 4) Montagem

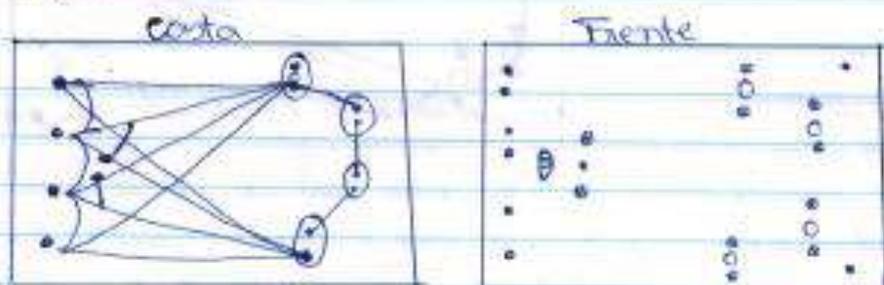
Fiz os furos para os parafusos para os LEDs e para o motor no compensado



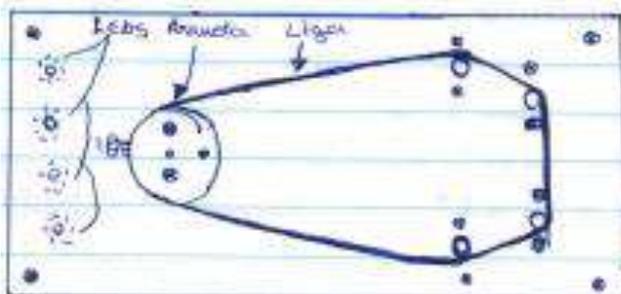
Em seguida coloquei os motores e os emparafuzei com os parafusos nessa tira pequena



Depois ~~deles~~ cole as LEDs com a super bonde, liguei os motores em serie e os conectei em paralelo nas LEDs.



Em as ultimas partes fizemos o cabo de transmissão que foi cortado em pedaços e amovizados de 3 em 3 com fita isolante para usarmos de p1. Coloquei a armela de plástico no motor separado dos outros, e a liga a armela foi usada como conexão, e ficou assim.



## Funcionamento

Giando a arovela de plástico, faz com que as arovelas pequenas que tem em cima de cada motor rode as 21 motores em movimento, manda energia para os LEDs. Transformando energia mecânica (ato de girar a arovela) em energia elétrica.

