



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física

**ENSINO DA LEI DE FARADAY NO ENSINO MÉDIO COM USO DE UM
CAPTADOR DE GUITARRA**

Daniel Moreira Avila

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador(es):
Hugo Milward Riani de Luna

Rio de Janeiro
2023

ENSINO DA LEI DE FARADAY NO ENSINO MÉDIO COM USO DE UM
CAPTADOR DE GUITARRA

Daniel Moreira Avila

Orientador(es):
Hugo Milward Riani de Luna

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Prof. Dr. Hugo M. Riani de Luna – UFRJ
[Membro Interno] (Presidente)

Prof. Dr. Thales Agricola Calixto de Azevedo -
UFRJ [Membro Interno]

Prof. Dr. Vitor Luiz Bastos de Jesus – IFRJ
[Membro Externo]

Profa. Dra. Irina Naskova Nasteva - UFRJ
[Membro Externo]

Rio de Janeiro
2023

FICHA CATALOGRÁFICA

CIP - Catalogação na Publicação

A184e Avila, Daniel
ENSINO DA LEI DE FARADAY NO ENSINO MÉDIO COM
USO DE UM CAPTADOR DE GUITARRA / Daniel Avila. --
Rio de Janeiro, 2023. 62 f.

Orientador: Hugo Luna.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do
Rio de Janeiro, Instituto de Física, Programa de Pós
Graduação em Ensino de Física, 2023.

1. Ensino de Física. 2. Lei de Faraday. 3. Indução
eletromagnética. 4. Captador de guitarra. I. Luna,
Hugo, orient. II. Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os dados fornecidos pelo(a) autor(a), sob a
responsabilidade de Miguel Romeu Amorim Neto - CRB-7/6283.

Dedico essa dissertação a todos que fizeram parte do meu processo, me deram suporte e estiveram ao meu lado apesar das adversidades.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Física da UFRJ e seus professores e colaboradores por todo conhecimento transmitido e por me ajudarem na minha construção como docente durante a graduação e mestrado.

A todos os amigos de mestrado que me acompanharam, riram, ajudaram e que juntos caminharam comigo nessa jornada, em especial aos amigos Vinicius, Rodrigo e Bruno que dividiram de forma mais próxima o sonho de se tornar mestre e todas as dificuldades que foram superadas.

Ao meu orientador Hugo Milward Riani de Luna que me conduziu nesse percurso de forma incrível, esteve presente sempre que precisei de ajuda e foi extremamente compreensível, humano e empático com minhas dores e adversidades que por vezes me fizeram acreditar que não seria possível concluir. Serei sempre muito grato por todo seu apoio e espero poder fazer o mesmo pelos meus alunos na minha trajetória.

A minha mãe que é uma guerreira e sempre fez tudo que estava ao seu alcance para que eu pudesse estar aqui nesse momento. Sem ela e todo o amor, dedicação e educação que me foi dado nada disso seria possível. Eu te amo e tenho você como uma referência de dedicação e caráter. Obrigado por tudo que me ensinou e que me fez ser quem sou hoje.

Aos meus amigos que fizeram parte da minha vida e estiveram presentes em todos os momentos que precisei. Sorriram, choraram, me suportaram, deram bronca e se importaram comigo. Em especial aos amigos: Leandro, Vitor, Elias, Raphael, Luis e Vinicius Pessanha.

Aos meus cachorros Malbec, Nana e Binho, que na minha vida são mais do que animais de estimação, e sim filhos. Obrigado pelo amor incondicional e por todos os sorrisos que me proporcionaram.

A minha companheira, Julia, que mesmo com todos meus momentos difíceis, com toda as limitações que a vida nos impõe, sempre esteve do meu lado me motivando, apoiando e servindo de exemplo para mim. Foram esses momentos que nos fizeram ser mais fortes hoje e que nos ajudaram a construir nossos alicerces. Você é e sempre será minha maior inspiração e minha força para superar as adversidades. Eu te amo muito!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

ENSINO DA LEI DE FARADAY NO ENSINO MÉDIO COM USO DE UM CAPTADOR DE GUITARRA

Daniel Moreira Avila

Orientador(es):
Hugo Milward Riani de Luna

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Este trabalho tem como objetivo apresentar um projeto de baixo custo para abordar a Lei de Indução de Faraday no ensino médio, utilizando um kit experimental composto por captador de guitarra elétrica, motor elétrico, controlador de corrente, e ímãs. O método consiste em uma sequência de aulas teóricas e na utilização do kit pelos alunos de formas práticas que exploram a relação entre a variação do fluxo magnético e a força eletromotriz induzida. Os resultados destacam a influência do movimento do ímã, da velocidade de rotação do motor e das características das configurações dos ímãs na geração de corrente elétrica. As conclusões ressaltam a compreensão adquirida sobre a Lei de Indução de Faraday, proporcionando aos alunos uma visão prática e aplicável desse conceito fundamental da física.

Palavras-chave: Ensino de Física; Lei de Faraday; Indução eletromagnética; Captador de guitarra.

Rio de Janeiro
2023

ABSTRACT

TEACHING FARADAY'S LAW IN HIGH SCHOOLS USING A GUITAR PICKUP

Daniel Moreira Avila

Supervisor(s):
Hugo Milward Riani de Luna

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

This work aims to present a low-cost project for addressing Faraday's Law of Induction in high school, utilizing an experimental kit composed of an electric guitar pickup, an electric motor, current controller, and magnets. The method involves a sequence of theoretical classes and the practical use of the kit by students, exploring the relationship between the variation of magnetic flux and induced electromotive force. The results highlight the influence of magnet movement, motor rotation speed, and magnet configuration characteristics on the generation of electrical current. The conclusions emphasize the acquired understanding of Faraday's Law of Induction, providing students with a practical and applicable insight into this fundamental physics concept.

Keywords: Physics teaching; Faraday law; Electromagnetic induction; Guitar pickup.

Rio de Janeiro
2023

Sumário

Capítulo 1	Introdução	1
Capítulo 2	Lei de Faraday	4
2.1	Conceito e histórico da Lei de Faraday	4
2.2	A lei de Faraday no Ensino Médio	8
2.3	A lei de Faraday na Graduação	11
Capítulo 3	A física do captador	113
3.1	Uma breve história da guitarra	13
3.2	Funcionamento do captador magnético	15
3.3	Tipos de captadores elétricos	16
Capítulo 4	Proposta de uma aula de ensino médio	19
4.1	Montagem do projeto experimental	19
4.2	Calibração	26
4.3	Plano de aula e aplicação didática	31
4.4	Análise das respostas	35
Capítulo 5	Conclusão e impressões pessoais	43
	Referências Bibliográficas	44
	Apêndice A	47
Capítulo 1	.....	50
Capítulo 2	.....	51
Capítulo 3	.....	53
Capítulo 4	.....	56
Capítulo 5	.....	60
	Referências bibliográficas	61
	Apêndice B	62

Capítulo 1

Introdução

A indução eletromagnética consiste na geração de uma força eletromotriz induzida (fem) a partir da taxa de variação do fluxo do campo magnético no tempo. Ela é estudada há aproximadamente dois séculos, junto com suas aplicações, sendo de grande importância para desenvolver e entender muitos dispositivos utilizados cotidianamente (FEYNMAN *et al*, 2008).

As aplicações deste conceito são comumente encontradas em usinas hidrelétricas, motores elétricos, transformadores, guitarra elétrica, dentre outros. Além de ser tema recorrente em provas de concursos como o Exame Nacional de Ensino Médio (Enem), no qual esteve presente nos anos de 2011, 2014, 2017, 2020 e 2022 e no vestibular da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), em 2015 e 2018 (INEP, 2022; UERJ, 2023)

Não é incomum encontrar alguma resistência dos alunos no ensino-aprendizagem de física, visto que os conceitos abordados e mecanismos de produção dos fenômenos não parecem ser evidentes no dia a dia (MOREIRA, 2018). Medeiros e Medeiros (2002) afirmam que há assuntos que requerem um alto nível de abstração e abordar conceitos prévios sem correlacioná-los com a realidade podem corroborar com a dificuldade de compreensão dos alunos. No que diz respeito ao tema deste trabalho, Lima (2020) atribui isto ao distanciamento e falta de interesse dos discentes para a compreensão conceitual e matemática da Lei de indução de Faraday.

A problemática exposta está em desacordo com o que é preconizado nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), que versam sobre a priorização da didática com elementos próximos da realidade vivenciada pelos alunos para interpretação de fatos, fenômenos da natureza e tecnologias que os cercam, possibilitando uma maior compreensão do mundo (BRASIL, 2000). Isto fica evidente ao analisar a abordagem de alguns livros didáticos, fato esse que será explorado no capítulo 2.

A proposta do presente estudo é desenvolver a lei de Faraday, usualmente conhecida como lei da indução eletromagnética, de forma qualitativa para alunos do segundo ano do ensino médio usando o captador de uma guitarra

elétrica que, junto com um motor elétrico, potenciômetro e imãs, compõem um kit experimental de baixo custo para desenvolver os conceitos necessários auxiliando o professor a trazer o tema para a sala de aula e facilitando a equacionar a Lei de Faraday na forma usual apresentada nos livros didáticos.

Desta forma, o objetivo geral é analisar o fenômeno da indução eletromagnética em um captador de guitarra elétrica. Para alcançá-lo, foi necessário definir os seguintes objetivos específicos:

i - compreender o conceito de fluxo do campo magnético e sua presença em situações tangíveis a realidade dos alunos;

ii - Elaborar um plano de aula para que o aluno seja capaz de analisar situações em que a variação no fluxo de campo magnético ocorre e compreenda os desdobramentos tecnológicos decorrentes do fenômeno da indução eletromagnética;

iii – Construir um kit experimental de baixo custo (em comparação ao valor de um kit comercial) para observação da indução eletromagnética.

A literatura dispõe de outros estudos que também fizeram a associação prática da lei de Faraday a elementos do dia a dia durante as aulas, Lima (2020) propôs a aplicação do ensino por investigação para a Indução Eletromagnética em uma série de aulas para uma turma de terceiro ano do ensino médio do estado do Pará com objetivo de desenvolver o comportamento científico. Reis (2018) propôs o ensino da Indução Eletromagnética a alunos do terceiro ano do ensino médio em uma escola do estado de São Paulo com a utilização de smartphones e computadores. Em ambos os casos os autores relataram êxito e alcançaram os resultados esperados no ensino.

Além desses trabalhos, na nossa pesquisa bibliográfica com tema “lei de Faraday no ensino”, “captador de guitarra”, obtivemos:

Título	Área de pesquisa	Objetivo	Referência
A guitarra como um instrumento para o ensino de física ondulatória	Ensino de física	Ensinar e contextualizar o tema ondulatória para os alunos	Lago, 2015
Calculation Method of Permanent Magnet Pickups for Elétric Guitars	Física	Calcular o campo magnético em um captador de guitarra	Lemarquand e Lemarquand, 2007

Experimental and simulated exploration of structural deflections and acoustic waves of guitar top plates	Física experimental	Descreve conceitos teóricos complexos sobre vibração e acústica, considerando ferramentas experimentais e computacionais	Torres, Villarreal e Ramirez, 2012
Guitarra elétrica: Entre o instrumento e a interface	Música	Descreve o desenvolvimento tecnológico da guitarra elétrica em direção à sua interseção com a tecnologia computacional	Castro, 2007
Modeling the magnétic pickup of na eletric guitar	Física experimental	Analisa a distorção que o captador de guitarra gera ao converter o movimento de uma corda em um sinal elétrico	Horton e Moore, 2008
Currents induced in a circular loop by an oscillating magnet	Física experimental	Estudo de correntes induzidas em um circuito circular por um ímã conectado a um sistema de oscilação harmônica simples baseado em mola	Ha, Jang e Sohn, 2022
More on Faraday's and Lenz's laws – Qualitative demonstrations	Física experimental	Análise da variedade de configurações para a demonstração da lei de Faraday e Lenz na literatura	Hessel, 2011
Another Way To Demonstrate Lenz's Law	Ensino de física	Análise de uma forma alternativa para demonstração da lei de Lenz	Geng e Feng, 2002

A justificativa e relevância do trabalho decorrem da necessidade de sanar as lacunas de conhecimento dos discentes, ocasionadas pela dificuldade de desenvolver um pensamento abstrato. O professor tem o papel social de mediar o conhecimento e formar novos pensadores, dinamizando o processo

educacional para transformar realidades. Em conformidade com o PCN, cabe a ele utilizar didáticas próximas a realidade do aluno, para auxiliar no desenvolvimento de competências e habilidades.

O estudo está dividido em cinco capítulos: O Capítulo 2 discorre sobre a Lei de Faraday, trazendo seu histórico e um olhar sobre o ensino médio. No Capítulo 3 há a apresentação da física do captador, o funcionamento de diferentes modelos e a apresentação do projeto. Por fim, o Capítulo 4 elucida sobre a proposta de aula para o ensino médio e o Capítulo 5 conclui o trabalho.

Capítulo 2

Lei de Faraday

2.1 Conceito e histórico da Lei de Faraday

Michael Faraday nasceu em 1791, na aldeia de Newington Butts, no condado de Surrey (Inglaterra). Nesta época, o país sofria as consequências da Revolução Francesa e a condição financeira de sua família era precária. Em busca de melhores oportunidades, seus pais se mudaram para Londres quando ele tinha cinco anos de idade. Como consequência da situação econômica difícil, Faraday não teve a oportunidade de receber uma educação formal mais extensa (LIMA, 2020).

Mesmo com todas as dificuldades, Faraday buscou conhecimento por conta própria. Aos 13 anos, teve a oportunidade de trabalhar como ajudante em uma livraria, o que contribuiu para seu desenvolvimento. Ele produzia as encadernações dos livros e aproveitava a oportunidade de lê-los, adquirindo conhecimentos de seu interesse (OLIVEIRA, 2018).

Em 1813, aos 22 anos, Faraday conheceu o químico Humphry Davy, que lhe deu a oportunidade de trabalhar como auxiliar em seu laboratório na *Royal Institution* em Londres. Esse período foi essencial para o amadurecimento do conhecimento de Faraday e também da sua forma de produzir ciência, uma vez que essa experiência propiciou viagens com Davy e contatos com vários cientistas. (DIAS, 2004).

Apesar da importância dos anos com Davy, Faraday ainda não havia desenvolvido estudos físicos. Apenas em 1820 ele deu início ao estudo do,

atualmente conhecido, eletromagnetismo. O estopim para isto foi o interesse de Davy pela descoberta de Hans Christian Ørsted, publicada em 21 de junho de 1820, que observou que a agulha de uma bússola se defletia quando uma corrente elétrica atravessava uma espira próxima a ela e isso o levou investigar e fazer diversos experimentos. Faraday desenvolveu estudos de forma independente, mas sem abandonar seus estudos em química (LABAS, 2016; PINTO, 2016).

Faraday descreveu uma série de experimentos realizados sobre rotações eletromagnéticas. Em 1821, divulgou alguns dos seus e também publicou um estudo chamado *Historical sketch of electro-magnetism*. Este foi um marco nos estudos de Faraday sobre o eletromagnetismo, sendo dividido em três partes (FARADAY, 1821a, 1822b *apud* DIAS, 2004).

A primeira parte da pesquisa foi dedicada a apresentar um resumo sobre o trabalho de Ørsted. Na segunda parte são encontradas referências a outros cientistas, dos quais Faraday analisou os resultados e reproduziu os experimentos propostos, logo elas não trazem contribuições originais nestas primeiras etapas (LIMA, 2020).

A originalidade veio posterior a isto, com os experimentos que ele desenvolveu para analisar possíveis posições de atração e repulsão para uma agulha em relação a um fio condutor vertical, como pode ser observado na Figura 1, a seguir.

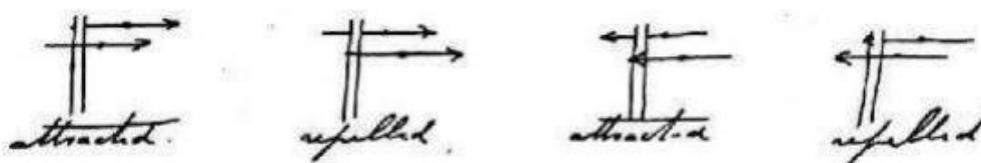


Figura 1. Registro das posições encontradas por Faraday
Fonte: Dias e Martins (2004).

Entretanto, os resultados encontrados por Faraday se diferenciam dos descritos por Ørsted, para quem não existiam posições atrativas ou repulsivas. Faraday descreveu seus resultados da seguinte forma:

“Aproximando o fio, perpendicularmente, na direção de um pólo de uma agulha, este se desviará para um lado, segundo a atração ou repulsão dada na extremidade do pólo; mas, se o fio é continuamente aproximado do centro do movimento [o meio da agulha magnética], por um lado ou pelo outro da agulha, a tendência da agulha de mover-se na direção anterior diminui até anular-se, de forma que a agulha torna-se indiferente ao fio. Finalmente, o movimento se inverte e a agulha é

fortemente forçada a passar pelo caminho oposto.” (FARADAY, 1821b, p. 74 *apud* DIAS, 2004).

Após os experimentos Faraday se convenceu que, ao invés de haver uma ação de atração ou repulsão, existia uma tendência do polo magnético da agulha girar em torno do fio. A partir dessa concepção, os resultados concordaram com a interpretação de Ørsted (PERES; GOMES, 2021).

Faraday produziu outros ensaios para confirmar as análises feitas. Em um deles produziu rotação de um fio condutor ao redor de um ímã e, após isso, fez o polo girar em torno do ímã, como visto da Figura 2. Esse movimento de rotação poderia ser invertido quando o sentido da corrente era alterado.

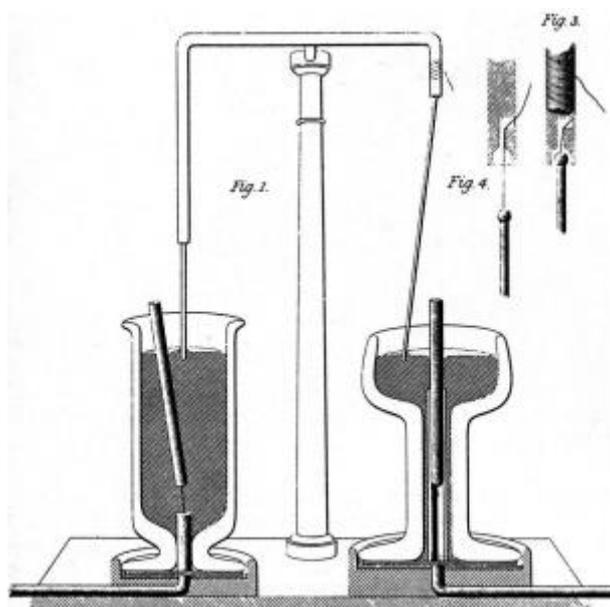


Figura 2. Experimento de Faraday para mostrar a rotação produzida
Fonte: Dias e Martins (2004).

O experimento acima foi o primeiro a converter corrente elétrica em movimento contínuo, podendo então ser considerado o primeiro motor elétrico. A produção de fenômenos magnéticos pela corrente elétrica era um fato previamente conhecido, mas ainda se questionava a possibilidade de ocorrer o contrário. Faraday buscou responder a esta pergunta, mas não obteve sucesso inicialmente (LABAS, 2016). Após as análises, Faraday finalizou seu terceiro artigo, no qual relatou suas perspectivas sobre as principais e mais significativas teorias existentes do eletromagnetismo (DIAS, 2004).

No início de 1831, Faraday desenvolveu estudos sobre rotações, mas apenas em agosto do mesmo ano, após muitos experimentos sem resultados

positivos, ele obteve sucesso em produzir a indução eletromagnética pela primeira vez (PERES; GOMES, 2021). O rumo das pesquisas foi alterado sem motivação clara, inicialmente Faraday vinha se dedicando ao estudo de figuras acústicas em sólidos e líquidos. Também há relatos sobre ter estudado o efeito fotoelétrico nesse período (DIAS, 2004). Em agosto de 1931, Faraday descreveu um anel feito de ferro doce em suas anotações, conforme o apresentado na Figura 3.



Figura 3. Anel de ferro doce usado por Faraday
Fonte: Lima (2020).

Faraday produziu um anel de ferro circular onde espiras de cobre foram enroladas em uma metade do anel onde 25 espiras foram separadas e isoladas por barbante e algodão. Elas foram produzidas por três extensões de fio que poderiam ser conectadas de forma única ou usadas de forma individual e esse lado do conjunto foi chamado de A. No outro lado chamado de B e separado do anterior foram enrolados dois pedaços de fios como no primeiro (DIAS; MARTINS, 2004).

Dois enrolamentos do lado B foram conectados formando um único, enquanto as espiras do lado A foram conectadas a uma bateria. Ao fazer isso, Faraday detectou uma corrente elétrica no lado B. Ele encontrou o efeito que procurava, porém, percebeu que só ocorria no instante que conectava ou desconectava aos terminais da bateria. Esse experimento passou a ser conhecido como “transformador de Faraday” (LABAS, 2016).

A partir disto, foram feitos outros ensaios para tentar reproduzir o fenômeno em situações diferentes até que, em outubro de 1831, Faraday utilizou

um ímã em barra e o movimentou pelo interior de uma bobina. Ele conseguiu observar uma pequena corrente elétrica cujo sentido variava de acordo com o movimento produzido quando o ímã era colocado e retirado (DIAS; MARTINS, 2004).

Faraday explicou o fenômeno usando um conceito chamado de linhas de força, mas a definição feita por ele não foi bem aceita por seus pares na época, por não ter uma base matemática e, também havia alguma dificuldade por Faraday não ter uma educação formal. Para ele, a variação das linhas de força magnética poderia induzir uma corrente elétrica, mas posteriormente, passou a ser utilizada a palavra campo para se referir as linhas de força e sua intensidade (LABAS, 2016).

Em 1845, Franz Ernst Neumann fez a primeira formulação matemática da lei de indução, baseada nas análises de Faraday, e atualmente descrita como na Equação 1 (Lei de Faraday-Neumann-Lenz):

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad (1)$$

A equação demonstra que, segundo Faraday, a força eletromotriz induzida ε (fem) é proporcional a taxa de variação temporal do fluxo do campo magnético $\Delta\phi$ (antes, linhas de força magnética). Heinrich Lenz também contribuiu com a formulação atribuindo o sinal de negativo para que seja possível analisar o sentido da corrente induzida.

2.2 A lei de Faraday no Ensino Médio

No Brasil, os conteúdos ministrados em aula são baseados nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) e a Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Esses documentos têm como objetivo nortear os objetivos a serem atingidos no ensino médio como o desenvolvimento de determinadas competências e habilidades nos alunos. No entanto, fica a cargo das escolas criarem seus planejamentos de acordo com as demandas da comunidade (ROCHA *et al.*, 2021).

O ensino de Física no ensino médio é de grande importância para a formação dos alunos não apenas no âmbito do ensino científico dentro da área de Ciências da Natureza, mas também para a construção do pensamento lógico matemático e de interpretação e resolução de problemas. De acordo com o (PCN, 2000) é necessário mostrar que o desenvolvimento das ciências é um processo histórico e que está associado as diversas transformações da sociedade e expressões humanas.

Ainda é necessário proporcionar ao aluno um caráter mais prático da Física onde essa possa ser aplicada no cotidiano. Mostrar que os conceitos podem ser utilizados no consumo de energia elétrica e de combustível, nos instrumentos de medida e nas tecnologias que nos envolvem (BRASIL, 2000).

No entanto, o ensino de Física sofre com diversas dificuldades na implementação das ideias previstas. Começando com os poucos recursos inerentes as instituições de ensino que se apresentam de forma mais evidenciada em localidades com menos investimento. Para além disso, profissionais ainda sofrem com condições ruins em suas formações e de desenvolvimento do seu trabalho (SILVA *et al.*, 2019).

Juntando-se a isso ainda há uma desmotivação e baixa receptividade por parte dos alunos em relação as aulas de Física ainda temos outros fatores que potencializam essa situação. Dificilmente há aulas de laboratório para que a experimentos possam ser desenvolvidos e a disciplina seja desenvolvida de forma prática, a carga horária vem sendo reduzida com o decorrer do tempo, os alunos são treinados para resolver questões e não para o pensamento crítico e os assuntos são abordados da forma mais tradicional possível. (MOREIRA, 2018; SILVA *et al.*, 2019).

Dessa forma é necessário buscar soluções para superar tais desafios, mas o principal ponto é encontrar meios para que mesmo com as adversidades as aulas de Física criem a motivação necessária para que o processo de aprendizado seja construído de forma efetiva (FROTA *et al.*, 2020).

O tema eletromagnetismo nos traz ainda mais desafios para buscar as motivações necessárias aos alunos uma vez que tratamos de um assunto abstrato e que por muitas vezes não é contextualizado com situações do cotidiano próximo ao aluno, sendo muitas vezes abordado a partir de usinas hidrelétricas na maioria dos livros didáticos. Além disso, é necessário que o aluno

tenha como base conceitos prévios de eletricidade e magnetismo para que haja uma boa compreensão do tema.

Na BNCC são elencadas três competências específicas e habilidades relativas a cada uma delas que devem ser desenvolvidas em conjunto com os alunos no decorrer do ensino médio. Dentre essas, a competência específica 1 destaca a análise de fenômenos naturais e processos tecnológicos com base nas interações e relações entre matéria energia. Nesta competência específica as habilidades EM13CNT106 e EM13CNT107 tem destaque para o tema desenvolvido nessa dissertação (BRASIL, 2018).

A habilidade EM13CNT106 menciona a avaliação das demandas energéticas, bem como sua produção, transformação, consumo e possíveis impactos na sociedade relativos ao tema. Dessa forma, percebemos que o tema se encaixa bem na habilidade citada já que é ponto crucial tratado se relaciona com a produção e demanda de energia elétrica que tem como peça principal o Eletromagnetismo. Já a habilidade EM13CNT107 mostra ainda mais proximidade com o tema, já que trabalha com a análise da utilização de geradores elétricos, motores elétricos, bobinas e transformadores de forma cotidiana (BRASIL, 2018).

É possível afirmar que o objetivo traçado na BNCC é de explorar os conceitos em situações mais próximas ao dia a dia do aluno, como por exemplo motor elétrico, eletroímãs e o captador de guitarra. Com isso, faz-se necessário buscar formas de inserir essas ferramentas no desenvolvimento do conteúdo em sala de aula. A fim de encontrar essas alternativas será desenvolvido no capítulo 4 um plano de aula voltado para turmas do segundo ano do ensino médio com a utilização de um kit experimental que é composto por um captador de guitarra.

2.3 A lei de Faraday na graduação

Nos cursos de graduação o tema é abordado no curso introdutório de eletromagnetismo e é possível fazer uma análise da lei de indução eletromagnética baseado nos livros didáticos mais utilizados e dentre eles estão o “Curso de física básica 3 – Eletromagnetismo” do autor H. Moysés Nussenzveig e o “Fundamentos de Física – Eletromagnetismo - Volume 3” dos autores Halliday e Resnick.

As abordagens começam contextualizando historicamente e cotidianamente o tema, trazendo para discussão, dentre os exemplos mais comuns, a aplicação em geradores elétricos, fornos de indução e na guitarra elétrica. Também são propostos dois experimentos onde é possível observar os fenômenos que serão abordados posteriormente no capítulo. Em um primeiro experimento há um movimento relativo entre ímãs e espiras, produzindo assim uma corrente induzida nas espiras que é medida nesse arranjo. Na segunda situação os ímãs são substituídos por um circuito possuindo um gerador que pode ser ligado e desligado e assim, sem movimento relativo, também é produzida uma corrente induzida na espira no momento em que a corrente está variando, já que essa produz um campo magnético nos arredores da espira, como pode ser visualizado na Figura 4. (HALLIDAY E RESNICK, 2016)

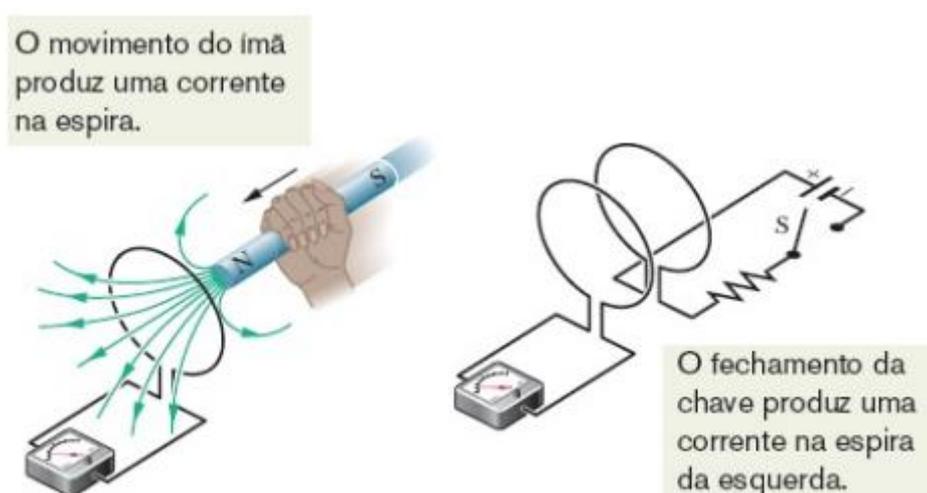


Figura 4. Experimentos da Lei da indução
Fonte: Halliday e Resnick (2016).

A partir dessa análise experimental é possível concluir que a fem induzida depende de uma variação na quantidade de linhas de campo que atravessam a espira, ou seja, o fluxo de campo magnético pelo interior da espira deve variar.

Com base nessa análise pode-se iniciar um tratamento quantitativo da lei da indução eletromagnética. A primeira definição a ser trabalhada deve ser a de fluxo de campo, que pode ser também tratada a partir de uma analogia com a equação do fluxo do campo elétrico. (HALLIDAY E RESNICK, 2016)

O fluxo do campo magnético \mathbf{B} através da espira com área de contorno S , onde está ilustrado na Figura 5.

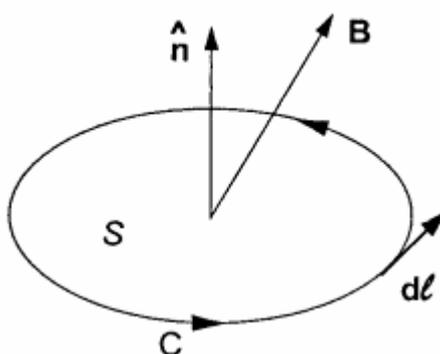


Figura 5. Ilustração do fluxo do campo magnético através da espira
Fonte: Nussenzveig (1997).

Dessa forma, o fluxo do campo magnético pode ser escrito de acordo com a equação 2:

$$\phi_B = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} \quad (2)$$

A partir da definição de fluxo podemos definir a lei de indução de forma mais rigorosa, da seguinte forma: O módulo da força eletromotriz induzida em uma espira condutora é igual à taxa de variação, com o tempo, do fluxo magnético ϕ_B que atravessa a espira. (HALLIDAY E RESNICK, 2016)

Podemos dessa forma escrever a lei de indução a partir da equação 3:

$$\varepsilon = - \frac{d\phi_B}{dt} \quad (3)$$

Também é necessário ficamos atentos ao sinal de menos que se encontra na equação 3, já que a sua interpretação é devido ao que chamado de Lei de Lenz. Ela aparece de forma complementar a da indução eletromagnética e dessa forma também podemos denominá-la como Lei de Faraday-Lenz.

Na Lei de Lenz podemos perceber que a corrente elétrica induzida na espira aparece de forma a se opor a variação do fluxo do campo magnético que a atravessa, por isso o sinal de negativo é necessário. Quando, por exemplo, aproximamos um polo norte de ímã permanente de uma espira, a corrente induzida é gerada criando o que podemos interpretar como um dipolo na espira sendo que a face voltada para o ímã terá um polo oposto ao que a gera. Nesse caso, como há a aproximação de um polo norte, a espira gera na face voltada para o ímã também um polo norte e dessa forma acaba freando a aproximação. Podemos também associar essa análise a conservação da energia, já que nesse movimento de frenagem do ímã há uma redução da sua energia cinética, uma vez que essa energia foi transferida para o sistema da espira, fornecendo assim energia para que haja a corrente elétrica. (NUSSENZVEIG, 1997)

Capítulo 3

A física do captador

3.1 Uma breve história da guitarra

A concepção de música sofreu muitas alterações ao longo do tempo, com o aprofundamento técnico-teórico, surgiram diferentes formas de produzir sons. A guitarra é um instrumento relativamente novo quando comparada a outros como violino e piano, criados há com alguns séculos de antecedência. Sua invenção data da década de 1930, com o crescimento da dança de salão e indústria fonográfica na América do Norte, e teve o intuito de produzir um instrumento adaptado do violão que pudesse ser utilizado em ambientes que demandassem maior intensidade sonora (CASTRO, 2007).

Um dos elementos essenciais que compõe a guitarra é o captador elétrico. Ele foi inventado em 1931 por George Beauchamp e Adolph Rickenbacker e continua a ser utilizado atualmente. Sua primeira aplicação foi em uma guitarra *Lap-Steel*, conhecida como *Frying-pan*, tocada na horizontal e comumente utilizada em música havaiana. Seu nome deriva da semelhança com uma frigideira, como pode ser visualizado na Figura 6 (ELIAS, 2019).



Figura 6. Guitarra Lap-Steel
Fonte: Castro (2007).

Nos anos seguintes a guitarra elétrica sofreu alterações com o objetivo de eliminar distorções no som. Para isso o guitarrista e inventor Les Paul produziu um corpo sólido, eliminando a caixa de ressonância e originando a *Broadcaster* (Figura 7), uma das guitarras mais conhecidas e comercializadas no mundo, posteriormente nomeada *Stratocaster* (CARAVEO, 2016).



Figura 7. Modelo Les Paul
Fonte: Lago, 2015

Na década de 1940, Paul Bigsby e Leo Fender desenvolveram a guitarra de corpo sólido, dando origem a um instrumento com a capacidade de produzir som de grande intensidade. Esta guitarra foi muito difundida com o crescimento do gênero musical *Rock'n Roll*. Desde então, as guitarras Fender de Paul Bigsby e Leo Fender e a concorrente Gibson de seus concorrentes representada pela figura de seu *endorser* Les Paul ganharam espaço no mercado e são muito utilizadas até nos dias atuais, onde ganharam outras ferramentas como a chave seletora e a ponte (CASTRO, 2007).

3.2 Funcionamento do captador magnético

Os captadores são conhecidos como “o coração” da guitarra, tal analogia decorre do fato de ele ser essencial para que a guitarra produza seu som. São produzidos a partir de um fio de cobre esmaltado enrolado na forma de bobina [2] ao redor de ímãs (magnetos) [1], conforme exemplo da Figura 8. Esse enrolamento é constituído por centenas (até milhares) de voltas. Envolto em uma capa [3], o captador é colocado abaixo das cordas para captar suas vibrações (CASTRO, 2007).

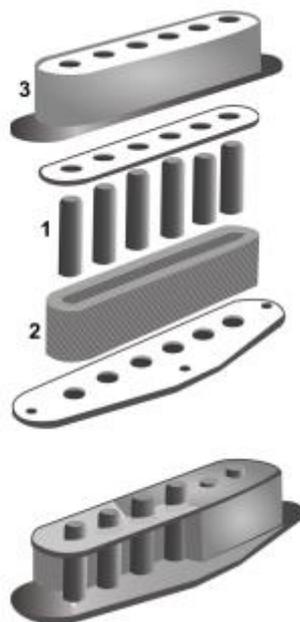


Figura 8. Captador magnético *single coil*
Fonte: Zaczek *et al.* (2018)

As cordas da guitarra são posicionadas acima de cada magneto [1], elas são compostas por material ferromagnético (níquel ou aço), sendo assim, na presença do campo magnético dos ímãs permanentes, passam a ser imantadas e a se comportar como ímãs. Ao vibrarem causam variação no fluxo magnético, que atravessa a bobina produzindo uma força eletromotriz. A corrente induzida passa a circular, conforme demonstrado na Figura 9. Por isso, a utilização de

cordas de *nylon* como em violões acústicos é inviável, uma vez que esse material não pode ser imantado (WERNECK, 2007).

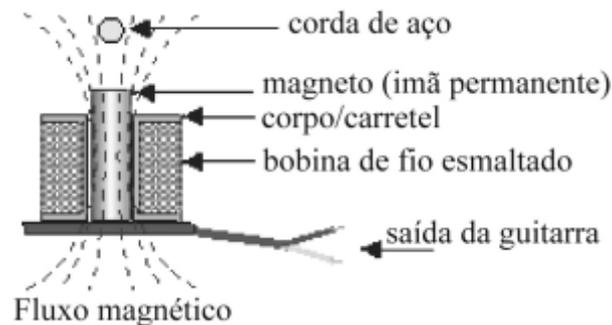


Figura 9. Esquema do captador magnético
Fonte: Castro (2007)

O funcionamento dos microfones também é baseado na Lei de Faraday para captar o som, mas de forma diferente dos captadores. Ele possui uma película que faz a captação das diferenças de pressão por consequência da vibração do ar (semelhante ao tímpano) e transforma essa vibração em corrente por indução eletromagnética enquanto nas guitarras, a captação é pela vibração das cordas e não do som gerado no ar (CASTRO, 2007).

Os captadores são ligados a potenciômetros que controlam o volume e o tom da guitarra. A seleção dos captadores ligados é feita por uma chave, esse “sinal” é transmitido para a saída da guitarra que é conectada a um equipamento externo, como uma mesa de som ou uma caixa amplificadora, onde o som é finalmente produzido (LAGO, 2015).

3.3 Tipos de captadores elétricos

Os captadores se diferenciam entre si segundo o material e modo de construção. A Figura 10, a seguir, apresenta uma lista de captadores elétricos com seus respectivos inventores e ano em que surgiram.

Captador	Inventor	Ano
Captador Ferradura	George Beauchamp e Paul Barth	1931
Pickup Bar	Walter Fuller	1935
Master Pickup	Herb Sunshine	1937
P-90	Seth Lover	1946
Model 200 (Gretsch DynaSonic)	Harry DeArmond	1949
Broadcaster	Leo Fender	1949
Rhythm Chief	Harry DeArmond	1954
Humbucker PAF	Seth Lover e Walter fuller	1955
Jazz Master	Leo Fender	1958
Wide Range Humbucker	Seth Lover	1970
Humbucker Super Distortion	Larry DiMarzio	1972
Captador ativo EMG	Rob Turner	1974
Seymour Duncan Humbucker	Seymour Duncan	1978
Magnetic Field Design (MDF)	Leo Fender	1979
Humbuckers Standard Treble	Paul Red Smith	1985
Single Coils Lace Sensor	Fender	1985
Sistema Híbrido captador magnético/piezo	Lerry Fishman e Ken Parker	1993
Single Coil Noisless	Chris Kinman	1995
Transensor	Jeff Lace	1996
Single-coil Split-Brade	Lindy Fralin	2009
Fluence Core	Fishman	2014

Figura 10. Principais captadores inventados na história.
Fonte: Silva (2016)

Dentre os tipos existentes, Silva (2016) menciona o *single coil* (bobina única), *humbucker* (duas bobinas), *mini humbucker* (as bobinas são passivas e de dimensões compactas), *stacks* (que possui duas bobinas sobrepostas, sendo uma ativa e outra passiva), *dual coil* (possui duas bobinas e produz maior uniformidade do campo magnético por toda sua extensão), *tri-bucker* (associação entre três bobinas, um *humbucker* e um *single-coil*) e sistema *quad-rail* (quatro bobinas alinhadas em pares). Cada captador produz um tipo de som diferente, então sua aplicabilidade pode variar de acordo com o estilo musical. Neste trabalho, será dada ênfase aos captadores do tipo *humbucker* e *single-coil*, que são os mais utilizados.

O captador *single-coil* ficou conhecido pelo seu uso na guitarra *Fender Stratocaster*. Pode ser constituído por um ímã em barra ou por seis ímãs (um para cada corda). Produz um som limpo e intenso, sendo amplamente utilizado em diversos estilos devido a sua versatilidade. No entanto, para os que requerem maior distorção de som, como o *Heavy Metal*, ele não é tão útil (LAGO, 2015; ZACZESK *et al.*, 2018).

Ao contrário do *single-coil*, o *humbucker* produz um som mais “cheio” e “pesado”. Este captador é utilizado principalmente no *Jazz* e no *Heavy Metal*. Ele é formado por dois *singles coils*, que podem ser colocados lado ao lado ou sobrepostos (coaxial), com polaridades opostas. Isto faz com que o ruído de fundo produzido por um deles seja anulado pelo outro. Este modelo foi produzido pela Gibson e ganhou notoriedade pelo mundo (LAGO, 2015; ZACZESK *et al.*, 2018).

Capítulo 4

Proposta de uma aula de ensino médio

4.1 Montagem do projeto experimental

O objetivo do projeto é tornar a aula mais eficiente e interessante, despertando o interesse e curiosidade dos alunos por meio da contextualização da matéria com o cotidiano com um kit experimental financeiramente acessível e fácil de manipular. Como a música é um tema de grande interesse e a guitarra é um instrumento presente em diferentes estilos musicais, surgiu a ideia de abordar o conceito de indução eletrodinâmica a partir de um kit com captador de guitarra *single coil* (Figura 11).



Figura 11. Captador de guitarra *single coil*
Fonte: arquivo pessoal (2023).

O captador produz a indução a partir de outros elementos que compõem o experimento. O material necessário para construção do projeto pode ser encontrado em lojas de eletrônica, de material de construção e papelaria ou comprados pela internet. O orçamento estimado para cada item é detalhado na Tabela 1, a seguir.

Tabela 1 – Estimativa de orçamento

Item	Orçamento
Captador <i>single coil</i>	R\$40 a R\$120 (novo)
Placas MDF 3mm (1 de 15x20cm, 2 de 15x6cm, 2 de 19,4x6cm)	R\$ 10 a 20
Bornes (preto e vermelho) para conexão com pino banana	R\$2 a R\$4 (cada)
Pontas de prova	R\$15 a R\$25
Abraçadeira	R\$6 a R\$10
Cano PVC (7cm)	R\$20 a R\$40
Motor DC 12V máx. 12.400 RPM	R\$30 e R\$60
Palitos de sorvete	R\$4 a R\$8 (pacote)
Massa epóxi	R\$5 a R\$7
Imãs de neodímio	R\$4 a R\$7
Minimódulo controlador de velocidade DC PWM 5V-35V e 5A	R\$20 a R\$40
Fonte para notebook 12V-24V 4,5A	R\$30 a R\$50
Total	R\$216 a 471

Fonte: autor (2023).

Alguns dos itens listados não tiveram custo para o autor, como o captador que foi retirado de uma guitarra antiga sem uso, pedaço de cano usado e a fonte de notebook. O suporte do kit, em formato de paralelepípedo, foi feito de placas MDF com 3 mm de espessura. Foram utilizadas: 1 placa de 15 cm x 20 cm na face superior, 2 placas 15 cm x 6 cm e 2 de 19,6 cm x 6 cm para as laterais, que foram fixadas com supercola (Figura 12).



Figura 12. Vistas superior e lateral das faces laterais
 Fonte: arquivo pessoal (2023).

O captador foi fixado no centro da face superior com porcas e parafusos para dar maior estabilidade (Figura 13).

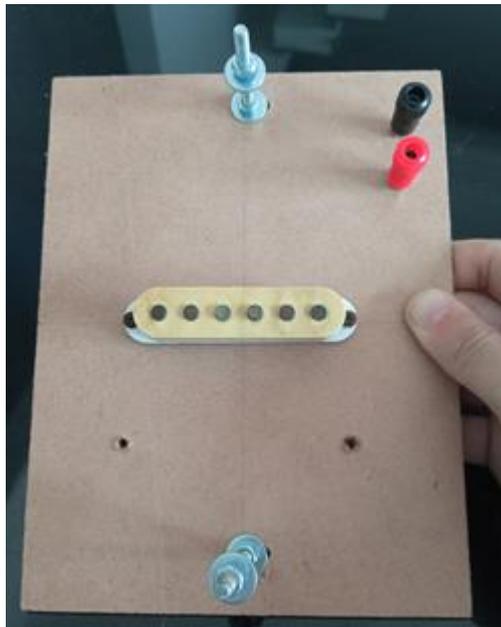


Figura 13. Fixação do captador na face superior
Fonte: arquivo pessoal (2023).

Os bornes também podem ser fixados na face superior em uma posição de fácil acesso e para conectá-los a saída do capacitor podem ser usados pedaços de fios. No caso deste kit não foi necessário o uso, uma vez que os do captador tinham comprimento suficiente para chegar aos bornes e serem soldados aos seus contatos (Figura 14).

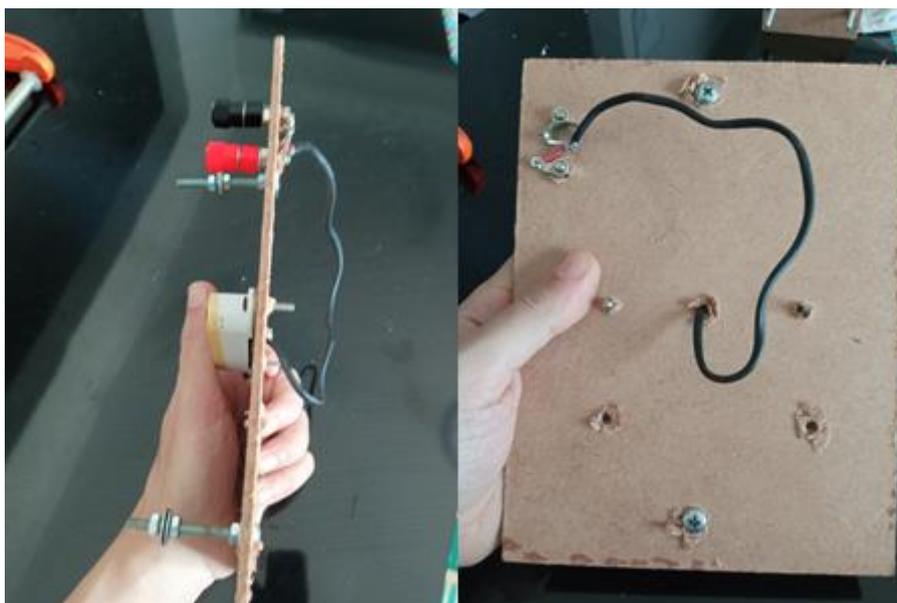


Figura 14. Conexão do captador com os bornes
Fonte: arquivo pessoal (2023).

A finalidade desta parte do kit é possibilitar o uso de um multímetro para a leitura da fem induzida no captador. O multímetro pode ser conectado ao kit por meio de pontas de prova com pino banana, é possível adquiri-las em lojas, construí-las soldando o pino banana aos fios ou utilizar os do próprio multímetro, pois alguns bornes possuem furo para encaixe (Figura 15).



Figura 15. Pontas de prova com pino banana
Fonte: arquivo pessoal (2023).

O suporte do motor foi feito com cano PVC (*Polyvinyl chloride*) com 7 cm de comprimento, de forma que o motor fosse colocado a uma altura grande e suficiente para não afetar o movimento de rotação. Para fixar o motor no suporte, foram feitos cortes no cano para passagem de uma abraçadeira de metal (Figura 16).



Figura 16. Vista lateral do suporte do motor
Fonte: arquivo pessoal (2023).

O motor escolhido foi um DC 12V com frequência máxima de 12.400 RPM, mas pode ser utilizado abaixo disto, pois não há necessidade de utilizá-lo até seu limite nesta proposta de trabalho. No eixo do motor, foram colocados dois palitos de sorvete fixados com massa epóxi formando quatro hélices. Nas extremidades de um dos palitos, foram colados dois ímãs de neodímio com 10 mm de diâmetro e 4 mm de espessura. Também foi usada fita isolante para garantir que não fossem lançados quando em alta rotação, caso não estivessem bem fixados (Figura 17). O suporte e hélices podem ser feitos em uma impressora 3D, caso o professor tenha acesso a uma. No entanto, essa opção ainda não condiz com a realidade da maioria das escolas Brasileiras.

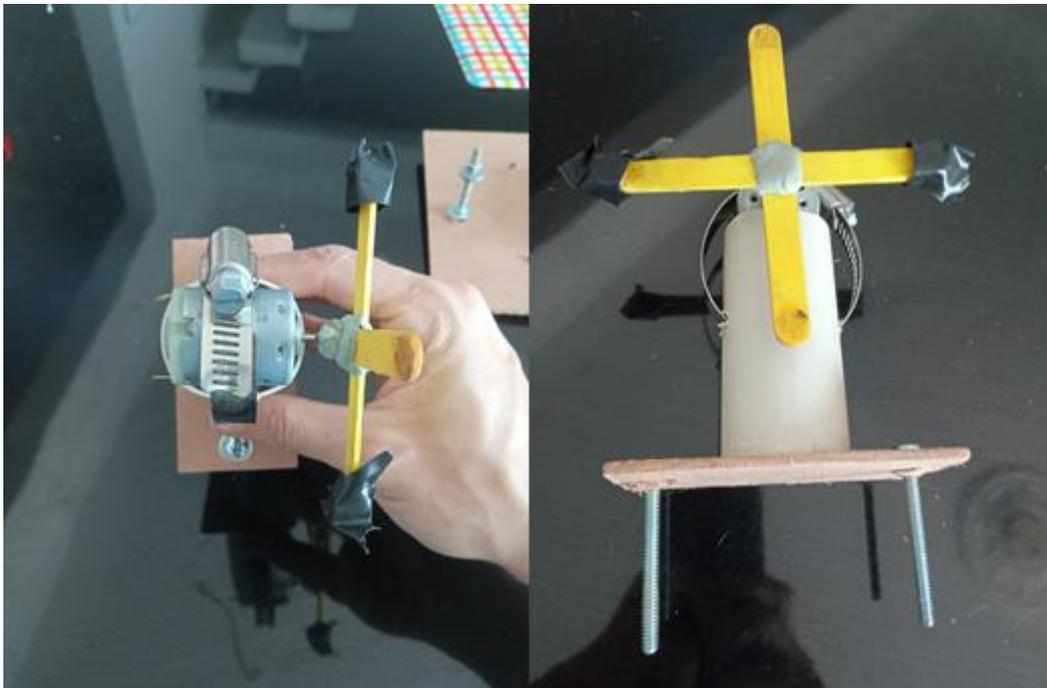


Figura 17. Eixo de rotação com palitos e ímãs (vistas superior e frontal)
Fonte: arquivo pessoal (2023).

Há outras possibilidades de configuração dos ímãs e até mesmo para quantidade de hélices. Foi feito um teste prévio com quatro ímãs, mas como o objetivo era buscar maior variação de fluxo de campo magnético, o uso de dois pares de ímãs se mostrou mais satisfatório.

As linhas de campo magnético geradas por ímãs isolados são análogas as linhas geradas por cada par de ímãs, uma vez que com a configuração produzida podemos considerar o par como um ímã único e pode ser representada como na Figura 18.

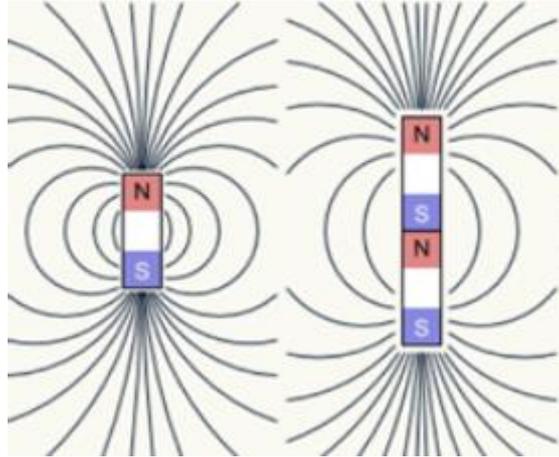


Figura 18. Linhas de campo de um ímã isolado e de um par de ímãs
Fonte: Silva et al. (2014).

O suporte do motor deve ser fixado próximo ao captador, de forma que as hélices com ímãs passem acima dele (Figura 19). A fixação pode ser feita com supercola diretamente no kit ou feita em uma placa menor de MDF, que será colocada no kit no decorrer da aula.

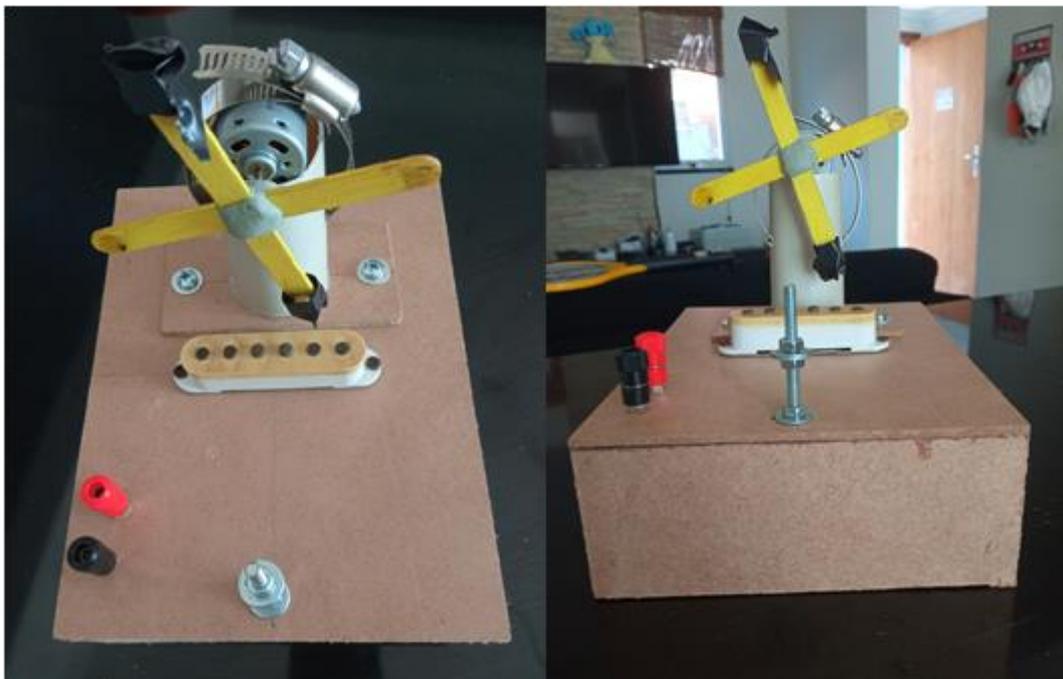


Figura 19. Montagem do kit (vistas superior e frontal)
Fonte: arquivo pessoal (2023).

A alimentação do kit é feita com uma fonte genérica de notebook com chave seletora de tensão de saída (12V-24V) e corrente contínua máxima de

4,5A. A ponta do cabo foi removida para fazer a conexão com os contatos do controlador, como pode ser visto na Figura 20.



Figura 20. Montagem do kit (vistas superior e frontal)
Fonte: arquivo pessoal (2023).

Por fim, o controle de rotação foi feito com um minimódulo controlador de velocidade DC PWM com tensão de funcionamento na faixa de 5V a 35V e corrente máxima de 5A, assim é possível relacionar de forma qualitativa a frequência de rotação com a fem induzida.

Toda a montagem foi apresentada em vídeos que foram subidos o site *youtube* para demonstrar a utilização do kit. Os vídeos podem ser encontrados no canal “@dissertacaodanielavila” ou nos endereços a seguir com a seguinte divisão:

Vídeo 1: Demonstração de itens do kit

https://www.youtube.com/watch?v=eo3S07es8hE&ab_channel=DanielAvila

Vídeo 2: Conexões do captador de guitarra e motor

https://www.youtube.com/watch?v=-lK8xUHAtJU&ab_channel=DanielAvila

Vídeo 3: Conectando o motor e medindo a fem induzida

https://www.youtube.com/watch?v=j_3lG1wxSFs&ab_channel=DanielAvila

Vídeo 4: Medindo a corrente de entrada no motor

4.2 Calibração

Após a montagem do kit, foram feitos testes para calibração. Para medição da fem induzida (V_{rms}) decorrente da indução magnética necessita-se medir a taxa de variação do fluxo do campo magnético na região do captador. Para isso, foram feitos testes para calibração para saber qual a frequência de rotação para uma dada corrente de alimentação do motor.

Para relacionar a força eletromotriz induzida com a taxa de variação do fluxo do campo magnético, é necessário medir a frequência de rotação do motor. Essa medição pode ser realizada observando a saída da fem induzida no captador diretamente em um osciloscópio, a partir do qual é possível determinar a sua amplitude e a frequência. No entanto, o osciloscópio é um instrumento de medição de alto custo, tornando-o pouco acessível para a maioria das escolas brasileiras. Além disso, a operação deste instrumento poderia representar um nível de dificuldade adicional para os alunos, além de muitos professores não estarem familiarizados com sua utilização. Esta barreira por si só já seria um desencorajador para o docente ao considerar a proposta experimental deste trabalho.

Desta forma, contornamos essa dificuldade utilizando a ferramenta Arduino, que além de ser barata, está cada dia mais presente no ensino de física e áreas afins. A frequência de rotação pode ser obtida em função da medida da corrente de alimentação do motor. Essa “calibração” consiste em posicionar um sensor de luz, por exemplo, um sensor de luz do tipo LDR na parte traseira do motor, enquanto este é iluminado por uma fonte de luz. Quando a hélice se alinhar ao sensor, uma sombra é projetada, fazendo com que a leitura da saída seja alterada. Com o uso dessa montagem é possível inferir o período da passagem das hélices e assim obter a frequência de rotação do motor concomitante a medida da fem induzida no multímetro. Com o uso dessa montagem é possível capturar valores de período das passagens das hélices e assim concluir as frequências de rotação do motor.

Para medição dos valores da corrente de entrada no motor foi montado um circuito utilizando um multímetro na função de amperímetro (A) e o motor (M) como o observado no esquema da Figura 21.

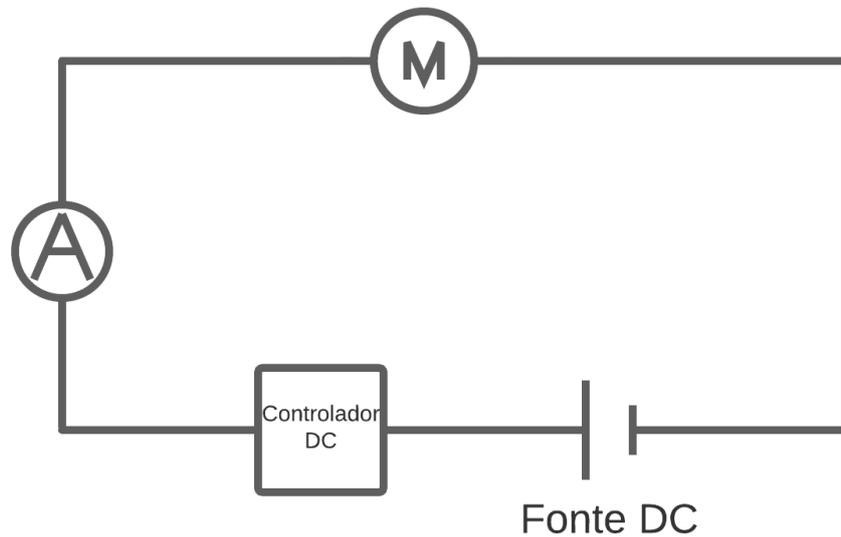


Figura 21. Esquema de montagem para medição da corrente do motor
Fonte: arquivo pessoal (2023).

Também foi montado um esquema para medição da fem induzida no captador da guitarra usando um multímetro na função de volímetro (V) que pode ser observada no esquema da Figura 22.

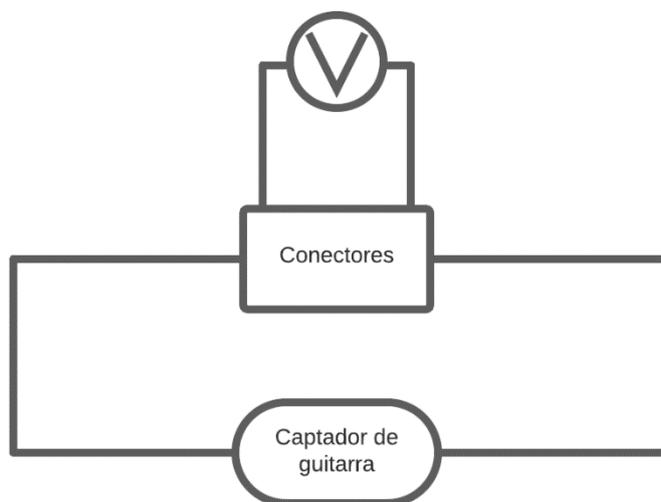


Figura 22. Esquema de montagem para medição da fem induzida no captador
Fonte: arquivo pessoal (2023).

As medições foram mais bem sucedidas em ambiente fechado e escuro usando a lanterna de um celular como iluminação e um fotoresistor cuja saída é lida pela porta analógica de um Arduino (Figura 23).

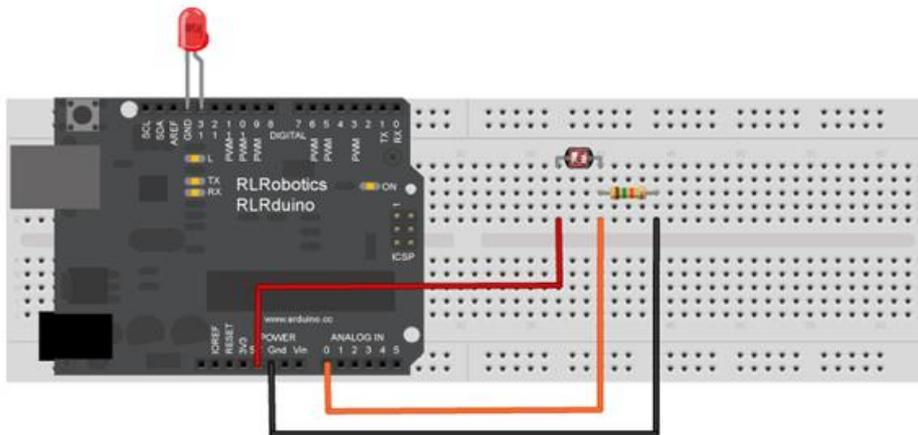


Figura 23. Esquema de montagem no Arduino
Fonte: arquivo pessoal (2023).

Na Figura 24, temos dois exemplos da aquisição da leitura da saída do LDR via Arduino, para as correntes de alimentação do motor de 110 e 630 mA. O período é obtido pela diferença do número de leituras para um hélice voltar a fazer sombra (5 sombras) multiplicada diferença de tempo entre leituras obtida pela função millis (...) do Arduino. O tempo obtido foi de aproximadamente 3ms. Como o escopo deste trabalho não é o de obter com precisão a frequência de rotação do motor assumimos que o período é dado por $T_n = n \text{ leituras} \times 3ms$.

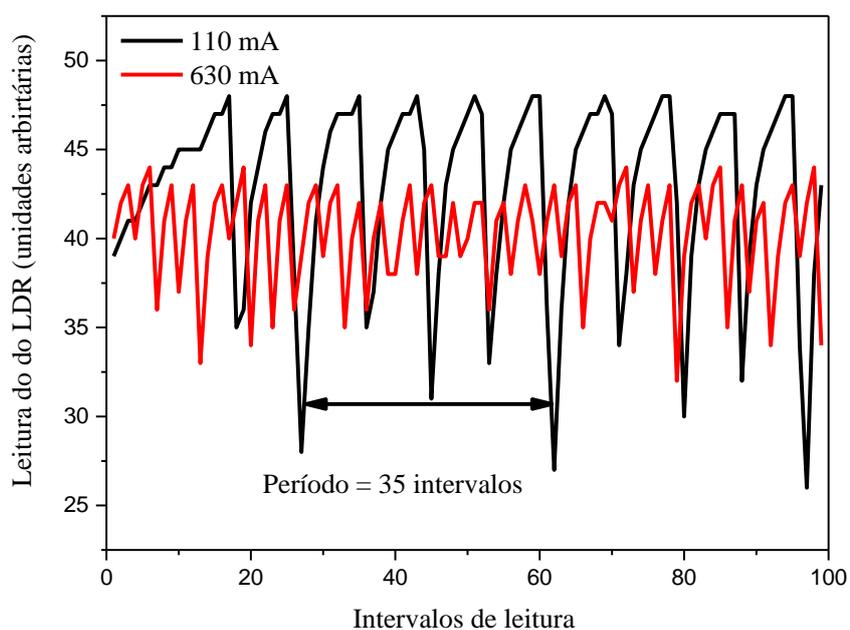


Figura 24. Aquisição dos valores do LDR utilizando Arduino.
 Fonte: arquivo pessoal (2023).

Foram aferidos os valores de corrente, frequência de rotação do motor e fem induzida no captador. Os dados coletados podem ser visualizados na Tabela 2, a seguir.

Tabela 2 – Valores encontrados na calibração Corrente vs. Frequência.

Corrente (mA)	Frequência (Hz)	fem (mV)
110 ± 1%	9,5	654 ± 5%
170	12,8	920
220	15,1	1105
290	17,1	1252
360	19,0	1371
430	20,8	1466
510	22,2	1565
570	23,8	1650
630	25,6	1719

Desta forma pode-se finalmente obter experimentalmente a relação da lei de Faraday entre fem induzida e variação do fluxo do campo magnético. Essa relação está ilustrada na Figura 25.

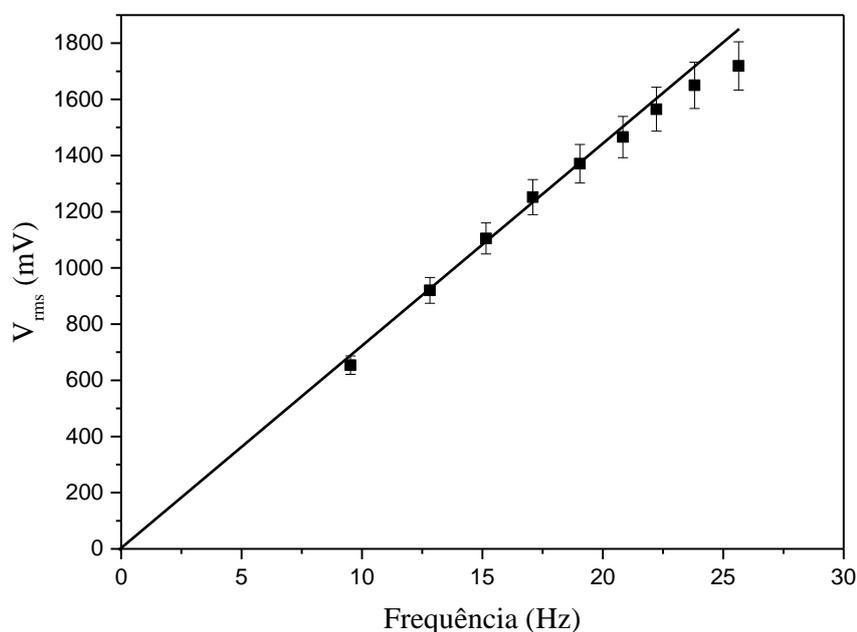


Figura 25. fem induzida vs frequência de rotação.
Fonte: autor (2023).

Interessante notar que assim como no caso ideal (por exemplo: um campo magnético que varia de forma harmônica ou de uma espira que gira em torno de um eixo em uma região de campo uniforme) a fem induzida no nosso experimento é diretamente proporcional a frequência de variação do campo magnético até aproximadamente 20 Hz.

Uma explicação de porque a variação deixa de ser linear acima de 20 Hz não faz parte do escopo deste trabalho, mas pode estar em diversas razões, principalmente em:

- Limitação do método de calibração utilizando Arduino.
- Limitação do multímetro em medir V_{rms} de um sinal que não é perfeitamente senoidal.

Outro ponto que deve ser levado em consideração é que a frequência medida no motor não corresponde a medida a partir da Lei de indução eletromagnética, uma vez que há dois ímãs colocados diametralmente opostos, no entanto elas

são diretamente proporcionais, o que nos permite fazer a análise qualitativa sem problemas.

Também foram tomados dados de corrente de entrada no motor e fem induzida no captador de uma configuração alternativa (Tabela 3), onde as hélices do motor são colocadas paralelas a superfície do captador de guitarra, ou seja, foram colocadas na horizontal dessa vez.

Tabela 3 – Valores encontrados na medição Corrente e fem.

Corrente (<i>mA</i>)	fem (<i>mV</i>)
$100 \pm 1\%$	$355 \pm 5\%$
120	422
150	495
180	549
210	565
230	585
260	615
290	634
340	670

4.3 Plano de aula e aplicação didática

O plano de aula foi planejado visando o desenvolvimento de conteúdo sobre eletromagnetismo para uma turma de 2º ano de ensino médio de uma escola estadual, na cidade do Rio de Janeiro. Cabe destacar, que ele é apenas uma base e pode ser adaptado a diferentes realidades de salas de aula. A metodologia e objetivos do plano são indicados para facilitar o entendimento e permitir seu aperfeiçoamento futuro.

Estima-se que o plano seja implementado em seis tempos de aula (50 minutos, cada). Para isto, serão utilizadas três aulas de 2 tempos, cada uma

correspondendo às etapas de introdução, desenvolvimento e conclusão (Quadro 1).

Quadro 1. Síntese do plano de aula

Fase	Aula 1	Aula 2	Aula 3
	Introdução	Desenvolvimento	Conclusão
Duração	2 tempos (1:40h)	2 tempos (1:40h)	2 tempos (1:40h)
Conteúdo	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentação das 3 partes do projeto; • Análise de conhecimentos prévios; • Conceitos físicos que serão utilizados (Experimento de Ørsted, fluxo e variação de campo magnético) 	<ul style="list-style-type: none"> • Relembrar conceitos da aula anterior; • Exploração do kit junto aos alunos. • Apresentar a Lei de Faraday 	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação do conhecimento adquirido; • Relembrar a lei de Faraday e as correlações identificadas no kit; • Apresentação da Lei de Lenz.

Fonte: autor (2023).

Na primeira aula (introdução), é preciso deixar claro aos alunos que o conteúdo será desenvolvido em três partes e que cada uma delas é importante para sucesso do projeto. Inicialmente, será passado um questionário que aborde conceitos básicos de eletromagnetismo, que podem estar presentes no cotidiano dos alunos. O intuito é avaliar o conhecimento prévio de cada um, logo, não deve ser utilizado para conceito dos alunos, visto que poderia estimular os alunos a estudarem com antecedência e gerar resultados fora do esperado.

É preciso motivar o entendimento dos conceitos por meio de exemplos do cotidiano, como usinas hidrelétricas, motores elétricos, eletroímãs e o captador de guitarra deixando clara a importância da aula para então prosseguir com a introdução do conteúdo, que deverá ser feita após a aplicação do questionário e abordar os conceitos físicos necessários para desenvolver o experimento. No entanto, a lei de indução eletromagnética (lei de Faraday-Lenz) não será tratada de forma direta, pois ela será apresentada apenas na segunda aula.

O experimento de Ørsted pode ser o primeiro tópico a ser abordado, para explicar a relação entre corrente elétrica em um fio retilíneo e campo magnético gerado, ou seja, mostrar que há correlação com temas que foram abordados em aulas anteriores.

A aula prossegue com a ideia do campo magnético gerado através do fio sendo levado para uma espira circular para mostrar que dependendo do sentido de rotação da corrente, podem ser observados “polos” diferentes nas faces da espira. Esse ponto será de muita importância quando for abordada a Lei de Lenz.

Por fim, é desenvolvido o conceito de fluxo. A analogia com o fluxo de chuva que atravessa a abertura de um balde pode ser utilizada para facilitar a compreensão. Essa ideia permite explorar as variações de fluxo, por exemplo, colocando um funil com maior área para captar mais chuva (aumentar o fluxo). A aula encerra com a ideia de que é possível variar o fluxo.

Importante destacar que não há uma rigidez no processo, logo, outros conceitos, exercícios e sequências podem ser explorados. No entanto, é importante que eles cumpram com sucesso os requisitos básicos para seguir com a ideia que será desenvolvida na segunda aula.

Na segunda aula (desenvolvimento) é interessante lembrar os conceitos de fluxo e variações, pois além de reforçar a fixação de conteúdo, são importantes para a exploração do kit no decorrer dela. A fim de despertar a curiosidade e engajamento dos alunos sobre o processo, a guitarra pode estar presente para maior contextualização. Caso o professor não tenha como levar uma guitarra, pode solicitar a algum aluno que leve.

A partir disso, pode ser explicado ao aluno o que é o captador de guitarra e como ele é constituído, sem entrar no conceito envolvido. Por meio de imagens ou desenhos, deve-se deixar explícito que o captador possui espiras no seu interior, uma vez que eles não terão acesso a parte interna, pois ela não se encontra exposta.

Com a apresentação da estrutura do captador, inicia-se a exploração do kit com os alunos. Caso haja apenas um kit, é importante que o professor manipule seguindo sugestões dos alunos, podendo ou não induzir algumas proposições que gerem a reflexão por parte deles. O ideal é que haja alguns kits para serem explorados pelos alunos em grupo, produzindo debates entre eles.

Durante o processo, um voltímetro deve estar ligado nos bornes para que ele possa medir fem induzida gerada pelo captador.

Após o experimento, eles possivelmente terão feito algumas proposições qualitativas associando a variação do fluxo do campo com a força eletromotriz induzida. Os alunos devem perceber as relações diretas entre o movimento das pás do kit, a variação do fluxo e a força eletromotriz induzida. Também é importante perceber que há uma correlação entre a variação e o tempo.

As preposições podem ser feitas da seguinte forma (Figura 26):

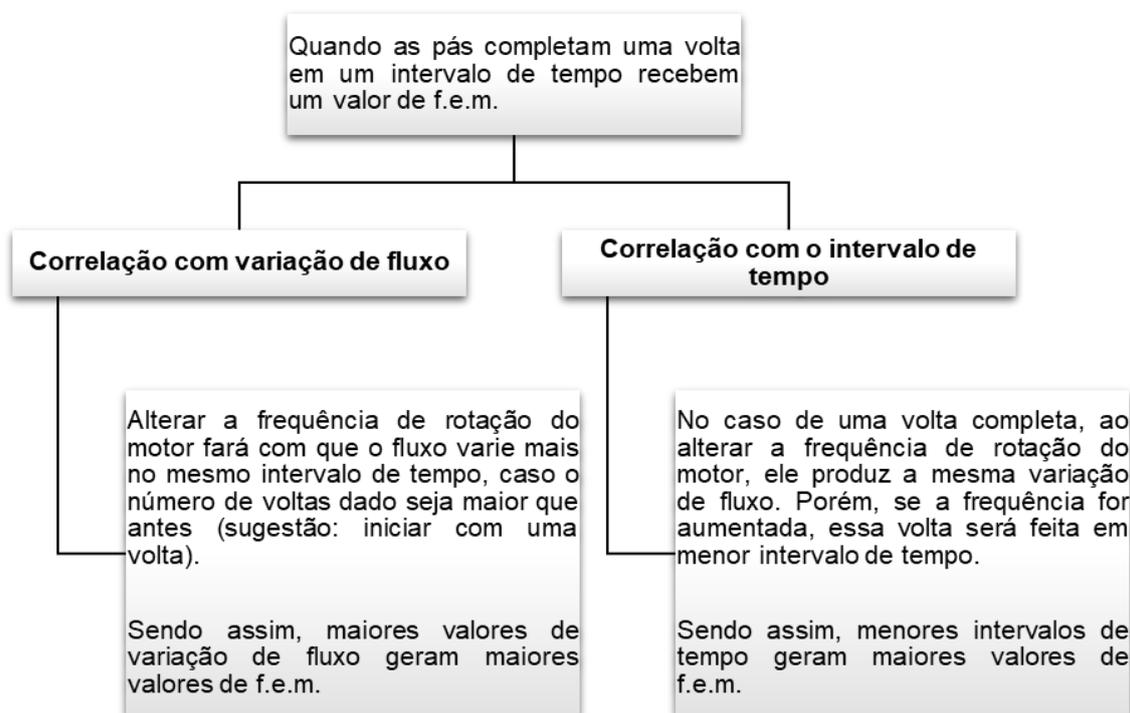


Figura 26. Fluxograma de pensamento indutivo
Fonte: autor (2023).

A segunda aula deve ser encerrada com a exploração dos conceitos e conclusão da Lei de Faraday de forma qualitativa enquanto a terceira aula é destinada a conclusão do projeto e deve ser iniciada com a aplicação de um novo questionário para apurar os conhecimentos absorvidos e avaliar a efetividade do método aplicado, assim como o primeiro questionário, não deve valer pontos. Após o recebimento das respostas, é recomendado lembrar as relações exploradas na prática com o kit, a lei de Faraday e apresentar a Lei de Lenz, encerrando o assunto de eletromagnetismo. No apêndice B (material do aluno) foi produzido um roteiro que pode ser usado pelos alunos com o auxílio

do professor e dessa forma conduzi-los ao longo das aulas e de todo o processo de utilização do kit até a conclusão com a lei da indução eletromagnética.

4.4 Análise das respostas

A aplicação do produto ocorreu em uma turma com 11 alunos do 2º ano do ensino médio de uma escola privada, na zona norte da cidade do Rio de Janeiro (RJ). Por limitações da carga horária e planejamento o plano de aula foi repensado para aplicação em quatro tempos de aula no contraturno adaptando o a leitura do material do aluno para esse período. Mesmo diante do tempo reduzido, por ter ocorrido sem interrupções o tempo se mostrou suficiente para o desenvolvimento da prática e a aula transcorreu conforme esperado.

O questionário utilizado em aula foi constituído por cinco perguntas discursivas, cada qual elaborada com um objetivo específico, conforme pode ser visto no Quadro 2:

Quadro 2 – Elaboração do questionário

Pergunta	Objetivo
1 – “O que é eletricidade?”	Identificar conhecimentos prévios sobre eletrostática e, principalmente, eletrodinâmica. Também pode ser feita a análise da compreensão de corrente elétrica.
2 – “O que é magnetismo?”	Identificar conhecimentos prévios sobre magnetismo e se há distinção entre o tema e a eletricidade, uma vez que é comum confundir os dois conceitos.
3 – “Eletricidade e magnetismo têm alguma ligação entre si?”	Identificar conhecimentos sobre eletromagnetismo e possíveis confusões nos conceitos
4 – “Quais as formas de gerar corrente elétrica?”	Entender se os alunos compreendem a lei de indução eletromagnética e as formas de produzir a corrente elétrica no kit.
5 – “Há analogia entre o captador da guitarra e uma usina hidrelétrica? Quais? Por quê?”	Analisar se as contextualizações são de fácil associação com o cotidiano e se há correlação entre os exemplos.

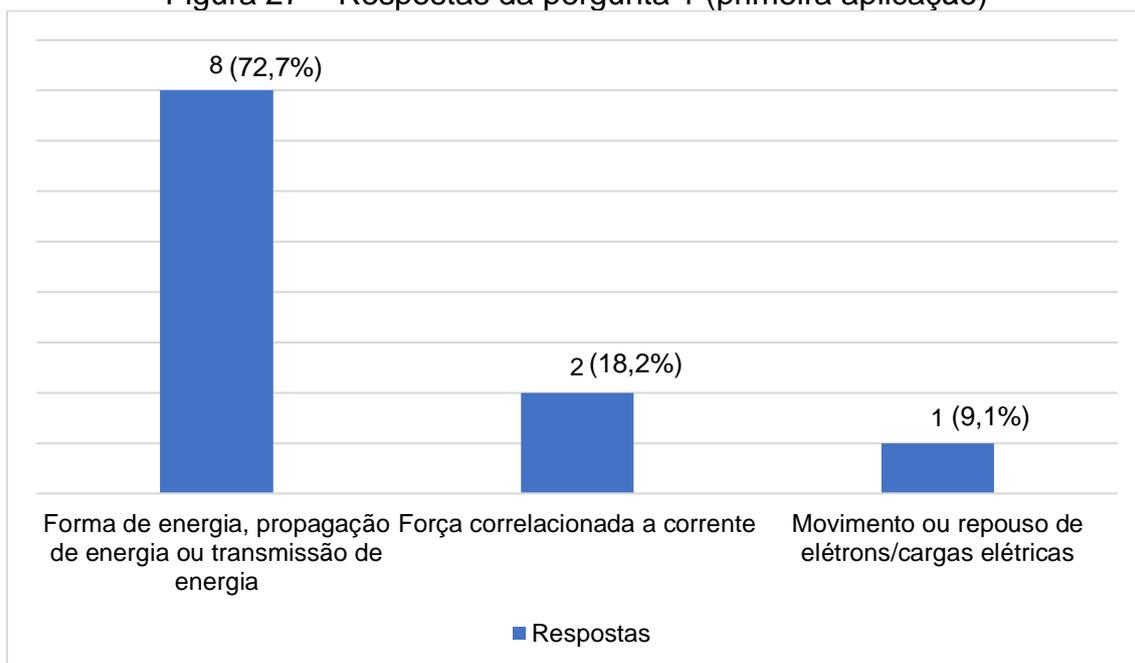
Fonte: Autor (2023).

As perguntas feitas foram pensadas de forma a contemplar os conceitos importantes necessários para o desenvolvimento da aula. Conforme abordado

previamente, o intuito do questionário é analisar os conhecimentos prévios dos alunos e, após sua reaplicação no fim das aulas, comparar as respostas dadas inicialmente para analisar a eficiência da retenção de informações e as possíveis alterações de respostas.

Para a pergunta “1 – O que é a eletricidade?”, na aplicação inicial do questionário foram coletadas as seguintes respostas (Figura 27):

Figura 27 – Respostas da pergunta 1 (primeira aplicação)

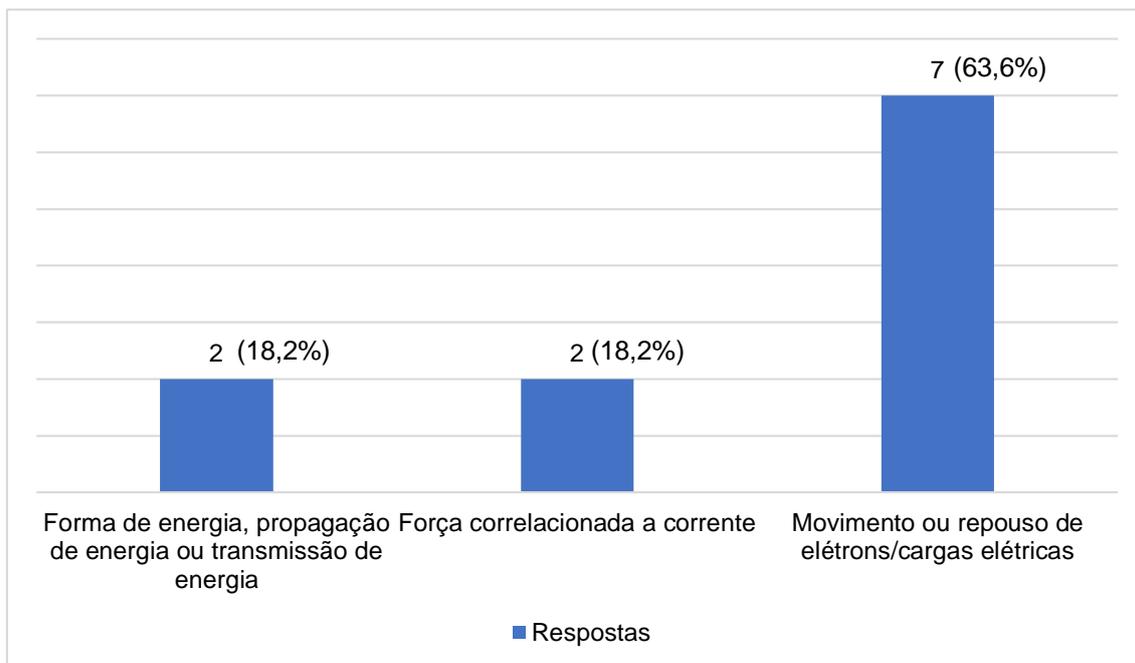


Fonte: Dados originais da pesquisa (2023)

As respostas coletadas foram agrupadas em: forma de energia, propagação de energia ou transmissão de energia; força correlacionada a corrente; movimento ou repouso de elétrons/cargas elétricas. Cabe destacar que duas (18,2%), dentre as 11 respostas, associaram a luz como exemplo de corrente elétrica.

Após a ministração das aulas e contato com o kit elaborado, as respostas coletadas mudaram, sendo predominante as relacionadas a “movimento ou repouso de elétrons/cargas elétricas”, conforme pode ser visualizado no gráfico da Figura 28.

Figura 28 – Respostas da pergunta 1 (reaplicação pós-aulas)

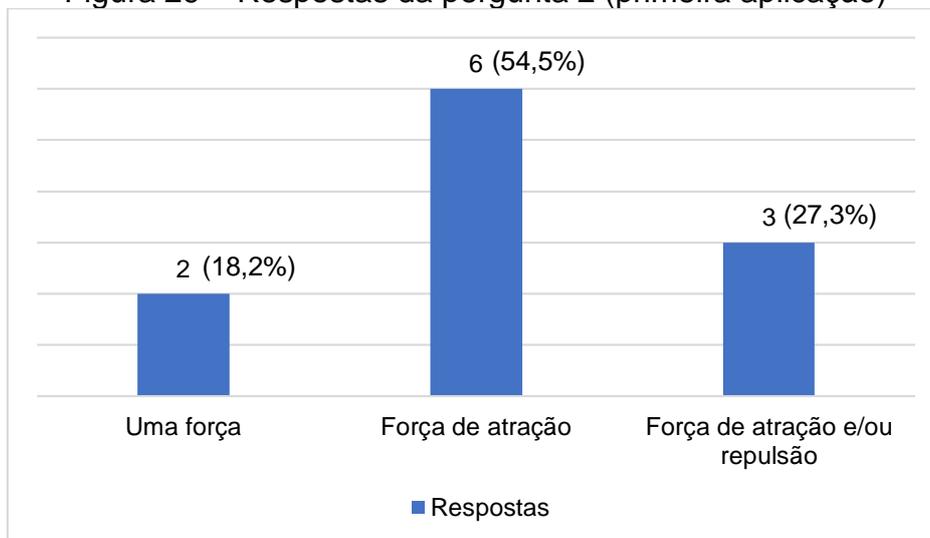


Fonte: Dados originais da pesquisa (2023)

Ao comparar com as respostas anteriores, observa-se que a maioria dos alunos passou a correlacionar a eletricidade e seus fenômenos aos elétrons e cargas elétricas. Passando de 1 (9,1%) a 7 (63,6%) as respostas dentro desta categoria.

Para a pergunta “2 – O que é magnetismo?”, na aplicação inicial do questionário os alunos, de alguma forma, relacionaram o magnetismo a uma força, sendo as principais respostas classificadas em “uma força”, “força de atração” ou “força de atração e/ou repulsão” (Figura 29):

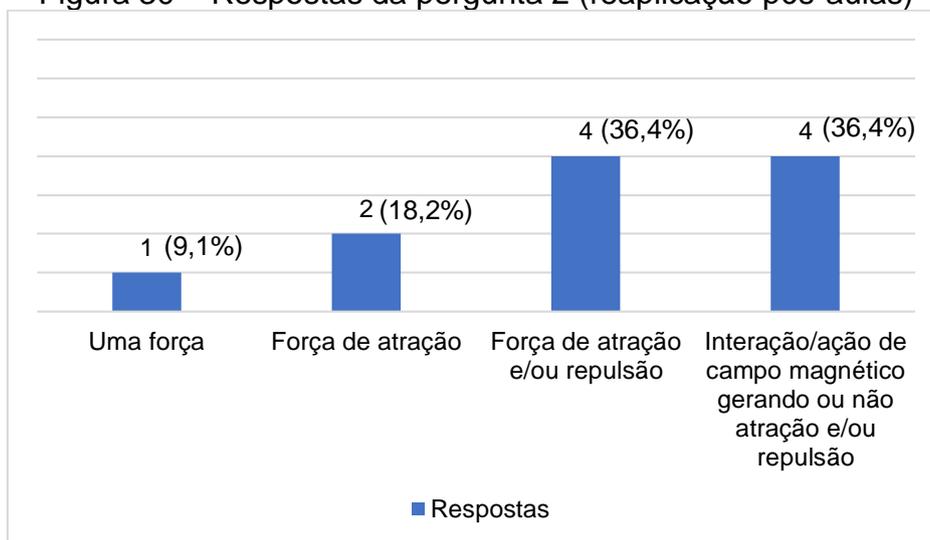
Figura 29 – Respostas da pergunta 2 (primeira aplicação)



Fonte: Dados originais da pesquisa (2023)

Na reaplicação do questionário, surgiu uma nova categoria de respostas: “Interação/ação de campo magnético gerando ou não atração e/ou repulsão”, que atingiu um percentual significativo (Figura 30):

Figura 30 – Respostas da pergunta 2 (reaplicação pós-aulas)

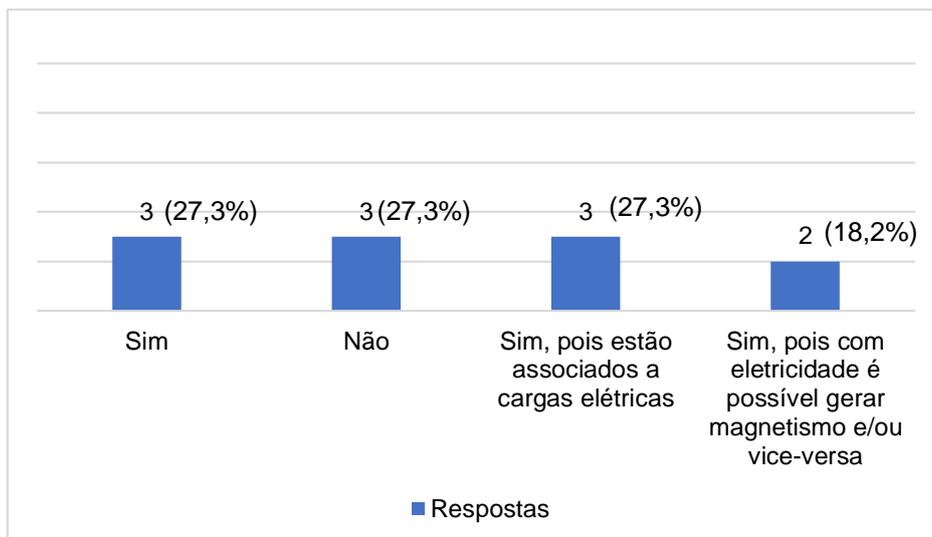


Fonte: Dados originais da pesquisa (2023)

Ao comparar as respostas da primeira aplicação do questionário com sua reaplicação após as aulas, nesta última etapa é observada uma tendência a associar o magnetismo a outros fenômenos que não apenas uma força de atração ou repulsão, como por exemplo a produção de campo magnético por alguns materiais.

As respostas coletadas na primeira aplicação da pergunta “3 – Eletricidade e magnetismo têm alguma ligação entre si?” foram divididas em “não”, “sim” e “sim, pois estão associadas a cargas elétricas”, “Sim, pois com eletricidade é possível gerar magnetismo e/ou vice-versa”, conforme consta no gráfico da Figura 31, a seguir.

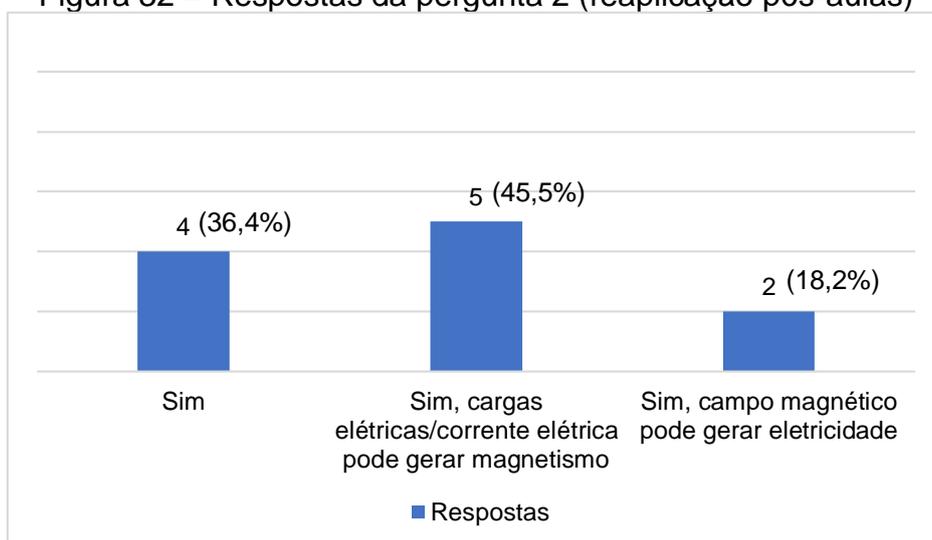
Figura 31 – Respostas da pergunta 3 (primeira aplicação)



Fonte: Dados originais da pesquisa (2023)

As respostas mostram que comum associar magnetismo a eletricidade como se ambos tivessem a mesma origem, ou seja, como se um ímã permanente fosse um corpo carregado. Com as aulas, foi possível mudar a percepção dos alunos sobre a relação entre a eletricidade e magnetismo, assim como os possíveis efeitos desta interação, conforme foi constatado na reaplicação do questionário (Figura 32).

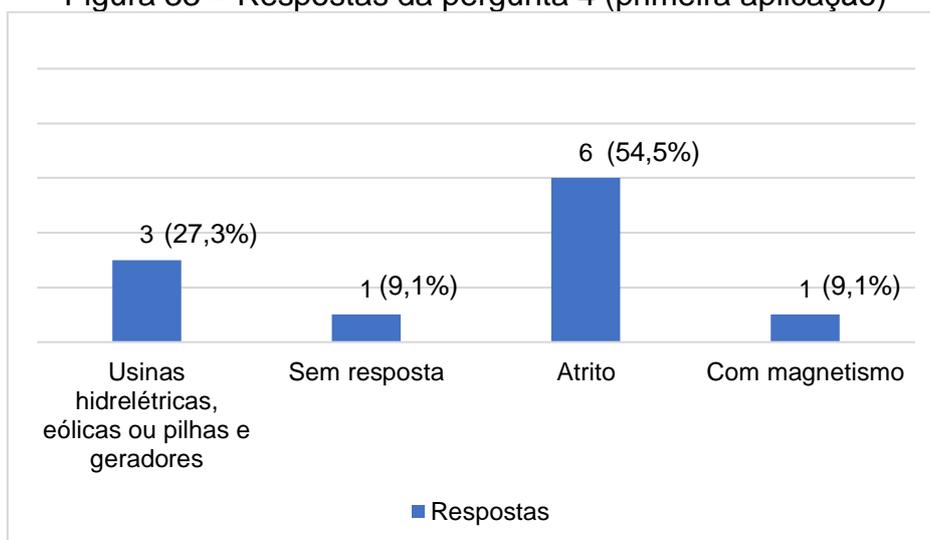
Figura 32 – Respostas da pergunta 2 (reaplicação pós-aulas)



Fonte: Dados originais da pesquisa (2023)

Na primeira aplicação da pergunta “4 – Quais as formas de gerar corrente elétrica?”, a maioria das respostas tiveram associação com atrito. Havia entendimento de que há necessidade de movimento para gerar corrente elétrica (Figura 33).

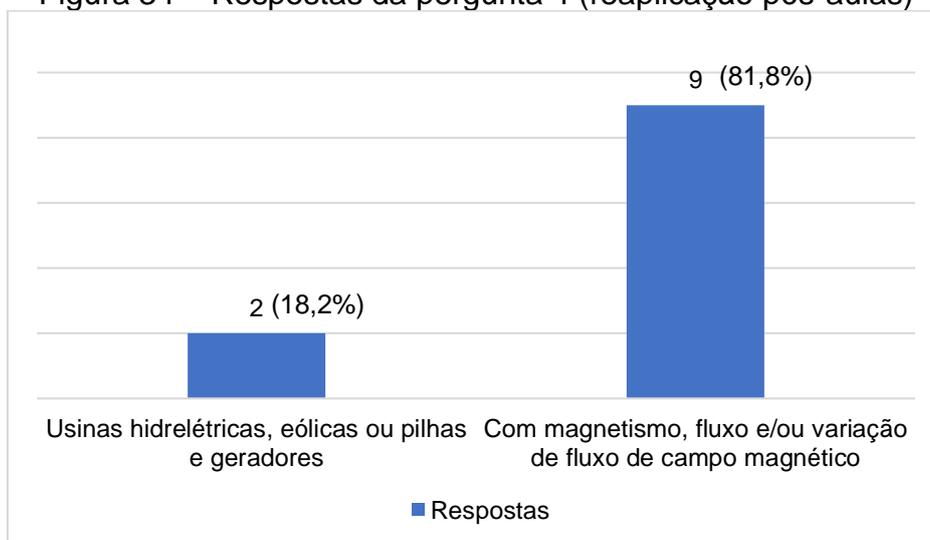
Figura 33 – Respostas da pergunta 4 (primeira aplicação)



Fonte: Dados originais da pesquisa (2023)

Após as aulas, predominaram as respostas relacionadas a magnetismo, fluxo e/ou variação de fluxo de campo magnético (Figura 34).

Figura 34 – Respostas da pergunta 4 (reaplicação pós-aulas)



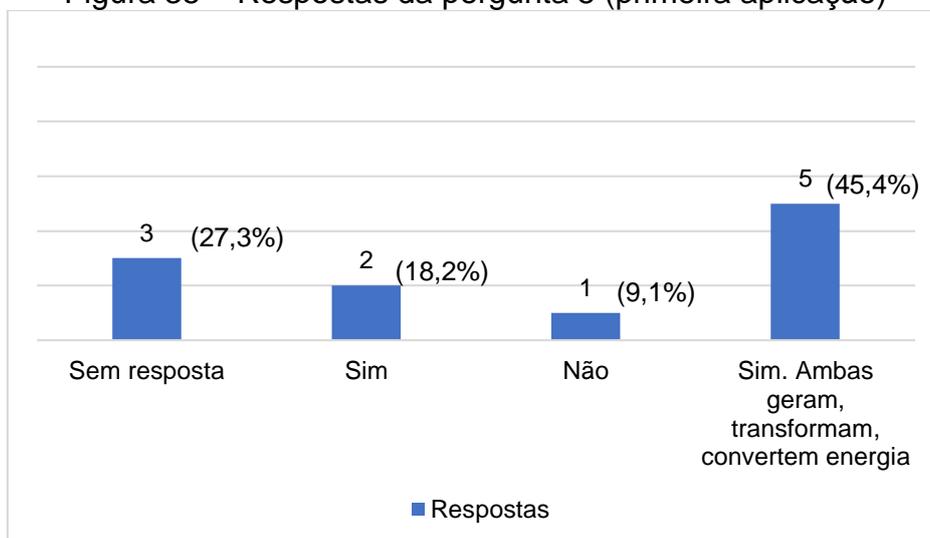
Fonte: Dados originais da pesquisa (2023)

Cabe ressaltar que, dentre as respostas envolvendo magnetismo, houve três respostas (27,3%) que também associaram ao atrito, no entanto, é perceptível que o entendimento do conceito foi alterado.

Na pergunta “5 - Há analogia entre o captador da guitarra e uma usina hidrelétrica? Quais? Por quê?” houve um percentual considerável de casos sem resposta, o que pode remeter ao fato de haver um distanciamento do

conhecimento do funcionamento de usinas e dificuldade na associação cotidiana (Figura 35).

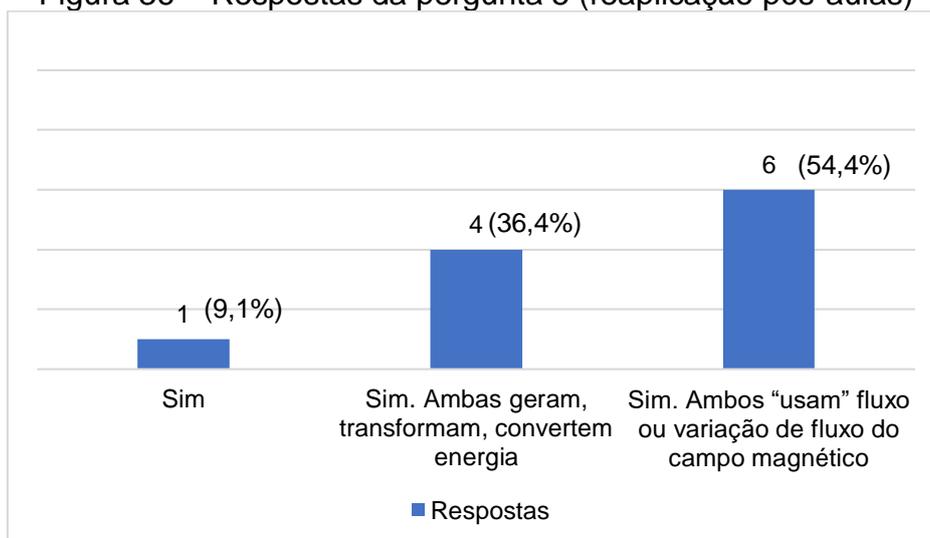
Figura 35 – Respostas da pergunta 5 (primeira aplicação)



Fonte: Dados originais da pesquisa (2023)

Em contrapartida, o número de alunos com algum nível de conhecimento prévio, ainda que de forma rasa, é de grande evidência. Com as aulas e a reaplicação do questionário, houve melhoria na percepção destas relações, da correlação entre ambas as situações e aprofundamento do conhecimento. Não houve ausência de respostas (Figura 36)

Figura 36 – Respostas da pergunta 5 (reaplicação pós-aulas)



Fonte: Dados originais da pesquisa (2023)

Ao aplicar a proposta de aula, houve alto engajamento dos alunos participantes. Desde o início, eles se mostraram estimulados e curiosos sobre o

que tema abordado e sua abordagem. No momento de interação com o kit de captador, houve bastante debate a respeito das possibilidades e em relação ao que já havia sido abordado na parte teórica.

Ao fim de todo o processo, o *feedback* foi muito positivo com relação ao método, uma vez que houve o entendimento por parte deles que essa forma de desenvolvimento foi mais estimulante e aparentemente mais eficiente. Sendo assim, apesar de ser feito em tempo menor do que o planejado, a proposta atingiu resultados satisfatórios e atendeu ao objetivo proposto, tornando o processo de ensino-aprendizagem mais estimulante e interativo associando-o ao cotidiano.

Capítulo 5

Conclusão e impressões pessoais

Os assuntos abordados na física são vistos como difíceis pelos alunos e este é um dos muitos desafios a serem enfrentados no processo de ensino. O eletromagnetismo é um tema que se destaca entre os que tem maior dificuldade de aprendizagem. Por isso, surge a necessidade de contextualizá-lo com o cotidiano para motivar e instigar o interesse dos alunos.

Diante disto, o objetivo deste trabalho foi analisar o fenômeno da indução eletromagnética em um kit experimental com captador de guitarra elétrica. Abordando previamente com os alunos o conceito de fluxo do campo magnético e sua presença em situações tangíveis da realidade.

A proposta foi desenvolvida em três aulas para alunos do ensino médio em um colégio particular na cidade do Rio de Janeiro, sendo precedidas pela aplicação de um questionário para análise de conhecimentos prévios seguido de abordagem teórica dos fundamentos básicos e manipulação do kit experimental. Encerrando com uma nova aplicação do questionário para avaliar a eficiência da proposta ao comparar as respostas finais com as iniciais.

O método se mostrou eficiente no estímulo à curiosidade, captação da atenção e engajamento dos alunos. Analisando os resultados do questionário foi perceptível que a retenção de informação foi eficiente e a metodologia para desenvolvimento do tema foi bem recebida por eles, com retorno muito positivo na satisfação de ter participado desse momento.

As impressões finais são que o produto se mostrou eficiente e que seria interessante explorar alternativas, para além do captador, para o ensino do eletromagnetismo. Além disso, há a possibilidade de explorar em trabalhos futuros formas de desenvolver de forma conectada com a desse trabalho a parte inicial e final, assim criando kits e construindo um produto mais completo.

Referências Bibliográficas

[Brasil, 2000]. *Parâmetros curriculares nacionais do Ensino Médio: Parte 1 – Bases legais*. Ministério da Educação e Cultura, 2000. Disponível em <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf> Acesso em 26/03/2023.

[Brasil, 2018] *Base nacional curricular: Educação é a base*. Ministério da Educação e Cultura, 2018. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf Acesso em 30/04/2023.

[Caraveo, 2016] Caraveo, S. C. Uma breve história da guitarra elétrica: a conquista acadêmica no Brasil. *IX Encontro Regional Norte da ABEM*, Boa Vista, 2016. Disponível em http://abemeduacaomusical.com.br/anais_ernt/v2/papers/1562/public/1562-6753-1-PB.pdf Acesso em 30/04/2023.

[Castro, 2007] Castro, G. A. S. *Guitarra elétrica: entre o instrumento e a interface*. 2007. Disponível em https://www.anppom.org.br/anais/anaiscongresso_anppom_2007/sonologia/sonolog_GASCastro.pdf

[Dias, 2004] Dias, V. S. *Michael Faraday: subsídios para metodologia de trabalho experimental*. (Dissertação de Mestrado) – Universidade de São Paulo, 2004, 156 p.

[Dias e Martins, 2004] Dias, V. S. e Martins, R. A. *Michael Faraday: O caminho da livraria à descoberta da indução eletromagnética*. *Ciência & Educação*, v. 10, n. 3, p. 517-530, 2004. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132004000300014>

[Elias, 2019] Elias, L. D. S. A. *A guitarra elétrica no Brasil: submissão cultural ou ressignificação?* (Monografia de bacharelado) – Universidade Federal Fluminense, 2019, 46 p.

[Feynman *et al.*, 2008] Feynman, R. P., Leighton, R. B. e Matthew Sands. *Lições de Física de Feynman*, edição definitiva, Porto Alegre: Bookman, 2008, capítulo 17-1.

[Frota *et al.*, 2020] Frota, J. S., Xerez, L. M. P., Parente, N. N. *motivação e desmotivação no processo de aprendizagem do Ensino de Física*. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 6, n .8, p. 62802-62816, 2020. DOI:10.34117/bjdv6n8-640

[Halliday e Resnick, 2016] Halliday & Resnick, *Fundamentos de Física – Volume 3: Eletromagnetismo*, 10ª. Edição, Rio de Janeiro: LTC, 2016.

[Hewitt, 2002] Hewitt, P. G. *Física conceitual*, 9ª. Edição, Porto Alegre: Bookman, 2002.

[Inep, 2022] *Provas e gabaritos*. Disponível em: <https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/avaliacao-e-exames-educacionais/enem/provas-e-gabaritos>. Acesso em 08/03/2023

[Labas, 2016] Labas, M. Uma proposta de abordagem histórico-experimental da lei de indução eletromagnética de Faraday à luz da teoria da aprendizagem significativa. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2016, 194 p.

[Lago, 2015] Lago, B. L. A guitarra como um instrumento para o ensino de física ondulatória. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 37, n. 1, p. 1504, 2015. DOI:<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11173711663>

[Lima, 2020] Lima, D. S. Ensino da Física por investigação: uma proposta para o ensino da Ley de Faraday. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal do Pará, 2020, 81 p.

[Medeiros e Medeiros, 2002] Medeiros, A. e Medeiros, C. F. Possibilidades e limitações computacionais no ensino da Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 24, n. 2, p. 77-86, 2002.

[Moreira, 2018] Moreira, M. A. Uma análise crítica do ensino de Física. *Estudos Avançados*, v. 32, n. 94, p. 73–80, 2018. <https://doi.org/10.1590/s0103-40142018.3294.0006>

[Nussenzveig, 1997] H. Moysés Nussenzveig. Curso de Física Básica, volume 3: Eletromagnetismo, 1ª. Edição, São Paulo: Edgard Blücher, 1997.

[Reis, 2018]. Reis, T. O. Estudo experimental da Lei de Faraday da indução eletromagnética utilizando um smartphone e um computador. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, 2018, 85 p.

[Rocha *et al.*, 2021] Rocha, D. F. S. S., Siqueira, C. C., Braga, C. R., Oliveira, A. F. Diagnóstico de dificuldades de ensino-aprendizagem de Física no Ensino Fundamental e Médio e implicações das competências e habilidades das novas Diretrizes. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 14, e239101421980, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i14.21980>

[Silva *et al.*, 2019] Silva, J. B., Sales, G. L. e Castro, J. B. Gamificação como estratégia de aprendizagem ativa no ensino de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 41, n. 4, e20180309, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0309>

[Silva, 2016] Silva, V. N. L. Desenvolvimento tecnológico: a propriedade industrial na produção da guitarra elétrica e captadores no Brasil. (Dissertação de mestrado) – Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2016, 83 p.

[Silva *et al.*, 2014] Eletromagnetismo: fundamentos e simulações. São Paulo: Pearson, 2014.

[Uerj, 2023] *Vestibulares*. Disponível em https://www.vestibular.uerj.br/?page_id=6424 Acesso em 26/03/2023.

[Werneck, 2007] Werneck, N. L. Análise da distorção musical de guitarras elétricas. (Dissertação de mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. Campinas 2007, 109 p.

[Zaczesk, 2018] Zaczesk, M. E., Beckert, C. H., Barros, T. G., Ferreira, A. L. e Freitas, T. C. Violão: aspectos acústicos, estruturais e históricos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 40, n. 1, e1309, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0192>

Apêndice A

Material do professor



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Instituto de Física

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física

Mestrado Profissional em Ensino de Física

**ENSINO DA LEI DE FARADAY NO ENSINO MÉDIO COM USO DE UM
CAPTADOR DE GUITARRA**
(Material do professor)

Daniel Moreira Avila

Hugo Milward Riani de Luna

Material institucional associado a dissertação de mestrado de Daniel Moreira Avila, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro
2023

SUMÁRIO

Apêndice A.....	47
Capítulo 1.....	50
Capítulo 2.....	51
Capítulo 3.....	53
Capítulo 4.....	56
Capítulo 5.....	60
Referências bibliográficas	61
Apêndice B.....	62

Capítulo 1

Introdução

A indução eletromagnética é um conceito fundamental na física e tem diversas aplicações práticas em dispositivos e tecnologias do cotidiano, desde a geração de energia elétrica em usinas até carregadores de celulares sem fio. No entanto, o ensino desse tema pode apresentar desafios, uma vez que os mecanismos e conceitos envolvidos nem sempre são facilmente evidentes no dia a dia dos alunos. De fato, é intuitivo imaginar que podemos acender a lâmpada de uma lanterna com uma pilha (conjunto de pilhas). Por outro lado, foge ao senso comum da maioria dos estudantes, que o mesmo resultado pode ser obtido fazendo-se variar o fluxo do campo magnético de um ímã. O próprio conceito de variação de fluxo de um campo vetorial, não é intuitivo e requer uma capacidade de abstração matemática que somente figuras esquemáticas no quadro negro, não são suficientes para o aluno.

O uso de novas tecnologias, como por exemplo o uso dos sensores dos aparelhos celulares, facilita a inclusão de diferentes abordagens pedagógicas permitindo o aluno questionar e construir seu conhecimento a partir da observação e da experimentação. A contextualização também é um aspecto importante no ensino de física e, muitas vezes, pode ser desafiador encontrar exemplos que sejam ao mesmo tempo cotidianos e interessantes.

A história da guitarra elétrica oferece uma excelente oportunidade para abordar temas de física (i.e., indução eletromagnética), pois é um instrumento que está presente em diversos gêneros musicais e é de interesse dos jovens, mesmo dos que não tocam guitarra. Em 1931, Adolph Rickenbacker, fundou a Rickenbacker International Corporation. Logo depois, ele e seu parceiro, George Beauchamp, patentearam uma guitarra chamada "*Frying Pan*". Essa guitarra foi a primeira a ser produzida em massa eletromagneticamente amplificada, marcando o início da guitarra elétrica moderna (CASTRO, 2007).

Na década de 1940, a Gibson e a Fender entraram em cena e contribuíram significativamente para o desenvolvimento da guitarra elétrica. A

Gibson lançou a lendária guitarra "*Les Paul*" em 1952, projetada em colaboração com o guitarrista Les Paul. Enquanto isso, Leo Fender fundou a Fender Electric Instrument Manufacturing Company e lançou a guitarra "*Telecaster*" em 1950 e a icônica "*Stratocaster*" em 1954.

Um dos elementos fundamentais da guitarra elétrica é o captador elétrico, a utilização deste elemento pode ser utilizada para abordar a Lei de Faraday de forma lúdica e qualitativa, relacionando-a com um elemento próximo da realidade dos alunos.

A proposta deste trabalho é descrever uma alternativa para abordar a lei de indução de Faraday usando um kit experimental composto por um captador de guitarra elétrica, um motor elétrico, controlador de velocidade, uma placa Arduino, um sensor de luz do tipo LDR e ímãs. Esse kit pode ser utilizado como um apoio ao professor na elaboração de atividades que permitam aos alunos compreenderem a relação entre a variação do fluxo do campo magnético e a força eletromotriz induzida (\mathcal{E}).

Podemos encontrar na literatura diversos trabalhos relacionados ao ensino da lei de Faraday no ensino médio, os quais destacamos os trabalhos de (LIMA, 2020) e (REIS, 2018). No entanto, utilizando o captador da guitarra elétrica, não encontramos nenhuma proposta que se encaixasse em uma abordagem para o ensino médio.

Capítulo 2

Funcionamento do captador magnético

Os captadores são conhecidos como "o coração" da guitarra, tal analogia decorre do fato de ele ser essencial para que a guitarra produza seu som. Eles são produzidos a partir de um fio de cobre esmaltado enrolado na forma de bobina (2) ao redor de ímãs (magnetos) (1), conforme exemplo da Figura 1. Esse enrolamento é constituído por centenas (até milhares) de voltas. Envolto em uma capa (3), o captador é colocado abaixo das cordas para captar suas vibrações (ZACZESK et al., 2018).

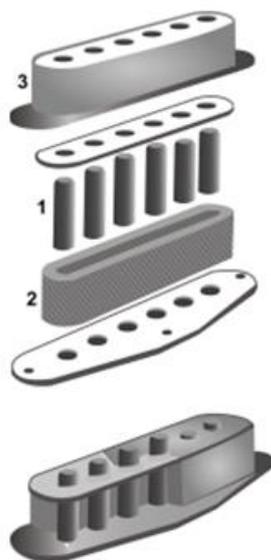


Figura 1. *Captador magnético single coil*
Fonte: Zaczek et al. (2018).

As cordas da guitarra são posicionadas acima de cada magneto, elas são compostas por material ferromagnético, de maneira que na presença do campo magnético dos ímãs permanentes (item 1 da figura 1), passam a ser imantadas e a se comportar como ímãs. Ao vibrarem causam variação no fluxo do campo magnético, que atravessa a bobina induzindo a produção de uma fem que posteriormente é traduzida em som. Por isso, a utilização de cordas de nylon como em violões acústicos é inviável, uma vez que esse material não pode ser imantado (WERNECK, 2007; ZACZESK et al., 2018).

Os captadores são ligados a potenciômetros que controlam o volume e o tom da guitarra. A seleção dos captadores ligados é feita por uma chave, esse sinal é transmitido para a saída da guitarra que é conectada a um equipamento externo, como uma mesa de som ou uma caixa amplificadora, onde o som é finalmente produzido (LAGO, 2015).

Dentre os tipos existentes, (SILVA, 2016) menciona as seguintes configurações; A *single coil* (bobina única), *humbucker* (duas bobinas), *mini humbucker* (as bobinas são passivas e de dimensões compactas), *stacks* (que possui duas bobinas sobrepostas, sendo uma ativa e outra passiva), *dual coil* (possui duas bobinas e produz maior uniformidade do campo magnético por toda sua extensão), *tri-bucker* (associação entre três bobinas, um *humbucker* e um

single-coil) e sistema *quad-rail* (quatro bobinas alinhadas em pares). Cada captador produz um tipo de som diferente, então sua aplicabilidade pode variar de acordo com o estilo musical.

O captador *single-coil* ficou conhecido pelo seu uso na guitarra Fender Stratocaster. Pode ser constituído por um ímã em barra ou por seis ímãs (um para cada corda). Produz um som limpo e intenso, sendo amplamente utilizado em diversos estilos devido a sua versatilidade. Ao contrário do *single-coil*, o *humbucker* produz um som mais “cheio” e “pesado”. Este captador é utilizado principalmente no Jazz e no Heavy Metal. Ele é formado por dois *singles coils*, que podem ser colocados lado ao lado ou sobrepostos (coaxial), com polaridades opostas. Isto faz com que o ruído de fundo produzido por um deles seja anulado pelo outro. Este modelo foi produzido pela Gibson e ganhou notoriedade pelo mundo.

Capítulo 3

Montagem do projeto experimental

Como explicado anteriormente, para induzir uma fem no captador da guitarra, uma variação do fluxo do campo magnético deve ocorrer a partir da vibração da corda (de material ferromagnético). Estes sinais, são tênues e necessitam de filtros e amplificação. Para contornar essa situação e evitar o uso de mais componentes elétricos substituímos a corda por um conjunto de ímãs permanentes. A variação do fluxo do campo magnético pode ser obtida a partir da variação da posição destes ímãs, como esquematizado na Figura 2.

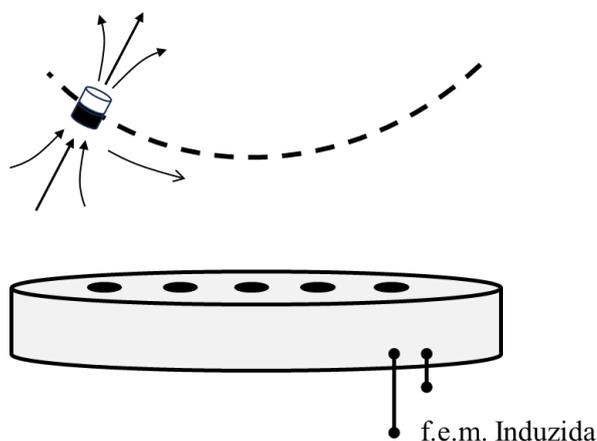


Figura 2. Desenho esquemático para obter um sinal do captador eletromagnético a partir de um ímã em substituição a corda da guitarra
 Fonte: autor (2023).

Essa variação, pode ser feita de diversas formas e fica a critério do professor. Neste trabalho, nós iremos utilizar uma geometria que possibilita medir a fem induzida em função da taxa de variação do fluxo do campo magnético. A variação é feita de forma periódica em conjunto de ímãs são presos nas pontas de duas hélices perpendiculares entre si. O centro das hélices está acoplado a um motor DC cuja velocidade de rotação pode variar de forma controlada até próximo ao valor máximo de 12400 rpm sem carga (~200 Hz).

O material necessário para construção do projeto pode ser encontrado em lojas de eletrônica, de material de construção e papelaria ou comprados pela internet. O orçamento estimado para cada item é detalhado na Tabela 1, a seguir.

Item	Orçamento
Captador <i>single coil</i>	R\$40 a R\$120 (novo)
Placas MDF 3mm	R\$ 10 a 20
Arduino Uno	R\$ 100
Bornes (preto e vermelho) para conexão com pino banana	R\$2 a R\$4 (cada)
Pontas de prova	R\$15 a R\$25
Abraçadeira	R\$6 a R\$10
Cano PVC (7cm)	R\$20 a R\$40
Motor DC 12V máx. 12.400 RPM	R\$30 e R\$60
Palitos de sorvete	R\$4 a R\$8 (pacote)
Massa epóxi	R\$5 a R\$7
Ímãs de neodímio	R\$4 a R\$7
Minimódulo controlador de velocidade DC PWM 5V-35V e 5A	R\$20 a R\$40
Fonte para notebook 12V-24V 4,5A	R\$30 a R\$50
Total aproximadamente entre	R\$250 e 500

Tabela 1. Estimativa de orçamento
 Fonte: autor (2023).

Na Figura 3 temos uma foto do kit montado, onde o captador está fixado no centro da face superior de uma placa MDF, 2 bornes para mediação do sinal da fem induzida utilizando um multímetro e o sistema para suporte imãs e motor.

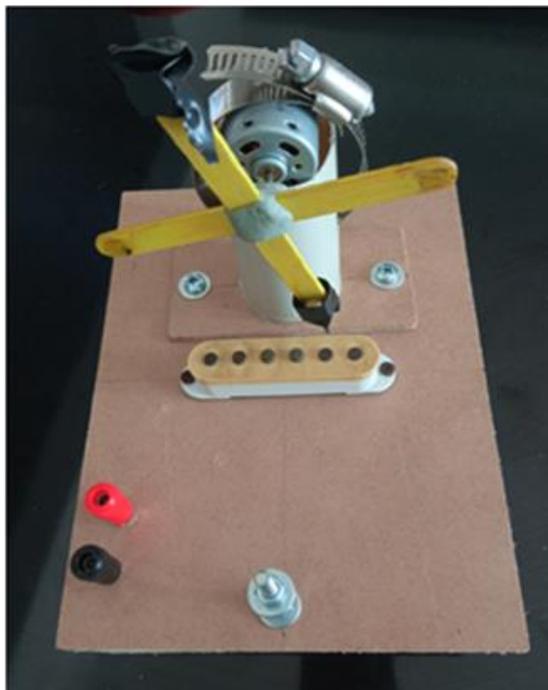


Figura 3. Foto do sistema montado: captador, motor e hélices com imãs presos as extremidades
Fonte: autor (2023).

Para alimentar o motor, usamos uma fonte genérica de notebook com chave seletora de tensão de saída (12V-24V) e corrente contínua máxima de 4,5 A. O controle de rotação foi feito com um minimódulo controlador de velocidade DC PWM com tensão de funcionamento na faixa de 5V a 35V e corrente máxima de 5A, assim é possível relacionar de forma qualitativa a frequência de rotação com a fem induzida.

Toda a montagem foi apresentada em vídeos que foram subidos o site *youtube* para demonstrar a utilização do kit. Os vídeos podem ser encontrados no canal “@dissertacaodanielavila” ou nos endereços a seguir com a seguinte divisão:

Vídeo 1: Demonstração de itens do kit

https://www.youtube.com/watch?v=eo3S07es8hE&ab_channel=DanielAvila

Vídeo 2: Conexões do captador de guitarra e motor

https://www.youtube.com/watch?v=-IK8xUHatJU&ab_channel=DanielAvila

Vídeo 3: Conectando o motor e medindo a fem induzida

https://www.youtube.com/watch?v=j_3IG1wxSFs&ab_channel=DanielAvila

Vídeo 4: Medindo a corrente de entrada no motor

https://www.youtube.com/watch?v=fWCh0Q7XdN8&ab_channel=DanielAvila

Capítulo 4

Análise

Para relacionar a força eletromotriz induzida com a taxa de variação do fluxo do campo magnético, é necessário medir a frequência de rotação do motor. Essa medição pode ser realizada observando a saída da fem induzida no sensor diretamente em um osciloscópio, a partir do qual é possível determinar a sua amplitude e a frequência. No entanto, o osciloscópio é um instrumento de medição de alto custo, tornando-o pouco acessível para a maioria das escolas brasileiras. Além disso, a operação deste instrumento poderia representar um nível de dificuldade adicional para os alunos, além de muitos professores não estarem familiarizados com sua utilização. Esta barreira por si só já seria um desencorajador para o docente ao considerar a proposta experimental deste trabalho.

Desta forma, contornamos essa dificuldade utilizando a ferramenta Arduino, que além de ser barata, está cada dia mais presente no ensino de física e áreas afins. A frequência de rotação pode ser obtida em função da medida da corrente de alimentação do motor. Essa “calibração” consiste em posicionar um sensor de luz, por exemplo, um sensor de luz do tipo LDR na parte traseira do motor, enquanto este é iluminado por uma fonte de luz. Quando a hélice se alinhar ao sensor, uma sombra é projetada, fazendo com que a leitura da saída seja alterada. Com o uso dessa montagem é possível inferir o período da passagem das hélices e assim obter a frequência de rotação do motor concomitante a medida do V_{rms} da fem induzida no multímetro.

Para medição dos valores da corrente de entrada no motor foi montado um circuito como o observado no esquema da Figura 4.

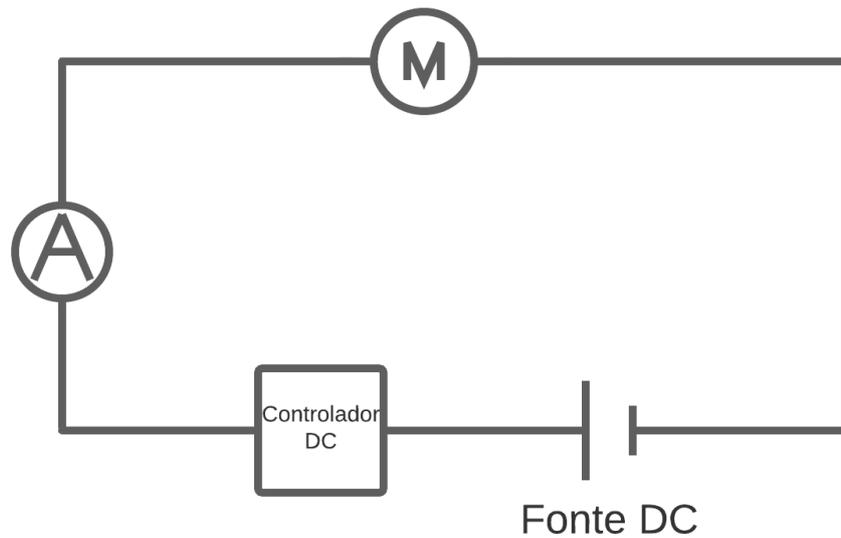


Figura 4. Esquema de montagem para medição da corrente do motor
 Fonte: arquivo pessoal (2023).

Também foi montado um esquema para medição da fem induzida no captador da guitarra que pode ser observada no esquema da Figura 5.

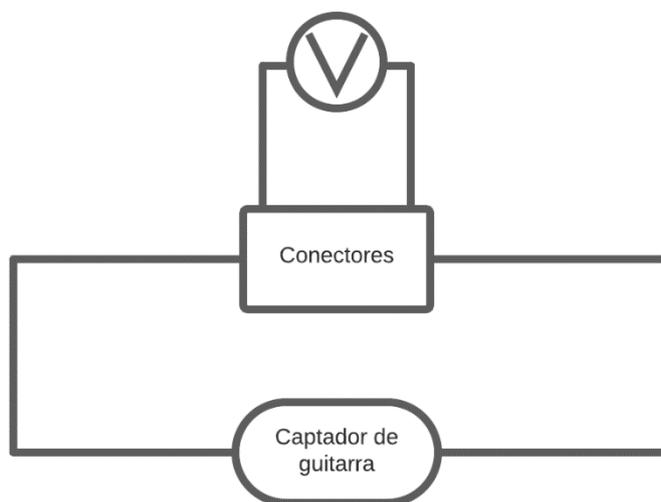


Figura 5. Esquema de montagem para medição da fem induzida no captador
 Fonte: arquivo pessoal (2023).

Na Figura 6 temos um exemplo da aquisição da leitura da saída do LDR via Arduino, para as correntes de alimentação do motor de 110 e 630 mA. O período é obtido pela diferença do número de leituras para um hélice voltar a

fazer sombra (5 sombras) multiplicada diferença de tempo entre leituras obtida pela função *millis(...)* do Arduino. O tempo obtido foi de aproximadamente 3ms. Como o escopo deste trabalho não é o de obter com precisão a frequência de rotação do motor assumimos que o período é dado por: $T_n = n \text{ leituras} \times 3ms$.

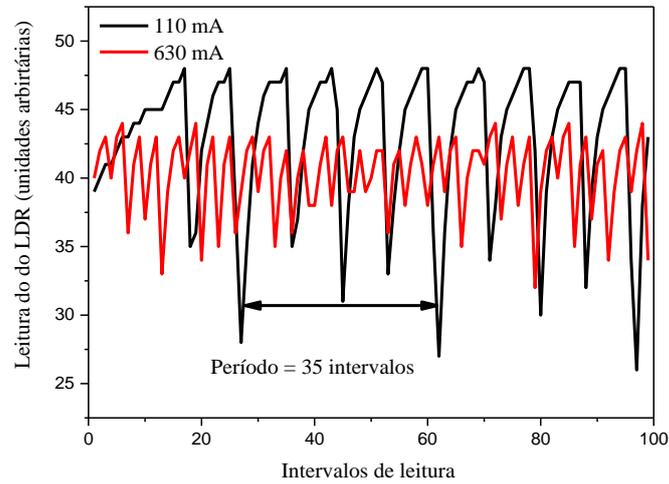


Figura 6. Aquisição dos valores do LDR utilizando Arduino
Fonte: autor (2023).

Os valores medidos simultaneamente de rms da corrente (multímetro), frequência de rotação do motor (Arduino) e rms da fem induzida no captador (multímetro) podem ser visualizados na Tabela 2, a seguir.

Corrente (mA)	Frequência	fem (mV)
110±1%	9,5	654±5%
170	12,8	920
220	15,1	1105
290	17,1	1252
360	19,0	1371
430	20,8	1466
510	22,2	1565
570	23,8	1650
630	25,6	1719

Tabela 2. Valores medidos para corrente, frequência e fem
Fonte: autor (2023).

Para a incerteza da medida da corrente, assumimos o valor fornecido pelo fabricante do multímetro na escala de mA. Para a fem usamos a variação média (aproximada) observada nas leituras do multímetro.

A relação entre a corrente e a frequência de rotação do motor pode ser observada e é possível elaborar uma sequência didática com os alunos utilizando apenas multímetros para medir a corrente de alimentação do motor e a fem induzida, caso o professor não possa levar a sala de aula o módulo Arduino. A partir de uma tabela ou função de calibração o aluno poderá inferir qual seria a taxa de rotação do motor indiretamente a partir da medida da corrente de alimentação.

Neste estágio da sequência didática, é crucial que o aluno perceba que a frequência de rotação está ligada a taxa de variação do fluxo do campo magnético na face do captador. Essa relação é ilustrada na Figura 7 e caracteriza qualitativamente de forma experimental a Lei de indução de Faraday.

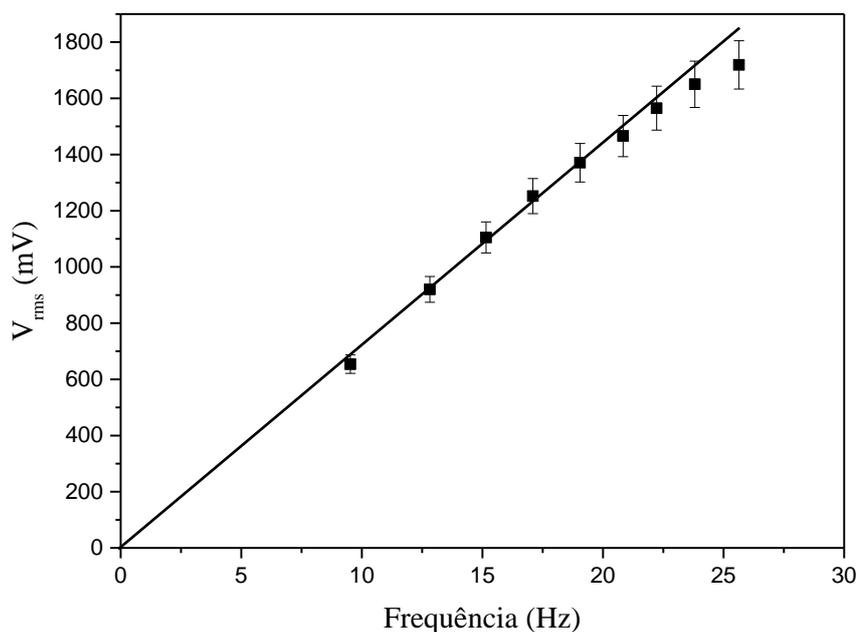


Figura 7. Frequência vs. fem. induzida no captador
Fonte: autor (2023).

Interessante observar que existe uma região onde a fem induzida e a taxa de variação do fluxo do campo magnético se relacionam de forma linear (frequência de rotação). Neste momento o professor pode fechar sequência didática introduzindo um exemplo teórico, como o de uma espira que gira em

torno de seu eixo em uma região de campo magnético uniforme e mostrar que neste caso ideal, espera-se que a fem induzida seja diretamente proporcional a frequência de rotação da espira, tal qual ocorre em uma faixa de rotação do projeto construído em sala de aula.

Outro ponto que deve ser levado em consideração é que a frequência medida no motor não corresponde a medida a partir da Lei de indução eletromagnética, uma vez que há dois ímãs colocados diametralmente opostos.

Capítulo 5

Comentários finais

Podemos destacar algumas vantagens na utilização do captador de guitarra em uma atividade experimental para demonstrar a lei de indução de Faraday voltada para o ensino médio:

- Facilidade de Montagem. Em particular, a fem induzida no captador é suficientemente grande para ser medida utilizando um multímetro.
- Baixo custo.
- Aprendizado ativo: Os alunos têm a oportunidade de serem protagonistas do próprio aprendizado, coletando dados e analisando resultados em sala de aula.
- Contextualização. A importância da lei de indução, a partir do entendimento de como funciona o primeiro passo (elétrico) na tradução da vibração mecânica em som. A partir daí o professor pode explorar a interdisciplinaridade da física com outras áreas, como a música e a engenharia. Eles podem investigar posteriormente como o projeto dos captadores influencia o timbre e o som da guitarra, bem como o papel da eletricidade e do magnetismo na amplificação do som.

Referências bibliográficas

[Castro, 2007] Castro, G. A. S. Guitarra elétrica: entre o instrumento e a interface. 2007. Disponível em https://www.anppom.org.br/anais/anaiscongresso_anppom_2007/sonologia/sonolog_GASCastro.pdf

[Lago, 2015] Lago, B. L. A guitarra como um instrumento para o ensino de física ondulatória. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 37, n. 1, p. 1504, 2015. DOI:<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11173711663>

[Lima, 2020] Lima, D. S. Ensino da Física por investigação: uma proposta para o ensino da Ley de Faraday. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal do Pará, 2020, 81 p.

[Reis, 2018]. Reis, T. O. Estudo experimental da Lei de Faraday da indução eletromagnética utilizando um smartphone e um computador. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, 2018, 85 p.

[Silva, 2016] Silva, V. N. L. Desenvolvimento tecnológico: a propriedade industrial na produção da guitarra elétrica e captadores no Brasil. (Dissertação de mestrado) – Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2016, 83 p.

[Werneck, 2007] Werneck, N. L. Análise da distorção musical de guitarras elétricas. (Dissertação de mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. Campinas 2007, 109 p.

[Zaczesk, 2018] Zaczesk, M. E., Beckert, C. H., Barros, T. G., Ferreira, A. L. e Freitas, T. C. Violão: aspectos acústicos, estruturais e históricos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 40, n. 1, e1309, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0192>

Apêndice B

Material do aluno



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física

**ENSINO DA LEI DE FARADAY NO ENSINO MÉDIO COM USO DE UM
CAPTADOR DE GUITARRA**
(Material do aluno)

Daniel Moreira Avila

Hugo Milward Riani de Luna

Material institucional associado a dissertação de mestrado de Daniel Moreira Avila, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro
2023

A Lei de Faraday

Bloco 1 – A eletricidade e o Magnetismo

1) A eletricidade se faz presente em nosso dia a dia e não só faz parte como se tornou algo essencial para a sociedade como conhecemos hoje. Sem a eletricidade não seríamos capazes de “dominar a noite”, algo que só passou a se fazer possível de fato com o seu uso junto a invenção da lâmpada. Porém, esse é apenas um exemplo dentre muitos que podemos mencionar para o uso da eletricidade. A corrente elétrica usada nos aparelhos é gerada a partir do movimento ordenado de cargas elétricas e dessa forma a energia é transmitida aos equipamentos. Podemos olhar ao nosso redor nesse exato momento e observar uma grande quantidade de equipamentos que necessitam desse tipo de energia.

Observe ao seu redor e liste pelo menos cinco equipamentos que dependem de energia elétrica.

Texto 1 – Consumo de energia dos aparelhos

Forno de micro-ondas

Você esperaria que seu micro-ondas consumisse mais eletricidade quando está estalando pipoca ou aquecendo sobras de ontem à noite? Mas a verdade é que esses aparelhos consomem a maior parte de sua eletricidade quando estão simplesmente parados em sua cozinha sem fazer nada. "Você só usa um micro-ondas em uma pequena parte do tempo", disse DiMascio. "Mas quando não está em uso, ele está consumindo energia de espera porque está sempre sentado lá pronto para trabalhar."

Um estudo do Projeto de Consciência de Padrões de Aparelhos descobriu que o micro-ondas normal é usado apenas cerca de 70 horas por ano. Durante os outros 99% do tempo, ou 8,69 mil horas, queima até 35 quilowatts-hora em "poder de vampiro" para iluminar o relógio e manter controles de botão eletrônico no modo de espera.

"Há maneiras de reduzir esse poder de espera", acrescentou DiMascio, e o regulamento do Departamento de Energia dos EUA ajuda a fazer exatamente isso. As novas normas em vigor desde 2016 reduzem esse consumo de desperdício em 75% para a maioria dos fornos de micro-

ondas, melhorando a eficiência nas fontes de alimentação, placas de controle e sensores de cozimento.

Sara Mullen-Trento, do Electric Power Research Institute, disse que eletrônicos menores e mais baratos significam que mais funções de espera como as do micro-ondas serão usadas. "Você provavelmente verá esse tipo de tecnologia incorporada para melhorar seus conjuntos de recursos", comentou. "Vemos coisas como uma tela digital em uma máquina de lavar roupa, mas acho que com os produtos eletrônicos vêm desempenhando um papel maior no consumo, também os mais recentes padrões de eficiência têm reconhecido que há um impacto quando você tem dez desses dispositivos em casa. Entretanto alguns desses mesmos recursos podem permitir que você opere um aparelho de uma maneira mais eficiente em termos de energia usando diferentes configurações."

Adaptado de: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/meio-ambiente/6-aparelhos-que-mais-consomem-energia-da-sua-casa>. Acesso em: 25 fev. 2023.

2) Com o aumento da demanda de consumo de energia elétrica passou a existir a necessidade de uma maior produção de energia elétrica. Dessa forma o ser humano buscou e continua buscando formas alternativas para obtenção da mesma, uma vez que cada situação propõe algumas dificuldades e limitações. A partir disso, pudemos desenvolver diversas formas de produzir eletricidade.

Quais são as diferentes formas de obtenção de energia elétrica que você conhece?

Texto 2 – Geração de energia elétrica

A sustentabilidade acaba de ficar mais 'na moda' entre os ingleses. Na última semana, a pista de dança do Bar Surya, no bairro de King's Cross, em Londres, ganhou um piso especial capaz de gerar energia elétrica à partir do movimento dos 'baladeiros'.

O piso de dança utiliza uma tecnologia chamada de piezoelétrica, na qual cristais de quartzo e cerâmica produzem energia quando são pressionados.

É o principal destaque do projeto Club4Climate, que também inclui a venda de bebidas e alimentos orgânicos, a utilização de dutos de ar para reduzir a

necessidade de ar condicionado e o uso de privadas com consumo reduzido de água.

Trata-se da primeira pista do gênero na Inglaterra. Há cerca de um ano, o projeto foi testado em uma danceteria em Rotterdã, na Holanda. No Bar Suria, cerca de 60% da energia consumida é gerada pela pista de dança. Os outros 40% virão de uma turbina eólica e painéis de energia solar. Caso a produção supere a necessidade, o resto será distribuído para residências na região.

O 'ecologicamente correto' não acaba nas instalações do Surya. Quem entra, é obrigado a assinar um manifesto com dez princípios contra o devastamento e a destruição do planeta. Quem vai para a balada à pé ou de bicicleta, pode entrar de graça. E, quem vai de carro, é estimulado a trocar de meio de transporte na próxima vez.

Disponível em: <https://g1.globo.com/Noticias/Tecnologia/0,,MUL652138-6174,00-DANCAR+GERA+ENERGIA+ELETRICA+EM+BOATE+ECOLOGICA+NA+INGLATERRA.html>. Acesso em: 25 fev. 2023.

3) No entanto, a maioria das formas de obtenção de energia elétrica provem de usinas que se usam de turbinas para sua obtenção. Nesse processo há a utilização de ímãs que estão associados a outro fenômeno físico chamado magnetismo. Podemos observar também o magnetismo presente em nosso cotidiano em inúmeras situações. Ímãs estão presentes em quadros magnéticos, fones, microfones, HD's de computadores e etc. Uma das propriedades de ímãs é que eles produzem um campo magnético ao seu redor que faz com que possam interagir com outros ímãs e alguns outros materiais denominados ferromagnéticos.

Texto 3 – ímãs no cotidiano

Eles estão em tudo

Não é exagero dizer que os ímãs estão por todos os lados. Grande parte dos componentes eletrônicos os utiliza, desde os pequenos alto-falantes até os mais poderosos discos rígidos. Ímãs são necessários para estabilizar campos eletromagnéticos e, por isso, somente placas e alguns outros dispositivos deixam esses componentes de fora.

Ímã faz o som

As caixas de som, mesmo as mais simples, possuem pequenos ímãs. Quanto maior for a caixa, mais forte deve ser o campo magnético utilizado para garantir a qualidade do som e, por isso, os ímãs devem ser maiores. E por que eles são

necessários para garantir que as músicas serão reproduzidas da melhor maneira possível?

Não é um mecanismo simples, mas é fácil compreender. Existe sempre um ímã fixado à caixa e um eletroímã preso ao cone sonoro (a parte que vemos "indo e voltando", mais visíveis em subwoofers). Quanto mais alto for o volume da canção reproduzida, mais energia elétrica é despendida para o eletroímã, que se torna mais magnetizado e é atraído para o ímã fixo.

A atração e a repulsão, sendo alternadas de maneira tão veloz, são resultado da alternância de corrente. Quando o eletroímã é eletrificado, ele fica com polo positivo e é atraído pelo negativo do ímã fixo. O contrário acontece quando o eletroímã perde a carga, ficando também negativa; nesse momento ocorre a repulsão.

Quanto mais grave for o som, mais presente é o eletromagnetismo. Por isso, torna-se muito importante que caixas de som destinadas aos graves sejam maiores e possuam ímãs mais potentes, como é possível notar pelos kits de áudio dos carros, que geralmente possuem subwoofers com o dobro do tamanho de outras caixas.

Unidades de disco rígido

Discos rígidos óticos (HDs) também necessitam de motores elétricos para funcionar. Por isso, caso um dia você desmonte o seu HD antigo (e que não vá mais ser usado) e encontre ímãs (bastante fortes, por sinal), não se assuste.

Adaptado de: https://www.terra.com.br/byte/eletronicos/de-amigo-a-vilao-conheca-as-duas-caras-do-ima-na-tecnologia.59788a19d13ea310VgnCLD200000bbcceb0aRCRD.html?utm_source=clipboard.
Acesso em: 25 fev. 2023.

Observe e cite as situações ao seu redor que possuem a utilização de ímãs

4) Fenômenos elétricos e magnéticos, a princípio, eram entendidos de forma completamente distinta e que não possuíam nenhuma correlação entre si. No entanto, em 1820 o físico Hans Christian Ørsted observou que correntes elétricas geravam campos magnéticos e esse é considerado o início do eletromagnetismo, ou seja, dos estudos das relações entre eletricidade e magnetismo. Esse experimento abriu as portas para que os estudos do eletromagnetismo e instigou o questionamento da possibilidade de fazer o

caminho inverso, ou seja, gerar corrente elétrica com campos magnéticos. Esse caminho revolucionaria a história da humanidade, uma vez que poderíamos obter energia elétrica em grandes quantidades.

Bloco 2 – O kit experimental

5) O kit experimental é composto de um motor elétrico, um captador de guitarra e ímãs. Este captador pode ser conectado a medidores para assim observarmos se em algum momento há alguma leitura da “voltagem”. Com a ajuda de seu professor (a) conecte o multímetro (medidor) nos conectores de saída. Inicialmente sua medida será zero, já que não há nenhuma “voltagem” sendo produzida no kit. Siga as instruções do seu professor (a) e mexendo no kit tente fazer a medida deixar de ser zero, ou seja, de alguma forma conseguir produzir uma voltagem.

De quais formas você conseguiu fazer a medida do multímetro deixar de ser zero?

6) O funcionamento das turbinas das usinas “geradoras” de energia elétrica é muito semelhante ao que está no kit, já que usa o movimento de rotação produzido a partir de outras energias para movimentar ímãs que a partir de um processo chamado de indução eletromagnética consegue gerar uma “voltagem” que é distribuída pela usina para as residências.

Cite exemplos de usinas que usem turbinas para “gerar” energia elétrica

7) O captador de guitarra também funciona com um processo de indução eletromagnética. Os ímãs contidos no captador deixam as cordas da guitarra magnetizada, ou seja, as cordas passam a se comportar como ímãs. Ao tocarmos as cordas elas vibram e funcionam de forma semelhante aos ímãs do kit. Na parte interna do captador há um fio metálico enrolado com várias voltas (espiras) que chamamos de bobina. Em todos os casos mencionados, há movimento de ímãs em relação a essas espiras e isso gera a voltagem que chamamos de força eletromotriz (fem) induzida.

8) ENEM (2011) O manual de funcionamento de um captador de guitarra elétrica apresenta o seguinte texto: Esse captador comum consiste de uma bobina, fios condutores enrolados em torno de um ímã permanente. O campo magnético do ímã induz o ordenamento dos polos magnéticos na corda da guitarra, que está próxima a ele. Assim, quando a corda é tocada, as oscilações produzem variações, com o mesmo padrão, no fluxo magnético que atravessa a bobina. Isso induz uma corrente elétrica na bobina, que é transmitida até o amplificador e, daí, para o alto-falante. Um guitarrista trocou as cordas originais de sua guitarra, que eram feitas de aço, por outras feitas de náilon. Com o uso dessas cordas, o amplificador ligado ao instrumento não emitia mais som, porque a corda de náilon:

- a) isola a passagem de corrente elétrica da bobina para o alto-falante.
- b) varia seu comprimento mais intensamente do que ocorre com o aço.
- c) apresenta uma magnetização desprezível sob a ação do ímã permanente.
- d) induz correntes elétricas na bobina mais intensas que a capacidade do captador.
- e) oscila com uma frequência menor do que a que pode ser percebida pelo captador.

9) Há alguns fatores que podem fazer a fem induzida na bobina aumentar ou diminuir. Observe no kit experimental os fatores que fazem a medida do multímetro aumentar ou diminuir.

10) Com auxílio do seu professor (a) escreva no quadro abaixo uma equação que descreva os fatores que fazem a fem induzida, a qual nos referimos pela letra grega Epsilon (ϵ)

11) Denominamos essa relação de Lei da indução eletromagnética, também conhecida com Lei de Faraday. Pense e cite algumas possibilidades de aplicação que você conheça ou que imagine a utilização desse processo “geração” de energia elétrica a partir da indução eletromagnética.
