



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA**

THIAGO DE OLIVEIRA SILVA

**O TRABALHO EXPERIMENTAL DE FARADAY SOB A ÓTICA DE UM FUTURO
PROFESSOR**

**CAMPINA GRANDE
2022**

THIAGO DE OLIVEIRA SILVA

**O TRABALHO EXPERIMENTAL DE FARADAY SOB A ÓTICA DE UM FUTURO
PROFESSOR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Licenciatura em Física, Departamento de Física, Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Licenciado em Física.

Orientador: Profa. Dra. Ana Paula Bispo da Silva.

**CAMPINA GRANDE
2022**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S586t Silva, Thiago de Oliveira.
O trabalho experimental de Faraday sob a ótica de um futuro professor [manuscrito] / Thiago de Oliveira Silva. - 2022.
34 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2022.

"Orientação : Profa. Dra. Ana Paula Bispo da Silva , Coordenação do Curso de Física - CCT."

1. Indução Eletromagnética. 2. História da Física. 3. Ensino de Física. I. Título


21. ed. CDD 530.7

**O TRABALHO EXPERIMENTAL DE FARADAY SOB A ÓTICA DE UM FUTURO
PROFESSOR**


Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Licenciatura em Física, Departamento de Física, Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Licenciado em Física.

Aprovada em: 24/8/2022


BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Ana Paula Bispo da Silva (Orientadora)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. José Antonio Ferreira Pinto
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Me. Gilson Aciole Rodrigues
SEED/PB

A vida sem ciência é uma espécie de morte. Sócrates (469 aC. – 399 aC.).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Dois conjuntos de hélices isolados um do outro, montadas sobre um núcleo de madeira e com espiras também isoladas	12
Figura 2 – Vista superior da figura 1.....	12
Figura 3 – Duas hélices simples montadas sobre um núcleo de madeira.....	13
Figura 4 – Duas hélices simples montado sobre um núcleo de madeira e acoplado uma hélice envolta em um cilindro oco de vidro	15
Figura 5 – Experimento com fios em forma de W.....	17
Figura 6 – Conjunto de hélices montadas em um anel de ferro doce	20
Figura 7 – Conjunto de hélices intercaladas montadas em um cilindro oco de papelão.....	24
Figura 8 – Recorte do conjunto de hélices intercaladas montadas em um cilindro oco de papelão	24
Figura 9 – Conjunto de hélices intercaladas montadas em um cilindro oco de papelão e inserido um cilindro de ferro doce	25
Figura 10 – Indução de corrente em uma hélice a partir de ímãs comuns	26
Figura 11 – Recorte do experimento da figura 10.....	27
Figura 12 – Indução de corrente em um conjunto de hélices através do movimento de um ímã cilíndrico.....	29
Figura 13 – Linhas magnéticas de Faraday.....	30
Figura 14 – Recorte do polo marcado da figura 13.....	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	MICHAEL FARADAY E SEU TRABALHO EXPERIMENTAL	10
2.1	Considerações a respeito do título 1	10
2.1.1	Primeiro experimento	11
2.1.2	Segundo experimento	13
2.1.3	Terceiro experimento	14
2.1.4	Quarto experimento.....	16
2.1.5	Quinto experimento.....	18
2.2	Considerações a respeito do título 2.	19
2.2.1	Sexto experimento.....	19
2.2.2	Sétimo experimento	21
2.2.3	Oitavo experimento	23
2.2.4	Nono experimento	26
3	CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA EXPLICAÇÃO DE FARADAY SOBRE O FENÔMENO DA INDUÇÃO	28
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

O TRABALHO EXPERIMENTAL DE FARADAY SOB A ÓTICA DE UM FUTURO PROFESSOR

FARADAY'S EXPERIMENTAL WORK FROM THE PERSPECTIVE OF A FUTURE TEACHER

Thiago de Oliveira Silva*

RESUMO

Episódios históricos envolvendo a história da eletricidade oferecem muitos elementos para a sala de aula contendo experimentação e contextualização. Nesse sentido, os trabalhos experimentais realizados por Faraday na primeira metade do século XIX permitiriam compreender conceitos como linhas de força, indução magnética e corrente elétrica, dentre outros. Considerando essa hipótese, neste trabalho analisamos uma versão traduzida do trabalho de Faraday sobre indução magnética, tendo como objetivo um planejamento posterior de plano de aula com abordagem histórica e experimental. Apesar de se tratar de uma tradução, verificou-se que a fonte não era clara o suficiente para que um professor a compreendesse e adaptasse para a sala de aula. Como forma de facilitar a compreensão, analisamos detalhadamente os experimentos propostos por Faraday, apresentamos uma possível interpretação da montagem experimental e buscamos associar seu relato ao que é conhecido atualmente sobre os conceitos de eletricidade e magnetismo envolvidos. Como conclusão salientamos que o simples acesso às fontes ou relatos históricos, ainda que importante, não é suficiente para que um professor possa empregar a abordagem histórica em sua sala de aula: são necessários estudos prévios e outras competências e habilidades para que tais episódios possam ser adaptados.

Palavras-chave: Michael Faraday. Indução Eletromagnética. História da Física. Ensino de Física.

ABSTRACT

Historical episodes involving the history of electricity offer many elements for the classroom to approach experimentation and contextualization. In this sense, the experimental work carried out by Faraday in the first half of the 19th century would make it possible to understand concepts such as lines of force, magnetic induction and electric current, among others. Considering this hypothesis, in this work we analyze a translated version of Faraday's work on magnetic induction, with the objective of later planning a lesson plan with a historical and experimental approach. Despite being a translation, it was found that the source was not clear enough for a teacher to understand and adapt to the classroom. In order to facilitate understanding, we analyzed in detail the experiments proposed by Faraday, presented a possible interpretation of the experimental setup and sought to associate his report with what is currently known about the concepts of electricity and

* Thiago de Oliveira Silva, graduando em Licenciatura em Física pela Universidade Estadual da Paraíba, participou como monitor da disciplina de Física de projetos de extensão de cursinhos pré-enem, pela Universidade Estadual da Paraíba e Universidade Federal de Campina Grande.

magnetism involved. In conclusion, we emphasize that the simple access to sources or historical reports, although important, is not enough for a teacher to be able to use the historical approach in his classroom: previous studies and other skills and abilities are needed so that such episodes can be adapted.

Keywords: Michael Faraday. Electromagnetic Induction. History of Physics. Physics Teaching.

1 INTRODUÇÃO

A utilização da abordagem histórica envolvendo experimentos e investigação tem sido vista com potencialidade para a contextualização de conteúdos em salas de aula da Educação Básica. Nesse sentido, em geral cabe ao professor ou professora conhecer um episódio histórico envolvendo experimentação, apropriar-se de seu conteúdo teórico e experimental e, ainda, adaptá-lo para as necessidades da sala de aula. Todo esse processo requer que o professor ou professora desenvolvam diferentes competências e repertórios, para que a abordagem histórica possa ter efetividade, tanto no seu planejamento, quanto no seu objetivo de sala de aula e aprendizagem (PINTO, 2022).

Em vista da complexidade envolvida nesse planejamento, a abordagem histórica – investigativa e experimental ou não – dificilmente é adotada por professores e professoras da Educação Básica (BATISTA; SILVA, 2019). Um dos principais obstáculos apontados pelos professores e professoras é a ausência de materiais com abordagem histórica em português e que permita sua adaptação.

Considerando os relatos experimentais detalhados de vários estudiosos, a existência de trabalhos traduzidos e a facilidade de reprodução, supomos que episódios históricos envolvendo a história da eletricidade durante o século XIX poderiam servir mais facilmente na implementação da abordagem histórica e experimental em sala de aula. Não é à toa que alguns grupos de pesquisa vêm trazendo vários relatos de experiência que corroboram essa suposição (SILVA et. al, 2021; PINTO et al, 2022; LIMA et. al, 2021).

No entanto, alguns trabalhos mostram que não basta a existência do material histórico, teórico e experimental, para que o professor ou professora possa pensar sua sala de aula. Nesse sentido, este trabalho buscou fazer uma análise de uma fonte primária, traduzida para o português, sobre experimentos em eletricidade e magnetismo, com o intuito de torná-la compreensível e adaptável para um professor.

O texto escolhido foi "*Pesquisas experimentais em eletricidade*", publicado em 1832 por Michael Faraday (1791-1867) e traduzido na sua totalidade por Assis e Haruna (2011). Nesse trabalho, Faraday realiza experimentos no campo da eletricidade e magnetismo utilizando principalmente de hélices (bobinas, no termo usado modernamente) sendo ocas, ou não, e fios fazendo e desfazendo o contato com uma bateria voltaica e também com eletricidade armazenada em uma garrafa de Leyden. Durante este trabalho usaremos o termo hélice como sinônimo de bobina para preservar o caráter histórico da palavra, pois aquela foi a denominação dada por Faraday na fonte primária.

Entretanto, sem uma análise quantitativa e matemática (DIAS; MARTINS, 2004), Faraday vai estruturando o seu conhecimento em suas habilidades experimentais e capacidade de abstrair conclusões de suas observações. Seus pressupostos teóricos foram as observações de Hans Christian Ørsted (1777-1851), em 1820, em relação a deflexão da direção do norte magnético da agulha de uma bússola nas proximidades de um fio, o qual era percorrido por uma corrente elétrica; as experiências de André-Marie Ampère (1775-1836), de trazer um anel ou círculo muito curto de cobre perto de uma espiral plana¹.

Nosso objetivo principal é produzir um material de linguagem acessível e bem ilustrado, percorrendo o mesmo caminho que Faraday em suas pesquisas iniciais, analisando e tentando dar sentido às montagens e interpretações. Para focar em um

¹ Com respeito a esse fato, Michael Faraday, no parágrafo 2 do artigo em questão, escreve que havia sido um disco. Mais tarde em seus estudos ele pede desculpa a Ampère (FARADAY, 1832).

estudo histórico, optamos por manter as ilustrações do artigo original; porém, a maior parte delas foi adaptada, para suprir necessidades pedagógicas de aprendizagem e clareza dos fenômenos. Na época que foram elaboradas tais figuras, não havia meios automatizados e computacionais de reproduzir imagens coloridas em larga escala, nem convenções de cores para certos conceitos fenomenológicos. Também, para suprir lacunas deixadas por Faraday em diversas montagens, produzimos figuras utilizando o software *SketchUp Make 2017*, que é uma versão gratuita².

É importante observar que a finalidade desse trabalho, a princípio, é pedagógica, ou seja, estamos propondo um material de base, para auxiliar professores e professoras a desenvolverem seus trabalhos escolares diários. Do nosso ponto de vista, podemos afirmar que o tema pode ser desenvolvido na educação básica e também na educação superior e convém mencionar que cabe ao leitor decidir se o material será relevante para obter um melhor aproveitamento na rotina escolar. Visto que seria inviável expor todas as interpretações e variações dos experimentos, foram selecionadas as passagens que consideramos ter mais relevância para o objetivo final, o aprendizado. Como é de praxe, cada pessoa tem sua perspectiva de leitura e interpretação, portanto, não se conformando com as nossas avaliações e seleção das partes que foram propostas neste trabalho, o leitor pode consultar a fonte original.

O artigo original (FARADAY, 1832), assim como a tradução de Assis e Haruna (2011), a partir dos quais foi desenvolvido esse trabalho, é estruturado em títulos com parágrafos numerados sequencialmente, não havendo reinício da contagem a cada novo título. Nosso trabalho compreende alguns dos experimentos e explicações descritos nos títulos: § 1. Sobre a Indução de Correntes e Elétricas; § 2. Sobre a Evolução da Eletricidade a partir do Magnetismo e § 4. Explicação dos Fenômenos Magnéticos de Arago. Quando os tradutores querem acrescentar alguma informação ao texto, para melhorar o entendimento, eles adicionam a informação entre colchetes. Na metodologia utilizada à época por Faraday, quando se quer referenciar algo no próprio texto, ele cita o número do parágrafo correspondente entre parênteses, podendo ser feito mais de um por vez. No rodapé, temos notas, onde a abreviatura NT representa as notas escritas pelos tradutores e NF as notas escritas por Faraday. Neste trabalho, daqui por diante, quando nos referirmos a tradução será a de Assis e Haruna (2011), caso contrário será mencionado explicitamente.

No decorrer desse documento, o leitor perceberá que como recurso para a transposição didática, foi utilizada a enumeração de experimentos, diferentemente do que está no escrito original; em cada experimento que foi enumerado encontram-se explicitados os parágrafos onde estão descritos e analisados. Esse recurso foi utilizado como modo de facilitar a identificação de tal montagem no trabalho original; assim a enumeração não quer dizer que Faraday realizou apenas aquele experimento e seguiu adiante; pelo contrário, ele realizava uma montagem e várias observações; quando se dava por satisfeito, modificava o experimento ou os parâmetros a serem observados, num longo trabalho de repetição e testagem, típico das experiências da época.

A análise da tradução e do trabalho original de Faraday mostrou-se extremamente complexa, longe da simplificação didática que encontramos nos livros didáticos e de ensino superior. Logo, esperamos que o presente material possa

² As versões atuais são softwares comerciais com uma versão trial.

facilitar para que professores e professoras consigam adaptar esse episódio histórico para suas aulas.

2 MICHAEL FARADAY E SEU TRABALHO EXPERIMENTAL

Williams (2008) escreveu uma extensa biografia sobre Michael Faraday, aqui nos ateremos ao que consideramos como os fatos mais importantes que influenciaram no desenvolvimento do trabalho de Faraday.

Michael Faraday, nascido em Newington, bairro do condado de Surrey, à época, em 22 de setembro de 1791, sua família era pobre, e ele era o terceiro de quatro filhos. James Faraday, seu pai, trabalhava no ofício de ferreiro e tinha problemas de saúde, por isso, não podia prover mais do que as necessidades básicas para a família, devido ao agravamento de seus problemas de saúde faleceu em 1809. Ainda, segundo Williams (2008), não há fontes históricas suficientes que descrevam confiavelmente os primeiros anos de vida de Faraday e devido a lacuna de informações ao que aparenta, sua educação formal foi quase nula, consistindo em desenvolvimento da educação formal básica.

Em virtude da morte do pai aos treze anos de idade, Faraday, passou a contribuir para o sustento da família entregando jornais e encadernando livro para um senhor chamado G. Riebau; devido a sua proximidade com livros tornou-se leitor assíduo, onde toma conhecimento de um tratado escrito por um clérigo do século XVIII, Isaac Watts, *The Improvement of the Mind* (O aperfeiçoamento da mente, em tradução livre). Neste livro além de outros ensinamentos, aparentemente, ele também apresentou certa filosofia que parecia doutrinar seus adeptos a se proteger de falsas teorias e ilusões intelectuais; segundo Williams (2008), esta filosofia prega que a observação cuidadosa de fatos e a precisão da linguagem impediriam um filósofo de generalizações prematuras. Faraday parece ter absorvido a mesma e ela ter influenciado seu trabalho, pois ele nunca aceitou uma explicação sem primeiro testar por si mesmo os fatos; a mera leitura dos resultados dos outros nunca o satisfazia; essa é a essência de sua pesquisa experimental.

O interesse de Faraday em investigação científica, especialmente a eletricidade, e a admiração que tinha por Humphry Davy (1778-1829), o levaram a transcrever e encadernar uma de suas palestras, enviando como presente. Este fato influenciou Faraday a ocupar o cargo de assistente de laboratório de Davy na Royal Institution em fevereiro de 1813. Em 13 de outubro de 1813, ambos iniciaram uma viagem por alguns países europeus, durando até 1814, com o intuito de debater assuntos científicos, dentre eles, aspectos fundamentais da natureza e estrutura da matéria; e tiveram contato com muitos dos principais cientistas da época. Ao retornar a Londres, Faraday em abril de 1815, se dedicou aos estudos da química, em 1820 já havia adquirido uma reputação modesta, mas sólida, como químico analítico.

Entre 1821 e 1831, concentram-se as pesquisas de Faraday em eletricidade e eletroquímica, dentre as quais estão os trabalhos que detalharemos aqui.

2.1 Considerações a respeito do título 1

Neste capítulo, Faraday, trata de experimentos com hélices ou fios percorridos por correntes, na proximidade de outras hélices ou fios que a princípio não apresentavam correntes e a observação do resultado de tais montagens.

Inicialmente vamos expor a intenção de Michael Faraday, no artigo, objeto deste estudo. Ao parafrasear o parágrafo 5 da tradução, temos: “Proponho-me a descrever esses resultados, não como foram obtidos, mas de maneira a dar a visão mais concisa do conjunto.” (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 154). Desse modo, ele define como será a sua abordagem em relação aos estudos sobre os fenômenos da indução de correntes.

Portanto, como podemos perceber, ele não descreve o passo-a-passo detalhadamente, mas sim, expõe os experimentos de uma maneira geral e analisa os resultados. Dessa maneira, não conseguiremos também detalhar os experimentos em nível de descrição de laboratório, nem matemático, porém conseguiremos dar uma boa noção dos materiais utilizados e das interpretações. Sem mais delongas vamos aos experimentos em si:

2.1.1 Primeiro experimento

Estando disposto na tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 154-155), do parágrafo 6 ao 10, seu objetivo foi demonstrar que várias hélices, isoladas uma das outras, montadas sobre o mesmo eixo e também as espiras de cada hélice isoladas entre si, porém, interconectadas alternadamente, formando assim dois conjuntos compactos de hélices, poderia induzir corrente elétrica no conjunto que não era conectado a uma bateria voltaica. O material utilizado consistiu em:

- 12 pedaços de fio de cobre, contendo em média 27 pés (8,23 m) cada um;
- Um bloco de madeira;
- Bateria voltaica de 10 pares de placas de quatro polegadas quadradas (0,0026 m²);
- Um galvanômetro;

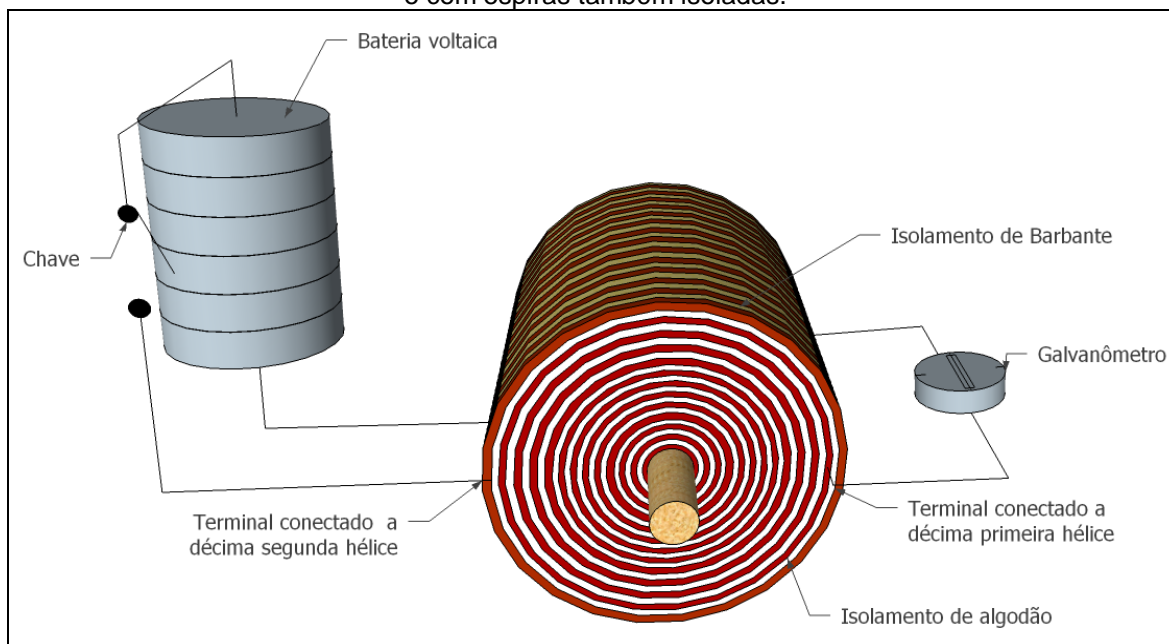
Os procedimentos de montagem deste experimento estão descritos abaixo no parágrafo 6 da tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p.155), sendo apropriado acompanhar as figuras 1 e 2 para um melhor entendimento da montagem.

6. Cerca de vinte e seis pés de fio de cobre com um vigésimo de polegada de diâmetro foram enrolados ao redor de um cilindro de madeira como uma hélice, sendo que as diferentes espiras do fio foram impedidas de se tocar, interpondo-se um fino barbante entre elas. Essa hélice foi coberta com morim² e, então, foi enrolado um segundo fio, da mesma maneira. Foram superpostas, assim, doze hélices, cada uma contendo uma média de vinte e sete pés de comprimento de fio, todas na mesma direção. A primeira, terceira, quinta, sétima, nona e a décima primeira destas hélices foram conectadas em suas extremidades, ponta com ponta, formando, assim, uma hélice; as outras foram conectadas da mesma maneira e, assim, foram produzidas duas hélices principais, interpostas compactamente, tendo a mesma direção, não se tocando em nenhuma parte e cada uma contendo cento e cinquenta e cinco pés de comprimento de fio. (Assis; Haruna, 2011, p.155),

Como procedimento de manuseio foi conectado um conjunto de hélices (não especificado) a uma bateria voltaica e o outro a um galvanômetro, porém advindo de tal ato não foi observado nenhum fenômeno de corrente induzida no galvanômetro. Faraday realizou uma variação desse experimento e também não conseguiu

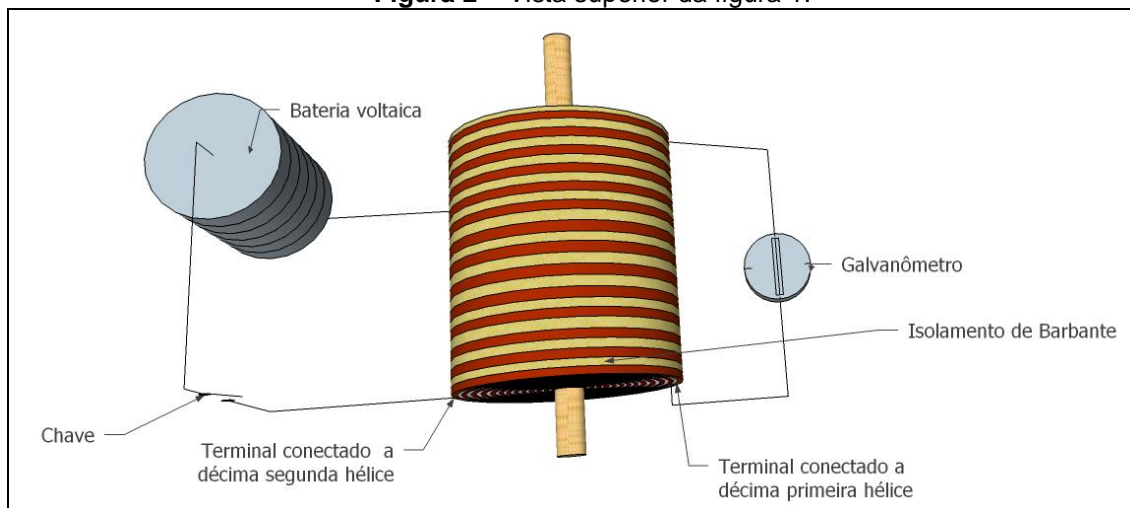
perceber nenhuma corrente induzida, apesar de tal fato, ele tem uma importância fundamental, pois ele é a base dos demais deste trabalho.

Figura 1 – Dois conjuntos de hélices isolados um do outro, montadas sobre um núcleo de madeira e com espiras também isoladas.



Fonte: autor, construída no software SketchUp Make 2017.

Figura 2 – Vista superior da figura 1.



Fonte: autor, construída no software SketchUp Make 2017.

À luz do que sabemos hoje, apontamos que a provável causa da falha do experimento em não ter sido registrada corrente induzida está no isolamento de barbante interposto entre as espiras das hélices, pois assim sendo, a diminuição do número de espiras de cada hélice pode ter causado um enfraquecimento do campo magnético induzido por cada hélice. Em nossa concepção este experimento pode ser utilizado didaticamente juntamente com os demais com o intuito de debater a motivação da falha daquele em relação a estes.

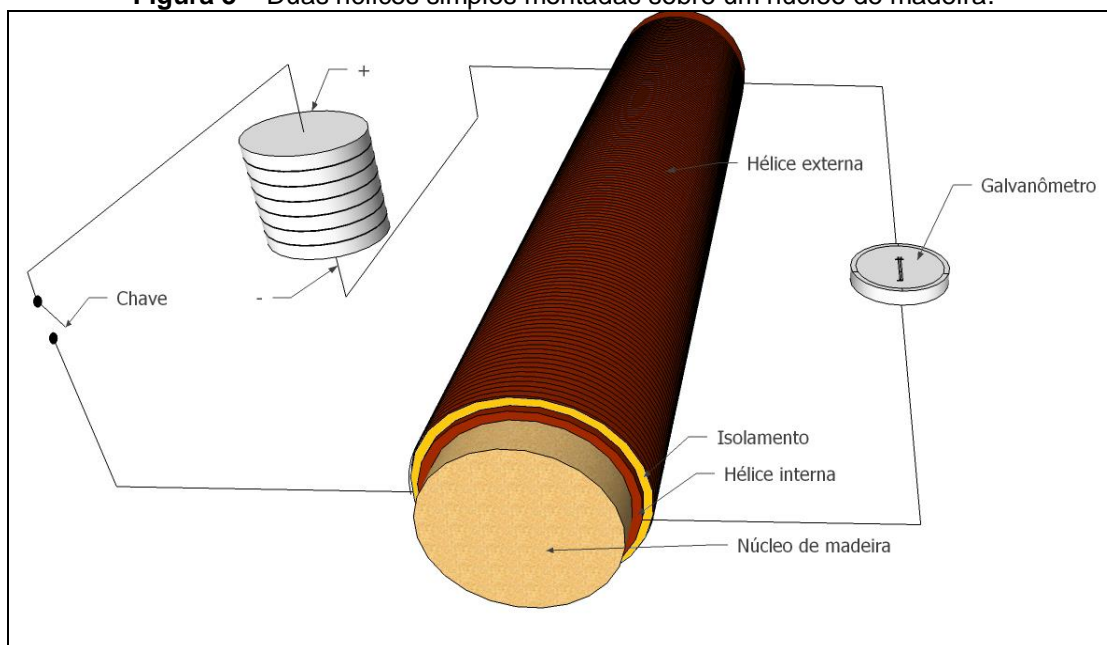
2.1.2 Segundo experimento

Encontrando-se na tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 155), do parágrafo 10 ao 11, neste experimento ele tinha como objetivo demonstrar que duas hélices montadas sobre o mesmo eixo, porém, isoladas em toda sua extensão, têm o poder de induzir correntes elétricas, se pelo menos uma for conectada a uma bateria. O material utilizado consistiu em:

- Dois pedaços de 203 pés (61,87 m) de fio de cobre, cada um;
- Um bloco de madeira;
- Barbante;
- Galvanômetro;
- Bateria voltaica de 100 pares de placas de quatro polegadas quadradas ($0,0026 \text{ m}^2$), com cobres duplos.

Na montagem, figura 1, ele enrola um dos fios em formato de hélice (interna) em torno de um bloco de madeira, denominado daqui em diante de núcleo de madeira. Em seguida, ele envolve essa hélice por um barbante que serve como um isolante. Com o outro fio ele cria uma segunda hélice (externa) envolta no conjunto: núcleo de madeira, hélice interna, barbante. Em ambas as hélices foram reservadas certas quantidades de fios que não foram enroladas; o objetivo foi criar dois terminais, em cada hélice, para conectá-las aos demais aparatos. Ele conecta um galvanômetro de tipo não especificado à hélice interna e uma bateria voltaica a hélice externa.

Figura 3 – Duas hélices simples montadas sobre um núcleo de madeira.



Fonte: autor, construída no software SketchUp Make 2017.

Em suas observações, Faraday descreve que apenas houve movimentação do ponteiro do galvanômetro no momento que realizava o contato da bobina externa à bateria, “bem carregada”, ou desfazia o contato, daí, quando a corrente estava passando continuamente na bobina externa, o galvanômetro conectado a bobina interna não marcava nenhuma corrente induzida. A chave desenhada na figura

acima representa, apenas, o ato de fazer e desfazer o contato conforme a sua vontade, pois nenhuma chave é mencionada nos escritos de Faraday, elas foram incluídas em todas as figuras deste trabalho com intuito pedagógico.

No parágrafo 11 (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 155), Michael Faraday, realiza uma variação do mesmo experimento com uma bateria mais potente, mas não observa resultados diferentes, no entanto, ele observa um padrão que ocorria com a agulha do galvanômetro; sempre ao conectar a bateria na bobina indutora (hélice externa), o galvanômetro deflexionava sua agulha em uma mesma direção e quando é rompido o contato o deflexionamento era contrário ao primeiro.

2.1.3 Terceiro experimento

Desde a sua montagem e análise, inclusive com variações desse experimento, ele percorre do parágrafo 12 ao 17 da tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 156-157), tendo como objetivo demonstrar que é possível imantar uma agulha mantendo-a no interior de uma hélice oca percorrida por uma corrente, esta montagem é uma variação do primeiro experimento. Foi utilizado o seguinte material:

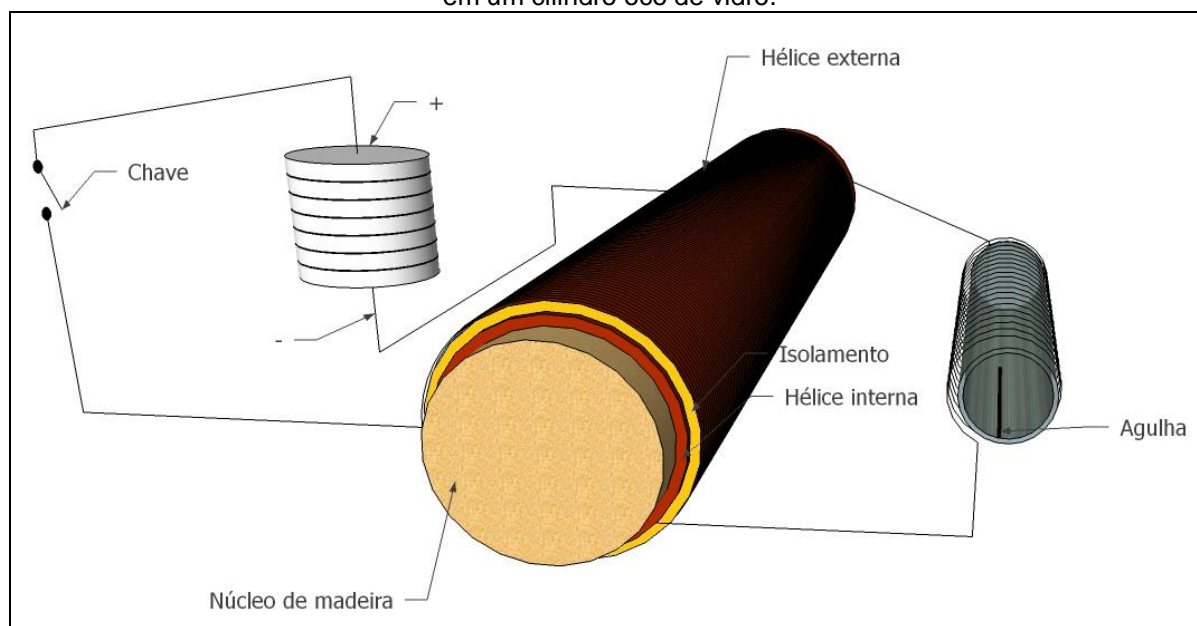
- Duas hélices com a mesma especificação e montagem do experimento anterior;
- Um pedaço de fio de comprimento não especificado;
- Um cilindro oco de vidro de diâmetro e comprimento não especificado;
- Bateria voltaica de 100 pares de placas de quatro polegadas quadradas ($0,0026 \text{ m}^2$), com cobres duplos.
- Uma agulha metálica.

Os procedimentos de montagem, as especificações e arranjo das duas hélices estão descritos no segundo experimento, podemos afirmar que a mudança crucial é a substituição do galvanômetro por uma hélice envolta em um cilindro oco de vidro, com: diâmetro, comprimento do fio e número de voltas não especificado. Para a realização do experimento também foi utilizado uma agulha metálica, a princípio sem nenhuma imantação.

Em seus procedimentos operacionais, observe a figura 4, foi posto a agulha de aço sem nenhuma imantação no interior da hélice oca, daí foram realizadas duas situações:

1. A introdução da agulha na bobina oca de vidro foi feita antes de conectar o conjunto hélices à bateria e retirada antes de desfazer o contato.
2. A introdução da agulha na bobina oca de vidro foi feita após conectar o conjunto hélices à bateria e retirada depois de desfazer o contato.

Figura 4 – Duas hélices simples montado sobre um núcleo de madeira e acoplado uma hélice envolta em um cilindro oco de vidro.



Fonte: Autor, construída no software SketchUp Make 2017.

Os resultados das situações 1 e 2 encontram-se respectivamente nos parágrafos 13 e 14 da tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 156).

13. [...] fazer o contato como antes entre a bateria e o fio indutor (7, 10) e, então, ao remover a agulha antes que o contato da bateria fosse rompido, ela [a agulha] foi encontrada magnetizada. (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 156)

14. Quando se fazia, inicialmente, o contato da bateria, em seguida sendo introduzida uma agulha não magnetizada na pequena hélice indicadora (13) e, por último, [quando] o contato da bateria era rompido, encontrava-se a agulha magnetizada, aparentemente o mesmo tanto que antes, mas com os polos invertidos. (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 156)

Podemos supor que sua intenção era analisar a relação de abrir e fechar o circuito, conjunto de hélices, com a bateria e o resultado magnetização, assim, ele apenas observava, exclusivamente, o resultado do fenômeno de ligar ou de desligar sobre a agulha.

No parágrafo 16 da tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 156), Faraday descreveu os resultados da introdução da agulha na bobina oca de vidro antes de ter conectado o conjunto hélices à bateria e retirado após desfazer, daí ele propôs que houve aproximadamente uma neutralização da magnetização. A cerca desse fato ele observou que a agulha ainda ficou com alguma imantação, então, ele inferiu que a corrente induzida do ato de ligar era superior à corrente de desligar o conjunto de bobinas à bateria. Ainda não satisfeito, ele abriu e fechou o circuito por diversas vezes seguidas com a agulha inserida na hélice oca de vidro com a intenção de verificar se sua hipótese se confirmava, sendo assim, deveria haver um efeito cumulativo de magnetização na agulha, e explicado por Faraday como sendo característica da pilha. Veja no fragmento do parágrafo 16 da tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 156) abaixo:

16. [...] o contato fosse feito e rompido muitas vezes sucessivamente, enquanto a agulha permanecia na hélice indicadora, ela, ao final, não saía

desmagnetizada, mas saía uma agulha magnetizada como se apenas tivesse agido sobre ela a corrente induzida ao fazer o contato. Esse efeito pode ser devido à acumulação (como é chamado) nos polos da pilha desconectada, fazendo com que a corrente, ao ser feito o primeiro contato, seja mais potente do que a corrente seguinte, no momento de romper o contato.

No parágrafo 26 (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 158 -159), apesar de estar fora do intervalo demarcado para este experimento, neste trabalho, Faraday em seu trabalho retoma o resultado deste experimento analisando-o em conjunto com o do segundo experimento. Assim ele tenta convencionar o sentido da corrente induzida e indutora a partir da formação da polarização do ímã na hélice indicadora, que seria a hélice enrolada em um cilindro oco de vidro e capaz de magnetizar agulha.

26. [...] Pela referência aos polos da agulha formada na hélice indicadora (13, 14) e às deflexões da agulha do galvanômetro (11), foi encontrado em todos os casos que a corrente induzida, produzida pela primeira ação da corrente indutora, era em direção contrária a essa última [corrente indutora], mas que a corrente produzida pela interrupção da corrente indutora era na mesma direção [da corrente indutora] (19). (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 158-159)

Essa análise pode ser utilizada como recurso didático em uma intervenção escolar com enfoque histórico-experimental, podendo ser enfatizado a mudança de meio de demonstrar a indução de correntes, pois a princípio utiliza-se o galvanômetro como instrumento no experimento 2. Já se sabia, desde a experiência de Ørsted, que a corrente percorrendo um condutor era capaz de gerar efeitos magnéticos em agulhas de bússolas, que são meros ímãs, próximas a um fio percorrido por corrente, sendo assim a imantação artificial de uma agulha de aço, como foi usada neste experimento, é outra forma de mostrar que ocorre indução em uma hélice. Assim demonstramos uma vertente de aplicação de tal experimento, ficando a critério do leitor a melhor aplicabilidade; podendo também expandir para demais enfoques.

2.1.4 Quarto experimento

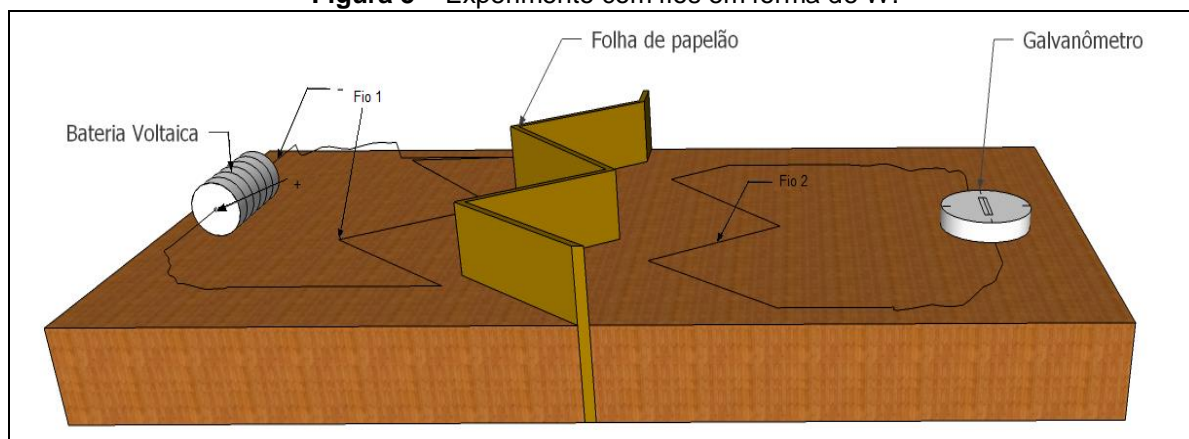
Desenvolvido entre os parágrafos 18 e 21 da tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 157) e seu objetivo era demonstrar que também havia indução de correntes quando havia movimentos relativos entre fios. Nesta montagem foi utilizado o seguinte material:

- Dois fios de comprimento não especificados;
- Galvanômetro;
- Bateria voltaica;
- Superfície não especificada;
- Folha de papelão;

Para facilitar a compreensão da montagem observe a figura 5, nomeamos os fios em 1 e 2, ambos foram moldados em forma da letra W, então foi reservado algum comprimento extra de fio sem moldar para serem utilizados como terminais que possibilitem a mobilidade do conjunto e a serem conectados a bateria e ao galvanômetro. Na figura 5, o Fio 1, foi conectado a bateria voltaica e o Fio 2 ao

galvanômetro e todo o conjunto foi posto sobre uma superfície, provavelmente isolante.

Figura 5 – Experimento com fios em forma de W.



Fonte: autor, construída no software SketchUp Make 2017.

O procedimento operacional utilizado no experimento consistiu em aproximar, ou afastar, os Fios 1 e Fio 2 um do outro e observar o comportamento da agulha do galvanômetro (ver figura 5); a folha de papelão foi usada como barreira isolante, ao manter os fios próximos o suficiente que o único empecilho para ambos se tocarem fosse o papelão. No parágrafo 18, ficam explícitos os resultados e como foram obtidos:

18. [...]O primeiro fio foi movido, então, em direção ao segundo e, enquanto se aproximava, a agulha era desviada. Quando era afastado, a agulha era desviada na direção oposta. Ao aproximar e afastar os fios, simultaneamente com as vibrações da agulha, essas vibrações logo se tornavam muito grandes, mas quando os fios paravam de aproximar-se ou de afastar-se, a agulha do galvanômetro logo voltava para sua posição usual. (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 157)

Podemos deduzir que a intenção de Faraday era demonstrar que ocorria indução, também, quando havia movimento entre o Fio 1 e o Fio 2, diferentemente dos experimentos 2 e 3, onde a indução ocorria quando a hélice indutora era apenas conectada ou desconectada com a bateria.

No parágrafo 19 da tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 157) ele chega a conclusão que há uma diferença de sentido da corrente induzida no Fio 2, conforme o movimento do Fio 1, ou seja, se o Fio 1 se aproximasse do Fio 2 a corrente no Fio 2 era sempre contrária ao sentido da corrente do Fio 1. Se o movimento entre ambos fosse de afastamento, a corrente em ambos era no mesmo sentido.

19. Quando os fios se aproximavam, a corrente induzida era na direção contrária à corrente indutora. Quando os fios se afastavam, a corrente induzida era na mesma direção que a corrente indutora. Quando os fios permaneciam estacionários, não havia corrente induzida (54). (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 157)

Do parágrafo 19, Faraday também se depreende a convenção implicitamente do sinal da corrente, possivelmente, utilizando a convenção usual da corrente construída historicamente, desse modo ele considerou que a corrente parte do polo positivo para o negativo de uma bateria.

2.1.5 Quinto experimento

Este experimento está disposto do parágrafo 24 ao 26 da tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 158-159) e seu objetivo era testar se a eletricidade fornecida por uma garrafa de Leyden a um conjunto de hélices, produziria os mesmos efeitos que a bateria na imantação de uma agulha. O material utilizado foi:

- Conjunto A, 4 hélices contendo cerca de 26 pés (7,92m) de comprimento e 1/20 de polegada (1,27 mm) de diâmetro;
- Conjunto B, 4 hélices contendo cerca de 26 pés (7,92m) de comprimento e 1/20 de polegada (1,27 mm) de diâmetro;
- Fio barbante;
- Um pedaço de madeira;
- Um pedaço de fio de comprimento não especificado;
- Um cilindro oco de vidro de diâmetro e comprimento não especificado;
- Uma garrafa de Leyden;
- Uma agulha metálica.

O procedimento de fabricação das hélices consistiu no mesmo daquele do primeiro experimento deste trabalho, porém, não deixando explícito se foi usado barbante para a separação das espiras ou se o barbante foi utilizado para isolamento entre as hélices. Para facilitar a compreensão denominaremos dois conjuntos distintos de hélices, conjunto A e Conjunto B, ambos são formados por 4 hélices interligadas e montadas sobre o mesmo eixo, sobrepostas e intercaladas por uma camada isolante, para a separação de A de B uma a uma, a disposição de montagem pode ser vista nas figuras 1 e 2. O conjunto de hélices A foi interligado com uma garrafa de Leyden, enquanto que o conjunto B à outra hélice enrolada em um cilindro oco de vidro, sendo que no interior da hélice oca foi posta uma agulha metálica que sofreu magnetização, após a garrafa ser descarregada.

Analisando este experimento, percebemos que Faraday utilizou elementos e ideias de outros experimentos que ele já havia realizado, porém, sua intenção principal era observar se uma garrafa de Leyden seria capaz de gerar correntes induzidas. Na concepção adotada por Faraday, à época de suas pesquisas, parecia haver uma diferenciação do tipo de eletricidade produzida pela bateria e a garrafa, sendo a eletricidade produzida pela bateria nomeada de voltaica e a da garrafa de “comum”.

Apesar de ter havido magnetização da agulha neste experimento, Faraday, parece ter ficado em dúvida se foi devido a corrente induzida ou a alta tensão da garrafa de Leyden que superaria o isolamento entre as hélices e magnetizaria diretamente a agulha, parágrafo 24 da tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 158).

24. [...]Ao passar a descarga, encontrou-se que a agulha tinha virado um ímã; mas pareceu provável que uma parte da eletricidade da garrafa tinha ido para a pequena hélice e, assim, magnetizou a agulha. De fato não havia razão de esperar que a eletricidade de uma garrafa possuindo grande tensão como ela possui, não se difundiria através de toda a matéria metálica interposta entre os revestimentos [da hélice]. (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 158)

Em virtude da incerteza da natureza da magnetização da agulha, Faraday não descarta que a eletricidade armazenada na garrafa seja capaz de realizar o fenômeno, porém ele admite que o experimento não é adequado para conseguir

diferenciar o ocorrido, observe no parágrafo 25 da tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 158).

25. Contudo, não resulta que a descarga da eletricidade comum através de um fio não produz fenômenos análogos àqueles que surgem da eletricidade voltaica; como parece impossível separar os efeitos produzidos, no momento em que a descarga começa a passar, dos efeitos iguais e contrários produzidos quando ela cessa de passar (16), visto que, com eletricidade comum, esses períodos são simultâneos, assim, dificilmente pode haver qualquer esperança que, nesta forma de experiência, os fenômenos possam ser percebidos. (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 158)

Este desfecho do experimento é interessante, pois demonstra que nem sempre os cientistas têm o equipamento mais adequado, a tecnologia mais avançada ou o conhecimento suficiente para avaliar suas observações e chegar a conclusões fechadas sobre um fenômeno. Portanto, em um contexto de ensino pode ser usado para mostrar que o processo de produção de conhecimento não é simples e nem absoluto. Pode ser que em uma investigação científica não seja esclarecido todos os aspectos de um fenômeno.

2.2 Considerações a respeito do título 2.

A partir deste título, Faraday inicia uma série de experimentos e observações, nos quais os núcleos das hélices compostas principais, não eram apenas de madeira. Podiam ser: ocos, com núcleos de ferro, com ímãs e outras variações. Essa é a principal diferença entre este título e o anterior. Então, partindo dessas “pequenas mudanças”, puderam-se verificar variações nos fenômenos já observados e novos fenômenos. Faraday fez, assim, uma transição do estudo e trouxe uma nova perspectiva para o eletromagnetismo.

2.2.1 Sexto experimento

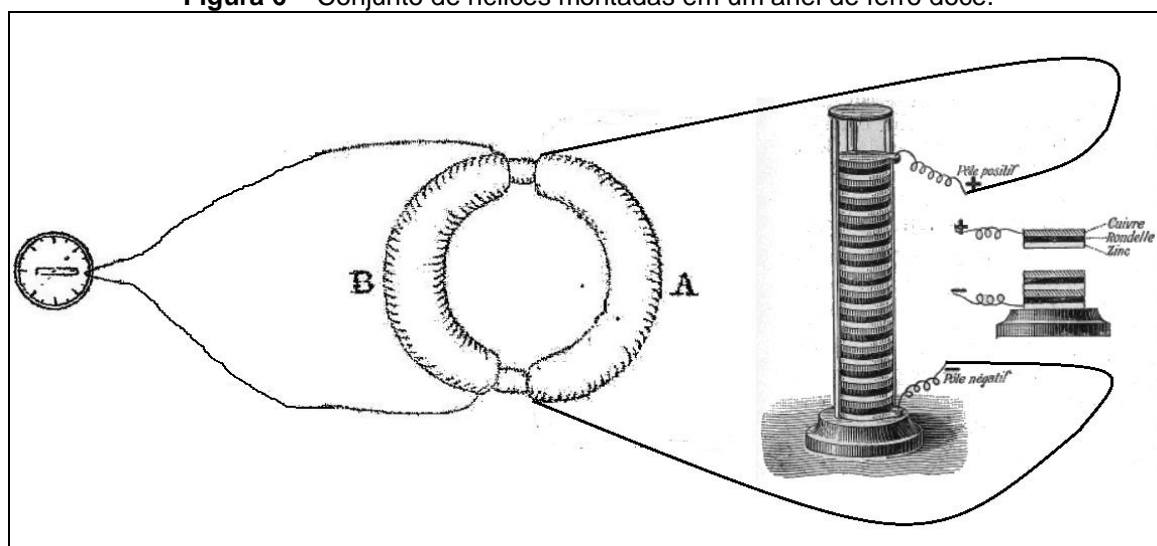
Entre a descrição da montagem do experimento e suas variações de operação, ele discorre do parágrafo 27 ao 33 da tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 159-161) e seu objetivo foi a observação dos efeitos causados pela implementação de um arranjo de dois conjuntos de hélices, ambos enrolados em torno de um anel metálico e separados por certa distância. O material de montagem foi:

- Um Anel cilíndrico de espessura $\frac{7}{8}$ de polegadas e feito de uma barra de ferro doce soldado;
- 3 pedaços de fio contendo cerca de 24 pés (7,31 m) de comprimento e diâmetro de $\frac{1}{20}$ de polegadas;
- Dois pedaços de fio de cobre totalizando 60 pés (18,29 m);
- Fio de barbante como material isolante;

Como procedimento de montagem, optamos por transcrever abaixo o parágrafo 27 da tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 159) por entender que a linguagem que Faraday utilizou foi clara, concisa e simples de compreensão, portanto adequa-se a proposta desse trabalho. Entretanto, esse parágrafo deve ser analisado à luz da figura 6.

27. Um anel soldado foi feito de uma barra circular de ferro doce; o metal possuía sete oitavos de polegada de espessura, e o anel seis polegadas de diâmetro externo. Três hélices foram colocadas ao redor de uma parte desse anel, cada uma contendo cerca de vinte e quatro pés de fio de cobre com uma espessura de um vigésimo de uma polegada; elas foram isoladas do ferro e uma da outra, e superpostas da mesma maneira descrita anteriormente (6), ocupando cerca de nove polegadas de comprimento sobre o anel. Elas podiam ser usadas separadamente ou em conjunto, o grupo [das três hélices] pode ser distinguido pela letra A [...]. Foram colocados da mesma maneira na outra parte do anel cerca de sessenta pés de fio similar de cobre em dois pedaços, formando uma hélice B, que tinha a mesma direção comum com a hélice A, mas sendo separada desta em cada extremidade, por cerca de meia polegada de ferro descoberto. (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 159).

Figura 6 – Conjunto de hélices montadas em um anel de ferro doce.



Fonte: adaptada da figura 1 da tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 159).

Por razões didáticas, a figura 6 deste trabalho, é uma adaptação realizada a partir de três figuras distintas, sendo assim, foi construída a partir da figura 1 da tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 159) que consistia apenas, de dois conjuntos de hélices envoltas no anel circular, separadas por certa distância, e os terminais de cada conjunto de hélice eram as pontas dos fios soltos. A figura base acrescentamos aos terminais das hélices B, o galvanômetro, que se encontra na figura 2 da tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p.162) e do lado das hélices A, unimos as pontas dos terminais ao de uma bateria voltaica; esta bateria é a imagem 1, contida no trabalho de Souza Filho e Caluzzi (2009, p.05). Essas adaptações foram realizadas tentando manter a essência do caráter histórico da figura e também a clareza da montagem descrita no parágrafo 27 da tradução.

No parágrafo 28 da tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 160), transcrito abaixo, Faraday descreve seu primeiro procedimento de manuseio do experimento, mas não sendo o único modo que ele testou o arranjo.

28. A hélice B foi conectada por fios de cobre com um galvanômetro, que estava a três pés do anel. As hélices de A foram conectadas de ponta a ponta para formar uma hélice comum, suas extremidades foram conectadas a uma bateria [composta] por dez pares de placas de quatro polegadas quadradas. O galvanômetro foi imediatamente afetado, em grau muito superior ao descrito quando foram usadas hélices sem ferro com uma bateria de potência dez vezes maior (10), mas, ao manter o contato, o efeito

não foi permanente, pois a agulha voltou rapidamente ao repouso em sua posição natural, como se estivesse completamente indiferente ao arranjo eletromagnético anexado. Ao interromper o contato com a bateria, a agulha foi novamente desviada fortemente, mas em direção contrária à direção induzida no primeiro caso. (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 160)

Podemos perceber do parágrafo 28 da tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 160) uma observação importantíssima advinda dessa montagem; a amplificação da corrente induzida devido à inserção de ferro doce no interior das hélices. Essa observação levou a uma aplicação, hoje amplamente utilizada, que é dos transformadores de energia elétrica, utilizados modernamente em diversas aplicações de engenharia, ciências e tecnologia. Além disso, temos que é a primeira montagem que as hélices não estão montadas sobre o mesmo eixo; sendo assim um meio metálico amplificando o magnetismo gerado pelo conjunto de hélices A e induzindo correntes no conjunto de hélices B, mas sem haver uma proximidade, como nos experimentos anteriores entre as espiras dos conjuntos de hélices.

Ao adaptar tal experimento em uma perspectiva histórica para sala de aula, consegue-se trabalhar vários aspectos da indução eletromagnética, por exemplo, amplificação da corrente induzida devido à inserção do ferro doce. Se o professor pretender realizar um experimento fidedigno, há diversas dificuldades a serem levadas em conta, como a dificuldade em encontrar o ferro doce usado no anel do experimento ou a produção de uma bateria voltaica. Um fato que merece nota, é a denominação ferro doce ser tida, na atualidade, como incorreta e sendo mais aceita aço doce, que é uma das ligas de aço utilizada como condutor magnético.

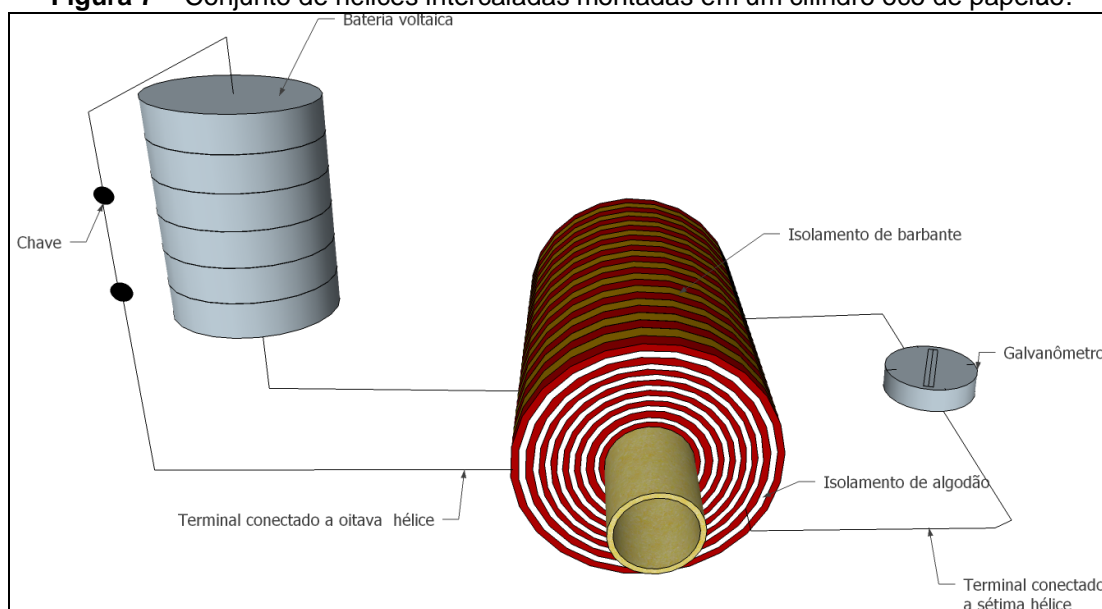
2.2.2 Sétimo experimento

Este é o experimento que é descrito nos parágrafos 34 e 35 da tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 161) e o seu objetivo era demonstrar que uma Hélice composta e oca comporta-se de maneira diferente quando inserido um núcleo metálico no seu interior. O material utilizado foi:

- 8 pedaços de fio de cobre, contendo juntos 220 pés (67,06 m) de comprimento;
- Fio barbante;
- Pano de algodão;
- Um cilindro oco papelão de diâmetro e comprimento não especificado;
- Uma bateria voltaica;
- Um galvanômetro;
- Um cilindro de ferro doce de diâmetro 7/8 de polegadas (0,022 m).

Nos procedimentos de montagem do experimento, Faraday, utilizou o mesmo processo do parágrafo 6 (ASSIS; HARUNA, 2011, p.155) contido no experimento 1 deste trabalho. A figura 7, sendo recurso o didático para um melhor entendimento de como se deu o processo de montagem e experimentação, seria o arranjo final, ou seja, como ficou o experimento após as conexões das hélices com a bateria voltaica e o galvanômetro.

Figura 7 – Conjunto de hélices intercaladas montadas em um cilindro oco de papelão.



Fonte: autor, construída no software SketchUp Make 2017.

Na figura 8 temos um recorte da seção transversal do conjunto de bobinas representado na figura 7, daí destacamos os seguintes elementos:

- Conjunto de 4 hélices interligadas e conectadas a bateria voltaica, representadas na cor marrom, feitas com 4 fios de cobre listados nos materiais;
- Conjunto de 4 hélices interligadas e conectadas ao galvanômetro representadas na cor vermelha, feitas com outros 4 fios de cobre listados nos materiais ;
- Isolamento pano de algodão entre as hélices representado na cor branca;
- Cilindro oco de papelão representado na cor amarela.

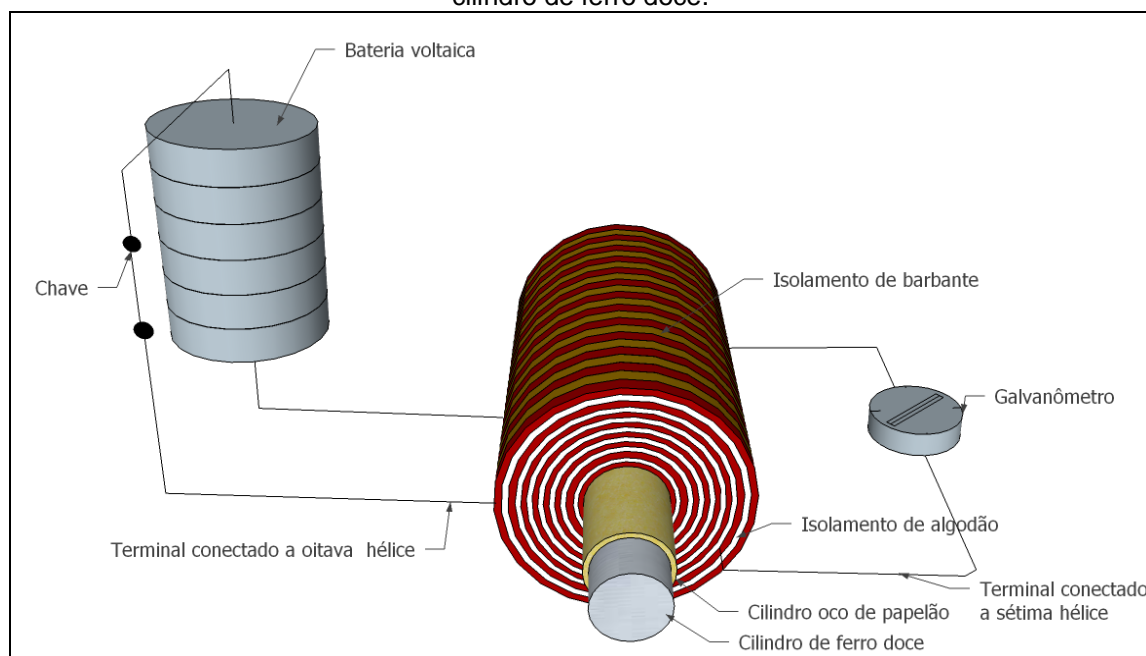
Figura 8 – Recorte do conjunto de hélices intercaladas montadas em um cilindro oco de papelão.



Fonte: autor, construída no software SketchUp Make 2017

Na operacionalização do experimento, encontrada no parágrafo 34 da tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 160) foi descrito que quando fechado o circuito do conjunto de hélices, intercaladas e envoltas em um cilindro oco, com a bateria (chave da figura fechada), percebeu-se uma movimentação da agulha do galvanômetro (ver figura 8). Ao realizar a mesma operação, inserindo um cilindro de ferro doce, a corrente detectada pela agulha do galvanômetro era amplificada (ver figura 9) em comparação a situação que havia apenas o cilindro oco (ver figura 8). É importante ressaltar, novamente, que a corrente somente era detectada pelo galvanômetro no mesmo instante que o contato da bateria era realizado ou desfeito.

Figura 9 – Conjunto de hélices intercaladas montadas em um cilindro oco de papelão e inserido um cilindro de ferro doce.



Fonte: autor, construída no software SketchUp Make 2017.

No que concerne a sala de aula, este experimento, pode ser mais versátil que o sexto experimento, pois ele permite a observação do fenômeno de amplificação da corrente através do mero ato de inserir no eixo da hélice o cilindro de ferro doce, podendo assim ser mais vantajoso para quem dispõe de menos tempo para realizar a atividade experimental.

2.2.3 Oitavo experimento

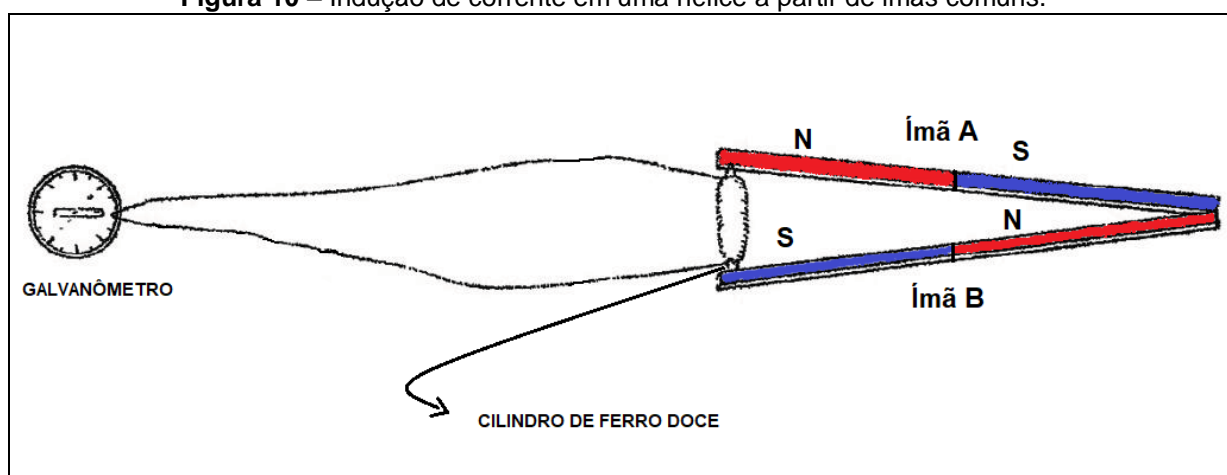
Este experimento está descrito do parágrafo 36 ao 39 da tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 161-164) e foi realizado com objetivo de demonstrar que ao inserir um cilindro de ferro doce na hélice e fazer, e desfazer, o contato de suas pontas com ímãs comuns, também eram capazes de induzir correntes elétricas. O material utilizado foi o seguinte:

- 8 pedaços de fio de cobre, contendo juntos 220 pés (67,06m) de comprimento;
- Fio barbante;
- Pano de algodão;
- Um cilindro oco papelão de diâmetro e comprimento não especificado;

- Dois ímãs comuns em formato de barras;
- Um galvanômetro;
- Um cilindro de ferro de diâmetro 7/8 de polegadas (0,022 m).

As partes que compõe os conjuntos de hélices, especificados na lista de materiais, são os mesmos do experimento anterior e constituíram de: 4 pedaços de fios, pano de algodão, barbante, cilindro oco de papelão, fio de barbante, pano de algodão e cilindro de ferro doce. Os procedimentos de montagem basicamente ocorreram do mesmo modo que o descrito no experimento anterior, mas com uma leve modificação que alterou a estrutura e o funcionamento do conjunto intercalado de hélices; o conjunto conectado a bateria e o conjunto conectado ao galvanômetro foram postos em contato entre si, através de suas pontas, formando uma única hélice (ver figura 8). Durante os procedimentos experimentais, os terminais gerais, deste único conjunto de hélice foram conectados a um galvanômetro e com o intuito de formar uma espécie de ímã em formato de ferradura, foram utilizados dois ímãs com as extremidades de polos opostos, conectadas diretamente entre si, em formato de V, as outras extremidades livres e com abertura de mesmo comprimento do cilindro de ferro doce foram utilizadas para fazer contato com as extremidades do cilindro de ferro doce (ver figura 10).

Figura 10 – Indução de corrente em uma hélice a partir de ímãs comuns.



Fonte: adaptada da figura 2 da tradução do artigo (ASSIS; HARUNA, 2011, p.162).

Na transcrição abaixo do parágrafo 37, da tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 161), podemos perceber os procedimentos operacionais e os efeitos percebidos por Faraday.

37. Fazendo o contato magnético, a agulha era desviada; mantendo o contato, a agulha ficava indiferente, e retornava a sua posição inicial; rompendo o contato, foi novamente desviada, mas em direção oposta ao primeiro efeito e, então, novamente ficava indiferente. Quando os contatos magnéticos eram invertidos as deflexões eram invertidas. (Assis; Haruna, 2011, p. 162).

A importância desse experimento para o trabalho de Faraday está na inovação de induzir uma corrente elétrica em uma hélice sem utilizar a corrente de uma bateria voltaica para criar um eletroímã, ou seja, ele apenas utiliza ímãs comuns para tal feito.

No parágrafo 38 da tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 161) por entendermos ser demasiadamente complexo, vamos tentar analisar em dois segmentos e simultaneamente com figura 11, assim, seremos mais efetivos em nosso entendimento. Logo observe a seguinte passagem:

38. Quando era feito o contato magnético, a deflexão era tal que indicava uma corrente induzida de eletricidade na direção oposta àquela preparada para formar um ímã tendo a mesma polaridade que a polaridade de fato produzida pelo contato com os ímãs em barra. [...] (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 161)

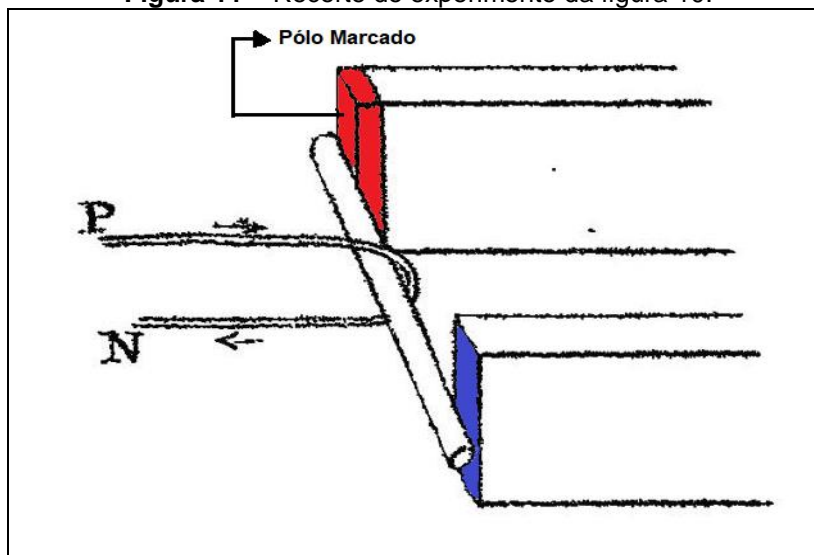
Faraday estava fazendo uma analogia com o fato de que se este experimento fosse realizado com dois conjuntos de hélices intercaladas, mas isoladas, assim como no sétimo experimento deste trabalho (ver figuras 7 e 8), então, quando o primeiro conjunto de hélices fosse conectado a uma bateria voltaica, formaria um eletroímã com a mesma polaridade que o ímã usado neste experimento e induziria uma corrente nas espiras do segundo conjunto de hélices, conectados ao galvanômetro, em sentido oposto àquela para formar o eletroímã no conjunto de hélice conectado a bateria voltaica.

Por conseguinte, em um segundo fragmento do parágrafo 38:

38. [...] Assim, quando os polos marcados e desmarcados foram colocados como na Figura 3, a corrente na hélice estava na direção representada, supondo ser P a ponta do fio indo para o polo positivo da bateria, ou a ponta voltada para a face das placas de zinco, e N o fio negativo [...] (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 161)

A figura 3 (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 163), a qual ele refere-se no segundo fragmento do parágrafo 38, citado acima, corresponde à figura 11 deste trabalho, ela é um recorte da montagem da figura 10, foram realizadas adaptações para uma melhor compreensão didática, que consistiram em adotarmos cores e destacarmos o polo marcado. Na figura da fonte primária, assim como a nossa, foi omitido o galvanômetro e os ímãs foram desenhados apenas as pontas, as hélices foram substituídas pela única espira e o cilindro conectado as extremidades dos ímãs é o de ferro doce já listado nos materiais.

Figura 11 – Recorte do experimento da figura 10.



Fonte: adaptada da figura 3 da tradução do artigo (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 163).

Trataremos do que Faraday considerava como polo marcado, ou seja, como ele convencionou esse fato. Em sua nota de rodapé de número 10, da tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 165), ele considera o polo marcado àquele que aponta para o polo norte geográfico da terra, mas não fazendo menção de como chega à conclusão de qual é o polo marcado de um ímã qualquer, porém podemos citar um meio simples que pode ter sido utilizado por ele e muitos outros para tal feito. Ao utilizar uma bússola que longe do ímã qualquer, ela aponta para o norte geográfico, então, se a aproximarmos de um polo qualquer de um ímã, que necessitamos descobrir sua polaridade, àquele que repele a ponta da agulha da bússola, tem a mesma polaridade que aponta para o norte geográfico. Sendo assim, ao invés de denominar de polo Norte ou Sul do ímã, Faraday convencionou de polo marcado e não marcado.

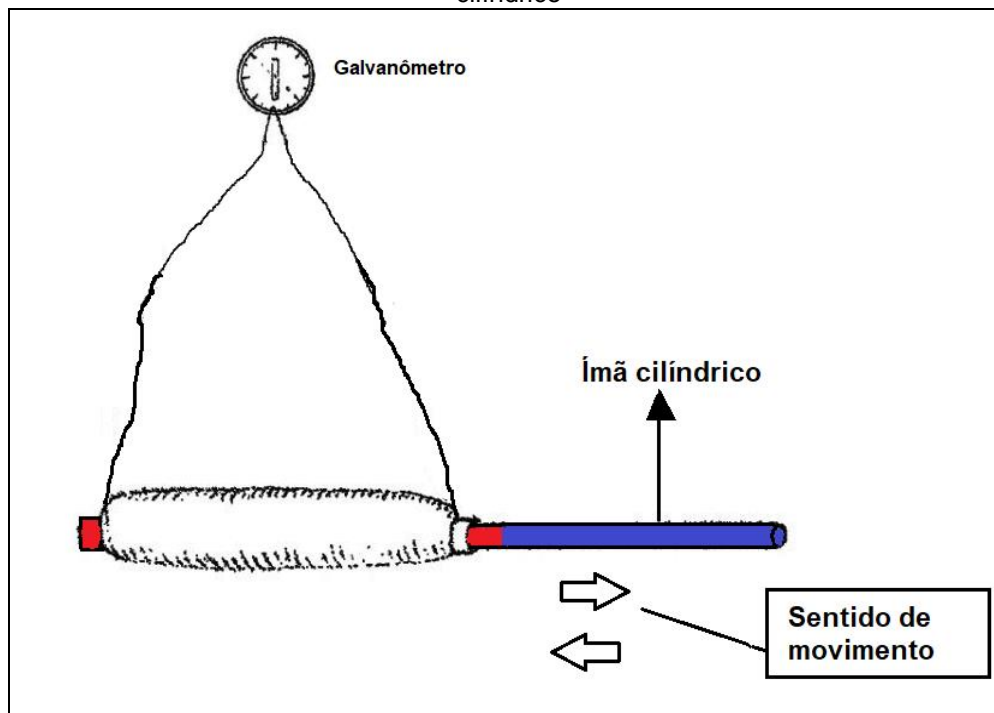
2.2.4 Nono experimento

Este experimento foi relatado entre os parágrafos 39 e 43 da tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 164-165) e teve como objetivo demonstrar que ímãs comuns em movimento, sendo inserido e retirado do interior de uma hélice oca, também eram capazes de induzir correntes elétricas. O material utilizado foi o seguinte:

- 8 pedaços de fio de cobre, contendo juntos 220 pés (67,06 m) de comprimento;
- Pano de algodão;
- Fio barbante;
- Um cilindro oco papelão de diâmetro e comprimento não especificado;
- Um ímã cilíndrico com diâmetro de $\frac{3}{4}$ de polegadas (0,019 m) e comprimento de 8,5 polegadas (0,22 m);
- Um galvanômetro.

Os procedimentos de montagem do conjunto de hélices deste experimento encontram-se no oitavo experimento, pois Faraday utiliza o mesmo conjunto de hélices concebidas com os mesmos materiais, acima listados. Do mesmo modo que no experimento anterior, o conjunto de hélices intercaladas tinham os dois terminais gerais conectados ao galvanômetro para detecção de correntes. A diferença crucial entre esse experimento e o oitavo é que ao invés de usar dois ímãs para fazer e desfazer contatos magnéticos, ele utiliza apenas um ímã cilíndrico, ora introduzindo, ora retirando do interior da hélice. Observe a figura12:

Figura 12 – Indução de corrente em um conjunto de hélices através do movimento de um ímã cilíndrico



Fonte: adaptada figura 4 da tradução do artigo (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 164)

Como resultado dos procedimentos, podemos afirmar que Faraday chegou as seguintes observações:

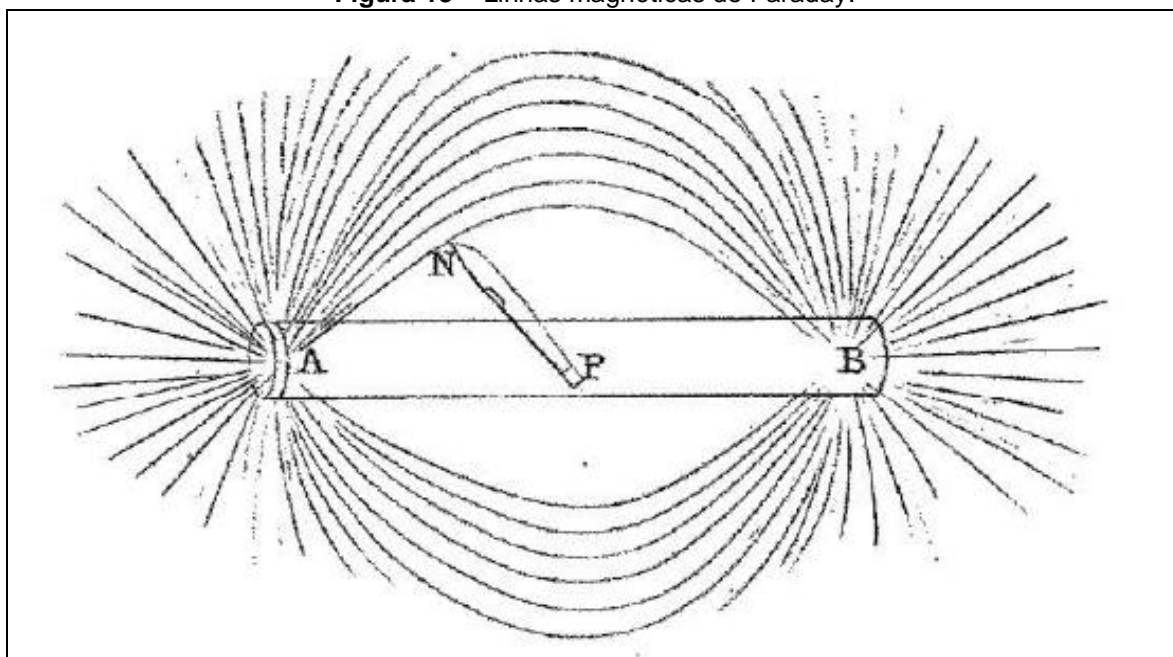
- Ao inserir o ímã na hélice a agulha do galvanômetro foi deflexionada no sentido da introdução;
- Quando o ímã ficou repouso no interior da hélice a agulha do galvanômetro não foi deflexionada em nenhum sentido
- Ao retirar o ímã da hélice a agulha do galvanômetro foi deflexionada no sentido oposto da introdução
- Ao atravessar o ímã completamente a agulha inicialmente é deflexionada em um sentido e depois de certo ponto de inserção no sentido oposto;
- Ao mover o ímã fora da hélice, longe do galvanômetro, a agulha não foi deflexionada em nenhum sentido.

No parágrafo 41 da tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 164), Faraday relatou uma nova configuração deste experimento, em que supõe demarcar as posições de um conjunto de hélices (Leste a Oeste ou qualquer posição constante) , daí ele manteve um ímã com o polo marcado apontando sempre para o mesmo sentido; ou Leste, ou Oeste. Quando o ele inseriu o ímã na hélice, independente se o lado introduzido foi pelo Leste ou Oeste, a corrente medida no galvanômetro foi sempre no mesmo sentido. Porém, sempre quando era retirado, a corrente era medida no sentido contrário.

3 CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA EXPLICAÇÃO DE FARADAY SOBRE O FENÔMENO DA INDUÇÃO

No parágrafo 42 da tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 164), Faraday, referenciou o parágrafo 114 (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 194), ambos se referem a uma lei proposta para explicar os fenômenos observados nos experimentos com ímãs ou eletroímãs contidos em todas as montagens deste trabalho. Também, cabe citar que no parágrafo 116 da tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 194) ele tentou explicar didaticamente a mesma lei, para isso ele se utiliza da figura 13 deste trabalho, logo, tentaremos dar clareza a este conceito e para isso devemos analisar um conceito concebido por Faraday, que é o das linhas magnéticas.

Figura 13 – Linhas magnéticas de Faraday.



Fonte: retirada da figura 25 da tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 195)

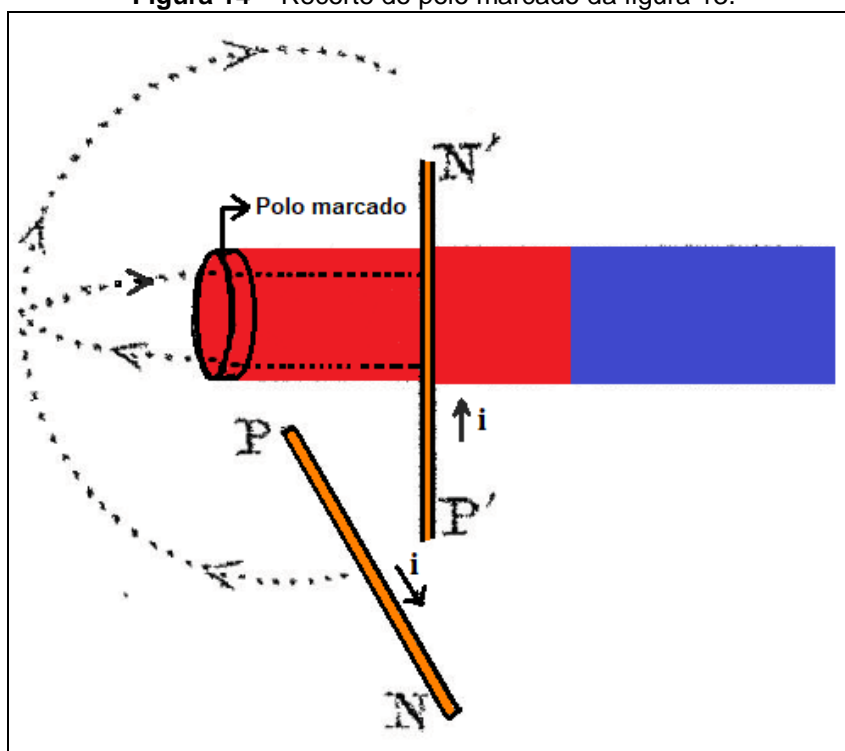
Na figura 13, Faraday fez a representação daquilo que em sua concepção era as linhas magnéticas em um ímã cilíndrico e o polo A, que tem um círculo envolvendo o cilindro próximo a borda é considerado como polo marcado. Achemos conveniente utilizar neste trabalho a figura da fonte primária sem modificações, visto que ela está inteligível. Vamos observar inicialmente que ele não fala de onde as linhas saem e para onde elas vão (sentido), portanto esse não é o conceito mais atual de linhas de campo magnético, porém é um conceito próximo do atual. Daí, temos o conceito que Faraday em nota de rodapé 24 do parágrafo 114, da tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 193), considera como linhas magnéticas.

24[N. F.] Entendo por linhas magnéticas, as linhas das forças magnéticas, modificadas de qualquer maneira pela justaposição de polos, que seriam representadas por limalha de ferro; ou aquelas linhas em relação às quais seria tangente uma pequena agulha magnética. (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 193)

A partir da citação da nota de rodapé 24 de Faraday, transcrita imediatamente acima e também da figura 13 deste trabalho, podemos perceber que sua concepção, o ímã era de exercia uma espécie de esfera de influência em torno de si, as linhas

magnéticas, e os fenômenos de indução se relacionam com esta, porém, estar ao alcance dessa esfera não seria condição suficiente para haver indução de correntes em condutores. Para explicar a indução, na figura 13 deste trabalho, Faraday, desenha a lâmina de uma faca delimitada pelas letras NP para representar um condutor sobre a influência das linhas magnéticas, tendo concebido a figura 14, deste trabalho, para representar um recorte do mesmo ímã da figura 13, observa-se que ele desenha dois condutores representados pelas letras NP e N'P', respectivamente para representar a mesma lâmina de faca da figura 13.

Figura 14 – Recorte do polo marcado da figura 13.



Fonte: adaptada da figura 24 da tradução do artigo (ASSIS; HARUNA, 2011, p.194)

Com o intuito de melhorar o entendimento, a figura 14 foi adaptada em cores e foram adicionamos o sentido da corrente convencional por Faraday. Observe que não foi desenhada nenhuma linha magnética nesta figura, ou seja, as linhas tracejadas tratam-se de caminhos percorridos pelos fios. Para facilitar a compreensão da explicação que encontra-se no parágrafo 114 da tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 194), vamos analisá-lo em duas situações destrinchadas abaixo:

1ª situação: Na figura 14, o fio representado por PN é quem se movimenta e a linha tracejada curva em forma de semicírculo é o seu percurso de movimento. Faraday deixa claro que se o movimento do fio for realizado em uma linha reta tangencial a curva e percorrida no mesmo sentido que o caminho aponta na figura 14, ou se ele passar perto do polo em qualquer outra direção, mas no mesmo sentido da curva, assim o fio cortará as curvas magnéticas. Dessa maneira, será induzida uma corrente no fio, que flui no sentido de P para N. De outro modo, se o fio se desloca no sentido oposto ao da curva, convencional, a corrente será de N para P.

2ª situação: Se o fio estiver representado por P'N' for levado a percorrer o caminho reto até a delimitação da curva horizontal semicircular desenhada na figura 8, então, ele cortará as curvas magnéticas "ao mesmo lado que ela", nas palavras

de Faraday, daí a corrente será no sentido de P' para N'. Daí, ele não explicitou em palavras, mas deixou desenhado na figura o caminho de sentido contrário à ida, então, possivelmente ele iria afirmar que a corrente seria no sentido de N' para P', carecendo o leitor verificar esse fato na literatura ou experimentalmente.

Do parágrafo 44 ao 56, da tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p. 165-169), Faraday relatou que realizou diversos experimentos, porém, são variações dos que já foram apresentados, sendo assim, ficando a critério do leitor decidir se busca mais informações na tradução (ASSIS; HARUNA, 2011).

No parágrafo 57, da tradução (ASSIS; HARUNA, 2011, p.169), transcrito abaixo, podemos perceber que Faraday deixa positivado a sua conclusão advinda de suas observações. Como podemos perceber, ele percorreu um longo caminho para então afirmar que é possível a partir dos experimentos do capítulo 2 da tradução (ASSIS; HARUNA, 2011), obter a indução de correntes elétricas.

57. Acredito que as várias experiências desta Seção provam completamente a produção da eletricidade a partir do magnetismo comum. [...] Mas só pode ser eletricidade um agente que é conduzido ao longo de fios metálicos da maneira descrita; que enquanto flui dessa forma possui as ações magnéticas peculiares e a força de uma corrente de eletricidade [...] (ASSIS; HARUNA, 2011, p.169)

Podemos inferir que da ótica de Faraday, exposta no parágrafo 57, é perfeitamente possível os fenômenos de indução a partir de ímãs comuns e a corrente elétrica induzida que percorre um fio, também produz fenômenos magnéticos. Isso foi exposto no parágrafo 57, por ser predecessor dos parágrafos 114 e 116, inferimos que Faraday já tinha uma teoria formada em mente. Ele deixa positivado em forma de lei o fenômeno da indução apenas em 114 pois continua fazendo arranjos e observações experimentais.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho procuramos trazer à luz as montagens e perspectivas de Michael Faraday em relação aos seus experimentos, por se tratar de trabalhos operacionais, observacionais e matematicamente não estruturados. Ao tentar adaptar seus conhecimentos para uma abordagem didática, precisamos levar em consideração seu processo de produção de conhecimento que pode causar estranhamento à maioria dos professores, por ser um processo experimental investigativo e não resultar em equações que descrevem os fenômenos observados.

Trabalhar com episódios histórico-experimentais têm certas dificuldades a serem superadas e ao tentar realizar essa tarefa de transpor o episódio histórico, objeto deste trabalho, para sala de aula, podemos expor como algumas das possíveis dificuldades derivadas da nossa experiência:

- As fontes primárias podem estar em outro idioma; o que torna mais dificultoso o trabalho de planejamento da aula;
- Ainda em relação a questões de idioma, a tradução, pode conter erros de interpretação ou de inabilidade do tradutor em traduzir do idioma original;
- Falta de clareza de procedimentos ou estilo de escrita diferente do atual, usados nos escritos originais, podem dificultar uma transposição de uma fonte primária;
- Inacessibilidade às fontes primárias, assim como, fontes secundárias que não são confiáveis;
- Dificuldades em saber e encontrar qual, ou quais, pesquisador (es) escreviam sobre aquele tema, fenômenos, experimentos etc.

Agora descreveremos algumas de nossas impressões no que se refere as dificuldades de adaptação deste material para sala de aula:

- Materiais utilizados nos experimentos originais podem ser de alto custo ou inacessíveis na atualidade;
- Alguns materiais que à época foram usados podem ser considerados de risco a saúde humana;
- Dificuldades estruturais e financeiras das escolas, por exemplo, não possuir um espaço adequado para realizar montagens, ou compra do material, necessário aos experimentos;
- Entraves de trabalhar com uma perspectiva histórico-investigativa devido ao tempo envolvido, por exemplo, na realização de montagens, pois há uma necessidade de cumprir conteúdos curriculares extensos;
- Sabendo que o trabalho escolar é coletivo, principalmente no ensino médio, e a interdisciplinaridade deve ser buscada ao máximo, podem-se encontrar dificuldades em convencer outros professores a trabalhar com esse tipo de abordagem.

Apesar de haver alguns percalços a serem superados, não se pode subestimar o ensino de Física com o enfoque histórico. Esta é uma ferramenta poderosa de ensino que pode levar o aluno a superar visão de que a Física é meramente calculista e de memorização de expressões. A Física, ensinada juntamente com sua história, mostra ao discente que o conhecimento é desenvolvido a partir de um processo, que nem sempre é linear e, além do mais, existem diversos

modos de produzir conhecimento, sendo esses complementares entre si. Neste trabalho, adotamos estes argumentos como justificativa para o uso do processo histórico-experimental, para superar uma metodologia de ensino de Física ancorada no ensino tradicional baseado apenas nos produtos da ciência.

Esperamos que esse trabalho seja útil aos que buscam um material confiável, que versa sobre os primeiros experimentos de Michael Faraday, na investigação do fenômeno de indução. Aqui colocamos nosso empenho em explicar os experimentos e suas intenções, que por muitas vezes pareceu confuso. Porém, não temos a intenção de esgotar o tema, assim, tentamos dar nossa pequena contribuição à Física.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, A. K. T.; HARUNA, L. F. FARADAY, Michael: Pesquisas experimentais em eletricidade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 152-204, 2011.

BATISTA, R. F.M; SILVA, C. C. When things go wrong. **Science & Education**, v. 28, n. 9, p. 1135-1151, 2019.

DIAS, V. S.; MARTINS, R. A. **Michael Faraday: o caminho da livraria à descoberta da indução eletromagnética**. Ciência & Educação (Bauru), v. 10, p. 517-530, 2004.

FARADAY, M. V. Experimental researches in electricity. **Philosophical transactions of the Royal Society of London**, n. 122, p. 125-162, 1832.

LIMA, A. R.; SILVA, A. P. B.; NASCIMENTO, L. F. Uma proposta histórica e experimental para o estudo dos multiplicadores do efeito magnético. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 2, p. 185-206, 2021.

PINTO, J. A. F. **Discutindo a construção de repertórios didáticos em uma perspectiva histórico-investigativa: condicionantes para a prática na formação inicial de professores de Física**. 2022. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PINTO, J. A. F.; SANTOS, V.; SILVA, A. P. B. Repertório docente para a abordagem histórico-investigativa: um exemplo com o efeito Seebeck. **Ensino & Multidisciplinaridade**, p. e0122-15.2022

SILVA, A. P. B. et al. O caso das três pilhas: reconstruindo aparatos históricos para ensinar e aprender física. **Revista Ciências & Ideias**, v. 12, n. 2, p. 192-204, 2021.

SOUZA FILHO, M. P.; CALUZI, J. J. Sobre as experiências relativas à imantação do ferro e do aço pela ação da corrente voltaica: uma tradução comentada do artigo escrito por François Arago. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 1, p. 1603.1-1603.12, Apr. 2009.

WILLIAMS, L. P. "Faraday, Michael.". **Complete Dictionary of Scientific Biography**. 2008. Encyclopedia.com. Disponível em: <http://www.encyclopedia.com>. Acesso em: 07 jul. 2022.

AGRADECIMENTOS

Agradeço muitíssimo à orientadora; professora Dra. Ana Paula Bispo, que me deu suporte e foi meu norte para a realização deste trabalho. Meus agradecimentos à banca que se fez presente para avaliar meu desempenho e sugerir contribuições para enriquecer o trabalho. Agradeço aos professores da UEPB, que colaboraram durante todo o andamento do curso, no esforço de apresentar os conhecimentos básicos da forma mais didática. Agradeço aos Técnicos administrativos e demais funcionários, que em suas atribuições diárias, contribuem para o funcionamento da universidade, sem os mesmos a universidade não funcionaria. Por fim agradeço ao meu amigo Tiago que me ajudou com a formatação do trabalho.