

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA  
CURSO DE CIÊNCIAS EXATAS - LICENCIATURA**

**MARCIO NASCIMENTO DE OLIVEIRA**

**PESQUISA E PRODUÇÃO DE RÉPLICAS DE APARATOS HISTÓRICOS  
DE FARADAY E DE TESLA PARA PROMOÇÃO DA  
ABORDAGEM DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA**

**Caçapava do Sul  
2021**

**MARCIO NASCIMENTO DE OLIVEIRA**

**PESQUISA E PRODUÇÃO DE RÉPLICAS DE APARATOS HISTÓRICOS  
DE FARADAY E DE TESLA PARA PROMOÇÃO DA  
ABORDAGEM DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Ciências Exatas - Licenciatura da Universidade Federal do Pampa - *Campus* Caçapava do Sul, como requisito parcial para obtenção do Título de Licenciado em Ciências Exatas - ênfase em Física.

Orientador: Paulo Henrique dos Santos Sartori

**Caçapava do Sul  
2021**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

O48p Oliveira, Marcio Nascimento de  
Pesquisa e produção de réplicas de aparatos históricos de  
Faraday e de Tesla para promoção da abordagem da história da  
ciência / Marcio Nascimento de Oliveira.

65 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade  
Federal do Pampa, CIÊNCIAS EXATAS, 2021.

"Orientação: Paulo Henrique dos Santos Sartori".

1. Aparato Científico Histórico. 2. Réplicas. 3. Episódios  
da Ciência. 4. Michael Faraday. 5. Nikola Tesla. I. Título.

**MARCIO NASCIMENTO DE OLIVEIRA**

**PESQUISA E PRODUÇÃO DE RÉPLICAS DE APARATOS HISTÓRICOS  
DE FARADAY E DE TESLA PARA PROMOÇÃO DA  
ABORDAGEM DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Ciências Exatas - Licenciatura da Universidade Federal do Pampa - *campus* Caçapava do Sul, como requisito parcial para obtenção do Título de Licenciado em Ciências Exatas - ênfase em Física.

Trabalho de Conclusão defendido e aprovado em: 1º de outubro de 2021.

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Paulo Henrique dos Santos Sartori

Orientador

(Unipampa)

---

Profa. Dra. Sandra Hunsche

(Unipampa)

---

Prof. Dr. Rafael Brum Werlang

(Unipampa)



Assinado eletronicamente por **PAULO HENRIQUE DOS SANTOS SARTORI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 05/10/2021, às 15:34, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **RAFHAEL BRUM WERLANG, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 05/10/2021, às 15:47, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **SANDRA HUNSCHE, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/10/2021, às 00:12, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0632069** e o código CRC **B32BAB91**.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Paulo Henrique dos Santos Sartori, por ter sido meu orientador e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade.

Gratidão pela participação dos professores da banca Raphael Brum Werlang e Sandra Hunsche, cujas dedicação e atenção foram essenciais para que este trabalho fosse concluído satisfatoriamente.

Ao meu pai, Volmar Teixeira de Oliveira, por todo o apoio e pela ajuda, que muito contribuiu para a realização deste trabalho.

Aos meus colegas de curso, Rafael de Oliveira e Yago Sena, pelas trocas de ideias e ajuda mútua. Juntos conseguimos avançar e ultrapassar todos os obstáculos.

Aos amigos, José Ubiratã Rosso Soares e Rodrigo Machado Venturini, que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período de tempo em que me dediquei a este trabalho.

“Corremos atrás de novas sensações, mas logo nos tornamos indiferentes a elas. As maravilhas de ontem são rotina hoje”.

Nikola Tesla

## RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso apresenta o processo de pesquisa e produção de um conjunto de materiais contendo relatos de experimentos e episódios históricos científicos e, em especial, réplicas de aparatos históricos confeccionados de modo artesanal a partir das obras originais de Michael Faraday: Anel-bobina, Galvanômetro e Bateria, no contexto do Experimento de Indução Eletromagnética(1831),e de Nikola Tesla: Torre Wardenclyffe, relativo ao episódio da Transmissão de Energia Elétrica Sem Fio (final do séc. XIX e início do séc. XX). A ideia central é abarcar o viés de apresentar não só a vida dos cientistas, mas, também, todo o processo de construção como foi vivenciado pelos próprios cientistas, com todas as etapas envolvidas e os desafios enfrentados. O modo de pesquisa pautou-se pela busca, sempre que possível, de fontes primárias confiáveis, acessíveis e respaldadas por instituições de renome. Os resultados alcançados mostram que os materiais produzidos possibilitam uma imersão histórico-científica sobre o fazer Ciência e a consequente implicação na construção do conhecimento científico e podem ser capazes de mobilizar para um estudo mais crítico, reflexivo e atraente. Ressalva-se, no entanto, que devido a limitações de ordem técnica - complexidade inerente a certas partes dos aparatos - e orçamentária, a qual inviabilizou o acesso a informações que demandavam custo financeiro elevado, o que acabou dificultando o trabalho, especialmente para sanar detalhes e dúvidas, não se viabilizou o funcionamento dos aparatos.

Palavras-chave: Aparato Científico Histórico. Réplicas. Episódios da Ciência. Michael Faraday. Nikola Tesla.

## **ABSTRACT**

This course conclusion work presents the process of research and production of a set of materials containing reports of experiments and scientific historical episodes and, in particular, replicas of historical apparatus handcrafted from the original works of Michael Faraday: Ring-coil, Galvanometer and Battery, in the context of the Electromagnetic Induction Experiment (1831), and by Nikola Tesla: Tower Wardenclyffe, related to the episode of Wireless Electric Power Transmission (end of the 19th century and beginning of the 20th century). The central idea is to embrace the bias of presenting not only the scientists' lives, but also the entire construction process as experienced by the scientists themselves, with all the steps involved and the challenges faced. The research mode was guided by the search, whenever possible, of reliable, accessible and supported primary sources by renowned institutions. The results achieved show that the materials produced enable a historical-scientific immersion in doing Science and the consequent implication in the construction of scientific knowledge and may be able to mobilize for a more critical, reflective and attractive study. It should be noted, however, that due to technical limitations - inherent complexity to certain parts of the apparatus - and budgetary, which made access to information that demanded a high financial cost unfeasible, which ended up making the work difficult, especially to clarify details and doubts, the functioning of the apparatus was not made possible.

Keywords: Historical Scientific Apparatus. Replicas. Episodes of Science. Michael Faraday. Nikola Tesla.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Imagem de Michael Faraday.	25
Figura 2 – Fotografia de Tesla em seu Laboratório em 1910.	28
Figura 3 – Simulação do experimento da indução eletromagnética.	33
Figura 4 – Anel-bobina de Michael Faraday: atualmente está em exibição no piso térreo da The Royal Institution no Faraday Museum.	33
Figura 5 – Etapas da construção do anel-bobina de Faraday.	35
Figura 6 – Galvanômetro Astático que foi utilizado por Michael Faraday.	37
Figura 7 – Etapas da construção do galvanômetro.	38
Figura 8 – Conjunto de aparatos utilizados no histórico experimento sobre Indução Eletromagnética, atualmente em exibição no piso térreo da The Royal Institution no Faraday Museum.	40
Figura 9 – Bateria cocho similar à utilizada por Faraday.	41
Figura 10 – Etapas de confecção das placas da bateria (Trough Battery).	42
Figura 11 – Etapas de construção do cocho de madeira da bateria (Trough Battery).	42
Figura 12 – Conjunto das réplicas dos aparatos utilizados no histórico experimento sobre Indução Eletromagnética.	44
Figura 13 – Aparelho para transmissão de energia elétrica de Nikola Tesla (US Patent nº 1.119.732).	47
Figura 14 – Torre Wardencllyffe.	50
Figura 15 – Etapas da construção da Maquete da Torre Wardencllyffe:	51

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Trechos da BNCC relativos à temática da História da Ciência.	10
Quadro 2 – Trechos dos PCN relativos à temática da História da Ciência.	11
Quadro 3 – Algumas formas de utilização da abordagem Histórico-investigativa.	14
Quadro 4 – Desenvolvimento das etapas ao longo do segundo semestre de 2020 e primeiro semestre de 2021.	22
Quadro 5 – Desenvolvimento das etapas ao longo do segundo semestre de 2021.	23
Quadro 6 – Panorama das produções desenvolvidas.	23

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>13</b>
2.1 A Importância da História da Ciência no Ensino de Ciências	15
2.2 A Confeção e o Uso de Aparatos Históricos no Ensino de Ciências	17
2.3 A Abordagem da Replicação de Aparatos e Experimentos Científicos Históricos	18
<b>3 METODOLOGIA</b>	<b>21</b>
<b>4 ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO</b>	<b>21</b>
<b>5 RESULTADOS</b>	<b>23</b>
5.1 Breve Biografia de Michael Faraday	23
5.2 Breve Biografia de Nikola Tesla	26
5.3 Experimento Histórico: Indução Eletromagnética de Michael Faraday	29
5.3.1 Aparato Histórico Principal: Anel-bobina ( <i>Ring-coil Apparatus</i> )	29
5.3.1.1 Relato da Construção da Réplica do Anel-bobina	34
5.3.2 Aparato Histórico Auxiliar: Galvanômetro ( <i>Galvanometer</i> )	35
5.3.2.1 Relato da Construção da Réplica do Galvanômetro	38
5.3.3 Aparato Histórico Auxiliar: Bateria ( <i>Trough Battery</i> )	39
5.3.3.1 Relato da Construção da Réplica da Bateria ( <i>Trough Battery</i> )	41
5.3.4 Conjunto de Réplicas dos Aparatos Históricos do Experimento de Indução Eletromagnética	43
5.4 Episódio Histórico: Transmissão de Energia Elétrica Sem Fio por Nikola Tesla	45
5.4.1 Trecho da Patente do Aparelho para Transmissão de Energia Elétrica	47
5.4.2 Aparato Histórico: Torre Wardenclyffe	49
5.4.2.1 Aparato Histórico: Maquete da Torre Wardenclyffe	50
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>55</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>57</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Esta proposta de pesquisa e construção de recursos históricos de caráter didático emergiu a partir de meu encantamento pelos momentos de aprendizagem no decorrer do curso de graduação nas experiências vivenciadas nas aulas que envolviam experimentação e da componente curricular História e Epistemologia da Ciência. Neste percurso tive contato com as histórias e trabalhos de Faraday e Tesla, que me inspiraram e motivaram a realizar este trabalho. Como o próprio Tesla diz em sua autobiografia 'Minhas Invenções': "As maravilhas de ontem são as rotinas de hoje" (TESLA, 2012).

Procurou-se, então, investigar a história e o desenvolvimento de alguns aparatos construídos por Faraday e Tesla, realizando a reconstrução deles de maneira mais fidedigna possível.

De acordo com Batista e Silva (2018), trabalhar com abordagem da História da Ciência (HC) permite acessar uma fonte de casos que podem inspirar o desenvolvimento de atividades em sala de aula que favoreçam a aprendizagem de conceitos e procedimentos típicos da atividade científica, propiciando melhor aprendizado dos próprios conceitos científicos, bem como, cativando e engajando os estudantes.

Nos Estados Unidos, no período dos anos 1960, houve um movimento com o objetivo de aprimorar o Ensino de Ciências para ajudar os alunos a se tornarem criativos solucionadores de problemas e, com isto, buscar formar cientistas capazes de competir com os russos em termos tecnológicos e militares. Houve uma série de encontros e debates promovidos por organizações internacionais que resultaram nos famosos "grandes projetos curriculares", com a produção de materiais didáticos inovadores, tais como: Biological Science Curriculum Study (BSCS), Physical Science Curriculum Study (PSSC), Project Harvard Physics, Chem Study e Chemical Bond Approach (CBA) (BARRA; LORENZ, 1986 apud BATISTA; SILVA, 2018). Esses esforços tentaram seriamente transformar a tradicional abordagem experimental de roteiros estilo "livro de receitas" em materiais com envolvimento prático e foco no desenvolvimento de habilidades de raciocínio (BATISTA; SILVA, 2018).

Na década de 1990, ocorreu movimento de reformas curriculares nos Estados Unidos e no Brasil em que a ênfase do Ensino de Ciências passou a ser a

alfabetização científica, a fim de que os alunos compreendessem o mundo sob a perspectiva da ciência e da tecnologia, bem como seus condicionantes sociais, políticos e econômicos. No Brasil, a abordagem investigativa foi inserida nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), que Ministério da Educação (MEC) e pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (BATISTA; SILVA, 2018).

Nos quadros 1 e 2 a seguir, destaca-se alguns trechos de pontos de articulação referentes às ciências naturais e HC, selecionados nos documentos BNCC e PCN de Ciências Naturais. Em cada trecho, realçou-se em itálico os argumentos de maior relevância para este trabalho.

Quadro 1 - Trechos da BNCC relativos à temática da História da Ciência.

<b>BNCC</b>
[...] o trabalho [entendido como ato humano de transformar a natureza] é princípio educativo à medida que proporciona <i>compreensão do processo histórico de produção científica e tecnológica</i> , como conhecimentos desenvolvidos e apropriados socialmente para a transformação das condições naturais da vida e a ampliação das capacidades, das potencialidades e sentido humanos (Parecer CNE/CEB nº 5/2011) (BRASIL, 2017, p.497).
As questões que nos levam a <i>pensar a História como um saber necessário para a formação das crianças e jovens na escola</i> são as originárias do tempo presente. O <i>passado que deve impulsionar a dinâmica do ensino-aprendizagem</i> no Ensino Fundamental é <i>aquela que dialoga com o tempo atual</i> (BRASIL, 2017, p.393).
Habilidade CNT (EM13CNT201): <i>Analisar e utilizar modelos científicos, propostos em diferentes épocas e culturas para avaliar distintas explicações</i> sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo (BRASIL, 2017, p.543)
Nesse cenário, a BNCC da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias – integrada por Biologia, Física e Química – propõe ampliar e sistematizar as aprendizagens essenciais desenvolvidas até o 9º ano do Ensino Fundamental. Isso significa, em primeiro lugar, focalizar a interpretação de fenômenos naturais e processos tecnológicos de modo a possibilitar aos estudantes a apropriação de conceitos, procedimentos e teorias dos diversos campos das Ciências da Natureza. Significa, ainda, <i>criar condições para que eles possam explorar os diferentes modos de pensar e de falar da cultura científica</i> , situando-a como uma das <i>formas de organização do conhecimento produzido em diferentes contextos históricos e sociais</i> , possibilitando-lhes apropriar-se dessas linguagens específicas (BRASIL, 2017, p.537).

*A busca de autonomia também exige reconhecimento das bases da epistemologia da História, a saber: a natureza compartilhada do sujeito e do objeto de conhecimento, o conceito de tempo histórico em seus diferentes ritmos e durações, a concepção de documento como suporte das relações sociais, as várias linguagens por meio das quais o ser humano se apropria do mundo. Enfim, percepções capazes de responder aos desafios da prática historiadora presente dentro e fora da sala de aula (BRASIL, 2017, p.397).*

Quadro 2 - Trechos dos PCN relativos à temática da História da Ciência.

<b>PCN</b>
<p>A avaliação da aquisição dos conteúdos pode ser efetivamente realizada ao se solicitar ao aluno que interprete situações determinadas, cujo entendimento demanda os conceitos que estão sendo aprendidos, ou seja, que <i>interprete uma história, uma figura, um texto ou trecho de texto, um problema ou um experimento</i>. São situações semelhantes, mas não iguais, àquelas vivenciadas anteriormente no decorrer dos estudos. São situações que também <i>induzem a realizar comparações, estabelecer relações, proceder a determinadas formas de registro</i>, entre outros procedimentos que desenvolveu no curso de sua aprendizagem. Desta forma, tanto a evolução conceitual quanto a aprendizagem de procedimentos e atitudes estão sendo avaliadas (BRASIL, 1997, p.30).</p>
<p><i>A história das Ciências também é fonte importante de conhecimentos na área. A história das ideias científicas e a história das relações do ser humano com seu corpo, com os ambientes e com os recursos naturais devem ter lugar no ensino, para que se possa construir com os alunos uma concepção interativa de Ciência e Tecnologia não-neutras, contextualizada nas relações entre as sociedades humanas e a natureza. A dimensão histórica pode ser introduzida nas séries iniciais na forma de história dos ambientes e das invenções. Também é possível o professor versar sobre a história das ideias científicas, conteúdo que passa a ser abordado com mais profundidade nas séries finais do ensino fundamental (BRASIL, 1997, p.27).</i></p>
<p><i>Investigações no campo da história das invenções e experimentações sobre condução elétrica ou máquinas simples também podem ser organizadas e propostas como formas de ampliação do conhecimento acerca da diversidade dos equipamentos e seu funcionamento (BRASIL, 1997, p.72).</i></p>

*Não foi sem debates e controvérsias que se instalaram os paradigmas fundadores das ciências modernas. Esta apresentação, muito sucinta e linear, não poderia mostrar esse aspecto que possibilita compreender como as mudanças dos paradigmas são revoluções não apenas no âmbito interno das Ciências, mas que alcançam, mais cedo ou mais tarde, toda a sociedade. Também não traz à luz a intrincada rede de relações entre a produção científica e o contexto socioeconômico e político em que ela se dá. Ao longo da história é possível verificar que a formulação e o sucesso das diferentes teorias científicas estão associados a aspectos de seu momento histórico (BRASIL, 1997, p.24).*

Desde os anos 80 até hoje é grande a produção acadêmica de pesquisas voltadas à investigação das pré-concepções de crianças e adolescentes sobre os fenômenos naturais e suas relações com os conceitos científicos. Uma importante linha de pesquisa acerca dos conceitos intuitivos é aquela que, norteadas por ideias piagetianas, se desenvolve *acompanhada por estudos sobre História das Ciências, dentro e fora do Brasil*. Tem-se verificado que *as concepções espontâneas das crianças e adolescentes se assemelham a concepções científicas de outros tempos* (BRASIL, 1997, p.21).

De modo geral, percebe-se que, a despeito da grande quantidade e variedade de argumentos das comunidades de pesquisa na promoção e valorização de se trabalhar com aspectos da História e/ou Filosofia da Ciência em todos os níveis de ensino, há pouca referência encontrada na BNCC, documento que se tornou nossa legislação educacional. Em algumas das poucas vezes em que isso acontece, o vínculo se dá com a disciplina de História e não diretamente com a área das Ciências da Natureza. Já os PCN, documento 20 anos mais antigo em relação à BNCC, expõem de modo mais adequado esta abordagem, embora, também, com poucas ocorrências.

Cabe destacar que muitas das referências citadas, trazem concepções que se alinham com as proposições contemporâneas de inserção da HC no ensino.

Diante destas considerações iniciais e refletindo sobre de que forma seria possível conciliar uma proposta que combinasse aspectos relevantes da Experimentação e da HC, estabeleceu-se, então, o seguinte problema de pesquisa: como construir réplicas de aparatos científicos contextualizados por episódios da História da Ciência, relacionados aos trabalhos de Faraday e de Tesla? Decorrente deste problema de pesquisa, o objetivo geral configura-se como: pesquisar e construir réplicas de aparatos científicos produzidos por Faraday e Tesla, contextualizando-os em episódios históricos relacionados.

Elenca-se, a seguir, o conjunto de objetivos específicos que permitiram compor o objetivo geral. São os seguintes:

- 1. Encontrar materiais apropriados e fontes primárias confiáveis para embasar a construção das réplicas e descrever os episódios históricos;
- 2. Selecionar documentos, imagens, materiais, coerentes com os aspectos históricos e científicos das épocas;
- 3. Confeccionar réplicas de alguns aparatos científicos históricos, similares aos construídos por Faraday e Tesla, detalhando o processo de construção.

O trabalho apresenta-se em seis capítulos. Neste capítulo introdutório, introduziu-se alguns pontos sobre a importância e a presença da HC, especialmente nos documentos educacionais oficiais. O segundo capítulo, aborda a revisão literária trazendo a importância da HC no ensino de Ciências, aspectos sobre a confecção e o uso de aparatos históricos no Ensino de Ciências e sobre a abordagem da replicação de aparatos e experimentos científicos históricos. O capítulo três tratou aspectos metodológicos e o quarto capítulo apresenta um panorama temporal do desenvolvimento das etapas do trabalho. No quinto capítulo apresentam-se os resultados do desenvolvimento dos episódios históricos sobre os aparatos científicos originais e a confecção detalhada das réplicas. No sexto e último capítulo faz-se algumas considerações finais no sentido de delinear algumas limitações e dificuldades encontradas e as possíveis potencialidades científico-educativas dos materiais produzidos.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

Uma das maneiras de introduzir reflexões sobre a estruturação e organização do conhecimento científico por meio de práticas investigativas é combiná-las com abordagens pautadas pela HC, uma vez que o tema investigado pode ser relacionado a um determinado episódio histórico, explicitando o contexto metacientífico, os questionamentos, as explicações, os significados e o processo de aceitação de novas ideias (BATISTA; SILVA, 2018).

Atividades histórico-investigativas não preparam os alunos para manipular materiais automaticamente em busca de um resultado numérico, como normalmente ocorre em aulas de laboratório tradicionais. É esperado que os estudantes se envolvam em uma investigação pela participação ativa; não é suficiente que os alunos apenas desfrutem da experiência. Com a mediação

do professor, os alunos devem problematizar uma situação, contextualizar e relacionar com o conteúdo trabalhado, criando hipóteses que são discutidas e testadas experimentalmente para subsidiarem a interpretação dos resultados (BATISTA; SILVA, 2018, p. 101).

Não obstante suas potencialidades, utilizar a abordagem Histórica- Investigativa (HI) não é uma tarefa trivial; os professores enfrentam várias dificuldades e obstáculos para inseri-la em sala de aula (REZENDE *et al.*, 2003; HÖTTECKE; SILVA, 2011; YOON *et al.*, 2012 apud BATISTA; SILVA, 2018). Uma destas dificuldades está no fato dos docentes conseguirem tempo necessário para estudar e compreender uma nova abordagem; de que é preciso desenvolver novas habilidades para atuar como mediador na sala de aula; de que os professores têm dúvidas sobre o método e insegurança para a inovação que pode estar relacionada com as suas atitudes e crenças sobre o ensino e uso de novas abordagens. Também é necessário aprender sobre HC e como buscar novos materiais de ensino, como por exemplo, fontes primárias e secundárias da HC (BATISTA; SILVA, 2018).

Na perspectiva de se trabalhar na interface entre HC, experimentação e processo investigativo, esta proposta traz elementos que se articulam com algumas das formas de utilização da abordagem Histórico-Investigativa (HI), apontados por Heering e Höttecke (2014 apud BATISTA; SILVA, 2018) conforme explicitado no quadro 3 a seguir:

Quadro 3 - Algumas formas de utilização da abordagem Histórico-Investigativa.

<p><b>Manuscritos e Diários de Laboratórios de Cientistas</b></p>	<p>Utilizam fontes primárias que podem fornecer uma <i>base confiável para a compreensão da ciência</i>. Esse tipo de abordagem mostra aos alunos que alguns dos questionamentos que eles possuem atualmente sobre determinado problema foram os mesmos ou semelhantes aos dos cientistas. Os <i>experimentos descritos nos diários podem ser realizados</i> pelos estudantes mostrando <i>dificuldades e erros que os cientistas enfrentaram</i>.</p>
---	--

<b>Instrumentos e/ou Aparatos do Passado</b>	<i>Reconstrução de experimentos históricos ou experimentação utilizando réplicas de aparatos originais. Essa abordagem fornece aos alunos o entendimento sobre como a construção de um conhecimento científico foi desenvolvido e contextualiza os experimentos, materiais e instrumentos utilizados na época.</i>
--	--

Fonte: HEERING; HÖTTECKE (2014 apud BATISTA; SILVA, 2018, p. 102, grifo nosso).

Na sequência, apresentam-se fundamentos relacionados à importância da HC no Ensino de Ciências, aspectos sobre a confecção e uso de aparatos científicos históricos e a abordagem da replicação de experimentos e aparatos no contexto da HC.

## 2.1 A Importância da História da Ciência no Ensino de Ciências

O ensino da História de uma determinada Ciência, para licenciandos que se tornarão professores desta mesma Ciência é um caso muito importante que inclui, em seu domínio, os futuros pesquisadores (em geral, um pesquisador será, também, professor). Um bom professor de uma disciplina científica deve dominar o conteúdo que vai lecionar com uma competência didática e científica e a HC pode contribuir para ambos aspectos de formação de um professor de modo significativo (MARTINS, 1990).

A HC utilizada no ensino científico, usualmente é introduzida por meio de um pouco de cronologia, com nomes e datas, que é pouco informativa e pouco útil, servindo apenas para que os estudantes fiquem conhecendo os nomes de alguns cientistas famosos e tenha uma ideia acerca da época de determinadas descobertas, mas não facilita o ensino da própria Ciência. Um segundo aspecto as vezes explorado é o das anedotas sobre cientistas que servem para amenizar as aulas mais cansativas. No entanto, o uso delas não tem sido frutífero, podendo, inclusive, apresentar uma visão distorcida e mistificada da Ciência e dos cientistas. Um terceiro contraexemplo do uso da HC é como forma de persuasão e intimidação ao invocar-se a autoridade de grande nome para reprimir dúvidas e impor doutrinas, invertendo a própria natureza do pensamento científico, baseada em fatos e argumentos e não em nomes de prestigiados cientistas (MARTINS, 1990).

Vejam os alguns exemplos positivos do uso da HC no trabalho do professor. Sob o ponto de vista didático, a HC tem várias aplicações, podendo ser usada para contrabalançar os aspectos puramente técnicos de uma aula, complementando com estudos de vertentes sociais, humanas e culturais. Através de informações bem fundamentadas sobre: a vida de cientistas, a evolução de instituições, o ambiente cultural geral de uma época, as concepções alternativas do mesmo período, as controvérsias e dificuldades de aceitação de novas ideias, tudo isto pode contribuir para dar uma nova perspectiva da Ciência e dos cientistas e motivar ao estudo. A HC também pode ser empregada para facilitar a compreensão de temas pouco intuitivos ou óbvios, pois, geralmente, os resultados científicos atualmente aceitos são consequência de um longo processo de discussão e evolução. O ensino dessa evolução favorece a compreensão dos resultados finais e de seu real significado. Sabe-se, atualmente, que o aprendizado das Ciências, às vezes, é dificultado por concepções de senso comum do aluno que acabam coincidindo com as concepções abandonadas ao longo da história. O professor, ao conhecer essas concepções antigas (e que não são descritas nos manuais científicos) terá melhores condições para compreender as dificuldades e resistências de seus alunos, respeitando suas concepções, a fim de promover uma transição mais adequada destas para os conceitos atuais (MARTINS, 1990). Deve-se destacar, ainda, que:

[...] sob o ponto de vista didático, o conhecimento da História da Ciência pode permitir o conhecimento de ideias, temas, problemas, argumentos, exemplos e aparelhos hoje esquecidos e que podem ser extremamente úteis na prática do ensino, fugindo à rotina dos livros-texto e enriquecendo as aulas com material que pode ser perfeitamente adequado aos estudantes. No próprio campo de aulas práticas, o estudo histórico é uma maravilhosa fonte de aparelhos e experimentos simples, instrutivos e de fácil improvisação (MARTINS, 1990, p.4).

O professor de uma determinada Ciência não transmite aos seus alunos apenas os resultados (conteúdo) dessa Ciência, mas de maneira consciente (ou inconsciente) também transmite uma concepção sobre *o que é Ciência*. O conhecimento sobre a natureza da pesquisa científica é adquirido de duas formas: pela vivência da prática da pesquisa e contato com cientistas ou pelo estudo aprofundado da HC (MARTINS, 1990, grifo do autor).

## 2.2A Confeção e o Uso de Aparatos Históricos no Ensino de Ciências

De acordo com Cavicchi (2008), quando alunos têm a oportunidade de refazerem experiências históricas, diferentemente do ensino convencional - onde os tópicos e práticas científicas frequentemente se fragmentam e atividades laboratoriais são formatadas em padrões “enlatados” - eles experimentam inter-relações entre fenômenos, ações dos participantes e história. Essas ações têm valor pedagógico ao recuperar parte da conexão inerente à história e reintroduzindo a maravilha de fenômenos científicos para os alunos.

Enquanto a maioria dos currículos de ciências marginaliza a experiência histórica, confinadas em notas de rodapé ou abordadas superficialmente, algumas alternativas giram em torno da recriação de experimentos, debates e aparatos históricos. Durante o final dos anos 1960, Devons e Hartman (apud CAVICCHI, 2008) foram pioneiros em desenvolver trinta configurações de experimentos históricos em um laboratório escolar. Eles perceberam que experimentos refeitos com materiais históricos levantam problemas genuínos que desafiam as habilidades de observação e pensamento crítico dos alunos. A HC não é a única excluída das ciências escolares; observação e investigação da natureza raramente são realizadas (CAVICCHI, 2008).

Peter Heering (2000 apud CAVICCHI, 2008) ensinou Eletrostática a alunos do ensino médio realizando leituras históricas e “dando” choques elétricos de Garrafas de Leyden que eles próprios fizeram. Os alunos ficaram cada vez mais animados enquanto discutiam observações, percebendo inadequações em suas explicações e recorrendo à criatividade pessoal para dar sentido ao assunto. Essas discussões dos alunos são um exemplo do Programa de Extensão de Treinamento de Professores de Física da Universidade de Oldenburg (Alemanha) por meio da reprodução de instrumentos históricos (HEERING, 2003 apud CAVICCHI, 2008).

A HC, com seu legado experimental, pode ser utilizada como um recurso educacional para combater a fragmentação do conhecimento científico e ir além, conforme aponta Arons (1982, apud CAVICCHI, 2008):

[...] tal potencial educacional na riqueza de experiências com fenômenos e materiais singulares que experimentadores históricos como J. J. Thomson reuniram ao lidar com observações intrigantes. Exemplos históricos fornecem aos alunos oportunidades para considerar *como os experimentadores coordenaram o funcionamento e os limites de seus aparatos com o que estava acontecendo*. [...] os exercícios históricos contrastam com as tarefas convencionais de resolução de problemas ao

envolver os alunos *a pensar profundamente sobre os fenômenos*, a apreciar 'a unidade da física' e a ampliar o que significa, para eles, aprender. Os alunos começam *a ver as 'suposições' e a incerteza de fazer ciência [...]*. (ARONS, 1982, p. 19 apud CAVICCHI, 2008, p. 719, tradução e grifos nossos).

A aprendizagem nessas situações é expressa por meio do fazer, interagir, procurar, imaginar, tentar e, da mesma forma, ensinar também é ação. No sentido manifestado aqui, essa ação surge como uma atividade pedagógica provocativa que combina ensino e aprendizagem, ao tornar viável algo para fazer ou perceber que conduz os participantes para além do que eles desejam entender. Uma possível ação pedagogicamente produtiva é a de abrir algum aparelho, onde os mecanismos e os circuitos expostos levantam perguntas e hipóteses a respeito do funcionamento do dispositivo histórico. Estratégias similares a esta, permitem uma ação pensativa, profundamente integrativa, que emerge durante o processo à medida que os alunos tomam consciência de que a história tem caminhos diferentes dos nossos. As inter-relações entre fenômenos científicos, materiais e ações feitas com estes, ficam evidentes para os alunos, exercendo um papel funcional no que eles fazem e interpretam (CAVICCHI, 2008).

### **2.3A Abordagem da Replicação de Aparatos e Experimentos Científicos Históricos**

As diferentes abordagens comumente utilizadas para integrar a história e a filosofia da ciência no ensino de ciências mostram um déficit de integração de aspectos práticos nas aulas de ciências. Os materiais disponíveis para esta finalidade, na maioria das vezes, ficam delimitados a fontes textuais. A dimensão laboratorial da ciência como uma experiência vívida permanece escondida, apesar dos esforços para se agregar os aspectos históricos, filosóficos e sociais da ciência nos currículos de ciências (HÖTTECKE, 2000).

No entanto, nos últimos 20 anos, tem sido um dos principais objetivos da sociologia, da história e da filosofia da ciência investigar e compreender as ciências naturais como um trabalho prático: um trabalho, de mentes e de mãos, inserido num processo social. Paralelamente a essa tendência, o *Research Group on Higher Education and History of Science* (Grupo de Pesquisa em Ensino Superior e História da Ciência) do Departamento de Física da Universidade de Oldenburg (Alemanha), desenvolveu um projeto em que instrumentos históricos replicados são

disponibilizados para fins didáticos. Nesta trajetória de trabalho, conta com mais de 40 experimentos que foram replicados, desde sua fundação em 1983 (HÖTTECKE, 2000).

Trabalhar através do método de replicação de experimentos científicos históricos torna possível entender a ciência como um trabalho prático que ocorre em laboratórios, abrangendo: as dificuldades de experimentar, o desenvolvimento de habilidades experimentais e a possibilidade de experiências sensoriais. Quando alunos se engajam em replicar experimentos históricos o mais próximo possível do original, eles têm a oportunidade de descobrir mais elementos e detalhes sobre as condições específicas da situação experimental: os materiais (que muitas vezes não são conhecidos), as várias etapas no processo de experimentação para produzir resultados significativos e a relação específica do experimentador com seus materiais (HÖTTECKE, 2000).

Para Heering (1995 apud HÖTTECKE, 2000), o que está implícito na noção de replicação delineada pelo *Research Group on Higher Education and History of Science* é a valorização de vários campos do trabalho historiográfico:

Para replicar um experimento histórico, muitas informações devem ser coletadas: publicações originais, diários de laboratório ou cadernos, monografias e atas de reuniões científicas. Essas fontes históricas fornecem informações sobre a *configuração experimental*, a afinação dos diferentes componentes da configuração, os materiais, os procedimentos de ação que ocorreram durante o experimento, a sala onde o experimento ocorreu (dimensões, temperaturas, exposição, etc.) ou a hora (do dia e do ano). Todas essas informações são úteis e necessárias para reconstruir a situação experimental o mais exatamente possível, a fim de replicar o experimento e trabalhar nele. *A necessidade de tais informações específicas e detalhadas não é óbvia no início do processo de pesquisa.* Surge durante o trabalho com uma réplica quais informações são importantes ou não. Portanto, o processo de replicação de um experimento histórico envolve o estudo das fontes textuais, planejando e construindo a réplica, experimentando a réplica e reconectando as experiências com o experimento e o contexto histórico. Essas diferentes etapas de replicação não são separadas, mas estão interligadas (HÖTTECKE, 2000, p. 344-345, tradução e grifos nossos).

Percebe-se, dessa forma, que uma replicação permite uma compreensão do contexto histórico a partir do ponto de vista de um experimentador experiente. Assim, esta abordagem consegue expor um julgamento muito mais diferenciado de uma situação ou processo histórico nas ciências naturais. O método de replicação deve ser concebido como uma ferramenta para compreender a ciência, sua natureza e sua história da perspectiva dos praticantes da ciência (HÖTTECKE, 2000).

A replicação de experimentos históricos é um processo complexo, longo e trabalhoso que depende da habilidade artesanal dos indivíduos ao dar “vida” aos dispositivos, instrumentos e experimentos laboratoriais. Isso aponta para a natureza dos experimentos: a configuração de funcionamento de um experimento é um requisito para o sucesso, mas um experimento não expressa todos os seus significados até que um experimentador trabalhe nele (HÖTTECKE, 2000). Portanto,

[...]devemos interpretar os experimentos como uma *estreita inter-relação* entre os instrumentos, os espaços onde ocorre o trabalho experimental e os próprios experimentadores. Ao trabalhar em uma replicação, procedimentos experimentais devem ser desenvolvidos seguindo os padrões históricos (se conhecidos). *Uma infinidade de diferentes etapas de trabalho deve ser gerada e coordenada*. Podemos descrevê-las, para se ter noção, como: ajustar, afinar, calibrar, gerar um ritmo para diferentes procedimentos, tomar precauções, ler instrumentos de medição, avaliar ou estimar. O trabalho de replicação prova que os *experimentadores podem influenciar a configuração ou mesmo os resultados* e que desenvolvem procedimentos individuais. Consequentemente, habilidades, expectativas, antecipações do resultado experimental e conhecimento prévio podem influenciar o experimento (HÖTTECKE, 2000, p. 345, tradução e grifos nossos).

Em contraste com os experimentos habituais realizados nas esferas da pesquisa e do ensino, um objetivo do método de replicação é que os experimentadores reflitam sobre si mesmos, ou seja, é preciso olhar para si próprio sob a dupla perspectiva de ator e de observador, para compreender a influência do experimentador (HÖTTECKE, 2000).

As fontes textuais, que nem sempre são acessíveis, geralmente carecem de uma descrição detalhada dos procedimentos experimentais. De acordo com Polanyi (1966 apud HÖTTECKE, 2000), retrabalhar e refazer um experimento pode nos ajudar a acessar o “conhecimento tácito” necessário para dar conta de: por um lado, preencher as “lacunas” das descrições de procedimentos experimentais, por outro lado, desempenhar as habilidades e completar as técnicas que não podem ser completamente registradas por escritos ou ilustrações, dado que eram desconhecidas ou muito complexas. É até possível que detalhes, anteriormente incompreensíveis de uma descrição de um experimento, se tornem compreensíveis durante o processo de replicação. Tal conhecimento deve estar relacionado a um amplo contexto histórico: a captação e a interpretação do experimento pela comunidade científica, a questão da disponibilidade de recursos (artesãos, fabricantes de instrumentos, laboratórios, qualidade dos equipamentos, aporte financeiro, etc.), a relação do privado com as esferas públicas e a inter-relação da

biografia individual do cientista com os seus pares. Os diferentes estágios da replicação, ou seja, reconstruir uma configuração, experimentá-la e o estudo das fontes históricas disponíveis são movimentos apropriados para a compreensão dos experimentos em sua dimensão histórica complexa (HÖTTECKE, 2000).

### **3 METODOLOGIA**

A operacionalização deste trabalho realizou-se por meio das seguintes etapas:

- i) tradução de textos originais e do diário de notas de Michael Faraday relacionados ao experimento de indução eletromagnética;
- ii) compilação de textos da autobiografia de Nikola Tesla referentes ao episódio de transmissão de energia elétrica sem fio;
- iii) tradução de trecho da patente do aparelho para transmissão de energia de Nikola Tesla e identificação dos principais constituintes;
- iv) pesquisa, seleção e confecção das réplicas dos aparatos históricos: a) de Michael Faraday: anel-bobina, galvanômetro e bateria; b) de Nikola Tesla: torre de Wardenclyffe.

Como principais fontes primárias, consideradas confiáveis e relevantes para os propósitos do trabalho, utilizou-se:

- os sítios da internet: The Royal Institution, The Faraday Museum (Londres, Inglaterra); Nikola Tesla Museum (Belgrado, Iugoslávia);
- o livro: Autobiografia do Nikola Tesla;
- a patente: US Patent nº 1.119.732 de Nikola Tesla;
- as transcrições do: Diários de Notas de Michael Faraday.

De forma concomitante, buscou-se artigos e imagens em sítios da internet de universidades, instituições de pesquisa, bibliotecas entre outros que pudessem fornecer dados a fim de comparar e corroborar (ou não) as informações históricas obtidas.

### **4 ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO**

Com o objetivo de vislumbrar uma noção do tempo envolvido em cada etapa do trabalho desenvolvido, apresenta-se nos quadros 4 e 5, um panorama geral.

Percebe-se que a demanda temporal das etapas que envolvem as confecções dos aparatos históricos é significativamente grande, devido aos inúmeros procedimentos envolvendo: planejamento, seleção e preparação de materiais, medições, confecção, ajustes e acabamento. Dependendo da complexidade do projeto, o tempo envolvido foi ainda maior.

Quadro 4 - Desenvolvimento das etapas ao longo do segundo semestre de 2020 e primeiro semestre de 2021.

ETAPAS PRINCIPAIS	2020				2021			
	SET	OUT	NOV	DEZ	FEV	MAR	ABR	MAI
Debates e definições sobre o tema, abordagem, público-alvo, aplicação	X							
Pesquisa bibliográfica e do referencial teórico		X	X					
Seleção de aparatos e experimentos/episódios históricos		X						
Confecção do Anel-bobina de Faraday		X	X	X	X			
Confecção do Galvanômetro usado por Faraday			X	X	X	X		
Confecção da Maquete da Torre Wardencllyffe				X	X	X		
Confecção da Minibobina de Tesla <sup>1</sup>				X	X	X		
Testagem dos aparatos históricos e ajustes			X	X	X			
Organização das oficinas <sup>1</sup>							X	

Quadro 5 - Desenvolvimento das etapas ao longo do segundo semestre de 2021.

ETAPAS PRINCIPAIS	2021			
	JUN (2ª quinz.)	JUL	AGO	SET

<sup>1</sup> Em função do redirecionamento da proposta (TCC I) esta etapa foi suprimida da sequência de trabalho (TCC II).

Pesquisas em fontes históricas	X	X	X	X
Confecção da Bateria usada por Faraday	X	X	X	
Reconfecção do Galvanômetro	X	X	X	X

## 5 RESULTADOS

O quadro 6, apresenta uma perspectiva geral das produções textuais e materiais realizadas neste trabalho.

Quadro 6 - Panorama das produções desenvolvidas.

CIENTISTA	BIOGRAFIA	EPISÓDIO HISTÓRICO	TEXTO HISTÓRICO	APARATO HISTÓRICO
<b>Michael Faraday</b>	Resumo	Relato do Experimento de Indução Eletromagnética	Trechos do Diário de Notas	- Anel-bobina - Galvanômetro - Bateria
<b>Nikola Tesla</b>	Resumo (Autobiografia)	Relato do episódio sobre Transmissão de Energia Elétrica sem fio	Trechos da US Patent nº 1.119.732	Torre Wardenclyffe

### 5.1 Breve Biografia de Michael Faraday

Michael Faraday nasceu em 22 de setembro de 1791, em Newington Butts, Surrey (Inglaterra). Seus pais, James Faraday (que exercia profissão de ferreiro) e Margaret Hastwell, tinham outros dois filhos Elizabeth e Robert. A família se mudou para Londres quando Faraday tinha cinco anos, época em que a Inglaterra sofria as consequências da Revolução Francesa. A situação financeira da família era ruim e Michael teve uma educação precária, aprendendo somente o necessário para ler, escrever e um pouco de matemática (DIAS; MARTINS, 2004).

Em 1804, com 13 anos, Faraday começou a trabalhar para G. Riebau, como ajudante em sua livraria. Sua função era transportar o material e ajudar nas encadernações. Nesse contato com os livros ele teve a oportunidade de melhorar sua formação, aproveitando para ler, com grande interesse, todos os livros que podia (DIAS; MARTINS, 2004). A respeito disso, o próprio Faraday disse:

Enquanto aprendiz, adorava ler os livros científicos que estavam sob minhas mãos e, entre eles, me deliciava com as "Conversações em Química" de

Marcet e os tratados sobre eletricidade da "Enciclopédia Britânica". Fiz experimentos simples em química que poderiam ser custeados por alguns centavos por semana, e também construí uma máquina elétrica, primeiro com um frasco de vidro e depois com um cilindro real, bem como outro aparelho elétrico de tipo correspondente. [...], e que sua atenção foi voltada para a ciência pelo artigo 'Eletricidade' em uma enciclopédia que ele foi contratado para encadernar (JONES, B., 2010, p. 11, tradução nossa).

Em 1812, com uma recomendação e ajuda de um cliente da livraria, assistiu a uma série de quatro conferências do químico Humphry Davy na The Royal Institution de Londres. Anotou cuidadosamente essas conferências e enviou uma cópia para Davy, pedindo-lhe um emprego em qualquer função relacionada à Ciência. Em março do ano seguinte, com a demissão de um assistente, Faraday conseguiu o emprego. Então, aos 22 anos, Faraday tornou-se auxiliar de laboratório de Humphry Davy na The Royal Institution (DIAS; MARTINS, 2004).

Em outubro de 1813, Faraday acompanhou Davy em uma viagem pela França, Itália e Suíça, onde manteve contato com cientistas de diferentes áreas e aprendeu a “ver” e “pensar” os problemas científicos. Durante vários anos, apenas auxiliou Davy em seus estudos em Química e foi assim que adquiriu um enorme traquejo experimental. Davy foi um químico brilhante e seu laboratório era um dos mais bem equipados da Inglaterra. Com ele, Faraday fez um estudo sobre o cloro, experiências sobre difusão de gases e liquefação, dentre tantas outras atividades sobre química (DIAS; MARTINS, 2004).

Até 1820, Faraday não havia se dedicado a pesquisas físicas. Neste ano, Hans Christian Ørsted divulgou a descoberta do eletromagnetismo (Martins, 1986), e o novo fenômeno despertou o interesse de muitos investigadores – incluindo Humphry Davy. Motivado por esses estudos, aos 29 anos, Faraday (Figura 1) iniciou uma série de trabalhos independentes sobre eletromagnetismo, sempre conciliando com estudos sobre química (DIAS; MARTINS, 2004).

Figura 1 - Imagem de Michael Faraday.



Fonte: Michael Faraday por H. W. Pickersgill, gravado por Samuel Cousins. Retirado de JAMES, Frank A. J. L.

Em 1821, Faraday fez suas primeiras conferências e começou a publicar seus trabalhos independentes. Casou-se com Sarah Barnad neste mesmo ano, e foi recomendado por Davy para sucedê-lo na superintendência do laboratório. A partir desse período, o trabalho de Faraday já era independente. Em 1824 ele se tornou membro da Royal Society, por seus trabalhos relacionados à química. Em 1825 ele se tornou diretor do laboratório e, no ano seguinte, iniciou uma série de conferências semanais, às sextas-feiras. Até 1830 os trabalhos principais de Faraday envolviam a área da química. Em 1831, com a descoberta da indução eletromagnética, Faraday iniciou um período em que aprofundou seu envolvimento cada vez mais com pesquisas na física, sem nunca abandonar a química (DIAS; MARTINS, 2004).

Faraday foi chamado para consultoria em diversos trabalhos públicos e por 30 anos foi conselheiro da Trinity House. Sem nunca ter cursado uma universidade, recebeu títulos honorários e homenagens de toda parte do mundo e, ambas instituições, a Royal Society e a The Royal Institution, tentaram persuadi-lo a aceitar a presidência, sem sucesso. No verão de 1858, Faraday se aposentou, após 38

anos de trabalho na The Royal Institution. Morreu em 25 de agosto de 1867, em Hampton Court Green, Londres (DIAS; MARTINS, 2004).

## **5.2 Breve Biografia de Nikola Tesla**

De acordo com autobiografia de Nikola Tesla, o Livro *Minhas Invenções*, Nikola Tesla nascido no vilarejo Smiljan na Croácia em 10 de julho de 1856, foi um inventor, cientista e visionário com grandes contribuições na área do eletromagnetismo com suas invenções e inúmeras patentes (TESLA, 2012).

Nikola Tesla desde sua infância demonstrava ser uma criança esperta e com grandes habilidades matemáticas e tinha o sonho de ser engenheiro. Filho de um padre ortodoxo, seu pai predestinou para ele, desde seu nascimento, a profissão clerical. Até que Tesla ficou doente em 1873 quando contraiu cólera e ficou um longo período de cama. Seu pai prometeu, caso ele se recuperasse, que mandá-lo-ia para a melhor escola de engenharia disponível, que era o sonho de Tesla. Esta promessa fez sua recuperação praticamente instantânea e, logo a seguir, iniciou seus estudos de física e matemática no Instituto Politécnico de Graz, demonstrando ótimas notas e desempenho. Posteriormente, em 1880, estudou Filosofia na Universidade de Praga (TESLA, 2012).

Tinha diversos gostos, antipatias e hábitos estranhos sobre algumas impressões externas e outras inexplicáveis por ele próprio. Tinha, por exemplo, aversão a brincos de mulheres, pérolas e pêssego. Também contava os passos de suas caminhadas e calculava em cúbico de pratos de sopa, xícaras de café e todas suas refeições, caso contrário, suas refeições ficavam desagradáveis. Todos os atos repetitivos ou operações que executava tinham que ser divisíveis por três; se não desse certo, sentia-se obrigado a refazer tudo de novo, mesmo que levasse horas. Nikola Tesla teve um infeliz problema com apostas em jogos de cartas. Foi sua mãe, que descendia de uma das antigas famílias da região e de uma linhagem de inventores – uma inventora de primeira, dito por ele mesmo – quem o ajudou a controlar seus maus hábitos (TESLA, 2012).

Trabalhou como engenheiro elétrico em Budapeste, na Hungria, e também na França e na Alemanha. Em 1884, mudou-se para os Estados Unidos, onde trabalhou como assistente de Thomas Edison, realizando uma empreitada de trabalho durante cerca de um ano, com carga horária das 10 h 30 min às 5 h da manhã, sem nenhum dia de folga. Com trabalho de redesenhar os geradores elétricos da empresa de

Thomas Edison, neste período, Nikola Tesla projetou 24 tipos diferentes de máquinas, que foram construídas com o mesmo padrão e substituíram as máquinas antigas. Na conclusão desta tarefa, Nikola Tesla receberia 50 mil dólares, os quais, no entanto, não foram pagos por Thomas Edison e Nikola Tesla acabou pedindo demissão. Logo viraram rivais: Thomas Edison era defensor do sistema de transmissão de potência CC (corrente contínua) e Nikola Tesla, do sistema de transmissão de potência CA (corrente alternada), o qual se demonstrou mais eficiente e superior (TESLA,2012).

Logo a seguir nesta época, Nikola Tesla recebeu uma encomenda para projetar os geradores de CA que seriam instalados nas Cataratas do Niágara. George Westinghouse adquiriu as patentes do seu motor de indução e o transformou na base do sistema de potência Westinghouse, que ainda hoje fundamenta a moderna indústria de energia elétrica. Também realizou pesquisas notáveis acerca da eletricidade de alta tensão e da comunicação sem fio; em certo momento, produziu um terremoto que abalou o solo a vários quilômetros ao redor do seu laboratório em Nova York. Algumas de suas invenções anteciparam princípios que seriam utilizados em tecnologias futuras, tais como: um sistema de comunicação global sem fio, as máquinas de fax, o radar, os mísseis e as aeronaves guiados por rádio (TESLA, 2012).

Em 1892, Nikola Tesla (Figura 2) foi a Londres proferir uma palestra no Institution of Electrical Engineers. Logo após a palestra, aceitou o persistente convite de Sir James Dewar para comparecer ao The Royal Institution, sendo recebido pelo próprio Dewar em seu escritório. Nikola Tesla sentou-se numa cadeira e apreciou um copo de uísque. Neste momento, ouviu de Dewar: “Agora você está sentado na cadeira de Faraday, apreciando o uísque que ele costumava beber”. No dia seguinte, realizou uma demonstração do seu trabalho, recebendo elogios públicos de Lorde Rayleigh que o motivou muito a prosseguir (TESLA, 2012).

Figura 2 - Fotografia de Tesla em seu Laboratório em 1910.



Fonte: TESLA, 2012, p. 68.

Nikola Tesla faleceu sozinho no quarto de hotel onde morava em 7 de janeiro de 1943. Depois de sua morte, toda a propriedade de Tesla foi embalada, lacrada e entregue ao Escritório de Custódia de Bens Estrangeiros. Por iniciativa do filho da irmã mais nova de Tesla (Sava Kosanović) todos os bens pessoais e escritos dele foram enviados para Belgrado, onde foram apresentados ao Estado e armazenados na Universidade de Belgrado na Faculdade de Engenharia Elétrica, sendo, em 1952, transferidos para o atual museu (aberto ao público em 20 de outubro de 1955). O Museu Nikola Tesla é hoje, uma instituição científica e cultural única na Sérvia e no mundo, sendo o único que preserva o legado original e pessoal de Nikola Tesla, em coleções excepcionalmente valiosas, composta por mais de: 160.000 documentos originais; 2.000 livros e periódicos; 1.200 exposições históricas e técnicas; 1.500 fotografias e chapas fotográficas de vidro de itens técnicos originais, instrumentos e dispositivos; 1.000 planos e desenhos (TESLA, 2012; NIKOLA TESLA MUSEUM, 2021).

Apresenta-se, a seguir, o processo de pesquisa e confecção das réplicas dos aparatos históricos desenvolvidos por Faraday e Tesla, inseridos nos contextos históricos em que foram criados e/ou utilizados, que foram selecionados para este projeto.

### **5.3 Experimento Histórico: Indução Eletromagnética de Michael Faraday**

O experimento que levou Faraday a concepção do conceito de indução eletromagnética, ocorreu no vigésimo nono dia do mês de agosto de 1831 (THE ROYAL INSTITUTION, 2020). O detalhamento dos aparatos utilizados e dos procedimentos, será feito em duas etapas, considerando o aparato experimental principal: o anel-bobina e os aparatos auxiliares: galvanômetro e bateria.

#### **5.3.1 Aparato Histórico Principal: Anel-bobina (*Ring-coil Apparatus*)**

A descrição da construção do aparato a seguir foi feita pelo próprio Michael Faraday. Foi realizada uma tradução cuidadosa a partir da transcrição do documento original 'On the induction of electric currents; On the evolution of electricity from magnetism; On a new electrical condition of matter; On Arago's Magnetic phenomena' publicado em 1832 e de suas anotações pessoais (Faraday's notebooks - Anexo A), procurando manter o conteúdo íntegro e efetuando conversões de unidades de medida (indicadas entre colchetes). A figura 3, ao final da transcrição, mostra o aparato original que se encontra no Museu Faraday na The Royal Institution de Londres.

## § 2º. Evolução da Eletricidade a partir do Magnetismo.

27. Um anel soldado foi feito de uma barra redonda de ferro macio, sendo o metal [a barra] com sete oitavos de polegada [2,22 cm] de espessura, e o anel com seis polegadas [15,24 cm] de diâmetro externo. Três hélices [linhas em espiral, bobina, enrolamento] foram colocadas em volta de uma parte deste anel, cada um contendo cerca de 24 pés [7,31 m] de fio de cobre de um vigésimo de polegada [1,27 mm] de espessura; eles foram isolados do ferro e uns dos outros, e sobrepostos da maneira anteriormente descrita (item nº 6), ocupando cerca de nove polegadas [22,86 cm] de comprimento sobre o anel. Eles podem ser usados separadamente ou combinados; o grupo pode ser distinguido pela marca A (PL III. fig. 1.). Na outra parte do anel cerca de sessenta pés [18,29 m] de semelhante fio de cobre em dois pedaços foram aplicados da mesma forma, formando uma hélice B, a qual tinha a mesma direção em comum com as hélices de A, mas sendo separadas em cada extremidade por cerca de meia polegada [1,27 cm] de ferro descoberto.

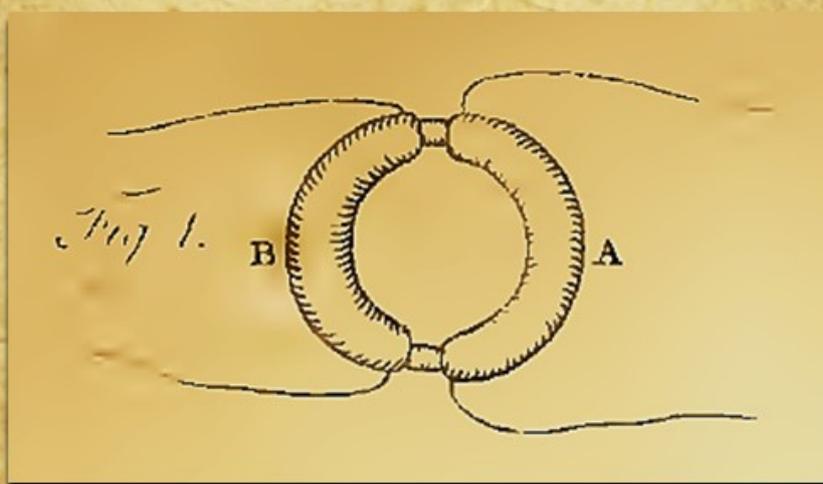


Fig. 1. Fonte primária: Philosophical  
Transactions MDCCCXXXII. Plate III. p. 131.

Extraído de: FARADAY, Michael, 1832.

28. A hélice B foi conectada por fios de cobre com um galvanômetro a três pés [91,44 cm] do anel. Os fios de A foram conectados de ponta a ponta de modo a formar uma longa hélice, cujas extremidades foram conectadas com uma bateria de dez pares de placas de quatro polegadas quadradas [25,80 cm<sup>2</sup>]. O galvanômetro foi imediatamente afetado, e em um grau muito além do que foi descrito, quando se utilizou uma bateria dez vezes mais potente e hélices sem ferro foram usadas (item nº 10); mas embora o contato fosse contínuo, o efeito não era permanente, pois a agulha logo veio a acomodar-se em sua posição natural, como se fosse indiferente ao arranjo eletromagnético acoplado. Ao romper o contato com a bateria, a agulha foi novamente desviada com força, mas na direção contrária àquela induzida em primeira instância.

Uma montagem simulada (representação) da reprodução do experimento realizado por Faraday no dia 29 de agosto de 1831, mostrando o conjunto dos aparatos utilizados e suas ligações elétricas, está disponível no site oficial de vendas de impressos do Science Museum Group de Londres (Figura 3).

Figura 3 - Simulação do experimento da indução eletromagnética.



Fonte: Image Ref. 10311228, © Science Museum / Science & Society Picture Library <https://www.ssplprints.com/image/93771/faradays-electromagnetic-induction-experiment-1831>.

A peça principal que propiciou a realização deste experimento é mostrada na Figura 4.

Figura 4 - Anel-bobina de Michael Faraday: atualmente está em exibição no piso térreo da The Royal Institution no Faraday Museum.



Fonte: Crédito: Paul Wilkinson. <https://www.rigb.org/our-history/iconic-objects/iconic-objects-list/faraday-ring>.

### **5.3.1.1 Relato da Construção da Réplica do Anel-bobina**

A descrição a seguir, refere-se ao detalhamento da construção do aparato, baseado no trabalho original de Faraday e em imagens obtidas a partir do Museu de Faraday na The Royal Institution de Londres.

No primeiro momento levantou-se a questão sobre qual material ou alternativa de peças para construção do item histórico: o anel de ferro [ferro doce] circular, com 7/8 de polegada de espessura e 6 polegadas de diâmetro externo, tentando ser o mais fidedigno possível com as medidas e a forma geométrica originais. Uma das opções poderia ser a forja da peça. Porém, na cidade de residência do autor, a profissão de forjador está extinta. Devido a isto pensou-se em outra alternativa poder-se-ia utilizar uma mola rosca que se encontra nos veículos como peça dos amortecedores. Fez-se um passeio a alguns amigos e a ferros-velhos, porém as molas que eram encontradas não correspondiam com as medidas desejadas do anel original de Faraday. No entanto, num ferro-velho próximo à Universidade Federal do Pampa UNIPAMPA, Campus de Caçapava do Sul - RS, encontrou-se um pedaço de uma mola quebrada de munho que conferia com as medidas. Como a mola tinha formato espiral e precisava apenas de uma circunferência, cortou-se uma volta da mola do tamanho desejado. Para fechar o círculo foi utilizado uma técnica de forja: em um belo domingo de churrasco, depositou-se a peça na brasa por cerca de 60 minutos; quando a peça ficou avermelhada, foi recolhida do fogo e levada para uma superfície de aço e batida com marreta até alinhar e fechar a circunferência e, em seguida foi presa num torno para realizar uma solda e finalizar o anel. Após todo este processo foi dado uma demão de convertedor de ferrugem.

Logo a seguir, iniciou-se outra etapa para construção das bobinas do anel. Separou-se o anel em duas regiões: lados A e B. Cada lado recebeu duas camadas de enrolamento de fio de cobre fino e esmaltado. Em cada camada foi dada uma mão de verniz e na terceira camada foi realizado um revestimento com tecido chitão e fixado com cola. Além disso, nesta última volta, todo o fio de cobre foi enrolado em espiral com linha de lã. A seguir, estão algumas imagens (Figura 5) das etapas realizadas.

Figura 5 - Etapas da construção do anel-bobina de Faraday:(A) Forja do anel. (B) Enrolamento com fio de cobre esmaltado em torno do anel. (C) Enrolamento do fio de cobre com linha de lã. (D) Anel-bobina finalizado.



Fonte: o autor.

### 5.3.2 Aparato Histórico Auxiliar: Galvanômetro (*Galvanometer*)

A construção do galvanômetro baseou-se no modelo (Galvanômetro astático) que está em exposição no Museu da The Royal Institution e nas imagens que esta instituição disponibilizou por meio do contato feito com a The Royal Institution através de sua rede social oficial no Twitter, sendo a única forma de contato que se obteve retorno. A tentativa inicial foi realizada, via e-mail, com Charlotte New que é a responsável pelo cuidado diário do patrimônio e das coleções da Royal Institution,

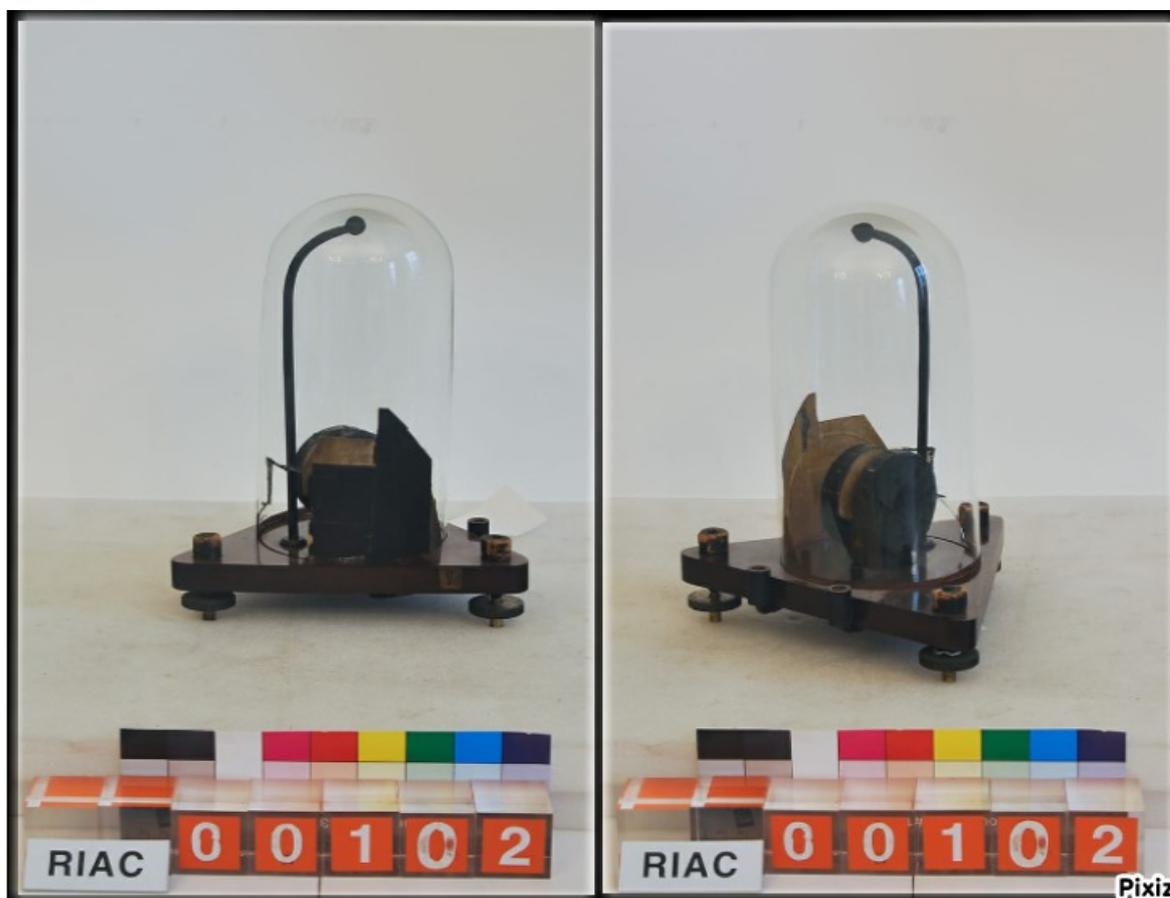
porém, não houve resposta. Também se tentou comunicação por meio da rede social Instagram, sem sucesso.

Após uma longa pesquisa em busca do tipo de galvanômetro utilizado por Faraday, concluiu-se que era do tipo astático. Para compreender melhor este tipo de galvanômetro, far-se-á uma caracterização, expondo as razões científicas de seu desenvolvimento. Atribui-se a Leopoldo Nobili (1784-1835), cientista italiano, a idealização e construção do primeiro galvanômetro deste tipo (ZORRER, 2020). Em função da complexidade deste tipo de aparelho, far-se-á uma exposição sintética de sua estrutura e funcionamento (justificados por princípios físicos).

Existem duas maneiras de aumentar a sensibilidade de um galvanômetro. O primeiro método consiste em aumentar a ação efetiva da corrente enrolando muitas voltas do fio condutor isolado em torno da agulha. O segundo método é diminuir a influência oposta do magnetismo da Terra, que tende a manter a agulha apontando para o norte e para o sul (LOCKWOOD, 1883).

É muito claro que, a menos que isso seja feito, a corrente deve manter uma luta constante contra o poder da ação diretiva da Terra sobre a agulha. Portanto, também é evidente que se pudermos neutralizar a força do magnetismo terrestre, a corrente exercerá muito mais força sobre a agulha, sendo capaz de desviar a agulha muito mais fácil. Pode-se fazer isso colocando duas agulhas magnetizadas em um eixo (que pode ser um fio leve de latão ou alumínio), com seus polos opostos, o polo norte de um sobre o polo sul do outro, e vice-versa (LOCKWOOD, 1883).

Figura 6 – Galvanômetro Astático que foi utilizado por Michael Faraday: atualmente está em exibição no piso térreo da The Royal Institution no Faraday Museum.



Fonte: The Royal Institution Collection RIAC 00102.

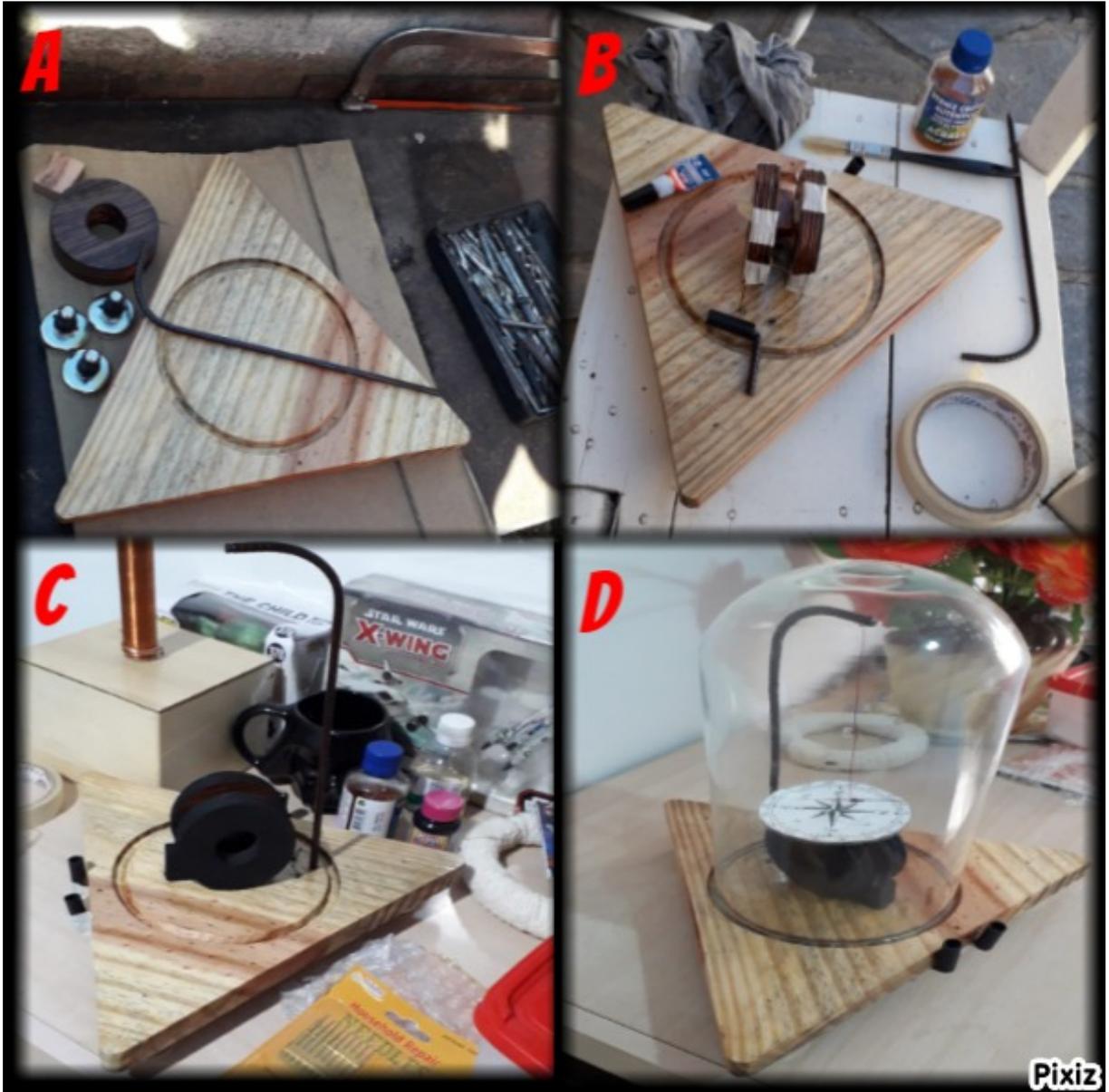
Ao usar tal combinação, a Terra atrairá a agulha superior e tenderá a manter seu polo norte apontando para o norte; mas irá repelir a agulha inferior com a mesma força, e tende a virá-la completamente. Desta forma, os ímãs assim dispostos têm muito pouca tendência para se posicionar ao norte e ao sul, porque a força que age em um é contrabalançada diretamente pela força que age no outro (LOCKWOOD, 1883).

Uma agulha construída da maneira descrita acima é chamada de agulha astática. Quando uma agulha astática é colocada em uma bobina de modo que [...] a agulha inferior esteja dentro da bobina e a superior acima dela, suas deflexões serão muito maiores do que se uma agulha comum fosse usada, por duas razões: em primeiro lugar, a força que mantém a agulha em sua posição fixa é pequena e, conseqüentemente, mais facilmente influenciada; em segundo lugar, a força da bobina é exercida na mesma direção em duas agulhas em vez de uma, pois a agulha superior estando muito mais próxima da parte superior da bobina do que a inferior, é desviada apenas por ela, e a deflexão assim induzida está na mesma direção da agulha inferior (LOCKWOOD, 1883, p. 44-45).

### 5.3.2.1 Relato da Construção da Réplica do Galvanômetro

A base de madeira, no formato de triângulo equilátero com 29 cm de lado, foi preparada para receber os demais componentes. Instalou-se três pés reguláveis para nivelamento (ajuste da altura), duas pequenas hastes em formato de “L” de 4 cm de comprimento e uma curvatura de 1 cm, nas quais foram enrolados fios de cobre fino e encaixados (na parte curva) uma mangueira estreita de 1 cm de espessura e 3 cm de comprimento, passando os fios por baixo da base, para conectá-los às bobinas. A haste que sustenta um fio (de costura) e uma agulha de costura imantada por ímã, tem altura de 22 cm e é feita de ferro de construção fino. Uma rosa dos ventos (impressa num disco de papel com 8 cm de diâmetro) forma com a agulha uma bússola, a qual paira sobre as duas bobinas. Cada uma destas foi feita com 8 voltas de fio de cobre fino em torno de uma roda de madeira com diâmetro de 7 cm, 1,5 cm de largura e uma furação central de 2,8cm de diâmetro, finalizando com uma pintura de tinta preta. Foram fixadas na base, na posição vertical e paralelas entre si. Entre elas, foi posto um retângulo de madeira com as dimensões de 4 cm comprimento e 1,5 cm de largura e 2 cm de altura. O conjunto da haste, da bússola e das bobinas foi coberto por uma cúpula de vidro (redoma de 15 cm de diâmetro e 25 cm de altura). Todas as dimensões seguiram uma proporção a partir das medidas realizadas através de um padrão em imagens enviadas pela The Royal Institution. Logo abaixo, seguem as imagens (Figura 7) de algumas etapas da construção.

Figura 7 - Etapas da construção do galvanômetro: (A) Instalação, na base de madeira, dos pés reguláveis e a haste. (B) Base de madeira: furação e instalações da haste, de dois pinos metálicos e das bobinas e conexão elétrica aos dois pinos. (C) Pintura em verniz da base e haste e pintura em preto das bobinas. (D) Galvanômetro finalizado.

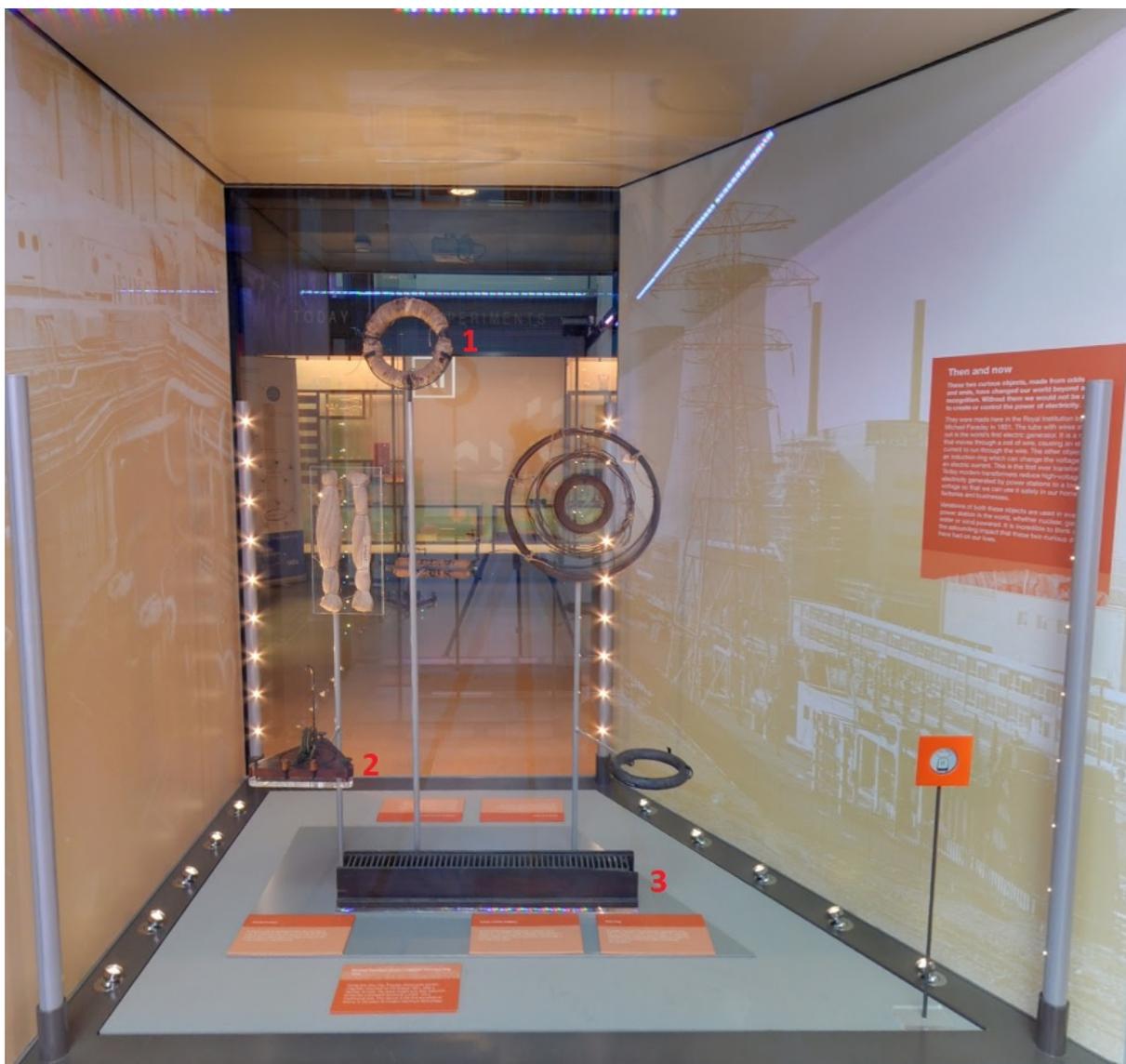


Fonte: o autor.

### 5.3.3 Aparato Histórico Auxiliar: Bateria (*TroughBattery*)

Embora os relatos de Faraday não especificuem o tipo de bateria que utilizou, especificamente neste experimento, evidenciou-se, a partir de imagens das Figuras 3 e 8 que a bateria é do tipo “cocho” ou “calha” (*trough*). Nas especificações feitas por Faraday há indicativos explícitos da quantidade de placas (dez pares) e da área de cada placa (quatro polegadas quadradas).

Figura 8 – Conjunto de aparatos utilizados no histórico experimento sobre Indução Eletromagnética, atualmente em exibição no piso térreo da The Royal Institution no Faraday Museum: (1) Anel-bobina. (2) Galvanômetro. (3) Bateria cocho.



Fonte: Google Maps. Endereço: <https://www.google.com/maps/@51.5098785,-0.1423225,3a,74.3y,232.34h,85.67t/data=!3m7!1e1!3m5!1sAF1QipPw7th0rxafIRuVUBRCOrfPTJPosu5tbMGMNMI6!2e10!3e12!7i13312!8i6656>

Para melhor visualização dos detalhes da bateria, a Figura 9 mostra, de forma ampliada, uma bateria do mesmo tipo e com as mesmas características daquelas retratadas nas Figuras 3 e 8.

Figura 9 –Bateria cocho similar à utilizada por Faraday.



Fonte: Science Museum Group Collection ©The Board of Trustees of the Science Museum. Bateria galvânica original de Cruickshank, fabricada por Richard & George Knight, Londres, Inglaterra, 1801-1838. Object Number: 1899-46. Link: <https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co6522/trough-battery-1801-1838-voltaic-pile>

### 5.3.3.1 Relato da Construção da Réplica da Bateria (*Trough Battery*)

Num primeiro momento foi realizado o manuseio de chapas de zinco e de cobre, de espessura de 0,5 mm, para confeccionar placas quadradas de dimensões equivalentes a quatro polegadas quadradas (aproximadamente 5 cm x 5 cm). Com um lápis e um esquadro foram realizadas marcações nas chapas e, então, com uma tesoura apropriada para cortar chapa, após cortou-se a primeira placa que foi usada como molde para cortar as demais, totalizando 10 placas de cada tipo de metal.

O recipiente da bateria tipo cocho foi construído no formato de uma caixa retangular com chapas de madeira de 1cm de espessura e dimensões de 36 cm de comprimento, 6,8 cm de largura e 5,5 cm de altura. Ao longo de todo o comprimento interno da caixa, em ambos os lados, foram feitas ranhuras (fendas) no sentido vertical, para encaixar as placas de metal. As ranhuras, de 1 mm de largura cada e distantes 5 mm uma da outra, foram marcadas à lápis e feitas com uma serra. Logo a seguir as madeiras foram lixadas e fixadas com cola para madeira, após a cola secar foi dado 2 mãos de verniz nas estruturas da bateria cocho.

Logo abaixo, seguem as imagens (Figuras 10 e 11) de algumas etapas da construção.

Figura 10 – Etapas de confecção das placas da bateria (Trough Battery): (A) Marcações das medidas e cortes das chapas. (B) Chapas de zinco e de cobre cortadas.



Fonte: o autor.

Figura 11 – Etapas de construção do cocho de madeira da bateria (Trough Battery): (A) Medição e marcação, nas duas placas de madeira laterais, das ranhuras e confecção das fendas com uma serra. (B) Montagem do cocho. (C) Processo de lixamento e pintura com verniz. (D) Bateria cocho finalizada.



Fonte: o autor.

#### 5.3.4 Conjunto de Réplicas dos Aparatos Históricos do Experimento de Indução Eletromagnética.

A partir das réplicas confeccionadas dos aparatos históricos: anel-bobina, do galvanômetro e da bateria, constitui-se a coleção dos dispositivos utilizados no Experimento de Indução Eletromagnética, conforme mostra a Figura 12.

Figura 12 - Conjunto das réplicas dos aparatos utilizados no histórico experimento sobre Indução Eletromagnética.

Fonte: o autor.

#### **5.4 Episódio Histórico: Transmissão de Energia Elétrica Sem Fio por Nikola Tesla**

A partir do seu instinto inato Nikola Tesla tinha de melhorar os aparelhos atuais, sem pensar muito sobre os problemas prementes. Seu trabalho Transmissor de energia elétrica sem fio “transmissor amplificador”, era produto de um trabalho de anos, seu objetivo era a solução de problemas que são infinitamente mais importantes para humanidade do que mero desenvolvimento industrial (TESLA, 2012).

Em novembro de 1890, Nikola Tesla realizou um experimento bem-sucedido com um transformador para investigar o comportamento de correntes de alta frequência. Estava convencido que poderia produzir um campo elétrico de intensidade suficiente para acender tubos de vácuo sem eletrodos, construídos por ele mesmo (similares às atuais lâmpadas fluorescentes). Para época, era um fenômeno espantoso, impossível de descrever (TESLA, 2012).

Começou a elaborar planos para retomar os trabalhos na América, em um período de recuperação de sua saúde no qual se deparou com conflitos internos e buscou ajuda nos conselhos de sua mãe para buscar toda verdade na Bíblia dedicando meses de estudo a ela (TESLA, 2012).

Certo dia caminhando pelas montanhas o clima se armou para uma tempestade que se aproximava, o céu cobriu-se de nuvens espessas, pesadas, mas por alguma razão não começava a chover até que, em um determinado momento, um relâmpago cortou o ar e logo a seguir começou a chover. Esta observação deu a ele muito o que pensar: com os fenômenos envolvidos havia uma estupenda possibilidade de realizar alguma coisa; se fosse possível produzir efeitos elétricos com a qualidade necessária, poderia transformar o planeta inteiro e as condições de vida sobre ele (TESLA, 2012).

Parecia uma façanha impossível, mas decidiu tentar e, nos Estados Unidos no verão de 1892, iniciou os trabalhos para concretizar a transmissão de energia sem fio, obtendo o primeiro resultado positivo alcançado na primavera de 1893, atingindo uma tensão de 1 milhão de volts com uma bobina cônica. Alcançou grandes progressos até que, em 1895, ocorreu a destruição de seu laboratório por um incêndio, prejudicando muito Nikola Tesla em seu trabalho em diversos aspectos, perdendo boa parte do ano em planejamento e na reconstrução (TESLA, 2012).

Ciente que as forças eletromotivas podiam ser alcançadas com aparelhos de maiores dimensões, tinha a sensação instintiva que poderia atingir seu objetivo com a construção adequada de um transformador comparativamente pequeno e compacto. Testando com uma bobina secundária na forma de espiral plana, ficou espantado ao perceber a ausência dos relâmpagos. Mas isto não ocorria por causa da base na posição das bobinas e sua influência recíproca, levando a recorrer ao uso de um condutor de alta tensão com bobinas de diâmetro considerável, suficientemente separadas para manter baixa a capacidade distribuída e, ao mesmo tempo, impedir o acúmulo de carga em algum ponto. Com a aplicação deste princípio, produziu-se tensões de mais de 4 milhões de volts, aproximadamente o limite que podia se alcançar sem risco de acidente (TESLA, 2012).

Na primavera de 1899, foi para Colorado e, em um período de um ano, realizou melhorias e refinamentos que possibilitaram a produção de correntes elétricas de qualquer tensão. O transformador amplificador trata-se de um transformador ressonante (destaque da Figura 13) com um secundário em que as partes carregadas com alto potencial têm uma área considerável e estão dispostas no espaço ao longo de superfícies envolventes de raios de curvatura muito grande, e a uma distância adequada entre uma e outra, o que garante uma densidade de superfície elétrica pequena em toda parte, de modo que não permite que ocorra fuga mesmo quando o condutor esteja exposto. Pode ser usado para qualquer frequência: de poucos a muitos milhares de ciclos por segundo, produzindo correntes de tremendo volume e pressão moderada, ou de menor amperagem e de imensa força eletromotiva. A máxima tensão elétrica depende meramente da curvatura da superfície em que se situam os elementos carregados e de suas áreas (TESLA, 2012).

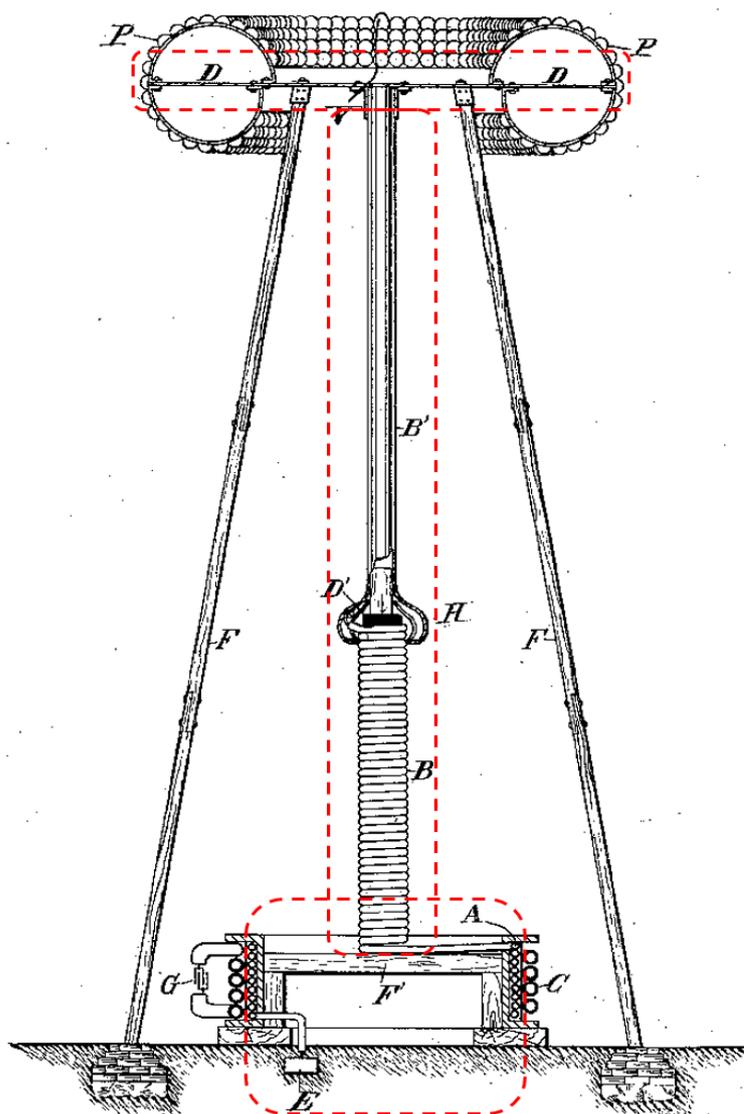
Num sentido mais restrito, o transmissor sem fio é um transmissor em que a quantidade de radiação em onda eletromagnética é completamente desprezível comparada com a energia total. Nessas condições, o fator de amortecimento é extremamente reduzido e uma carga enorme é armazenada. Um circuito pode ser excitado com impulsos de qualquer tipo, mesmo de baixa frequência, produzindo oscilações senoidais e contínuas como as de um alternador; trata-se de um transformador ressonante que, além de ter as características, tem as propriedades e as constantes elétricas exatas para se adequar à Terra, por isto se torna um eficiente transmissor de energia sem fio (TESLA, 2012).

#### **5.4.1 Trecho da Patente do Aparelho para Transmissão de Energia Elétrica**

A patente US Patent nº 1.119.732 (ANEXO B) do “Aparato para Transmissão de Energia Elétrica” foi dada em 1º de dezembro de 1914. Porém, o pedido foi depositado em 18 de janeiro de 1902, sob o número de série 90.245 e renovado em 4 de maio de 1907, sob o número de série 371.817.

A partir da tradução da patente, foi realizada uma identificação das partes da bobina (o que, no documento original, é feito de forma dispersa ao longo do texto). A fim de tornar mais evidente o principal elemento de funcionamento do aparelho, destacou-se no desenho da patente (Figura 13), o circuito ressonante.

Figura 13 - Aparelho para transmissão de energia elétrica de Nikola Tesla (US Patent nº 1.119.732).



Componentes: **A** - Bobina. **B** - Bobina de autoindução (com espiras bem juntas). **B'** - Cilindro metálico (com superfície lisa ou polida de raio muito maior que o dos elementos semiesféricos PP). **C** - Primário. **D** - Terminal (estrutura metálica em formato de anel de seção transversal quase circular). **D'** - Estrutura [moldura, armação] ou tambor de material isolante. **E** - Aterramento. **F** - Suportes isolantes. **F'** - Suporte (robusto). **G** - Fonte de correntes (alternador ou condensador). **H** - Coberturas [capuzes, capas] condutoras (entalhado para evitar perdas por correntes parasitas). **PP** - Placas de metal semiesféricas. **V** - Placa de dissipação (de segurança; de raio de curvatura maior; se projetando). Em destaque (pontilhado vermelho) o circuito ressonante: **EABB'D**.

Fonte: TESLA, Nikola. Apparatus for Transmitting Electrical Energy, 1914 (US Patent nº 1.119.732).

Destaca-se aqui, a partir das descrições feitas por Tesla na patente, dois aspectos relevantes do circuito ressonante:

- sua configuração, apontando o arranjo estrutural e as conexões:

O circuito compreende uma bobina A que está em relação indutiva próxima com um primário C, e uma das extremidades da qual está conectada a uma placa de aterramento E, enquanto sua outra extremidade é conduzida por uma bobina de autoindução B separada e um cilindro metálico B' para o terminal D. A ligação a este último deve ser feita sempre no, ou próximo do centro, a fim de garantir uma distribuição simétrica da corrente, caso contrário, quando a frequência é muito elevada e o fluxo de grande volume, o desempenho do aparelho pode ser prejudicado. O primário C pode ser excitado de qualquer maneira desejada, a partir de uma fonte adequada de correntes G, que pode ser um alternador ou condensador, sendo o requisito importante que a condição ressonante seja estabelecida, ou seja, que o terminal D esteja carregado à pressão máxima desenvolvida no circuito, conforme especifiquei em minhas patentes originais antes mencionadas (TESLA, 1914, p. 1-2).

- sua incrível capacidade energética:

Eu mostrei que é praticável produzir em um circuito ressonante como EABB'D *imensas atividades elétricas*, medidas por dezenas e até centenas de milhares de horse-power de potência e, em tal caso, se os pontos de pressão máxima forem deslocados abaixo do terminal D, ao longo da bobina B, uma *bola de fogo* pode estourar e destruir o suporte F ou qualquer outra coisa no caminho. Para uma melhor avaliação da natureza desse perigo, deve ser declarado que a *ação destrutiva pode ocorrer com violência inconcebível* (TESLA, 1914, p.2, grifos nossos).

#### 5.4.2 Aparato Histórico: Torre Wardenclyffe

Em 1901, foi construída uma usina em Long Island com a Torre Wardenclyffe com 57 metros de altura e um terminal esférico de cerca de 20 metros de diâmetro, dimensões adequadas para transmissão de qualquer quantidade de energia. Originalmente oferecia de 200 a 300 kW, mas futuramente pretendia empregar milhares de hp (*horse-power*). O transmissor devia emitir um complexo de ondas de características especiais, com métodos exclusivos de controle telefônico de qualquer quantidade de energia. A Torre Wardenclyffe nunca foi finalizada e acabou sendo destruída em 1917 (TESLA, 2012).

Figura 14 - Torre Wardenclyffe.



Fonte: CHILDRESS, David Hatcher. As fantásticas invenções de Nikola Tesla, p.167.

#### 5.4.2.1 Aparato Histórico: Maquete da Torre Wardenclyffe

Num primeiro momento, fez-se um levantamento a respeito dos materiais e das melhores alternativas para construção do aparato histórico conhecido como Torre Wardenclyffe, em forma de maquete. Sobre uma base de MDF<sup>2</sup> com diâmetro de 35 cm, construiu-se a estrutura da torre feita com hastes de madeira de 2 cm de largura por 1 cm de espessura, atingindo uma altura de 40 cm. Foram utilizadas 6 hastes destas dimensões, dispostas verticalmente com pequena inclinação, tendo 25 cm de diâmetro na base e 10 cm de diâmetro no topo da torre. Para conexão entre as hastes verticais e dar sustentação à torre, hastes menores foram dispostas de forma horizontal e fixadas com tachinhas, formando um cinturão hexagonal. Ao todo, foram construídos dois cinturões equitativamente espaçados ao longo da altura da torre. As hastes e toda estrutura de madeira foram pintadas com verniz.

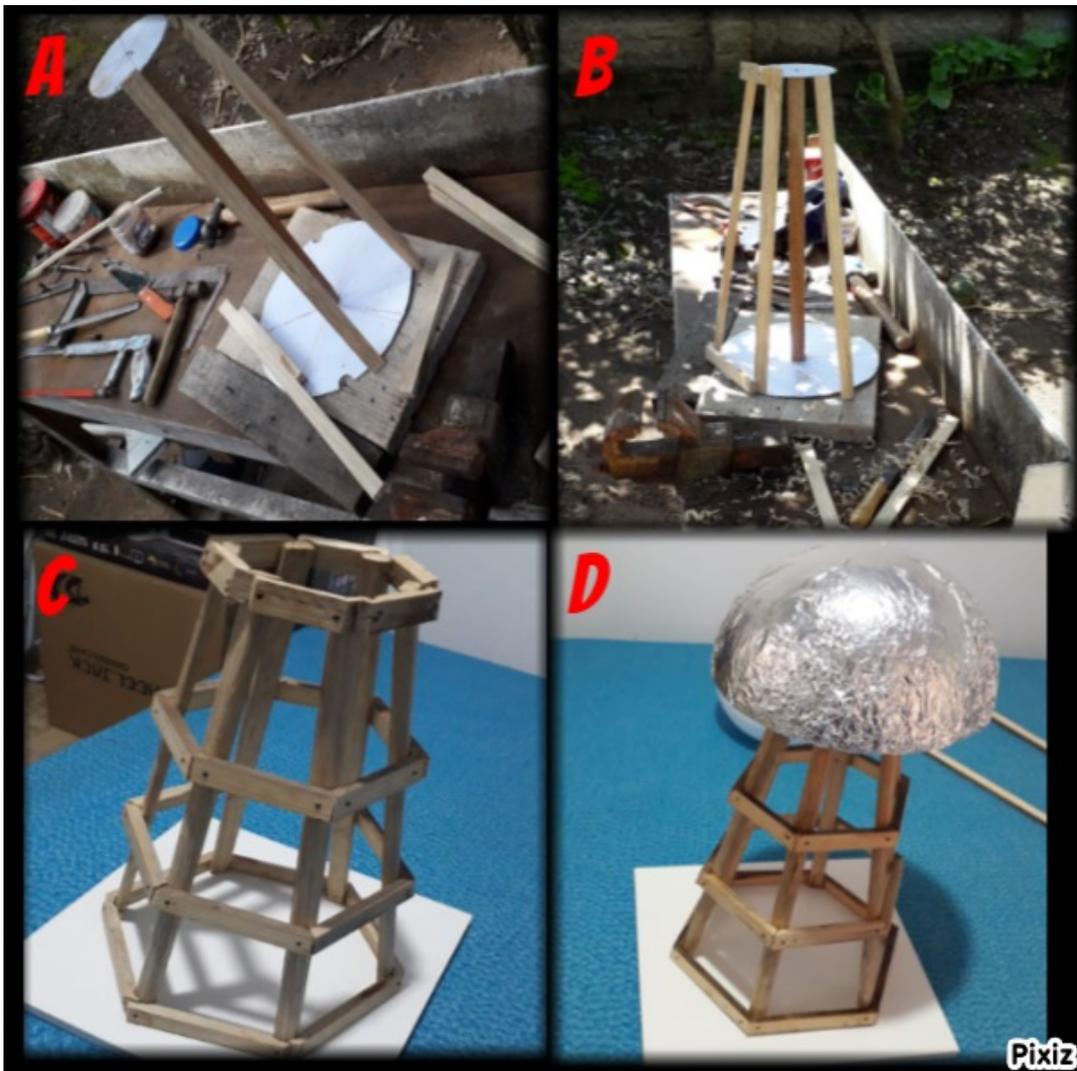
---

<sup>2</sup> MDF é a sigla para Medium Density Fiberboard (Placa de fibra de média densidade). Fonte: Wikipédia.

Para confecção do topo da torre foi utilizado a metade de uma bola de isopor com 20 cm de diâmetro que foi totalmente revestida com papel alumínio e fixada com cola na parte superior da torre.

Logo abaixo, seguem as imagens (Figura 15) de algumas etapas da construção da torre que tem uma escala de aproximadamente 1:100.

Figura 15 - Etapas da construção da Maquete da Torre Wardencylyffe: (A) Confecção de um molde para auxiliar fixar as hastes de madeira. (B) Fixação das hastes de madeira. (C) Estrutura da Torre finalizada sob base de MDF. (D) Maquete Torre Wardencylyffe finalizada.



Fonte: o autor.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção dos aparatos deste trabalho foi uma experiência de trabalho árduo e de muitos desafios, principalmente pelo motivo deste processo ter ocorrido em uma situação global de pandemia. Um dos maiores desafios foi o de buscar matéria prima para construção, pelo fato de Caçapava do Sul - RS ser uma cidade pequena e poucos artefatos que seriam utilizados como matéria prima foram encontrados no comércio local, tendo que se procurar boa parte do material em lojas virtuais(compras online); uma alternativa que deixava o processo mais lento e as vezes tendo que trabalhar com alguma matéria-prima que não era o ideal mais era o que o mercado disponibilizava e, em alguns casos, as peças chegavam danificadas e precisaram ser reenviadas.

Houve muitos momentos de reflexão para determinar quais materiais e como trabalhar com eles para atingir o objetivo de construir os aparatos da forma mais fidedigna possível. No decorrer das montagens dos aparatos históricos, deparou-se com situações nas quais foi necessário a realização de procedimentos de carpintaria e ferraria; em outras, acreditava-se que o processo de construção estava pronto, no entanto, descobria-se pequenas lacunas.

Dialogando com Höttecke (2000) este trabalho focou o tema da replicação de aparatos e experimentos históricos como dispositivos de aprendizagem e ensino. Quando replicados da forma mais fidedigna possível em relação ao original, possibilitam experiências intelectuais e também sensoriais, como uma espécie de “incorporação” do cientista naquela realidade e naquela circunstância. Aprender por meio da replicação torna possível aprender em diferentes níveis da atividade humana relacionados à mente e ao corpo. Reconstruir e refazer situações experimentais históricas revela as múltiplas e multifacetadas dimensões laboratoriais das ciências naturais, permitindo vivenciar momentos e etapas que proporcionam uma ideia mais precisa e coerente do significado da experimentação na história da ciência.

Nas pesquisas realizadas esbarrou-se com inúmeros momentos de dificuldades, principalmente para encontrar algumas informações tanto historicamente referente aos cientistas trabalhados quanto ao detalhamento da descrição de suas invenções abordadas nesta obra. Os recursos de materiais e as fontes disponíveis são inúmeros, porém, a grande maioria peca por não apresentar

alguns aspectos que eram necessários para a construção dos aparatos e acabou-se enfrentando problemas como a falta de detalhamentos, déficit de informações, dificuldade de acesso ou materiais com fontes duvidosas de caráter não científico.

Pesquisas realizadas referente aos trabalhos de Tesla mostraram inúmeros materiais não confiáveis, envoltos por teorias conspiratórias em torno de sua obra e contendo erros de datas e descrição histórica. Sendo assim, utilizou-se o material histórico produzido pelo próprio Tesla com sua autobiografia e suas patentes originais que, por estarem em inglês, dificultaram na pesquisa e na interpretação dos esquemas de construção, tendo em vista o linguajar científico da época envolver muitos termos diferentes dos atuais. Em relação à Faraday, encontramos materiais de fontes primárias como diários e cartas dele mesmo, que traziam melhor detalhamento sobre seus trabalhos e sua história, ainda que a maioria não traduzida para o português. Um dos maiores desafios foi o de identificar os tipos de galvanômetro e de bateria originalmente utilizados por Faraday.

Concorda-se com Höttecke (2000) que a replicação de um instrumento de acordo com o original permite um conhecimento detalhado sobre as dimensões históricas da prática laboratorial e sua relação com o processo de desenvolvimento científico. Além disso, permite que os alunos desenvolvam habilidades reconstruindo um experimento e refazendo o desenho experimental, obtendo assim uma percepção muito mais acurada e próxima do trabalho prático que os cientistas realizaram. Eles podem perceber que, o processo de produção do conhecimento científico, vai muito além do um trabalho intelectual, envolvendo aspectos sociais e práticos. Experimentar é um trabalho criativo da mente e das mãos. Reconstruir e refazer torna possível compreender o trabalho científico e seus resultados em um contexto histórico, por meio de uma experiência intelectual e também sensorial e estética. Isso permite uma perspectiva detalhada e refinada sobre a ciência e sua história. Ademais, as replicações apresentam questões sobre materiais, formas de realizar experimentos, o papel do sujeito experimentador no processo de experimentação, o efeito na comunidade científica e a pré e pós-história do experimento histórico. Constituem, portanto, valioso recurso para desenvolver e responder a perguntas sobre experimentos. Portanto, a replicação de experimentos históricos é um método de historiografia da ciência, bem como de compreensão e ensino da ciência e sua história (HÖTTECKE, 2000).

Vale ressaltar, como uma limitação dos resultados obtidos, que os aparatos históricos confeccionados não foram testados em termos de funcionamento. Desta forma, não é possível trabalhar com o viés de suas respectivas afinidades em demonstrar os fenômenos físicos a que se destinam com os aparatos em si. Isso ocorreu pelo motivo da inviabilidade de informações que demandavam custo financeiro inacessível, que acabou dificultando o trabalho, especialmente para sanar detalhes e dúvidas. No caso do aparato histórico da Torre Wardenclyffe, ela, historicamente não foi finalizada. Assim ela não demonstra fenômenos físicos na maquete em si. No experimento histórico da Indução Eletromagnética, tem-se a limitação do galvanômetro, que foi replicado através de uma imagem disponibilizada pela The Royal Institution, na qual faltam partes do aparelho, mais especificamente o sistema de ímãs e a rosa dos ventos, que talvez com tempo, deve ter se deteriorado.

Como um todo, a proposta do trabalho possibilita, especialmente através das réplicas dos aparatos, explorar o processo de suas confecções e refletir sobre os desafios em fazer Ciência e sobre toda historiografia envolvida nas descobertas da época e nos respectivos episódios.

## REFERÊNCIAS

- BATISTA, Renata F. M.; SILVA, Cibelle Celestino. A abordagem histórico-investigativa no ensino de Ciências. **Estudos avançados**, v. 32, n. 94, p. 97-110, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/7ZbhwnLJDXrwrN7n98DBcLB/?lang=pt>. Acesso em: 16 fev. 2021.
- BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular (BNCC)**. Educação é a Base. Brasília, MEC/CONSED/UNDIME, 2017.
- BRASIL, Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Fundamental**. Brasília, MEC/SEF, 1997.
- CAVICCHI, Elizabeth Mary. Historical Experiments in Students' Hands: Unfragmenting Science through Action and History. **Science & Education**, v. 17, n. 7, p. 717-749, 2008. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/225733054\\_Historical\\_Experiments\\_in\\_Students'\\_Hands\\_Unfragmenting\\_Science\\_through\\_Action\\_and\\_History](https://www.researchgate.net/publication/225733054_Historical_Experiments_in_Students'_Hands_Unfragmenting_Science_through_Action_and_History). Acesso em: 08 out. 2020.
- CHILDRESS, David Hatcher. **As fantásticas invenções de Nikola Tesla**. São Paulo: Madras Editora, v. 14, 2004.
- DIAS, Valéria Silva; MARTINS, Roberto de Andrade. Michael Faraday: o caminho da livraria à descoberta da indução eletromagnética. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 10, n. 3, p. 517-530, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ciedu/v10n3/14.pdf>. Acesso em: 08 out. 2020.
- FARADAY, Michael. **On the induction of electric currents; On the evolution of electricity from magnetism; On a new electrical condition of matter; On Arago's Magnetic phenomena**. The Royal Society (Great Britain), 1832. Disponível em: <https://doi.org/10.5479/sil.389404.39088006367056>. Acesso em: 13 out. 2020.
- FORATO, Thaís Cyrino de Mello; PIETROCOLA, Maurício; MARTINS, Roberto de Andrade. 2011. Historiografia e Natureza da Ciência na Sala de Aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 27-59, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2011v28n1p27>. Acesso em: 19 mar. 2021.
- HÖTTECKE, Dietmar. How and What Can We Learn From Replicating Historical Experiments? A Case Study. **Science & Education**. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, v. 9, p. 343-362, 2000. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1023/A:1008621908029.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2021.
- JAMES, Frank A. J. L. **The Correspondence of MICHAEL FARADAY**. Volume 1. London: Institution of Electrical Engineers, 1991. Disponível em: [https://digital-library.theiet.org/docserver/fulltext/books/ht/pbsp021e/PBSP021E\\_frontmatter.pdf?ex](https://digital-library.theiet.org/docserver/fulltext/books/ht/pbsp021e/PBSP021E_frontmatter.pdf?ex)

[pires=1618528623&id=id&accname=quest&checksum=6295129168E0BD388D784F3670BB9D03](#). Acesso em: 15 abr. 2021.

JONES, Bence. **The Life and Letters of Faraday**. Volume 1. New York: Cambridge University Press, 2010.

LOCKWOOD, Thomas Dixon. **Electrical Measurement and the Galvanometer**: its construction and uses. New York: J. H. BUNNELL&CO., p. 42-45, 1883. Disponível em: <https://archive.org/details/cu31924031266996>. Acesso em: 08 jul. 2021.

MARTINS, Roberto de Andrade. Sobre o Papel da História da Ciência no Ensino. **Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, v. 9, n. 3-5, 1990. Disponível em: <http://www.ghc.usp.br/server/pdf/ram-42.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2021.

MARTINS, André Ferrer Pinto. Natureza da Ciência no ensino de ciências: uma proposta baseada em “temas” e “questões”. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 3, p. 703-737, 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2015v32n3p703>. Acesso em: 16 mar. 2021.

NIKOLA TESLA MUSEUM. Nikola Tesla Museum, 2021. History. Disponível em: <https://nikolateslamuseum.org/en/history/>. Acesso em: 13 abr. 2021.

TESLA, Nikola. **Apparatus for Transmitting Electrical Energy**. Depositante: Nikola Tesla. Procurador: Kerr, Paquet Cooper. US Patent nº 1.119.732. Depósito: 18 jan. 1902. Concessão: 1º dez. 1914. Disponível em: <https://patentimages.storage.googleapis.com/8a/95/f3/1b1780c6941fb9/US1119732.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2020.

TESLA, Nikola. **Minhas Invenções**: A autobiografia de Nikola Tesla. São Paulo: Unesp, 2012.

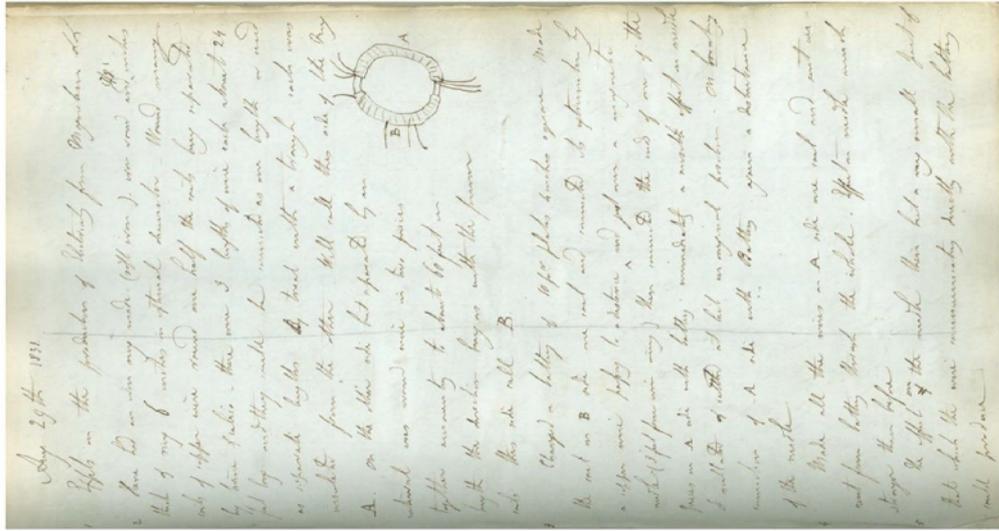
THE ROYAL INSTITUTION, 2020. Faraday's notebooks: Eletromagnetic Induction. Disponível em: [https://www.rigb.org/docs/faraday\\_notebooks\\_induction\\_0.pdf](https://www.rigb.org/docs/faraday_notebooks_induction_0.pdf). Acesso em: 13 out. 2020.

THE ROYAL INSTITUTION, Collection RIAC 00102. Destinatário: Marcio Nascimento de Oliveira. 18 jun. 2021. 1 mensagem eletrônica. Twitter: @Ri.Science.

ZORRER, Daniel. **Galvanômetro de Nobili**. Acervo Museológico dos Laboratórios de Ensino de Física. Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2020. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/amlef/2020/09/15/galvanometro-de-nobili/>. Acesso em: 30 jun. 2021.

# Faraday's notebooks: Electromagnetic Induction The Royal Institution of Great Britain

Faraday's notebooks give an excellent record of his scientific research. He kept meticulous notes of each experiment and its results, writing up the rough notes he made while in the laboratory and sometimes illustrating the pages with small diagrams of his apparatus.



This notebook page (RI MS F\_2\_C) from 29<sup>th</sup> August 1831 records Faraday's construction of the apparatus with which he discovered electromagnetic induction.



While Faraday describes the making of the ring in its entirety here, the actual work would probably have taken much longer. A modern experiment to build a replica induction ring using original materials took 10 working days.

The original induction ring can be seen on display in the Faraday Museum.

## Transcription

Aug 29<sup>th</sup> 1831

1. Expts on the production of Electricity from Magnetism, etc. etc.
2. Have had an iron ring made (soft iron), iron round and 7/8 inches thick and ring 6 inches in external diameter. Wound many coils of copper wire round one half, the coils being separated by twine and calico - there were 3 lengths of wire each about 24 feet long and they could be connected as one length or used as separate lengths. By trial with a trough each was insulated from the other. Will call this side of the ring A. On the other side but separated by an interval was wound wire in two pieces together amounting to about 60 feet in length, the direction being as with the former coils; this side call B.
3. Charged a battery of 10 pr. plates 4 inches square. Made the coil on B side one coil and connected its extremities by a copper wire passing to a distance and just over a magnetic needle (3 feet from iron ring). Then connected the ends of one of the pieces on A side with battery, immediately a sensible effect on needle. It oscillated and settled at last in original position. On breaking connection of A side with Battery again a disturbance of the needle.
4. Made all the wires on A side one coil and sent current from battery through the whole. Effect on needle much stronger than before.
5. The effect on the needle then but a very small part of that which the wire communicating directly with the battery could produce.

## ANEXO B – Patente US Patent n° 1.119.732

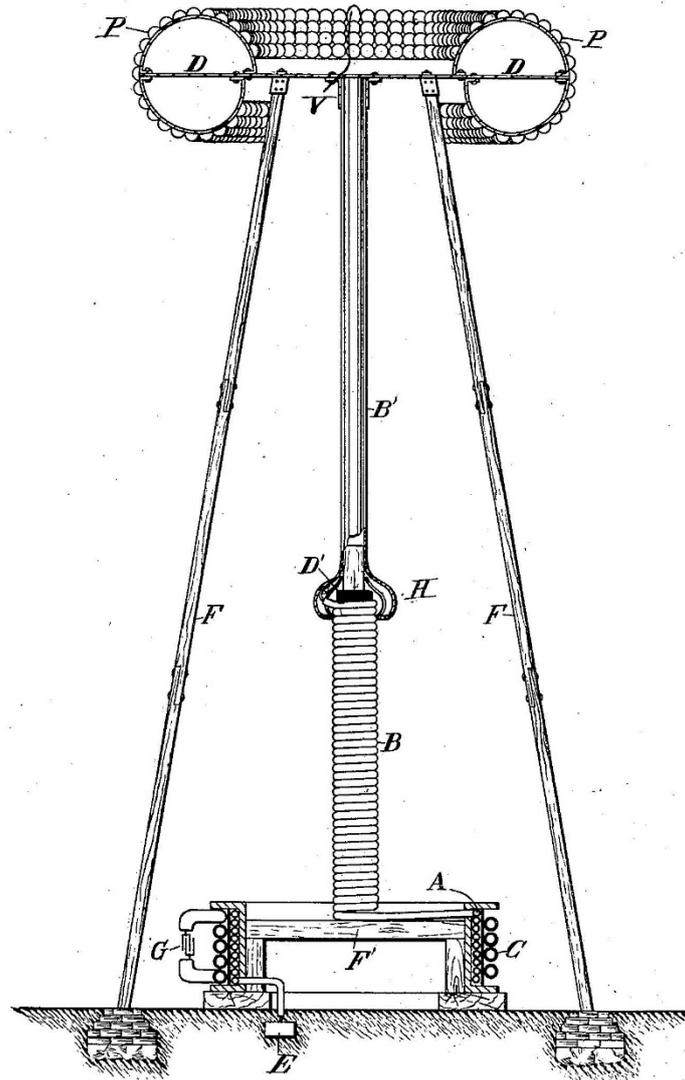
N. TESLA.

APPARATUS FOR TRANSMITTING ELECTRICAL ENERGY.

APPLICATION FILED JAN. 18, 1902. RENEWED MAY 4, 1907.

1,119,732.

Patented Dec. 1, 1914.



WITNESSES:

*M. Lawson Dyer*  
*Benjamin Miller*

*Nikola Tesla*, INVENTOR,  
 BY *Wm. Page & Cooper*,  
 his ATTORNEYS.

# UNITED STATES PATENT OFFICE.

NIKOLA TESLA, OF NEW YORK, N. Y.

APPARATUS FOR TRANSMITTING ELECTRICAL ENERGY.

1,119,732.

Specification of Letters Patent.

Patented Dec. 1, 1914.

Application filed January 18, 1902, Serial No. 90,245. Renewed May 4, 1907. Serial No. 371,317.

*To all whom it may concern:*

Be it known that I, NIKOLA TESLA, a citizen of the United States, residing in the borough of Manhattan, in the city, county, and State of New York, have invented certain new and useful Improvements in Apparatus for Transmitting Electrical Energy, of which the following is a specification, reference being had to the drawing accompanying and forming a part of the same.

In endeavoring to adapt currents or discharges of very high tension to various valuable uses, as the distribution of energy through wires from central plants to distant places of consumption, or the transmission of powerful disturbances to great distances, through the natural or non-artificial media, I have encountered difficulties in confining considerable amounts of electricity to the conductors and preventing its leakage over their supports, or its escape into the ambient air, which always takes place when the electric surface density reaches a certain value.

The intensity of the effect of a transmitting circuit with a free or elevated terminal is proportionate to the quantity of electricity displaced, which is determined by the product of the capacity of the circuit, the pressure, and the frequency of the currents employed. To produce an electrical movement of the required magnitude it is desirable to charge the terminal as highly as possible, for while a great quantity of electricity may also be displaced by a large capacity charged to low pressure, there are disadvantages met with in many cases when the former is made too large. The chief of these are due to the fact that an increase of the capacity entails a lowering of the frequency of the impulses or discharges and a diminution of the energy of vibration. This will be understood when it is borne in mind, that a circuit with a large capacity behaves as a slackspring, whereas one with a small capacity acts like a stiff spring, vibrating more vigorously. Therefore, in order to attain the highest possible frequency, which for certain purposes is advantageous and, apart from that, to develop the greatest energy in such a transmitting circuit, I employ a terminal of relatively small capacity, which I charge to as high a pressure as practicable. To accomplish this result I have found it imperative to so construct the elevated conductor, that its outer surface, on

which the electrical charge chiefly accumulates, has itself a large radius of curvature, or is composed of separate elements which, irrespective of their own radius of curvature, are arranged in close proximity to each other and so, that the outside ideal surface enveloping them is of a large radius. Evidently, the smaller the radius of curvature the greater, for a given electric displacement, will be the surface-density and, consequently, the lower the limiting pressure to which the terminal may be charged without electricity escaping into the air. Such a terminal I secure to an insulating support entering more or less into its interior, and I likewise connect the circuit to it inside or, generally, at points where the electric density is small. This plan of constructing and supporting a highly charged conductor I have found to be of great practical importance, and it may be usefully applied in many ways.

Referring to the accompanying drawing, the figure is a view in elevation and part section of an improved free terminal and circuit of large surface with supporting structure and generating apparatus.

The terminal D consists of a suitably shaped metallic frame, in this case a ring of nearly circular cross section, which is covered with half spherical metal plates P P, thus constituting a very large conducting surface, smooth on all places where the electric charge principally accumulates. The frame is carried by a strong platform expressly provided for safety appliances, instruments of observation, etc., which in turn rests on insulating supports F F. These should penetrate far into the hollow space formed by the terminal, and if the electric density at the points where they are bolted to the frame is still considerable, they may be specially protected by conducting hoods as H.

A part of the improvements which form the subject of this specification, the transmitting circuit, in its general features, is identical with that described and claimed in my original Patents Nos. 645,576 and 649,621. The circuit comprises a coil A which is in close inductive relation with a primary C, and one end of which is connected to a ground-plate E, while its other end is led through a separate self-induction coil B and a metallic cylinder B' to the terminal D.

1,119,732

The connection to the latter should always be made at, or near the center, in order to secure a symmetrical distribution of the current, as otherwise, when the frequency is very high and the flow of large volume, the performance of the apparatus might be impaired. The primary C may be excited in any desired manner, from a suitable source of currents G, which may be an alternator or condenser, the important requirement being that the resonant condition is established, that is to say, that the terminal D is charged to the maximum pressure developed in the circuit, as I have specified in my original patents before referred to. The adjustments should be made with particular care when the transmitter is one of great power, not only on account of economy, but also in order to avoid danger. I have shown that it is practicable to produce in a resonating circuit as E A B B' D immense electrical activities, measured by tens and even hundreds of thousands of horse-power, and in such a case, if the points of maximum pressure should be shifted below the terminal D, along coil B, a ball of fire might break out and destroy the support F or anything else in the way. For the better appreciation of the nature of this danger it should be stated, that the destructive action may take place with inconceivable violence. This will cease to be surprising when it is borne in mind, that the entire energy accumulated in the excited circuit, instead of requiring, as under normal working conditions, one quarter of the period or more for its transformation from static to kinetic form, may spend itself in an incomparably smaller interval of time, at a rate of many millions of horse power. The accident is apt to occur when, the transmitting circuit being strongly excited, the impressed oscillations upon it are caused, in any manner more or less sudden, to be more rapid than the free oscillations. It is therefore advisable to begin the adjustments with feeble and somewhat slower impressed oscillations, strengthening and quickening them gradually, until the apparatus has been brought under perfect control. To increase the safety, I provide on a convenient place, preferably on terminal D, one or more elements or plates either of somewhat smaller radius of curvature or protruding more or less beyond the others (in which case they may be of larger radius of curvature) so that, should the pressure rise to a value, beyond which it is not desired to go, the powerful discharge may dart out there and lose itself harmlessly in the air. Such a plate, performing a function similar to that of a safety valve on a high pressure reservoir, is indicated at V.

Still further extending the principles underlying my invention, special reference is made to coil B and conductor B'. The

latter is in the form of a cylinder with smooth or polished surface of a radius much larger than that of the half spherical elements P P, and widens out at the bottom into a hood H, which should be slotted to avoid loss by eddy currents and the purpose of which will be clear from the foregoing. The coil B is wound on a frame or drum D<sup>1</sup> of insulating material, with its turns close together. I have discovered that when so wound the effect of the small radius of curvature of the wire itself is overcome and the coil behaves as a conductor of large radius of curvature, corresponding to that of the drum. This feature is of considerable practical importance and is applicable not only in this special instance, but generally. For example, such plates at P P of terminal D, though preferably of large radius of curvature, need not be necessarily so, for provided only that the individual plates or elements of a high potential conductor or terminal are arranged in proximity to each other and with their outer boundaries along an ideal symmetrical enveloping surface of a large radius of curvature, the advantages of the invention will be more or less fully realized. The lower end of the coil B—which, if desired, may be extended up to the terminal D—should be somewhat below the uppermost turn of coil A. This, I find, lessens the tendency of the charge to break out from the wire connecting both and to pass along the support F.

Having described my invention, I claim:

1. As a means for producing great electrical activities a resonant circuit having its outer conducting boundaries, which are charged to a high potential, arranged in surfaces of large radii of curvature so as to prevent leakage of the oscillating charge, substantially as set forth.

2. In apparatus for the transmission of electrical energy a circuit connected to ground and to an elevated terminal and having its outer conducting boundaries, which are subject to high tension, arranged in surfaces of large radii of curvature substantially as, and for the purpose described.

3. In a plant for the transmission of electrical energy without wires, in combination with a primary or exciting circuit a secondary connected to ground and to an elevated terminal and having its outer conducting boundaries, which are charged to a high potential, arranged in surfaces of large radii of curvature for the purpose of preventing leakage and loss of energy, substantially as set forth.

4. As a means for transmitting electrical energy to a distance through the natural media a grounded resonant circuit, comprising a part upon which oscillations are impressed and another for raising the ten-

1,119,732

8

sion, having its outer conducting boundaries on which a high tension charge accumulates arranged in surfaces of large radii of curvature, substantially as described.

5 5. The means for producing excessive electric potentials consisting of a primary exciting circuit and a resonant secondary having its outer conducting elements which are subject to high tension arranged in proximity to each other and in surfaces of large radii of curvature so as to prevent leakage of the charge and attendant lowering of potential, substantially as described.

10 6. A circuit comprising a part upon which oscillations are impressed and another part for raising the tension by resonance, the latter part being supported on places of low electric density and having its outermost conducting boundaries arranged in surfaces of large radii of curvature, as set forth.

15 7. In apparatus for the transmission of electrical energy without wires a grounded circuit the outer conducting elements of which have a great aggregate area and are arranged in surfaces of large radii of curvature so as to permit the storing of a high charge at a small electric density and prevent loss through leakage, substantially as described.

8. A wireless transmitter comprising in combination a source of oscillations as a condenser, a primary exciting circuit and a secondary grounded and elevated conductor the outer conducting boundaries of which are in proximity to each other and arranged in surfaces of large radii of curvature, substantially as described.

9. In apparatus for the transmission of electrical energy without wires an elevated conductor or antenna having its outer high potential conducting or capacity elements arranged in proximity to each other and in surfaces of large radii of curvature so as to overcome the effect of the small radius of curvature of the individual elements and leakage of the charge, as set forth.

10. A grounded resonant transmitting circuit having its outer conducting boundaries arranged in surfaces of large radii of curvature in combination with an elevated terminal of great surface supported at points of low electric density, substantially as described.

NIKOLA TESLA.

Witnesses:

M. LAMSON DYER,  
RICHARD DONOVAN.