

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

ALLYSON CAMPOS NUNES

**RÁDIO DE GALENA: DAS LINHAS INVISÍVEIS DE FARADAY ÀS ONDAS
ELETROMAGNÉTICAS**

Itaqui

2023

ALLYSON CAMPOS NUNES

**RÁDIO DE GALENA: DAS LINHAS INVISÍVEIS DE FARADAY ÀS ONDAS
ELETROMAGNÉTICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Rolando Larico Mamani

**Itaqui
2023**

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) .

N2023r Nunes, Allyson Campos

RÁDIO DE GALENA: DAS LINHAS INVISÍVEIS DE FARADAY ÀS ONDAS
ELETROMAGNÉTICAS / Allyson Campos Nunes.

33 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Universidade
Federal do Pampa, INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA,
2023.

"Orientação: Prof. Dr. Rolando Larico Mamani".

1. Rádio. 2. Eletromagnetismo. 3. Faraday. 4. Galena. 5.
Circuito LC. I. Título.


ALLYSON CAMPOS NUNES

**RÁDIO DE GALENA: DAS LINHAS INVISÍVEIS DE FARADAY ÀS ONDAS
ELETROMAGNÉTICAS**


Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 30, janeiro, 2023.


Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 ROLANDO LARICO MAMANI
Data: 05/02/2023 19:40:58-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Rolando Larico Mamani
Orientador
(UNIPAMPA)

Documento assinado digitalmente
 ELAINE CRISTINA FERREIRA SILVA FORTES
Data: 05/02/2023 21:44:24-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Profª. Dra. Elaine Cristina Ferreira Silva Fortes
(UNIPAMPA)

Documento assinado digitalmente
 CRISTIANO GALAFASSI
Data: 06/02/2023 08:41:30-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Cristiano Galafassi
(UNIPAMPA)

Dedico este trabalho a minha família, em especial aos meus pais, que sempre me apoiaram.

AGRADECIMENTO

Meus agradecimentos a minha família que me apoio em todo o período da graduação, ao meu orientador Rolando Larico Mamani, que me auxiliou em todo o período de projeto e defesa do TCC, passando noites acordado, me explicando sobre como escrever, vindo ao campus nos finais de semana para auxiliar nos testes experimentais, a minha banca da defesa, professora Elaine Cristina Ferreira Silva Fortes, em que o seu relato de vida acadêmica de graduação, contada para a turma de Física Geral, que fez com que eu não desistisse do curso, agradeço também ao professor Cristiano Galafassi, amigavelmente, chamo-o de Tio Cris, por causa dos “puxões de orelha”, agradecendo a vocês também agradeço a todo o corpo de servidores, técnicos e docentes do campus Itaquí. Muito obrigado aos colegas de curso, em especial ao discente Felipe Aguiar Lopes que me auxiliou no experimento final do rádio de galena.

“O que é mais assustador?

A ideia de extraterrestres em mundos estranhos ou a ideia de que, em todo este imenso universo, nós estamos sozinhos?”

Carl Sagan

RESUMO

Vivemos em um período de grandes saltos tecnológicos, por exemplo, nas últimas décadas os avanços nas tecnologias da telefonia celular são notáveis, mas o entendimento das ondas eletromagnéticas aproveitado nessas tecnologias é maiormente restrito a centros especializados e grupos de pesquisa no mundo todo. Assim, vários conceitos fundamentais da física estão distantes de suas aplicações tecnológicas dentro das salas de aula. Nesse contexto, o presente trabalho busca apresentar de forma didática as pesquisas realizadas por Michael Faraday sobre a eletricidade e o magnetismo no século XIX. Para tal objetivo, vamos estudar e construir os componentes eletrônicos que fazem parte de um rádio de galena, a qual funciona sem alimentação de pilhas ou rede elétrica, mas com as ondas eletromagnéticas vindas de uma emissora de rádio AM (amplitude modulada) e que é captado por um fio condutor. Portanto, realizaremos a construção dos componentes, montaremos o rádio de galena e apresentaremos todo o trabalho relacionando-o com o tema de ondas eletromagnéticas. Dessa forma, demonstraremos que o rádio de galena é um exemplo claro da aplicação tecnológica dos temas de eletricidade e magnetismo, sendo um tema estruturante a ser utilizado como uma ferramenta didática para o ensino de física.

Palavras-Chave: Rádio; Eletromagnetismo; Faraday; Galena; Circuito; Frequência AM.

ABSTRACT

We live in a period of great technological leaps, for example, in the last decades the advances in cell phone technologies are remarkable, but the understanding of electromagnetic waves used in these technologies is mostly restricted to specialized centers and research groups around the world. Thus, several fundamental concepts of physics are far from their technological applications within classrooms. In this context, the present work seeks to present, in a didactic way, the research carried out by Michael Faraday on electricity and magnetism in the 19th century. For this purpose, we are going to study and build the electronic components that are part of a radio of galena, which works without power supply from batteries or electrical network, but with the electromagnetic waves coming from an AM radio station (amplitude modulated) and that is picked up by a conducting wire. Therefore, we will carry out the construction of the components, assemble the galena radio and present all the work relating it to the theme of electromagnetic waves. In this way, we will demonstrate that the Galena radio is a clear example of the technological application of the themes of electricity and magnetism, being a structuring theme to be used as a didactic tool for teaching physics.

Keywords: Radio; Electromagnetism; Faraday; Galena; Circuit; AM frequency.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Experimento de Faraday sobre a pilha voltaica | 15 |
| Figura 2 - Experimento da garrafa de Leyden..... | 15 |
| Figura 3 - Balança de torção de Coulomb | 16 |
| Figura 4 - Força de uma corrente atuando sobre um campo magnético..... | 16 |
| Figura 5 - Orientação de um campo magnético | 17 |
| Figura 6 - Eletroímã criado por um campo magnético | 17 |
| Figura 7 - Representação do circuito em de Faraday observou a indução elétrica..... | 18 |
| Figura 8 - Experimentos de magnetismo de Faraday utilizando bobinas e ímas..... | 18 |
| Figura 9 - Disco de cobre de Faraday e cargas em movimento..... | 18 |
| Figura 10 - Linhas de campo elétrico entre duas placas planas condutoras com uma diferença de potencial, produzidas num recipiente com óleo e pimenta do reino em pó..... | 19 |
| Figura 11 -Placas paralelas (a) e linhas de força de um campo elétrico (b)..... | 19 |
| Figura 12 - Equações de Maxwell em forma integral..... | 20 |
| Figura 13 - Espectro de ondas eletromagnéticas. Na faixa em amarelo observamos as frequências das ondas de rádio e TV. | 21 |
| Figura 14 - (a) estação de rádio transmitindo, (b) onda portadora e (c) onda modulada..... | 22 |
| Figura 15 - Representação esquemática do rádio de galena..... | 22 |
| Figura 16 - Circuito de um rádio de galena..... | 24 |
| Figura 17 - Pilha feita com moedas e arruelas..... | 25 |
| Figura 18 - Pilhas de batata, associadas em série e em paralelo e medindo a voltagem..... | 26 |
| Figura 19 - Garrafa de Leyden..... | 27 |
| Figura 20 - Folha de alumínio para as placas dos capacitores..... | 27 |
| Figura 21 - Medição de capacitância de um capacitor de placas planas de alumínio, de tamanho 15 cm de comprimento por 30cm de altura..... | 28 |
| Figura 22 - Medição da capacitância em aumento ao exercer uma pressão e diminuir a distância entre as placas..... | 28 |
| Figura 23 - (a) capacitor cilíndrico variável (b) variações da capacitância em função da área..... | 29 |
| Figura 24 - Eletroímã caseiro..... | 29 |
| Figura 25 - Bobina Variável..... | 30 |
| Figura 26 - Rádio de galena (a) primeira versão (b) segunda versão..... | 31 |

LISTA DE SIGLAS

SI – Sistema Internacional de Unidade

AWG – American Wire Gauge

Fig - Figura

n. – número

p. – página

f. – folha

cap. – capítulo

v. – volume

V. – volt

F. – capacitância

q. – carga

T. – tesla

c. – constante da velocidade da luz

λ . – comprimento de onda

L. – indutor ou bobina

C. – capacitor

P2. – conector de aparelhos de áudio

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 13 |
| 2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA | 14 |
| 3 METODOLOGIA | 23 |
| 4 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS | 25 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 32 |
| REFERÊNCIAS | 33 |

1 INTRODUÇÃO

Na Europa do século XIX, houve vários avanços tecnológicos impulsionados pela revolução industrial. Entre esses avanços temos a criação da pilha voltaica em 1800, inventada pelo italiano Alessandro Volta, que permitiu o estudo sistemático dos fenômenos relacionados à eletricidade.

Foi nesse cenário que o cientista inglês e físico experimental, Michael Faraday, começou seus estudos sobre a eletricidade. Ainda no ano de 1820, era consenso entre a comunidade científica que os fenômenos elétricos e magnéticos eram totalmente independentes, mas a partir dos experimentos de Hans C. Oersted, foi observado que isso não era verdade.

Nesse contexto histórico, em 1831, Faraday propôs a lei da indução, afirmando que quando há variação no fluxo do campo magnético, através de materiais condutores, é estimulado o surgimento de uma corrente elétrica. (HALLIDAY, 2012).

Depois do experimento de Henrich R. Hertz, em 1887, comprovando experimentalmente a existência de ondas eletromagnéticas, previstas em 1863 pelo trabalho teórico de James C. Maxwell, foram iniciadas muitas pesquisas na área de criação e detecção de ondas eletromagnéticas.

O trabalho mais conhecido dessa área foi o do italiano Guglielmo Marconi, em 1895, que transmitia informações com um telégrafo sem fios. Nicolas Tesla também apresentou estudos sobre a troca de informações através de ondas eletromagnéticas nos Estados Unidos; porém, a patente do aparelho ficou para Guglielmo Marconi (MOREIRA, 2015).

Outro estudo pouco conhecido foi o do padre brasileiro Roberto Landell de Moura, que aparece no livro de Hamilton Almeida, “Landell de Moura: O brasileiro que inventou o wireless” (ALMEIDA, 2022). Segundo o biógrafo Almeida, Landell teria conseguido uma transmissão de voz falada em 1893, ou seja, dois anos antes do italiano Marconi transmitir sinais através do telégrafo, em 1895 (FERREIRA, 2022). Assim, fica nosso registro sobre um gênio esquecido pela história, também lembrado na reportagem de Ferreira (2022), feita em homenagem aos 100 do rádio no Brasil, celebrado em 2022.

Em 1906, é criado o rádio com o mineral de galena, sendo um semicondutor composto por sulfeto de chumbo, patenteado pelo militar H. H. C. Dunwoody (LEE, 2009). O rádio consiste em um equipamento de recepção de sinal eletromagnético de frequência AM (amplitude modulada), que não necessita de alimentação por pilha ou rede elétrica (RUZZA; ANDREOLLA, 2013). As ondas eletromagnéticas são captadas através de uma antena,

sintonizadas por um circuito LC (indutor e capacitor), filtradas por um diodo e ouvidas através de um fone de ouvido de alta impedância.

Assim, a proposta deste trabalho é apresentar o rádio de galena como um recurso didático, para a explicação dos fenômenos eletromagnéticos. Para atingir esse objetivo, serão construídos vários experimentos realizados por Michael Faraday e outros cientistas. Entre esses experimentos estão alguns componentes do rádio, como a bobina e o capacitor, relacionados ao campo magnético e elétrico, respectivamente, que auxiliarão no entendimento dos conceitos fundamentais do eletromagnetismo.

A etapa final consistirá na montagem do rádio para buscar as ondas eletromagnéticas de diferentes frequências, transmitidas pelas rádios AM na cidade de Itaqui-RS, entre elas, a Rádio Pitangueira (frequência 1170 kHz) e a Rádio Cruzeiro do Sul (frequência de 1110 kHz).

O presente trabalho está estruturado em cinco seções. A primeira seção compreende uma introdução sobre o tema do trabalho. Na segunda, apresentaremos os referências teóricos sobre os diferentes experimentos de eletricidade e magnetismo desenvolvidos por Faraday e outros cientistas, e também detalhes das ondas eletromagnéticas e do rádio de galena. Na terceira seção, será desenvolvida a abordagem metodológica. Na quarta, apresentamos os experimentos confeccionados ao longo do trabalho, com suas respectivas considerações. Na quinta seção, conclui-se o trabalho com as considerações finais.

2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção descrevemos alguns experimentos realizados por Michael Faraday e outros cientistas, relacionados às pilhas, baterias, corrente elétrica, garrafa de Leyden (capacitor), eletro ímã, campo magnético, bobinas, e campo elétrico. Ao final da seção, desenvolvemos detalhes úteis das ondas eletromagnéticas e do rádio de galena para a execução do trabalho.

2.1 As linhas invisíveis de força de Faraday

Nascido em 1791, Michael Faraday, sendo de uma família com pouco recurso financeiro, vindo a ter apenas o ensino escolar básico, tendo que trabalhar com 13 anos, como ajudante de encadernador de livros, sendo assim obteve o hábito da leitura, com temas ligados a área da eletricidade e do magnetismo, realizando pequenos experimentos, sendo um deles, a produção de pilha voltaica, com a utilização de moedas de zinco, moedas de cobre e sal de cozinha, vindo a decompor o sal de cozinha, ver figura 1.

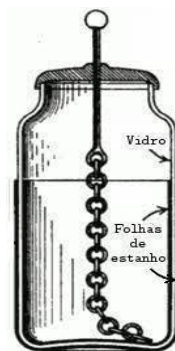
Figura 1 - Experimento das pilhas de Volta.



Fonte: MENDES, 2013.

No século XVIII, começou o desenvolvimento das teorias da luz e da eletricidade, mostrando a existência de cargas, sendo elas positiva, negativa e repulsiva, por um tempo denominada como eletricidade vítrea; neste período houve um grande desenvolvimento de instrumentos científicos, fazendo com que a física se tornasse mais quantitativa e o uso de instrumentos mais precisos nas medidas. Na Holanda, Petrus Musschenbroek, criou um instrumento para carregar energia chamado de Garrafa de Leyden, atualmente esse instrumento é chamado de capacitor, o qual armazena carga elétrica (Cruz, 2005), ver figura 2.

Figura 2 - Experimento da garrafa de Leyden

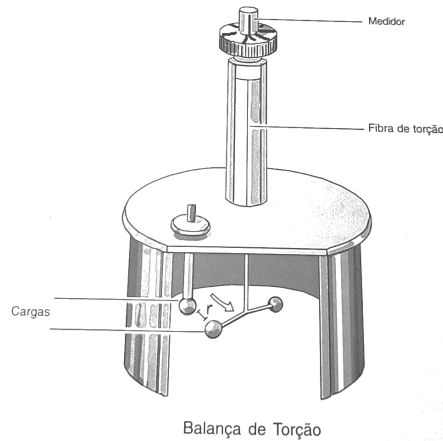


Fonte: MAIA, M. 2019.

Em 1729, Stephen Gray, teve uma grande descoberta ao conduzir uma corrente elétrica de um corpo para outro, através de uma arame metálico, causando interesse da comunidade científica, dando foco em correntes elétricas e a condutividade elétrica. Nesse período, Benjamin Franklin estudou a condução e a transmissão da eletricidade, demonstrando que raios eram descargas elétricas, atribuindo à eletricidade a propriedade de um único fluido, definindo a carga elétrica positiva pelo excesso e a negativa pela falta desse

fluido. Em 1785, Charles Augustin Coulomb utiliza uma balança de torção e demonstra que corpos elétricos carregados atraem-se ou repelem-se, obedecendo a lei newtoniana de forças (Cruz, 2005), ver figura 3.

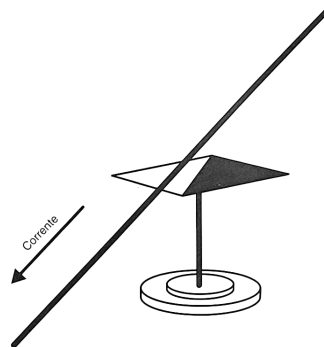
Figura 3 - Balança de torção de Coulomb.



Fonte: Cruz, (2005, p.85)

O ano de 1820 foi importante para a vida acadêmica de Faraday, devido ao grande impacto do trabalho de Hans Christian Oersted, que analisou os efeitos elétricos de uma corrente sobre uma agulha imantada de uma bússola, ver figura 4. Este trabalho estabelece uma conexão entre magnetismo e eletricidade.

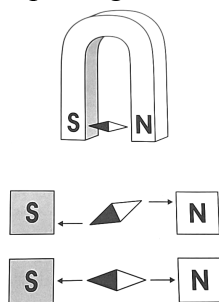
Figura 4 - Força de uma corrente atuando sobre um campo magnético.



Fonte: Cruz, (2005, p.108)

Uma bússola normalmente aponta para o norte. Oersted observou que, enquanto não havia nenhuma corrente atuando sobre o fio, a agulha da bússola apontava para o norte, porém, quando a corrente era ligada ela mudava de direção. Quando uma agulha de uma bússola está entre os pólos de um ímã, como mostra a figura 5, ela ficará em repouso quando estiver paralela à linha reta imaginária, entre as extremidades. A agulha só fica em repouso quando está paralela à força magnética, que foi denominada como linha de força por Faraday.

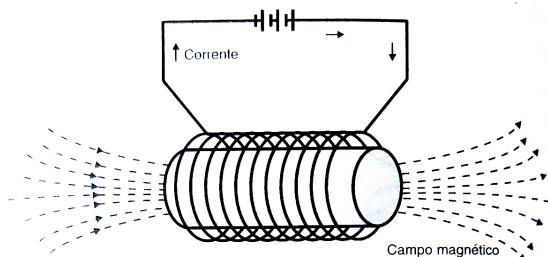
Figura 5 - Orientação de um campo magnético.



Fonte: Cruz, (2005, p.109)

Nesses anos, o físico francês André-Marie Ampère (1775 - 1836), abandonou sua ideia inicial de que o magnetismo e o elétrico, eram fenômenos independentes, e passou a considerar a eletricidade como um fenômeno fundamental e o magnetismo seria apenas um efeito secundário da eletricidade. Ampère teria sugerido ao físico francês François Arago que uma corrente pode causar a imantação de um pedaço de ferro, ao enrolar um fio condutor ao redor de um cilindro de ferro, como uma bobina, e deixando passar uma corrente pelo fio, criando assim o primeiro eletroímã (Cruz, 2005), ver figura 6.

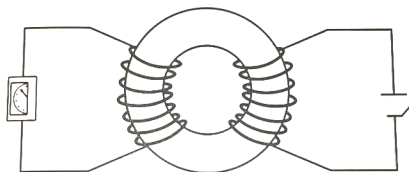
Figura 6 - Eletroímã criando um campo magnético.



Fonte: Cruz, (2005, p.114)

No final de 1821, Faraday aumentou seu prestígio na comunidade científica, após a realização de seu trabalho, conhecido como "as rotações eletromagnéticas", conseguindo transformar energia elétrica em energia mecânica. Dez anos depois, em 1831, Faraday conseguiu finalizar um experimento onde a corrente elétrica era gerada a partir de fenômeno magnético. Utilizando um anel de ferro, como mostra a figura 7, Faraday enrolou em um dos lados, um fio que era ligado a uma bateria, do outro lado do anel ele enrolou um outro fio e ligou-o a um medidor de corrente. Igual que um eletroímã, a corrente gera um campo magnético ao longo do anel, e Faraday notou que quando a corrente no circuito à direita era ligada ou desligada, um breve pulso de corrente era indicado no medidor do outro circuito, logo, ele concluiu que a variação do campo magnético induz à formação de corrente elétrica no circuito secundário (Cruz, 2005).

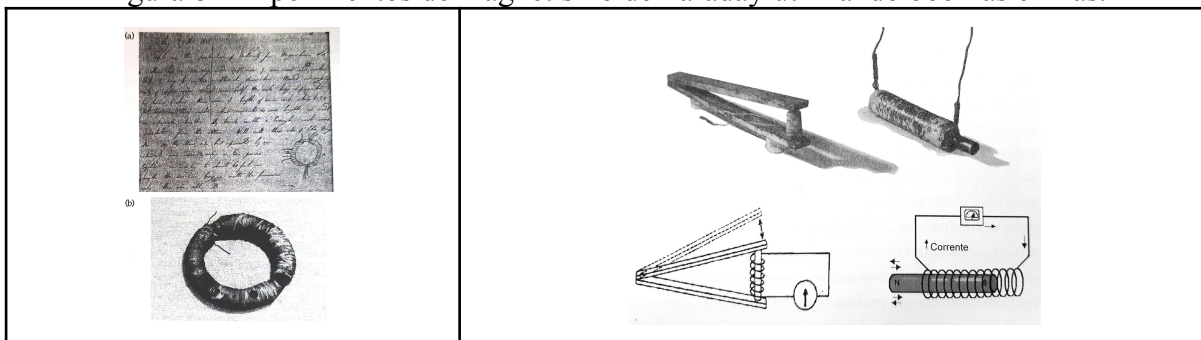
Figura 7 - Representação do circuito em de Faraday observou a indução elétrica.



Fonte: Cruz, (2005, p.121)

Para comprovar que a indução de corrente no circuito secundário se devia à variação do campo magnético, Faraday desenvolveu novos experimentos com bobinas e ímãs, para estudar a corrente induzida num circuito pela variação do campo magnético, ao deslocar um ímã no interior de uma bobina oca (ver figura 8).

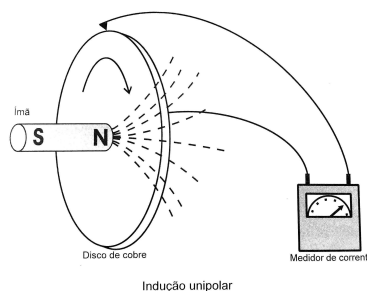
Figura 8 - Experimentos de magnetismo de Faraday utilizando bobinas e ímãs.



Fonte: Cruz, (2005, p.123)

Em outro experimento, Faraday colocou um disco de cobre (condutor), ligado por fios a um medidor bem próximo de um pólo de um ímã, ver figura 9. Na região em que se encontra o disco, o campo magnético não varia, com o disco em repouso, o sistema deveria permanecer em equilíbrio, sem correntes, no entanto, quando o disco foi girado, Faraday detectou uma corrente. Isso motivou o estudo do movimento das cargas no condutor e a configuração das linhas de força, observando que, as cargas no condutor, se movimentam perpendicularmente às linhas de campo. Especulando que esta seria a causa do aparecimento da corrente elétrica, Faraday começaria a investigar essa hipótese.

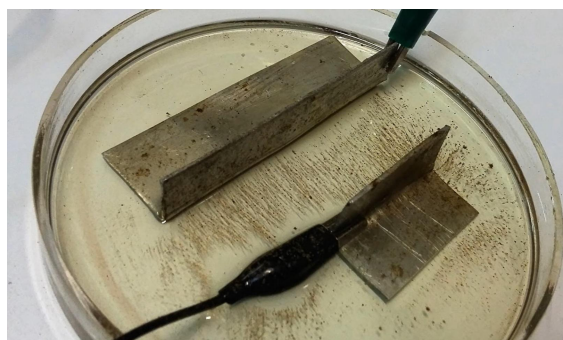
Figura 9 - Disco de cobre de Faraday e cargas em movimento.



Fonte: Cruz, (2005, p.125)

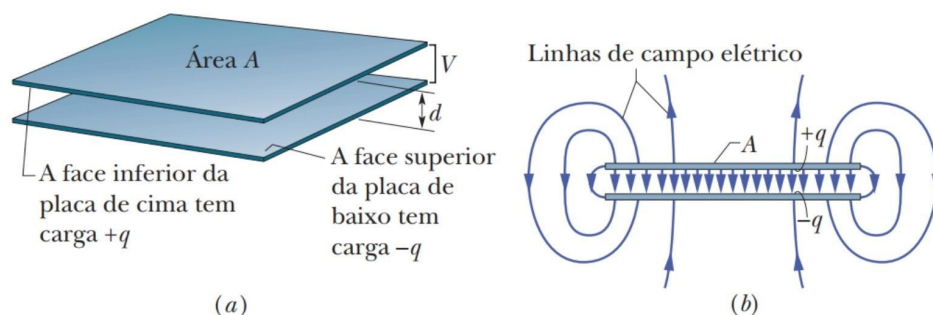
Uma vez finalizado esses experimentos, Faraday estava convencido sobre as linhas de força e tendo comprovado a relação entre o magnetismo e a eletricidade, buscou propor uma relação mais precisa entre os processos químicos de uma pilha de Volta e os fenômenos elétricos, assim, investigou uma relação entre eletricidade e matéria, estendendo sua teoria de linhas de força para a eletricidade. Assim, após o estudo da pilha de Volta, Faraday concluiu que os dois eletrodos geram uma linha de força dentro do eletrólito onde as cargas distintas se separam, criando um pólo positivo e outro negativo, afirmando que o campo elétrico induz a polarização das moléculas (Cruz, 2005). Faraday através desses experimentos, conseguiu tirar conclusões importantes, considerando que o alinhamento das moléculas polarizadas ao longo da linha de campo elétrico era análoga às limalhas de ferro, alinhando-se em um campo magnético. Para ele, essa era mais uma demonstração do que era um campo, ver figuras 10 e 11.

Figura 10 - Linhas de campo elétrico entre duas placas planas condutoras com uma diferença de potencial, produzidas num recipiente com óleo e pimenta do reino em pó.



Fonte: <https://youtube.com/watch?v=dtKeuPKcbYQ&feature=shares>

Figura 11 -Placas paralelas (a) e linhas de força de um campo elétrico (b).



Fonte: Halliday (2012a, p. 106)

Convencido de uma relação profunda entre eletricidade, magnetismo e matéria, Faraday continuou investigando o efeito de campos magnéticos e elétricos sobre a luz. Assim, ele analisou a passagem da luz por cristais, demonstrando que o comportamento da luz era

modificado pela presença de campos magnéticos, conhecido como efeito Faraday.

Após todos esses estudos sobre as linhas de forças magnéticas e elétricas, conhecidas atualmente como um sistema de linhas invisíveis de campo magnético e campo elétrico, em 1846, Faraday, palestrando, sugeriu que a luz estava associada às vibrações ondulatórias das linhas de força dos campos elétricos e magnéticos, sendo essa proposta uma das mais importantes da história da ciência, a qual será fundamental para o trabalho de James Clerk Maxwell.

2.2 Ondas Eletromagnéticas

Na seção anterior descobrimos os estudos de Faraday sobre os fenômenos da eletricidade e o magnetismo, mas sua ideia de forças agindo a distância, não era aceita por muitos, pela falta de uma análise matemática em seus trabalhos.

Nesse cenário, em 1854, James Clerk Maxwell, dotado de uma grande habilidade de transformar modelos mecânicos em equações, começou a estudar os trabalhos das linhas de força de Faraday. Maxwell visualizou o campos de Faraday como um fluido imaginário, espalhado em todo o espaço, associando as linhas de força do campo às linhas de corrente de um fluido. Assim, Maxwell desenvolveu uma teoria matemática para fluidos utilizando grandezas físicas como pressão e velocidade, construiu modelos para os campos elétrico e magnético, identificando cada grandeza física do modelo de fluidos com grandezas de campo de Faraday, (CRUZ, 2005). Dessa forma, Maxwell conseguiu sua teoria do eletromagnetismo resumidas nas equações da figura 12.

Figura 12 - Equações de Maxwell em forma integral

| Equações de Maxwell* | | |
|---|---|--|
| Nome | Equação | |
| Lei de Gauss para a eletricidade | $\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = q_{env}/\epsilon_0$ | Relaciona o fluxo elétrico às cargas elétricas envolvidas |
| Lei de Gauss para o magnetismo | $\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$ | Relaciona o fluxo magnético às cargas magnéticas envolvidas |
| Lei de Faraday | $\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$ | Relaciona o campo elétrico induzido à variação do fluxo magnético |
| Lei de Ampère–Maxwell | $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0\epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} + \mu_0 i_{env}$ | Relaciona o campo magnético induzido à variação do fluxo elétrico e à corrente |
| *Supondo que não estão presentes materiais dielétricos ou magnéticos. | | |

Fonte: Halliday, (2012, p.331)

Maxwell também deduziu a partir de suas equações, uma equação de onda para os campos elétricos e magnéticos, e mostrou que a velocidade dessa onda é a velocidade da luz e que depende de constantes elétricas e magnéticas. Assim, as idéias de Faraday sobre a luz ser

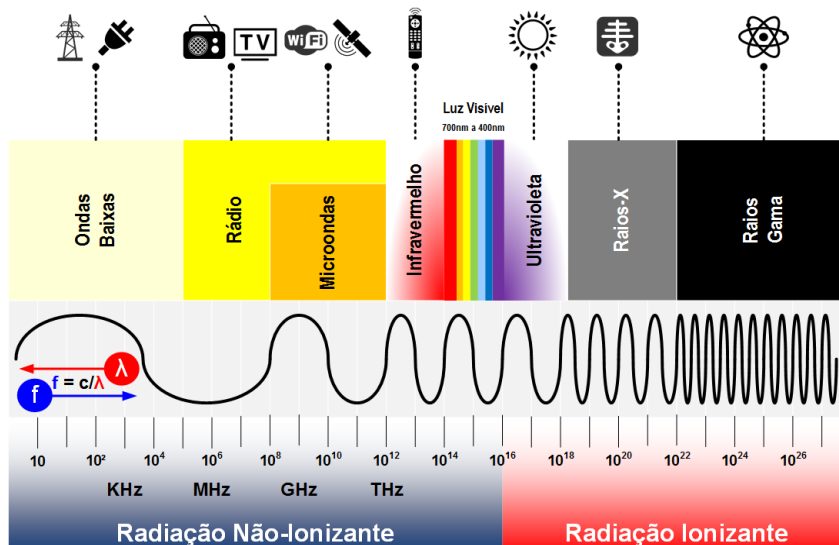
uma onda eletromagnética foram comprovadas (CRUZ, 2005).

A partir dos estudos de Maxwell, muitas investigações foram desenvolvidas e as únicas ondas eletromagnéticas conhecidas eram a luz e os raios infravermelho e ultravioleta. Uma dessas investigações, foi a de Heinrich Hertz, que descobriu as ondas de rádio e observou que essas ondas se propagam com a mesma velocidade da luz visível (Halliday, 2012). Atualmente, conhecemos um largo espectro de ondas eletromagnéticas como mostra a figura 13 e caracterizadas pela frequência f , em unidades de hertz (Hz), onde 1 hertz = 1 s^{-1} , e pelo comprimento de onda λ , em unidade de metrô (m), ambas relacionadas pela seguinte expressão:

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

onde c é a velocidade da luz, que é aproximadamente 300 000 000 m/s.

Figura 13 - Espectro de ondas eletromagnéticas. Na faixa em amarelo observamos as frequências das ondas de rádio e TV.



Fonte: BRITO, S. H .B; 2013.

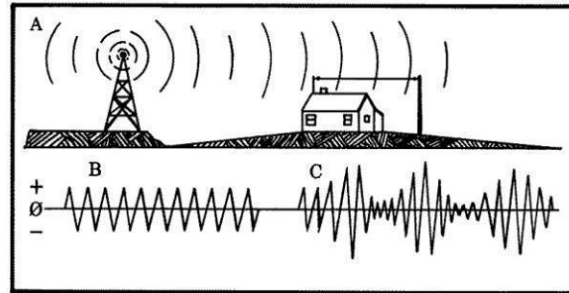
2.3 Rádio de Galena

Em nosso dia-a-dia são produzidas uma enorme quantidade de ondas eletromagnéticas pela estações de rádio, em diferentes frequências (de 500 kHz a 1500 kHz), as chamadas ondas de radiofrequência. Essas ondas podem ser captadas por aparelhos eletrônicos simples e reproduzidas por um alto-falante, dentro de nossas casas (ver figura 14), utilizando apenas a energia que elas transportam, sem necessidade de usar pilhas ou energia da rede elétrica.

Muitos desses aparelhos receptores foram desenvolvidos a partir do início do século XX,

utilizando cristais semicondutores, que permitem a passagem da corrente num único sentido, o cristal mais usado, foi a galena, denominação vulgar do sulfeto de chumbo (PbS). Mais recentemente, substituiu-se por semicondutores de silício e germânio, mas por ter sido muito popularizado, continua sendo chamado rádio de galena ou rádio-galena (GREF, 2017).

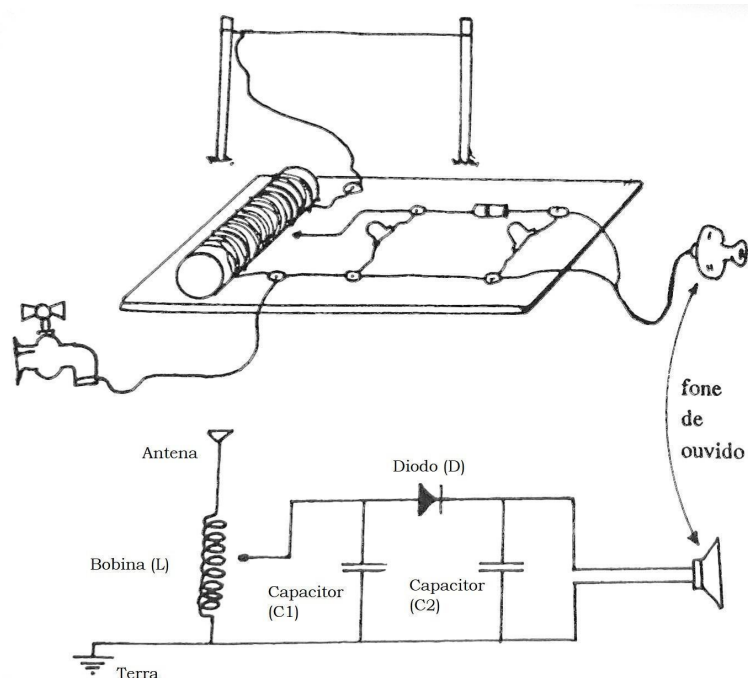
Figura 14 - (a) estação de rádio transmitindo, (b) onda portadora e (c) onda modulada



Fonte: EDWARDS (1977, p. 8)

Na figura 15 mostramos uma esquematização do rádio de galena. Na parte superior da figura, observamos a antena, representada por um fio estendido, logo abaixo, os componentes de sintonização numa superfície, montados apropriadamente, e na parte de baixo o circuito elétrico com os componentes representados por seus símbolos eletrônicos.

Figura 15 - Representação esquemática do rádio de galena.



Fonte: GREF(2017, p. 391)

Na próxima seção discutiremos detalhes dos componentes eletrônicos do rádio, focando principalmente na parte de recepção da onda eletromagnética (antena) e sua sintonização através dos componentes bobina e capacitor.

3 METODOLOGIA

Fazer experimentos de física sobre mecânica ou fluidos em sala de aula sempre são experiências positivas, mas elaborar experimentos de eletromagnetismo, montar circuitos e construir aparelhos de rádio são ideias fascinantes, devido a que esses aparelhos e fenômenos eletromagnéticos estão bem presentes em nosso dia-a-dia. O fato de conseguir ouvir uma transmissão de rádio do outro lado do planeta, em outra língua, parece ser algo mágico e surpreendente, nesse ponto, a Física pode auxiliar-nos a entender esses mecanismos por trás dessas experiências. Para o desenvolvimento do presente trabalho adotaremos um método fenomenológico, estudando as propriedades físicas de cada componente eletrônico e observando os fenômenos eletromagnéticos durante a construção e experimentação. A sequência de experimentos a ser tratados, será a mesma realizada por Faraday, buscando entender as linhas de forças da eletricidade e o magnetismo através de suas linhas de força, conhecidas atualmente como as linhas invisíveis de campo elétrico e magnético, experimentos descritos na seção anterior.

A partir da figura 15 vamos descrever a seguir a lista de materiais necessários para montar o rádio de galena:

- 50 metros de fio de cobre esmaltado (AWG 28, 30 ou 32) para a antena e bobina (indutor) .
- uma base de madeira ou superfície plana para a montagem.
- cano de PVC de diâmetro de 3 cm (ou mais) e comprimento de 40 cm.
- tubos de papelão de vários tamanhos.
- caixa de som e um conector P2.
- dois capacitores de cerâmica: um de 250 pF e outro de 100 pF.
- papel alumínio de cozinha.
- um diodo de germânio ou um diodo schottky
- pedaços de fio de conexões de telefone
- fita adesiva
- cola quente
- pedaço de lixa

Na figura 16 podemos observar o circuito do rádio montado e dividido em quatro partes:

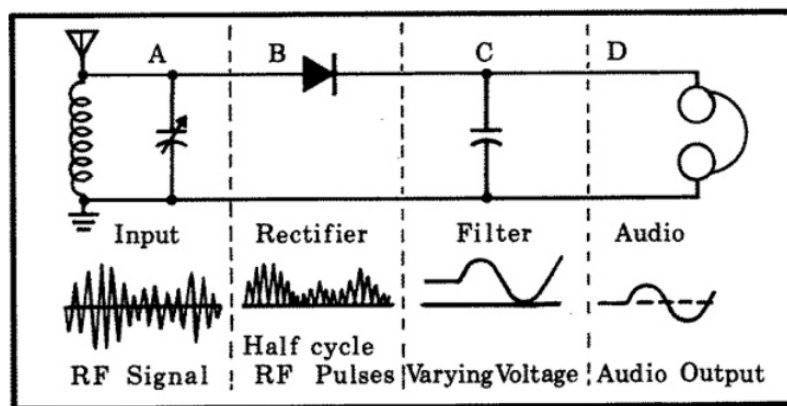
Parte A: conformada pela antena de fio esmaltado esticado de uns 30 m para captar as ondas de rádio e um circuito LC (bobina e capacitor) para selecionar as distintas frequências de rádio disponíveis na região.

Parte B: O diodo é um dispositivo eletrônico semicondutor que converte os sinais de corrente alternada produzidos pelas ondas eletromagnéticas para corrente contínua. Outra função deste dispositivo é permitir o passo da corrente numa única direção.

Parte C: A onda selecionada pelo circuito é a soma de duas ondas: a onda portadora ou onda de radiofrequência produzida pela estação de rádio e a onda de radiofrequência que leva as informações sonoras. A separação dessas duas ondas é feita pelo capacitor.

Parte D: O capacitor da parte anterior permite o passo da onda de radiofrequência em direção a terra e impede o passo da onda de radiofrequência enviada para a caixa de som.

Figura 16 - Circuito de um rádio de galena.



Fonte: EDWARDS (1977, p. 9)

Foi constatado acima, na descrição de materiais e partes do circuito que são necessários conhecer e entender os fenômenos físicos que acontecem nos componentes eletrônicos e sua relação com conceitos físicos do eletromagnetismo. Assim, neste trabalho focaremos em entender a primeira parte do funcionamento do rádio, já que ela tem um papel importante na recepção de ondas. Serão construídos:

Experimentos relacionados à cargas elétricas e campos elétricos, tais como baterias, garrafa de Leyden e capacitores.

Experimentos relacionados aos campos magnéticos, tais como eletroímãs e bobinas.

Todos os fenômenos observados serão verificados com pequenos cálculos para sua verificação e no final desses experimentos, será montado o circuito do rádio de galena, com material de fácil acesso.

4 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados dos experimentos desenvolvidos neste trabalho.

4.1 Pilha voltaica

Um dos experimentos mais conhecidos é o da pilha voltaica, também desenvolvida por Faraday, permitindo o desenvolvimento de outros experimentos futuros.

Em nosso experimento foram utilizadas 10 moedas de 5 centavos, 10 arruelas de zinco e papéis umedecidos em água com sal e empilhados, como mostra a figura 18A. Após a montagem procedemos com a medição da voltagem na pilha, sendo obtido 0,7410 V (figura 18B), também foi medido a corrente elétrica, entendo-se 0,104 mA. Para descobrir outras propriedades e características desse experimentos, foi construído uma segunda pilha de moedas para explorar a associação em série e em paralelo das pilhas, constatando:

- pilhas em série a voltagem aumenta e em paralelo permanece constante,
- pilhas em série a corrente é constante em paralelo aumenta.

Figura 17 - Pilha feita com moedas e arruelas.



a)

b)

c)

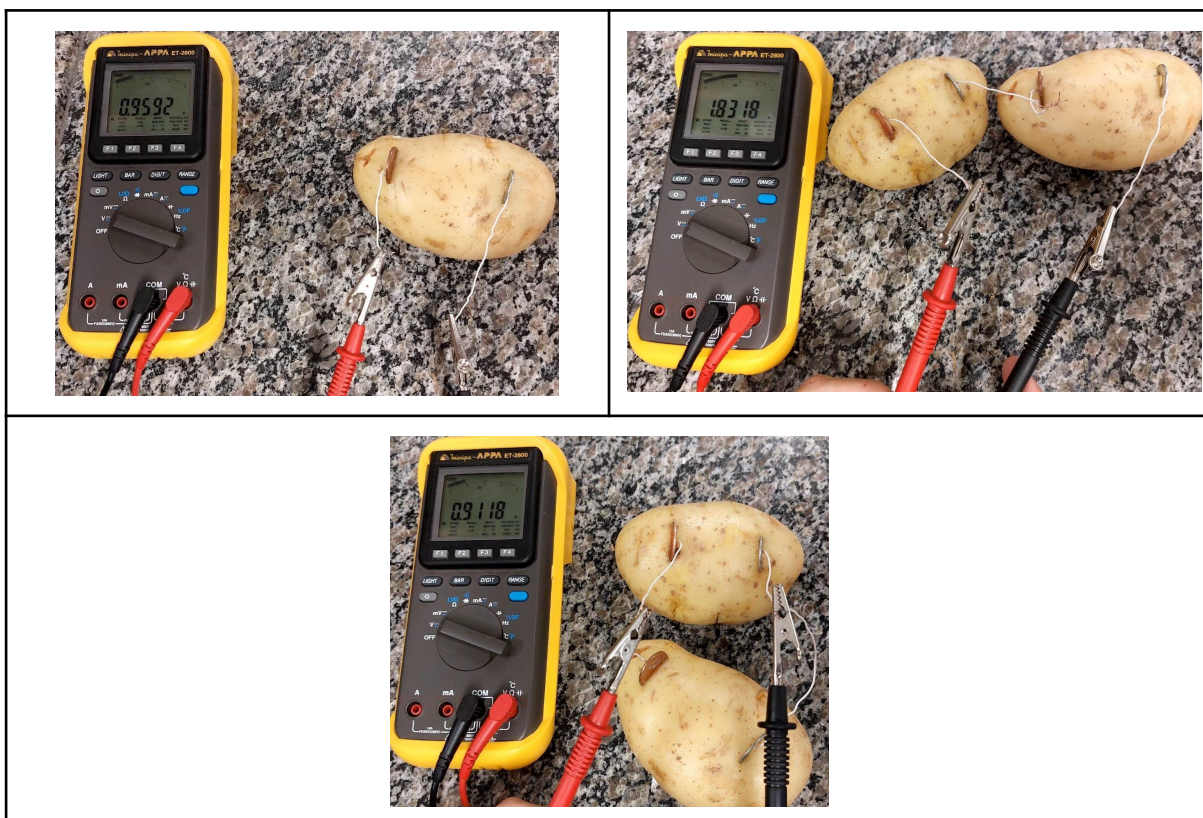
Fonte: Autor, 2022.

O experimento foi estendido para batatas, obtendo os mesmos resultados (ver figura 19). Também foram utilizadas pilhas normais AA obtendo-se o mesmo comportamento da corrente elétrica e da voltagem. Com este experimento conseguimos compreender a lei de ohm (HALLIDAY, 2012), conhecida pela relação

$$V = i.R \quad (2)$$

onde V é a voltagem dada em volts (1V = 1 volt), i é a corrente dada em amperes (1 A = 1 ampère) e R a resistência dada em ohms (1 Ω = 1 ohm).

Figura 18 - Pilhas de batata, associadas em série e em paralelo e medindo a voltagem.



Fonte: Autor, 2022.

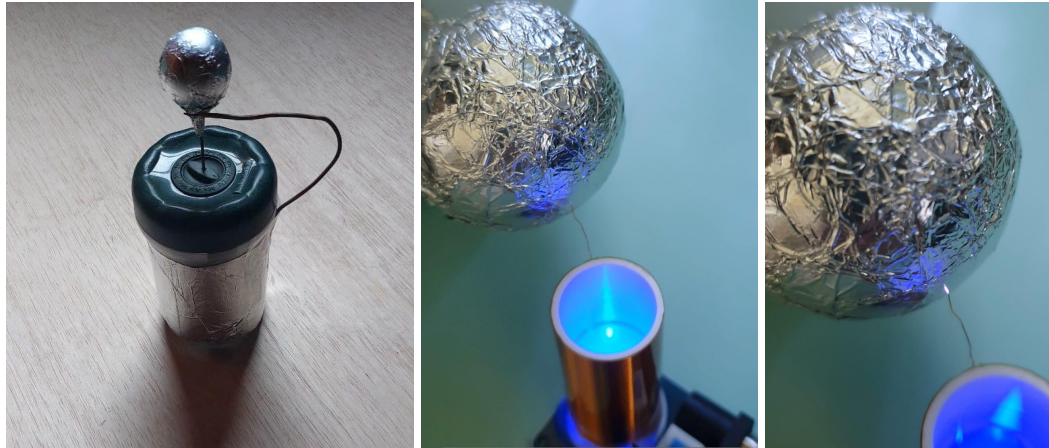
4.2 Garrafa de Leyden

O segundo experimento teve como objetivo armazenar cargas elétricas e entender a propriedade de alguns materiais. Foi utilizado um recipiente de plástico envolto com papel alumínio na parte externa e interna do recipiente, na tampa foi colocada uma bolinha de ping pong enrolada com papel alumínio, onde havia um prego que atravessava a tampa e é conectado por um fio ao papel alumínio do interior frasco, (ver figura 19).

A montagem desses materiais forma o que chamamos na atualidade de capacitor e para carregá-lo, utilizamos a fricção de um papel toalha com um pedaço de cano de PVC, para logo, tocar a bolinha de alumínio com o cano carregado e transferir a carga extra para a garrafa. Também, podemos usar uma mini bobina de Tesla para carregá-lo, demonstrado na figura 19.

Assim, conseguimos observar centelhas brilhantes nesses processos e entender a natureza das cargas elétricas e como podem ser utilizados os materiais condutores e isolantes.

Figura 19 - Garrafa de Leyden



Fonte: Autor, 2022.

4.3 Capacitor plano

No seguinte experimento exploramos a confecção de capacitores planos utilizando quatro lâminas de papel alumínio, duas de 15cm x 30cm e as outras duas de 15cm x 15cm. Também, utilizamos folhas de papel A4 com dimensões um pouco maiores, ver figura 20.

Figura 20 - Folha de alumínio para as placas dos capacitores.



a) 15cm x 30cm

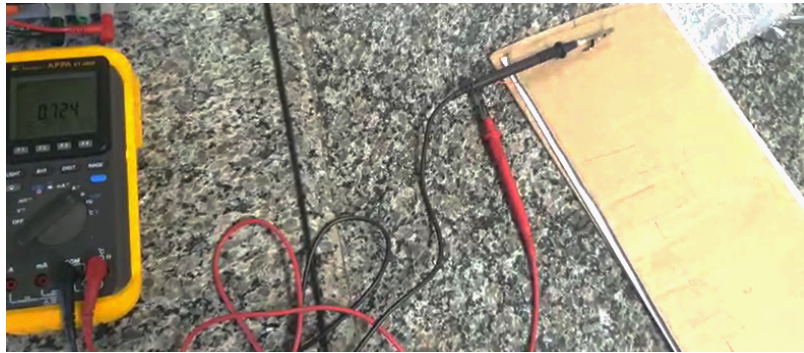
b) 15cm x 15cm

Fonte: Autor, 2022.

Logo, procedeu-se à confecção do capacitor sobre uma base isolante (pedaço de papelão), colocando primeiro a folha de alumínio, depois o papel A4 e, finalmente, a segunda folha de alumínio. Em cada folha de alumínio foi conectado um fio de cobre para auxiliar nas medições da capacitância, e foi colocado um segundo pedaço de papelão para ter uma superfície mais uniforme. O resultado final é mostrado na figura 21.

Conseguimos montar dois capacitores planos, um de 15 cm x 15 cm e outro de 15 x 30 cm, com áreas de 225 cm² e 450 cm², respectivamente. O valor obtido do capacitor de 450 cm² foi de 0,724nF e para o capacitor de 225cm² caiu para um valor menor, aproximadamente a metade do primeiro capacitor.

Figura 21 - Medição de capacitância de um capacitor de placas planas de alumínio, de tamanho 15 cm de comprimento por 30cm de altura.



Fonte: Autor, 2022.

Depois de explorar capacitores com áreas diferentes, foi realizado outro exercício. Ao exercer uma pequena pressão sobre as placas, foi observado que a capacitância aumenta para valores muito altos, tais como, 85,3 nF(ver figura 22) e 200 nF. Nesse caso, foi possível perceber que a capacitância aumenta quando diminuimos a distância entre elas, ao exercemos uma pequena pressão sobre as placas.

Figura 22 - Medição da capacitância em aumento ao exercer uma pressão e diminuir a distância entre as placas.



Fonte: Autor, 2022.

Os resultados anteriores estiveram de acordo com seguinte relação (HALLIDAY, 2012) :

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d} \quad (3)$$

onde C é capacitância de um capacitor plano dada em farad (1F= 1 farad), A é a área das placas dada em m^2 , d é a distância entre as placas dada em m e ϵ_0 é constante de

permissividade no vácuo, sendo igual a $8,85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{N.m^2}$. Como a unidade de farad é muito

grande, são utilizados os seguintes submúltiplos: microfarad é $1\mu F = 10^{-6}$ F e o nanofarad é $1 \text{ nF} = 10^{-9}$ F.

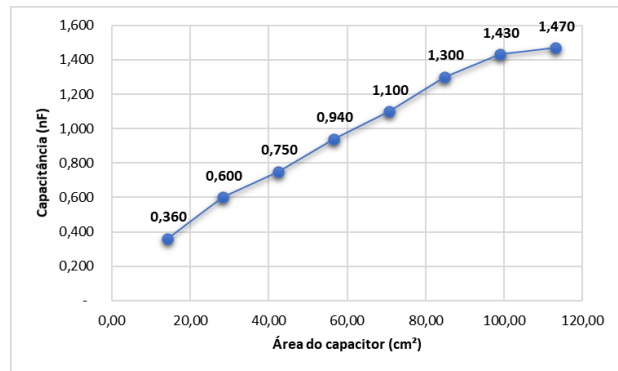
4.4 Capacitor variável

Para a montagem do rádio de galena, podemos utilizar um capacitor cilíndrico variável no lugar de um capacitor cerâmico. Para a confecção, foram utilizadas duas folhas de papel alumínio, uma folha de papel A4 e um tubo de papelão, sendo construído um capacitor cilíndrico de 11,5 cm de comprimento e 1,6 cm de diâmetro. Foram registrados valores entre 0,36 nF e 1,5 nF, ver figura 23.

Figura 23 - (a) capacitor cilíndrico variável (b) variações da capacitância em função da área .



a)



b)

Fonte: Autor, 2022.

4.5 Eletroímã

Nesta subseção entramos nos experimentos relacionados aos fenômenos magnéticos, começando pela criação de um eletroímã. A partir de um parafuso de metal com um fio de cobre enrolado e conectando os extremos a uma pilha de 9V, foi observado que o parafuso consegue atrair objetos metálicos leves. Assim, verifica-se que a corrente que circula na bobina gera um campo magnético no seu interior, transformando o parafuso num ímã (figura 24b).

Figura 24 - Eletroímã caseiro.



A)



B)

Fonte: Autor, 2022.

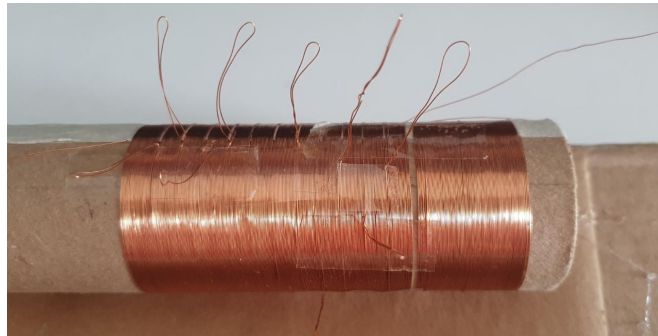
4.6 Bobina

Outro componente eletrônico utilizado no rádio de galena é a bobina (indutor). Para a confecção, utilizamos um tubo de papelão de 16mm de raio e fio de cobre esmaltado AWG 32 (diâmetro 0,20 mm). O fio de cobre foi enrolado no tubo com 80 voltas. Para o cálculo da indutância da bobina utilizamos a seguinte relação (HALLIDAY, 2012):

$$L = \mu_0 N^2 A / l \quad (7)$$

onde L é indutância dada em henry (1H = 1 henry), l é comprimento da bobina em metros, N é o número de voltas, A é área do tubo em m^2 e μ_0 é a permeabilidade magnética no vácuo $1,26 \times 10^{-6} \frac{T.m}{A}$.

Figura 25 - Bobina Variável



Dessa forma, utilizando a equação (7) e esses valores acima, obtemos uma indutância de 308,83 μ H:

$$L = 1,26 \times 10^{-6} \cdot 80^2 \cdot \pi \cdot 0,016^2 / 0,021$$
$$L = 308,83 \times 10^{-6} \text{ H} \quad (8)$$

Os parâmetros mencionados acima e o resultado obtido serão importantes para projetar uma bobina apropriada para o rádio de galena.

4.7 Rádio de Galena e circuito LC

Na seção 3 foram mencionados os materiais para a confecção do rádio de galena. Nesta seção, vamos reunir as informações anteriores do capacitor cilíndrico variável e da bobina de 80 voltas para calcular a frequência do circuito LC, a chamada frequência de ressonância. Através da variação dessa frequência, podemos selecionar qualquer onda de radiofrequência disponível na cidade. Utilizando a equação (9) podemos calcular a frequência de ressonância f , para qualquer valor da indutância (L) de uma bobina e capacitância (C) de um capacitor,

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (9)$$

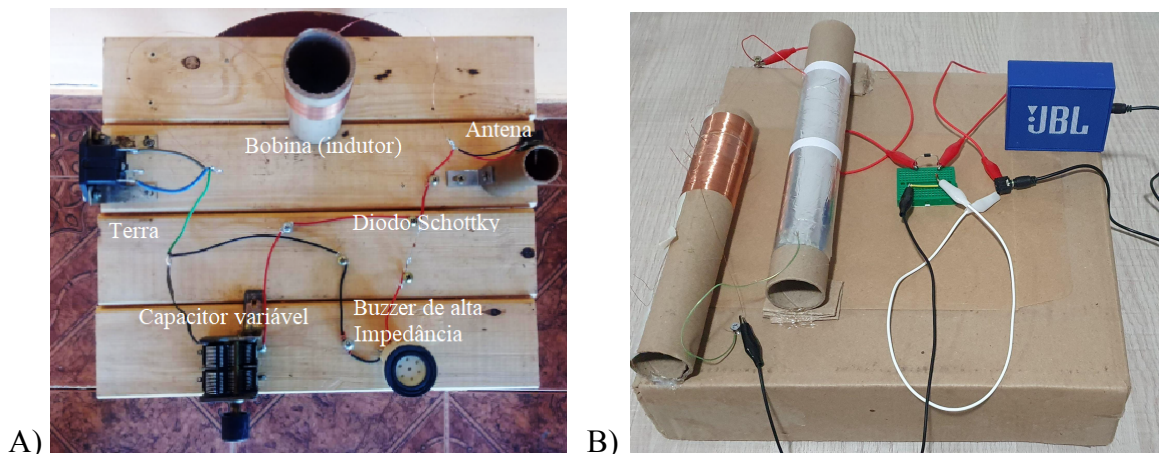
para uma indutância constante $L = 308,83 \mu\text{H} = 308,83 \times 10^{-6} \text{H}$ e uma capacitância $C = 0,59 \text{nF} = 59 \times 10^{-8} \text{F}$, obtemos uma frequência de 1180 kHz, e para uma capacitância $C = 0,67 \text{nF} = 67 \times 10^{-8} \text{F}$, obtemos uma frequência de 1107 kHz, ou seja, com a bobina de 80 voltas e o capacitor variável conseguimos uma faixa de frequência entre 1107 e 1180 kHz, isso nos indica que podemos sintonizar a Rádio Cruzeiro de 1110 kHz e Rádio Pitangueira de 1170 kHz. Para saber o comprimento da antena utilizamos a equação (1).

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

onde c é a velocidade da luz igual a 299 792 498 m/s e f a frequência da Rádio Pitangueira 1170 kHz = 1170000 1/s, sendo calculado um comprimento de onda $\lambda = 256,23 \text{m}$, e podendo-se usar 1/8 de λ , portanto, o comprimento da antena pode ser 32 m. No caso da Rádio Cruzeiro de 1110 kHz, foi calculado que o comprimento de 34 m.

Com essas informações conseguimos captar as frequências de rádio AM da cidade de Itaquí-RS e, foi possível mostrar que os conceitos físicos do eletromagnetismo propostos por Faraday no século XIX que nos permitiram ouvir a voz de pessoas de distintos lugares do planeta.

Figura 26 - Rádio de galena (a) primeira versão (b) segunda versão



Fonte: Autor, 2022.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a confecção da pilha, da bobina e do capacitor, foi possível elaborar uma sequência didática de experimentos, que ajudaram no entendimento e esclarecimento dos conceitos e fenômenos do eletromagnetismo. Portanto, podemos considerá-los como recursos didáticos.

A construção e o funcionamento de um rádio de galena envolveram conhecimentos prévios, adquiridos com os primeiros experimentos. Através do estudo da captação e sintonização das ondas de radiofrequência, foram confeccionados um circuito LC, com uma indutância $L = 308,83 \mu\text{H}$ e um capacitor variável C , com capacitâncias entre 0,59 nF e 0,67 nF, e uma antena de comprimento de 34m. Assim, foi possível captar as ondas eletromagnéticas das rádios AM de Itaqui, RS, sendo elas, a Rádio Pitangueira 1170 kHz e a Rádio Cruzeiro 1110 kHz.

Portanto, acredita-se que através do método fenomenológico utilizado neste trabalho, foi possível entender os conceitos e fenômenos eletromagnéticos do funcionamento de um rádio de galena. Desta forma, podemos propor tal experimento como um instrumento pedagógico.

REFERÊNCIAS

FERREIRA, L. C; **Cem anos do rádio no Brasil: o padre brasileiro que inventou o rádio Landell fez a primeira transmissão de rádio em 1899**, 31 de maio de 2022. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2022-05/cem-anos-do-r%C3%A1dio-no-brasil-o-padre-brasileiro-que-inventou-o-radio>> Acesso em 21 de janeiro de 2023.

ALMEIDA, H, **Padre Landell: o Brasileiro que Inventou o Wireless**, 1. ed. São Paulo, 2022.

GRUPO DE REELABORAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA (GREF). **Física 3: Eletromagnetismo**. 7. ed. 5. reimpr. São Paulo, Edusp, 2017.

CRUZ, F. F. S; **Faraday & Maxwell - Luz sobre os campos; por. Imortais da Ciência**; 1. ed; São Paulo, 2005.

EDWARDS, K. E; **Radios that Word for Free**; First Edition; Oregon, 1977.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J; **Fundamentos de física 3, por. Eletromagnetismo**; 9. ed; Rio de Janeiro: LTC, 2012a.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J; **Fundamentos de física 4, por. Óptica e Física Moderna**; 9. ed; Rio de Janeiro: LTC, 2012b.

LEE, B. How Dunwoody's Chunk of 'Coal' Saved both de Forest and Marconi. AWA Review Archive, 2009. Disponível em: <<https://www.californiahistoricalradio.com/CHRSPix/10LeeDunwoodyCoal2009.pdf>> Acesso em: 09 de novembro de 2022.

MENDES, M; **Brasilecola.uol.com.br**. Disponível em: <<https://educador.brasilecola.uol.com.br/estrategias-ensino/ensino-eletromagnetismo-construindo-um-eletoima.htm>>. Acesso em 17 de janeiro de 2023.

MENDES; **Trabalhos De Física**; Trabalho de Física - Estudo sobre pilhas. 2013; Disponível em: <<http://fisicando01.blogspot.com/2013/11/trabalho-de-fisica-estudo-sobre-pilhas.html>> Acesso em 17 de janeiro de 2023.

MOREIRA, S. V; **Nikola Tesla, O Inventor No Ambiente De Criação Da Transmissão Sem Fio.PORTCOM**. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<http://www.portcom.intercom.org.br/pdfs/142551520138999777942676491997184403188.pdf>> Acesso em: 09 de novembro de 2022.

BRITO, S. H. B; **Blog LabCisco**; O Espectro Eletromagnético na Natureza; 2013. Disponível em: <<http://labcisco.blogspot.com/2013/03/o-espectro-eletromagnetico-na-natureza.html>> Acesso em 19 de janeiro de 2023.

RUZZA, F. R; ANDREOLLA, C. V; **Recepção De Ondas Eletromagnéticas Com Rádio Galena**; 31º SEURS; Seminário de Extensão Universitária da Região Sul, 2013.