

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 28

PAULO HENRIQUE GOMES

EXPERIMENTOS DIDÁTICOS SOBRE LEI DE FARADAY E LEI DE LENZ
UTILIZANDO SMARTPHONE COMO INSTRUMENTO DE MEDIDA

Alfenas/MG

2023

PAULO HENRIQUE GOMES

**EXPERIMENTOS DIDÁTICOS SOBRE LEI DE FARADAY E LEI DE LENZ
UTILIZANDO SMARTPHONE COMO INSTRUMENTO DE MEDIDA**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF - do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Alfenas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Área de Concentração: Física na Educação Básica

Orientador: Prof. Dr. Célio Wisniewski

Alfenas/MG

2023

PAULO HENRIQUE GOMES

**EXPERIMENTOS DIDÁTICOS SOBRE LEI DE FARADAY E LEI DE LENZ
UTILIZANDO SMARTPHONE COMO INSTRUMENTO DE MEDIDA**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF - do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Alfenas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Área de Concentração: Física na Educação Básica

Orientador: Prof. Dr. Célio Wisniewski

Aprovada em: / /2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Célio Wisniewski - Orientador

Universidade Federal de Alfenas

Prof. Dr. Artur Justiniano Roberto Júnior – Examinador 1

Universidade Federal de Alfenas

Prof. Dr. Newton de Figueiredo Filho – Examinador 2

Universidade Federal de Itajubá

AGRADECIMENTOS

A elaboração de um trabalho requer esforço pessoal. Entretanto, não seria possível sem a contribuição de algumas pessoas nessa etapa, seja diretamente ou indiretamente, as quais gostaria de agradecer.

Primeiramente agradeço a Deus, pela saúde e disposição. Agradeço a minha família pelo apoio e colaboração em todos momentos a qual passei ao longo do mestrado.

Agradeço ao Prof. Dr. Célio Wisniewski, pela orientação, incentivo, aos ensinamentos e pela oportunidade para realizarmos este trabalho.

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

Enfim, agradeço a todos que colaboraram de alguma forma.

“A força não vem da capacidade física, ela vem de uma vontade inabalável”

Mahatma Gandh

RESUMO

Nas aulas de física no ensino médio das escolas do Brasil, os conteúdos Lei de Faraday e Lei de Lenz, normalmente são apresentados apenas na teoria, sem que haja experimentação que possa auxiliar no ensino aprendido dos estudantes. Alguns simuladores, disponíveis na *Web*, até auxiliam nos conteúdos mencionados. Entretanto, não há a coparticipação do aluno de modo que compreenda toda a experimentação. Diante disso, o presente trabalho possibilita ao estudante montar experimentos didáticos simples que ajudam a compreender de forma mais concreta as Leis de Faraday e Lenz. Os experimentos criados para a realização do trabalho foram: Pêndulo Eletromagnético, Eletroímã e Transformador e, como uma das ferramentas a ser utilizadas, o aparelho celular *SmartPhone* proporcionou realizar medições de campo magnético com o auxílio do aplicativo *PhyPhox*, cuja função é coletar os dados dos sensores do aparelho celular e disponibilizar na tela do usuário. Além dos experimentos, três Sequências Didáticas (SDs) foram confeccionadas, cada uma referente a um dos experimentos, de modo que os estudantes consigam montá-los e assimilar pontos que envolvam a física por de trás do fenômeno ao decorrer da experimentação. Já a metodologia de ensino-aprendizagem empregada foi a Aprendizagem Significativa (AS), desenvolvida por David Ausubel. E como ferramenta para avaliar o impacto do produto na estrutura cognitiva do aluno, foram utilizados os Mapas Conceituais (MCs) para comparar o MC pré-aplicação do produto com o MC pós-aplicação do produto e possibilitar a realização de uma análise mínima da estrutura cognitiva do aluno e verificar se os conteúdos relacionados às leis de Faraday e Lenz foram inseridos de forma organizada.

Palavras-chave: Lei de Faraday. Lei de Lenz. Aprendizagem Significativa. *PhyPhox*.

ABSTRACT

In the classes at high school of Brazil, the contents of Faraday's Law and Lenz's Law are usually only presented in theory, without practical experimentation that can help in teaching student's learning. Some simulators available on the Web even help with the mentioned contents. However, there is no co-participation of the student so that he understands all the experimentation. Therefore, the present work allows the student to assemble simple didactic experiments that help to understand in a more concrete way the Laws of Faraday and Lenz. The experiments created to carry out the work were: electromagnetic pendulum, electromagnet and electric transformer and, as one of the tools to be used, the smartphone mobile device provided measurements of the magnetic field with the aid of the PhyPhox application, whose function is to collect data from the cell phone sensors and make it available on the user's screen. In addition to the experiments, three Didactic Sequences (SDs) were made, each referring to one of the experiments, so that students can assemble them and assimilate points that involve the physics behind the phenomenon during the experimentation. The teaching-learning methodology employed was Meaningful Learning (AS), developed by David Ausubel. And as a tool to assess the impact of the product on the student's cognitive structure, Conceptual Maps (CMs) were the CM was used to compare the pre-application with the post-application of the product to enable an analysis of the minimal student's cognitive structure and verify if the contents related to the laws of Faraday and Lenz were inserted in an organized way.

Key words: Faraday's Law. Lenz's Law. Meaningful Learning. PhyPhox.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 2-1.** (a) Cargas elétricas estáticas. (b) cargas elétricas em movimento desordenado, tendo como resultante uma velocidade igual a 0. (c) carga elétrica em movimento ordenado devido à presença de um campo elétrico uniforme. (Fonte: Adaptado Sears e Zemansky) 16
- Figura 2-2.** Velocidade de arraste e força das cargas elétricas com direções opostas ao campo elétrico uniforme; já o sentido da corrente elétrica acompanha o sentido do campo elétrico. (Fonte: Adaptado Sears e Zemansky) 16
- Figura 2-3.** Diagrama esquemático dos elétrons atômicos de valência livre para condução em um metal. (Fonte: Adaptado Sears e Zemansky)..... 17
- Figura 2-4.** Fluxo de cargas elétricas atravessando um volume $A (vdt)$. (Fonte: Adaptado Sears e Zemansky)..... 19
- Figura 2-5.** Circuito elétrico simples. Fonte: (Griffiths)..... 20
- Figura 2-6.** Campo elétrico gerado pelas cargas acumuladas . Fonte: (Griffiths)..... 21
- Figura 2-7.** Ação da força magnética em uma carga elétrica q perpendicular à direção do campo magnético e velocidade da carga. (Fonte: Adaptado Sears e Zemansky) 23
- Figura 2-8.** Campo magnético gerado por uma carga elétrica com velocidade v . Em cada ponto ao redor da carga o vetor campo magnético é sempre perpendicular. (Fonte: Adaptado [11]) 24
- Figura 2-9.** Campo magnético gerado pela região $d\mathbf{l}$ de um condutor retilíneo de dimensão $2L$ no ponto P . (Fonte: Adaptado Sears e Zemansky) 26
- Figura 2-10.** Experimento de Faraday. (a) nenhum valor de corrente elétrica detectado ao deixar um ímã parado próximo à bobina metálica. (b) corrente elétrica detectada ao aproximar o ímã da bobina metálica. (Fonte: Adaptado [11])... 28
- Figura 2-11.** Presença de um campo magnético variável em uma região infinitesimal, gerando assim um fluxo magnético. (Fonte: Adaptado [11])n..... 29

Figura 2-12.	Modelo de gerador formado por uma espira retangular imersa em um campo magnético B . Fonte: (Griffiths)	31
Figura 2-13.	Lei de Lenz para definir o sentido da corrente elétrica. (a) ímã parado na presença de um campo magnético. (b) força magnética oposta a força magnética do ímã ao aproximar, induzindo uma corrente no sentido anti-horário. (c) força magnética a favor da força magnética do ímã ao afastar, induzindo corrente no sentido horário. (Fonte: Adaptado [11]).....	32
Figura 2-14.	Regra da mão direita. O polegar esticado, fazendo um ângulo de 90° com os demais dedos, aponta a direção e sentido do campo magnético B . Os demais dedos apontam a direção e sentido da corrente elétrica induzida i . (Fonte: Adaptado [11])	33
Figura 2-15.	Duas bobinas em paralelo. Fonte: (Griffiths).....	35
Figura 3-1.	Mapa Conceitual dos elementos do MC. [Fonte: Autor.].....	39
Figura 4-1.	Exemplo de proposta de MC aos alunos cujo tema: celular. (Fonte: autor)	47
Figura 4-2.	Experimento: Pêndulo Eletromagnético. (Fonte: autor)	50
Figura 4-3.	Experimento: Transformador. (Fonte: autor).....	53
Figura 4-4.	Experimento: Eletroímã. (Fonte: autor)	54
Figura 4-5.	Tela inicial do <i>app PhyPhox</i> :. (Fonte: PhyPhox).....	56
Figura 4-6.	Tela do magnetômetro do <i>app PhyPhox</i> :. (Fonte: PhyPhox)	58
Figura 5-1.	MC de nível insuficiente da primeira etapa da aplicação do produto.	62
Figura 5-2.	MC de nível regular da primeira etapa da aplicação do produto.....	63
Figura 5-3.	MC de nível bom da primeira etapa da aplicação do produto.....	64
Figura A-1.	(a) Cargas elétricas estáticas. (b) cargas elétricas em movimento desordenado, tendo como resultante uma velocidade igual a 0. (c) carga elétrica em movimento ordenado devido a presença de um campo elétrico uniforme. (Fonte: Autor)	97
Figura A-2.	A corrente elétrica acompanha o sentido do campo elétrico. (Fonte: Autor) .	97

Figura A-3.	(a) Analogia: elo feito de um material metálico com carga elétrica . (b) Analogia: corrente de bicicleta com corrente elétrica. (Fonte: Autor)	98
Figura A-4.	Corrente alternada. (a) Corrente elétrica no sentido do campo elétrico. (b) corrente elétrica acompanhando a mudança de sentido do campo elétrico. (Fonte: Autor)	99
Figura A-5.	Lâmpada incandescente. (a) interruptor desligado, impossibilitando a passagem de corrente elétrica. (b) interruptor ligado, possibilitando a passagem de corrente elétrica e, conseqüentemente, ocorrendo o efeito Joule. (Fonte: Autor)	100
Figura A-6.	Representação de uma resistência elétrica ao ser percorrida por uma corrente elétrica devido a ddp aplicada. As esferas em azul escuro representam os átomos do material. (Fonte: Autor).....	101
Figura A-7.	(a) Analogia: facilidade de percorrer uma sala de aula organizada com resistência elétrica baixa . (b) Analogia: dificuldade de percorrer uma sala de aula organizada com resistência elétrica alta.....	102
Figura A-8.	Magnetita. [Istock, 2022].....	103
Figura A-9.	Representação de um ímã, composto por dois polos magnéticos: norte e sul.	104
Figura A-10.	Interação entre os polos. (a) polos de mesmo nome se repelem. (b) polos de nomes diferentes se atraem. [Fonte: autor]	104
Figura A-11.	Ímã fragmentado, mas mantendo sua característica magnética: sempre um dipolo. [Fonte: autor].....	105
Figura A-12.	Polos magnéticos da Terra. [Fonte: autor]	105
Figura A-13.	Bússola sendo orientada pelo ímã terrestre. [Fonte: autor].....	106
Figura A-14.	Linhas de campo magnético ao redor do ímã.	107
Figura A-15.	Interação entre as linhas de campo magnético. (a) conexão das linhas de campo do polo sul para o norte de outro ímã. (b) não interação entre as linhas de campo magnético.	107

- Figura A-16.** Interação das linhas de campo magnético com um objeto metálico. (a) ativação de 5 linhas de campo magnético ao posicionar o objeto próximo ao polo norte. (b) ativação de 3 linhas de campo magnético ao afastar o objeto do polo norte. 108
- Figura A-17.** Domínio magnético dos materiais. (a) ausência de alinhamento do domínio magnético, caracterizando um objeto não magnetizado. (b) domínio magnético parcialmente alinhado, resultando em um material com pouca magnetização. (c) alinhamento dos domínios magnéticos, gerando um material magnetizado. 109
- Figura A-18.** Representação do experimento de Oersted. (a) comportamento da bússola sem a presença de uma corrente elétrica. (b) comportamento da bússola ao passa uma corrente elétrica em um circuito.....110
- Figura A-19.** Experimento de Faraday. (a) nenhum valor de corrente elétrica detectado ao deixar um ímã parado próximo a bobina metálica. (b) corrente elétrica detectada ao aproximar o ímã da bobina metálica. (Fonte: Autor).....111
- Figura A-20.** Regra da mão direita. O polegar acompanha o sentido da corrente elétrica e os outros dedos indicam o sentido do campo magnético. (Fonte: Autor)113
- Figura A-21.** Regra da mão direita modificada. Os quatro dedos acompanham o sentido da corrente elétrica e o polegar indicada o sentido do campo magnético. (Fonte: Autor).....114
- Figura A-22.** Lei de Lenz para definir o sentido da corrente elétrica. (a) ímã parado na presença de um campo magnético. (b) força magnética oposta a força magnética do ímã ao aproximar, induzindo uma corrente no sentido anti-horário. (c) força magnética a favor da força magnética do ímã ao afastar, induzindo corrente no sentido horário. (Fonte: Adaptado)115
- Figura A-23.** Campo magnético gerado pelo circuito em espira para se opor ao campo magnético do ímã. (Fonte: Adaptado Sears, 2015)115
- Figura B-1.** Base de madeira. [Fonte: autor]124
- Figura B-2.** Marcação dos furos na base de madeira. [Fonte: autor]124

Figura B-3.	na base de madeira. [Fonte: autor]	125
Figura B-4.	Fixação do suporte na base de madeira. [Fonte: autor]	126
Figura B-5.	Estrutura de PVC montada. [Fonte: autor]	126
Figura B-6.	Fixação da estrutura de PVC ao suporte. [Fonte: autor]	127
Figura B-7.	Furos da estrutura de PVC. [Fonte: autor].....	128
Figura B-8.	Linha de Nylon passada ao orifício do cano de PVC. [Fonte: autor]	129
Figura B-9.	Bobina de cobre posicionada abaixo do ímã. [Fonte: autor]	130
Figura B-10.	Conexão da bobina com LED. [Fonte: autor].....	131
Figura B-11.	Tela inicial do aplicativo <i>PhyPhox</i> . [Fonte: autor]	132
Figura B-12.	Experimento Pêndulo Eletromagnético. [Fonte: autor]	133
Figura B-13.	Estrutura Metálica e bobinas de cobre dispostas sob a base de madeira (Fonte: autor)	138
Figura B-14.	Bobinas sendo acopladas na estrutura metálica. (Fonte: autor)	139
Figura B-15.	Chapa metálica na parte inferior da estrutura metálica. (Fonte: autor).....	139
Figura B-16.	Carregador conectado nos terminais de uma das bobinas. (Fonte: autor)....	140
Figura B-17.	Experimento Transformador. (a) visão frontal do experimento. (b) visão traseira do experimento, mostrando a ligação (Fonte: autor)	141
Figura B-18.	Tela inicial do <i>app PhyPhox</i> :. (Fonte: PhyPhox).....	144
Figura B-19.	Tela do magnetômetro do <i>app PhyPhox</i> :. (Fonte: PhyPhox)	145
Figura C-1.	Mapas conceituais elaborados pelos discentes como parte do processo de avaliação da aplicação do produto. Foram identificados por códigos para preservar o anonimato. (Fonte: autor).....	151

LISTA DE TABELAS

Tabela 4-1.	Etapas da metodologia utilizada no trabalho.....	45
Tabela 5-1.	Quantidade de alunos por níveis de aprendizagem pré-aplicação do produto. 60	
Tabela 5-2.	Critérios dos níveis de conhecimento.....	61
Tabela 5-3.	Resultados obtidos por pergunta – Corrente Elétrica.	67
Tabela 5-4.	Resultados obtidos por pergunta – Campo Magnético.....	72
Tabela 5-5.	Resultados obtidos por pergunta – Lei de Faraday e Lenz.....	77
Tabela 5-6.	Resultados obtidos no questionário – Pêndulo Eletromagnético	81
Tabela 5-7.	Resultados obtidos no questionário – Transformador.....	82
Tabela 5-8.	Resultados obtidos no questionário – Eletroímã.	84
Tabela 5-9.	Comparação do desempenho dos alunos, por níveis de aprendizagem: pré e pós-aplicação do produto.	86
Tabela B-1.	Planilha para anotação da corrente elétrica e o campo magnético.....	133
Tabela B-2.	Planilha para anotação do campo magnético.	134
Tabela B-3.	Planilha para anotação da corrente elétrica.	134
Tabela B-4.	Planilha para anotação da corrente elétrica e o campo magnético.....	134
Tabela B-5.	Planilha para anotação da tensão elétrica.	141

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AS	Aprendizagem Significativa
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CBC	Conteúdo Básico Comum
ddp	Diferença de Potencial Elétrico
<i>fem</i>	Força Eletromotriz
LED	Light Emitting Diode
MC	Mapas Conceituais
SD	Sequência Didática

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	ELETRODINÂMICA	15
2.1.1.	Corrente	15
2.1.2.	Densidade de Corrente Elétrica	17
2.2.	FORÇA ELETROMOTRIZ	20
2.3.	CAMPO MAGNÉTICO.....	22
2.3.1.	Carga em movimento imersa em um Campo Magnético.....	23
2.3.2.	Campo Magnético gerado por uma carga em movimento	24
2.4.	INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA	27
2.4.1.	Lei de Faraday	27
2.4.2.	Lei de Lenz.....	32
2.4.3.	Indução magnética mútua M.....	33
2.4.4.	Autoindutância magnética L.....	35
2.4.5.	Energia magnética armazenada em um indutor L.....	35
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	37
3.1.	APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	37
3.1.1.	Aprendizagem Significativa no Ensino de Física	38
3.1.2.	Aprendizagem Significativa e Mapas Conceituais	38
3.2.	ALGUNS TRABALHOS EM ENSINO DE ELETROMAGNETISMO.....	39
4.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	43
4.1.1.	Mapa Conceitual na Sala de Aula	46
4.2.	APRESENTAÇÃO DO CONTEÚDO.....	48
4.3.	EXPERIMENTOS	49
4.3.1.	Pêndulo Eletromagnético	49
4.3.2.	Transformador	51
4.3.3.	Eletroímã.....	53
4.4.	APLICATIVO PHYPHOX.....	55
4.5.	SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS	58
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	60

5.1.	ETAPA 1 E 2: APLICAÇÃO DOS MCs.....	60
5.2.	ETAPA 3: AULAS EXPOSITIVA SOBRE CORRENTE ELÉTRICA	65
5.3.	ETAPA 4: AULAS EXPOSITIVA SOBRE CAMPO MAGNÉTICO.....	69
5.4.	ETAPA 5: AULAS EXPOSITIVA SOBRE LEI DE FARADAY E LEI DE LENZ.....	73
5.5.	ETAPAS 6, 7 e 8: APLICAÇÃO DOS EXPERIMENTOS	77
5.5.1.	Pêndulo Eletromagnético	78
5.5.2.	Transformador	81
5.5.3.	Eletroímã.....	83
5.6.	ETAPAS FINAIS: MAPA CONCEITUAL PÓS EXPERIMENTOS.....	85
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
7.	REFERÊNCIAS.....	92
Apêndice A.	PLANOS DE AULA.....	96
A.1.	Plano de aula 1 – corrente elétrica.....	96
A.2.	Plano de aula 2– campo magnético.....	102
A.3.	Plano de aula 3 – lei de Faraday e lei de Lenz.....	109
Apêndice B.	EXPERIMENTOS.....	117
B.1.	Introdução.....	120
B.2.	Construção do kit experimental.....	121
B.3.	Construção do experimento pêndulo eletromagnético	122
B.4.	Questionário avaliativo do experimento – Pêndulo Eletromagnético	133
B.5.	Construção do experimento transformador.....	136
B.6.	Construção do experimento eletroímã.....	142
B.7.	Aplicativo <i>Phyphox</i>	143
B.8.	Experimentos: Metodologia de Ensino.....	145
B.9.	Respostas do experimento – Pêndulo Eletromagnético	145
B.10.	Respostas do experimento – Transformador	147
B.11.	Respostas do experimento – Eletroímã.....	147
B.12.	Considerações finais	148
B.13.	Referências.....	148
Apêndice C.	MAPAS CONCEITUAIS	150

1. INTRODUÇÃO

O ensino de física em parte das escolas do Brasil, assim como as outras disciplinas que fazem parte da grade curricular, costumam utilizar uma metodologia de ensino tradicional, em que o professor é o detentor do conhecimento e o papel do aluno é meramente um expectador. Além da carga horária ser reduzida, as aulas ministradas possuem as características de utilizarem excessivamente os livros didáticos e praticamente nula quando se trata de aulas práticas [1,2].

A metodologia de ensino aplicada em conjunto com a precária estrutura nas escolas públicas resulta na falta de motivação e desinteresse por parte dos alunos [3], deixando a impressão de que a Física está distante da sua realidade. Outro fator importante que está diretamente relacionado ao rendimento dos alunos é o papel do professor. Embora tenha uma carreira docente desvalorizada e, muitas vezes, as condições de trabalho sejam precárias, esse profissional é o agente motivador e responsável pelas Sequências Didáticas (SD) das aulas teóricas e práticas. A respeito das aulas experimentais, muitas vezes elas seguem uma rotina de verificação do fenômeno físico em questão, seguindo um manual para que as respostas sejam adquiridas [1]. Esse processo para explicar um fenômeno físico acaba não favorecendo o ensino-aprendizado do aluno, uma vez que os questionamentos sobre o experimento não são levados em conta. Por isso há a necessidade de um professor capacitado para que utilize uma metodologia que instigue o aluno a questionar todo o processo físico e a relacionar com os conteúdos estudados em sala de aula.

Diante disso, este trabalho tem com um dos pilares o emprego da metodologia proposta pelo psicólogo David Ausubel, a Aprendizagem Significativa. Muito utilizada nas últimas décadas, essa metodologia prega que o conhecimento prévio do aluno é essencial para a aprendizagem. Entretanto, para que o aprendizado se concretize, alguns fatores são necessários: disposição da parte do aluno em relacionar o material a ser aprendido de modo substantivo, presença de ideias relevantes na estrutura cognitiva do aluno e material potencialmente significativo. Para esse último fator pode ser utilizada uma estratégia de ensino por descobertas, sendo que o professor é o criador do material que será ofertado ao aluno e colocará pistas para que ele desvende [4].

As sequências didáticas deste trabalho, tanto das aulas teóricas quanto das experimentais, foram preparadas dentro do campo Eletromagnetismo, com os tópicos Lei de Faraday e Lei de Lenz. Esses tópicos foram escolhidos devido a tamanha importância e ao marco científico, visto que a partir dos estudos do físico Michael Faraday houve uma relação direta entre eletricidade e magnetismo. Muitas vezes esses conteúdos são apresentados para o aluno de forma abstrata, utilizando apenas a teoria, sem nenhuma aula experimental para que o aluno tenha um aprendizado mais concreto.

Entretanto, para compreensão da Lei de Faraday e Lei de Lenz houve a necessidade de realizar uma revisão de alguns conteúdos de eletricidade para que alguns termos, os quais foram utilizados nas Sequências Didáticas, fossem facilmente identificados e compreendidos pelos alunos.

2. ELETRODINÂMICA

Todo equipamento eletrônico necessita de uma fonte de alimentação, ou seja, estar sujeito a uma diferença de potencial elétrico (ddp) para garantir seu funcionamento. A pilhas e a bateria são exemplos de dispositivos elétricos que garantem a alimentação desses equipamentos, elas convertem a energia potencial elétrica intrínseca em outro tipo de energia que dependerá da função do equipamento, que pode ser um aparelho de som, chuveiro elétrico, lâmpada de filamento, entre outros. Em um aparelho de som, a energia elétrica que as cargas elétricas adquirem convertem em energia sonoras; em um chuveiro elétrico, a energia elétrica é convertida em energia térmica e nas lâmpadas de filamento, haverá a conversão de energia elétrica em radiante e também em térmica.

O caminho percorrido pelos elétrons é denominado de circuito elétrico. Para que o deslocamento tenha uma boa fluidez, utilizam-se materiais que sejam bons condutores e que permitam o deslocamento eletrônico com baixa resistência, no caso, os materiais que constituem os metais da tabela periódica [11].

2.1.1. *Corrente*

O movimento de cargas elétricas através de uma dada superfície de um sistema condutor é definido como corrente elétrica. Para que esse movimento seja efetivo, um campo elétrico estacionário \mathbf{E} deve ser estabelecido de modo que haja uma força elétrica resultante não nula sobre as cargas q . Para compreender esse princípio, tome um fio retilíneo condutor, em que obviamente em seu interior há cargas elétricas em equilíbrio estático (Figura 2-1.a) ou em movimentos aleatórios (Figura 2-1.b), mas cuja carga líquida dentro de um volume específico seja constante. Nesse último caso, a velocidade de arraste das cargas \vec{V} (ou velocidade média vetorial) se anula. Assim, considera-se que não há movimento líquido de cargas elétricas. Mas, quando um campo elétrico \vec{E} é estabelecido, as cargas elétricas q tendem a deslocar com um sentido definido, conseqüentemente, a velocidade de arraste resultante \vec{V} passa a ser diferente de zero, resultando em uma corrente elétrica (Figura 2-1.c) [11].

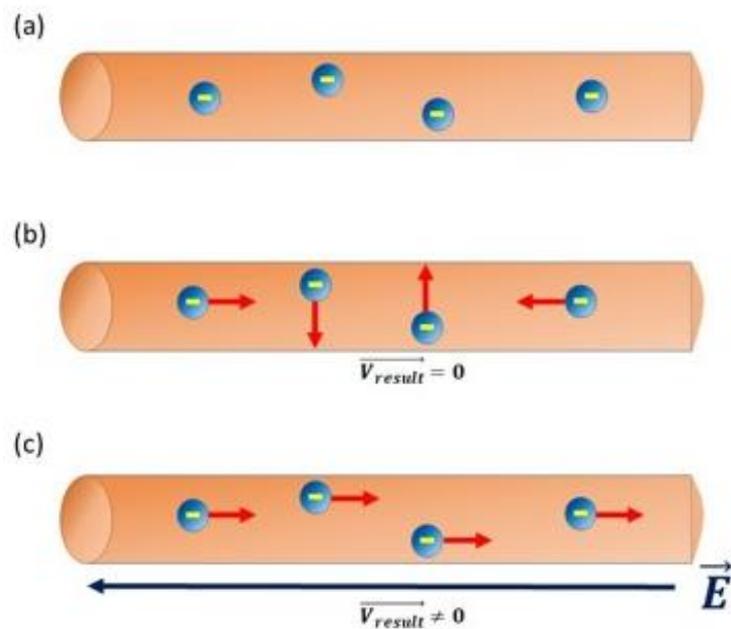


Figura 2-1. (a) Cargas elétricas estáticas. (b) cargas elétricas em movimento desordenado, tendo como resultante uma velocidade igual a 0. (c) carga elétrica em movimento ordenado devido à presença de um campo elétrico uniforme. (Fonte: Adaptado Sears e Zemansky)

A presença do campo elétrico \vec{E} produz trabalho W sobre a carga elétrica q . A velocidade de arraste \vec{V} e a força elétrica \vec{F} sobre a carga, gerada pela ddp, se opõe ao sentido do campo elétrico (Figura 2-2). Nesse caso, o sentido da corrente elétrica i é definido como sendo igual ao do campo elétrico.

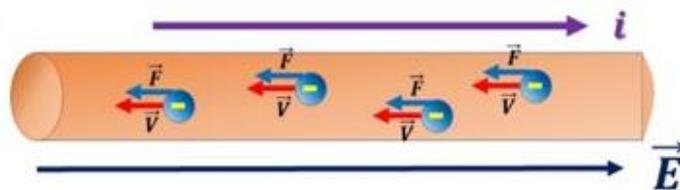


Figura 2-2. Velocidade de arraste e força das cargas elétricas com direções opostas ao campo elétrico uniforme; já o sentido da corrente elétrica acompanha o sentido do campo elétrico. (Fonte: Adaptado Sears e Zemansky)

A equação de corrente elétrica i pode ser definida como a derivada da carga dQ pela derivada do tempo dt .

$$i = \frac{dQ}{dt} \quad (2-1)$$

A unidade de medida pelo Sistema Internacional de Unidades (SI) da carga é dada em Coulomb (C) e o tempo em segundos (s). Assim, a unidade de corrente elétrica é definida como Coulomb por segundo (C/s). Em homenagem ao físico Francês, André Marie Ampère, a unidade de medida foi renomeada como Ampère (A), ou seja, $1 \text{ C/s} = 1 \text{ A}$.

Nos metais, os elétrons atômicos de valência estão livres para poderem se deslocar pelo material condutor (Figura 2-3); já os outros elétrons estão ligados fortemente aos seus íons positivos, sendo esses íons que ocupam uma posição fixa na estrutura cristalina [11].

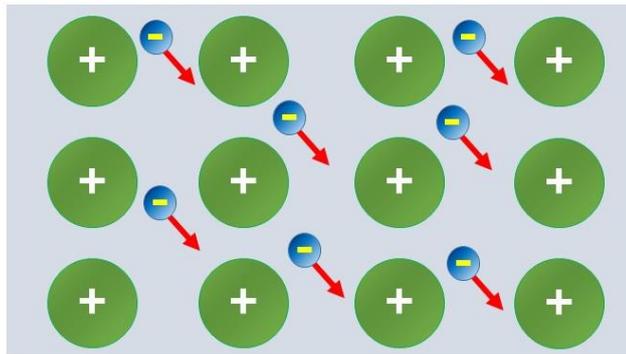


Figura 2-3. Diagrama esquemático dos elétrons atômicos de valência livre para condução em um metal. (Fonte: Adaptado Sears e Zemansky)

2.1.2. *Densidade de Corrente Elétrica*

Para fazer uma corrente fluir é necessária uma força atuando sobre as cargas. Para a maioria dos materiais, o quão rápido as cargas são empurradas depende da natureza do seu material. Na maioria deles, a densidade de corrente \mathbf{J} é proporcional a força por unidade de carga \mathbf{f} , conforme equação 2-1:

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{f} \quad (2-2)$$

Em que σ é a condutividade do material ou o inverso da resistividade $\sigma = \frac{1}{\rho}$.

A força sobre as cargas pode ter qualquer natureza. Portanto pode reescrever a equação 2-2 substituindo pela força de Lorentz:

$$\mathbf{J} = \sigma \left(\frac{\mathbf{F}}{q} \right) = \sigma (\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (2-3)$$

Entretanto, a velocidade das cargas é tão pequena que o segundo termo da equação pode ser desprezado (exceto para física de plasma), resultando na Lei de Ohm:

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} \quad (2-4)$$

Para correntes estacionárias e materiais com condutividade uniforme a equação pode ser dada como [5]:

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{1}{\sigma} \nabla \cdot \mathbf{J} = 0 \quad (2-5)$$

Uma forma alternativa para obter o valor da densidade de corrente é a partir da equação 2-1 considerando a quantidade de carga elétrica que passa por uma área de secção reta A em um determinado intervalo de tempo. Considerando um material condutor de cargas elétricas cilíndrico, podemos expressar a carga total que atravessa a área de secção em função do volume do cilindro. Primeiramente é necessário definir a distância dx percorrida pela carga ao atravessar essa área (Figura 2-4), que nesse caso pode ser calculada como sendo a velocidade de arraste v (ou de deriva, que corresponde à velocidade média na direção da corrente) multiplicado pelo intervalo de tempo dt .

$$dx = v dt \quad (2-6)$$

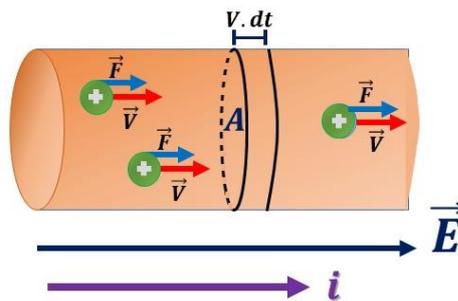


Figura 2-4. Fluxo de cargas elétricas atravessando um volume $A(vdt)$.
(Fonte: Adaptado Sears e Zemansky)

Considerando que há um grande número de carga elétrica n atravessando o cilindro, em que $A(vdt)$ é o volume do cilindro entre duas linhas circulares, podemos definir a quantidade de carga elétrica total dQ neste volume como sendo:

$$dQ = A(vdt)nq \quad (2-7)$$

Substituindo na equação 2-1, que define a corrente elétrica, obtém-se a equação de corrente elétrica em função da área de secção reta e velocidade de arraste da carga elétrica.

$$i = \frac{dQ}{dt} = \frac{A(vdt)nq}{dt} = nqAv \quad (2-8)$$

A equação 2-8 é válida para um meio condutor que possui apenas um tipo de portador de carga. Caso mais de um tipo de portador de carga esteja presente no meio condutor, a equação 2-8 é reescrita na forma:

$$i = \left[\sum_n v_n N_n q_n \right] A \quad (2-9)$$

O termo composto pela somatória nesta equação é denominado densidade de corrente elétrica (\mathbf{J}). Ele é grandeza vetorial (na direção do vetor velocidade de arraste \mathbf{v}) que representa a carga elétrica por unidade de área. A unidade de medida utilizada é Ampère por metro quadrado (A/m^2).

$$\mathbf{J} = \left[\sum_n v_n N_n q_n \right] \hat{\mathbf{n}} \quad (2-10)$$

Em que $\hat{\mathbf{n}}$ é o vetor unitário normal à superfície A , no sentido da corrente elétrica. e

$$\mathbf{J} = \frac{i}{A} \hat{\mathbf{n}} \quad (2-11)$$

Chega-se à conclusão de que a densidade de corrente elétrica pode ser definida pela velocidade de arraste da carga elétrica [11].

2.2. FORÇA ELETROMOTRIZ

No circuito da Figura 2-5, composto por uma fonte de energia elétrica (pilha), uma chave s e um sorvedouro de energia (lâmpada), a fonte de energia “acumula” cargas através de uma força eletrostática por unidade de carga \mathbf{f}_s .

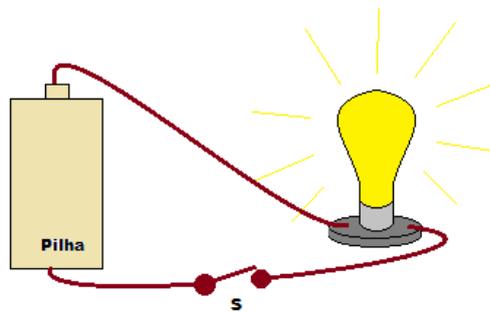


Figura 2-5. Circuito elétrico simples. Fonte: (Griffiths)

Imediatamente após o fechamento da chave s haverá um fluxo de cargas pelo circuito cuja força atuante para que isto ocorra é justamente aquela devido ao campo elétrico \mathbf{E} gerado pelas cargas “acumuladas” na fonte. O campo elétrico atua no sentido de “desacumular” as cargas e distribuí-las pelo circuito e, passados alguns instantes, tornar o fluxo de cargas estacionário.

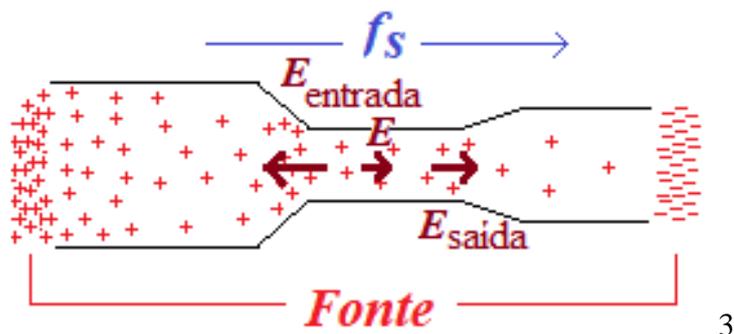


Figura 2-6. Campo elétrico gerado pelas cargas acumuladas . Fonte: (Griffiths).

Portanto, a força total por unidade de carga será, conforme equação 2-12:

$$\mathbf{f} = \mathbf{f}_s + \mathbf{E} \quad (2-12)$$

E passado o instante do fechamento da chave (estado transiente) até o regime estacionário, a integral de linha desta força no circuito será dado pela equação 6, em que \mathcal{E} é a força eletromotriz.

$$\varepsilon = \oint \mathbf{f} \cdot d\mathbf{l} = \oint \mathbf{f}_s \cdot d\mathbf{l} \quad (2-13)$$

Note que a integral de linha $\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0$ após o transiente. Embora chamada de força eletromotriz \mathcal{E} , ela não é uma força, mas energia (ou trabalho da fonte) por unidade de carga, cuja unidade é volts (V).

Em um sistema com uma fonte ideal (sem perdas de energia interna), a força líquida sobre as cargas é *nula* (senão não permaneceriam “acumuladas” na fonte), de forma que $\mathbf{E} = -\mathbf{f}_s$. A diferença de potencial medida nos terminais desta fonte é dada por:

$$V = - \int_a^b \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \int_a^b \mathbf{f}_s \cdot d\mathbf{l} = \varepsilon \quad (2-14)$$

Isto é, a diferença de potencial V é a própria força eletromotriz. Entretanto, para fontes não ideais, cuja resistência interna é *não nula*, a diferença de potencial nos terminais é menor pois parte da força eletromotriz é empregada (e a energia dissipada) pela resistência interna.

A fonte de energia elétrica pode ser resultado do trabalho de vários tipos de fontes de energia como: uma pilha (energia química), um cristal piezoelétrico, um termopar (efeito Peltier), efeito Hall (devido a um campo magnético), célula fotovoltaica (efeito fotoelétrico), capacitor, etc, que vamos nos referir à fonte como um gerador.

2.3. CAMPO MAGNÉTICO

O campo magnético e a força magnética estão presentes no dia a dia do ser humano. Seja nos dispositivos eletrônicos, como computadores, celulares, micro-ondas ou pelo simples fato de estar presente no planeta Terra. Os primeiros registros da observação de fenômenos magnéticos datam de pelo menos 2500 anos na região da cidade de Magnésia (hoje localizada na Turquia), pelo minério de nome magnetita (Fe_3O_4). Até o início do século XIX, o uso de objetos com propriedades magnéticas era limitado a orientação norte-sul, utilizada nas bússulas para navegações. Somente após a descoberta da relação corrente elétrica e campo magnético por Oersted se deu início a pesquisas para compreender como o campo magnético surge e interage com a matéria.

Um campo elétrico \mathbf{E} é um campo vetorial gerado pelas cargas elétricas q . Ao colocar uma carga de prova q_0 em um ponto P próximo ao objeto eletricamente carregado, haverá uma força elétrica \mathbf{F} de interação entre q e q_0 . Através dessa força é possível definir o campo elétrico gerado pela equação 2-15:

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}_{el}}{q_0} \quad (2-15)$$

Entretanto, essa metodologia utilizada para definir o campo elétrico não é aceitável para o campo magnético \mathbf{B} . Isso porque a carga utilizada para essa situação seria uma carga magnética (monopolo magnético), sendo que experimentalmente um monopolo magnético não existe. Antes de definir um campo magnético \mathbf{B} é necessário compreender duas interações magnéticas: a primeira ocorre quando uma carga elétrica se move no interior de um campo

magnético já estabelecido, induzindo uma força magnética F_{mag} sob ela. A segunda ocorre quando uma carga elétrica em movimento cria um campo magnético B ao seu redor.

2.3.1. Carga em movimento imersa em um Campo Magnético

Analisando a primeira situação, quando uma carga elétrica q se desloca por uma região com a presença de um campo magnético, uma força magnética surgirá e atuará nessa carga. A força magnética depende da velocidade v da carga elétrica que se move pela região do campo magnético (não há atuação da força magnética para cargas estacionárias em um campo magnético). A intensidade do campo magnético também interfere na ação da força magnética exercida na carga. Além dessas características, a direção de atuação da força magnética é sempre perpendicular à direção da velocidade e do campo magnético, conforme figura 2-7.

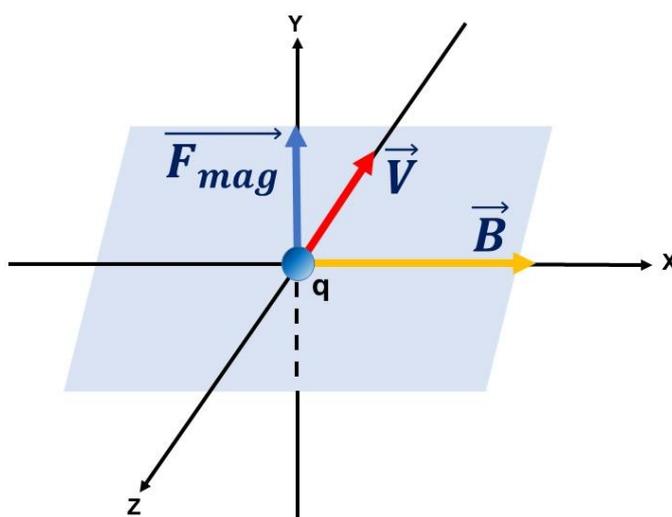


Figura 2-7. Ação da força magnética em uma carga elétrica q perpendicular à direção do campo magnético e velocidade da carga. (Fonte: Adaptado Sears e Zemansky)

A força magnética F_{mag} é expressa em função da carga elétrica q , velocidade da carga v e pelo módulo da indução magnética B :

$$F_{mag} = q(\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (2-16)$$

Assim, o módulo do campo magnético B pode ser descrito como:

$$|\mathbf{B}| = \frac{|\mathbf{F}_{mag}|}{q |\mathbf{v}|} \quad (2-17)$$

A unidade de medida utilizada para medição do campo magnético é Tesla (T), em homenagem ao físico Nikola Tesla, definido pela letra T.

2.3.2. *Campo Magnético gerado por uma carga em movimento*

Agora a análise ocorrerá no caso em que a carga elétrica em movimento gera um campo magnético \mathbf{B} ao seu redor. Primeiramente, o estudo será para uma carga elétrica puntiforme se deslocando com uma velocidade \mathbf{v} , assim, posteriormente, será possível encontrar o campo produzido por um condutor de qualquer formato.

Para o caso de uma carga puntiforme, deslocando-se com uma velocidade \mathbf{v} , o campo magnético gerado ao seu redor, assim como o campo elétrico, também é proporcional ao módulo da carga q e inversamente proporcional à distância da carga até um ponto P . Entretanto, o campo magnético é proporcional à velocidade de propagação da carga e ao seno do ângulo (ângulo φ esse em relação a uma reta que liga a carga ao ponto P e a direção de propagação da carga).

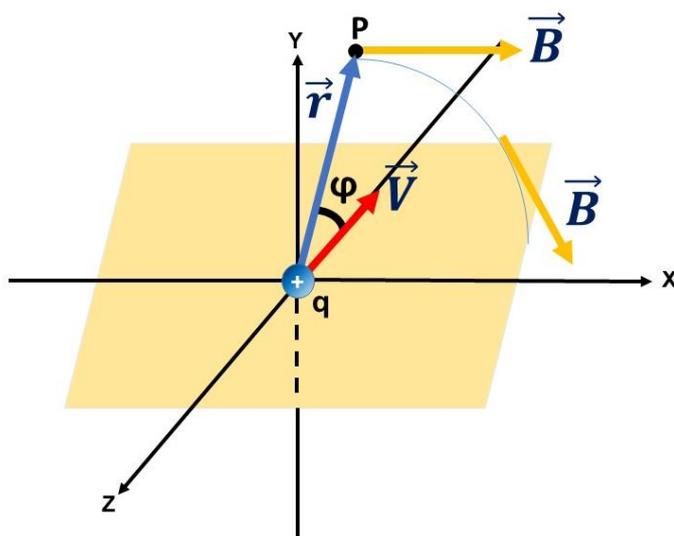


Figura 2-8. Campo magnético gerado por uma carga elétrica com velocidade \mathbf{v} . Em cada ponto ao redor da carga o vetor campo magnético é sempre perpendicular. (Fonte: Adaptado [11])

O campo magnético pode ser expresso pela equação 2-18 [11]:

$$B = \frac{\mu_0 q v \sin \varphi}{4\pi r^2} \quad (2-18)$$

Sendo μ_0 a constante magnética no vácuo, cujo valor é de $4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{T.m}}{\text{A}}$ e r é a distância da carga elétrica ao ponto P e φ o ângulo entre a velocidade e a direção da carga ao ponto P.

Na Figura 2-8 o vetor campo magnético representado é válido para uma carga puntiforme positiva. Caso a carga elétrica seja negativa o vetor campo magnético aponta para o sentido oposto ao indicado pela figura. Como mencionado, a equação é válida para uma carga pontual com uma velocidade de propagação v . No caso de uma corrente elétrica que atravessa um condutor, o princípio da superposição dos campos magnéticos pode ser aplicado, sendo que a soma vetorial dos campos magnéticos gerados por cada carga tem como resultado o campo magnético total que passa pelo condutor.

Assim, pode-se considerar que nesse condutor tenha uma quantidade n de cargas elétricas q passando em uma região volumétrica Adl , a qual pode ser descrita pela equação 2-19:

$$dQ = (nq)Adl \quad (2-19)$$

Ao substituir a equação 2-19 no módulo da carga da equação 2-18, considerando a contribuição de um pequeno elemento de carga, obtém-se:

$$dB = \frac{\mu_0 (v \sin \varphi) nq Adl}{4\pi r^2} \quad (2-20)$$

O termo $nqAv$ da equação 2-20 é igual a corrente elétrica i (equação 2-8), assim:

$$dB = \frac{\mu_0 idl \sin \varphi}{4\pi r^2} \rightarrow d\mathbf{B}_{(r)} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i d\mathbf{l} \times \hat{\mathbf{n}}}{r^2} \quad (2-21)$$

Em que $\hat{\mathbf{n}}$ é o versor unitário ao longo da linha que une o elemento infinitesimal de comprimento $d\mathbf{l}$ do condutor [5]. A equação 2-21 é uma forma de descrever a Lei de Biot e

Savart. Caso o interesse seja determinar o campo magnético ao longo de todo o condutor, basta integrar todo o segmento $d\mathbf{l}$.

$$\mathbf{B}_{(r)} = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint \frac{i d\mathbf{l} \times \hat{\mathbf{n}}}{r^2} \quad (2-22)$$

A Lei de Biot e Savart pode ser aplicada em diversos formatos de um condutor. No caso mais simples, um ponto P próximo a um condutor retilíneo o campo magnético é resultado da soma da contribuição de cada carga dq presente em um segmento do condutor de comprimento $d\mathbf{l}$, cujo comprimento total é $2L$ (Figura 2-9).

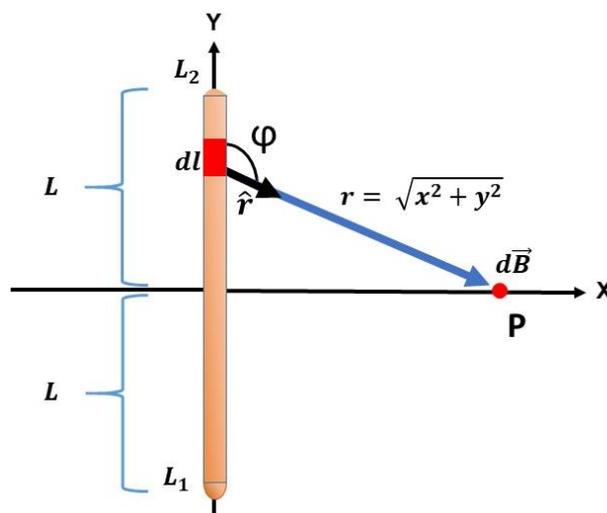


Figura 2-9. Campo magnético gerado pela região $d\mathbf{l}$ de um condutor retilíneo de dimensão $2L$ no ponto P . (Fonte: Adaptado Sears e Zemansky)

Utilizando a equação 2-22 e considerando $\sin \varphi = \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}}$, o módulo do vetor campo magnético na região $d\mathbf{l}$ pode ser encontrado. Como ao longo de todo o condutor todos os vetores $d\mathbf{B}$ são iguais, a equação 2-22 possibilita definir o módulo do campo magnético gerado pelo condutor do ponto P [11,12]. O valor do campo magnético \mathbf{B} pode ser então facilmente calculado a partir da equação 2-23, cuja direção é perpendicular ao condutor e a direção perpendicular do condutor ao ponto P .

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{L_1}^{L_2} \frac{x dy}{(\sqrt{x^2 + y^2})^2} \quad (2-23)$$

2.4. INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Antes do século XIX, não havia uma relação entre os campos Eletricidade e Magnetismo. Os cientistas estudavam e realizavam experimentos separadamente, até que em 1819 o cientista dinamarquês Hans Christian Oersted descobriu uma relação direta entre o magnetismo e a eletricidade. Em um de seus experimentos, ele percebeu que, enquanto uma corrente elétrica passava por um circuito elétrico, o ponteiro (agulha imantada) de uma bússola que estava próximo ao experimento era desviada. Ao desconectar a fonte de energia do circuito, a agulha voltava a posição de origem. Com isso, ele verificou que um condutor poderia gerar um campo magnético, quando submetido a uma diferença de potencial elétrico, a ponto de alterar o sentido da agulha de uma bússola. Esse experimento ficou conhecido e foi fundamental para estabelecer uma relação entre o magnetismo e a eletricidade, constituindo assim um novo ramo da Física, o Eletromagnetismo. Diante da relação estabelecida, a comunidade científica se voltou a realizar experimentos e a estudar possíveis fenômenos que poderiam ser explicados por esse novo ramo. Dentre as diversas descobertas, daremos enfoque a duas: A Lei de Indução de Faraday e a Lei de Lenz.

Várias são as aplicações no cotidiano das Leis de Faraday e Lenz. A produção de energia elétrica que chega nas casas, por exemplo, envolve diversos conceitos físicos. Dentre elas, sabe-se que o princípio de funcionamento de uma usina hidrelétrica, por exemplo, é devido basicamente à transformação da energia potencial gravitacional. Neste caso, a queda da água, ocasionada por um desnível, passa por uma turbina que entra em movimento (energia mecânica), conseqüentemente, acarretando na oscilação de um ímã em relação a uma bobina, ambos presentes no interior da turbina, gerando assim um fluxo magnético variável. Essa variação induz uma força eletromotriz, produzindo assim uma corrente elétrica. O fenômeno físico que embasa esse princípio é denominado Indução de Faraday, a qual será apresentado a seguir [11,12].

2.4.1. *Lei de Faraday*

Coube ao inglês Michael Faraday, em 1831, começar a formular uma teoria que explicasse as condições necessárias para que um campo magnético seja estabelecido quando uma corrente elétrica percorre um condutor. Além disso, ele verificou, experimentalmente, que havia uma simetria no experimento de Oersted, em que se uma corrente elétrica gera um campo magnético, o inverso também poderia ocorrer, ou seja, um campo magnético poderia gerar uma

corrente elétrica. Seu teste consistia em dois circuitos elétricos próximos um ao outro que, ao ligar o primeiro circuito a uma fonte de alimentação, uma corrente elétrica era detectada no segundo circuito. O mesmo acontecia ao desligar o circuito, porém, o sentido da corrente era oposto. Para explicar isso, Faraday imaginou que o campo magnético, gerado pelo primeiro circuito, ao entrar em contato com o segundo circuito iria induzir uma corrente elétrica. Para verificar essa hipótese, Faraday então resolveu aproximar um ímã de um circuito elétrico. Para sua surpresa, era apresentado uma corrente elétrica à medida que o ímã se aproximava e afastava - processo esse que mais tarde levou ao conceito de *variação do fluxo magnético* Φ_B . Ele também se indagou sobre a possibilidade de oscilar o circuito ao aproximar do ímã, a qual foi verificado de que a indução de corrente elétrica também ocorria.

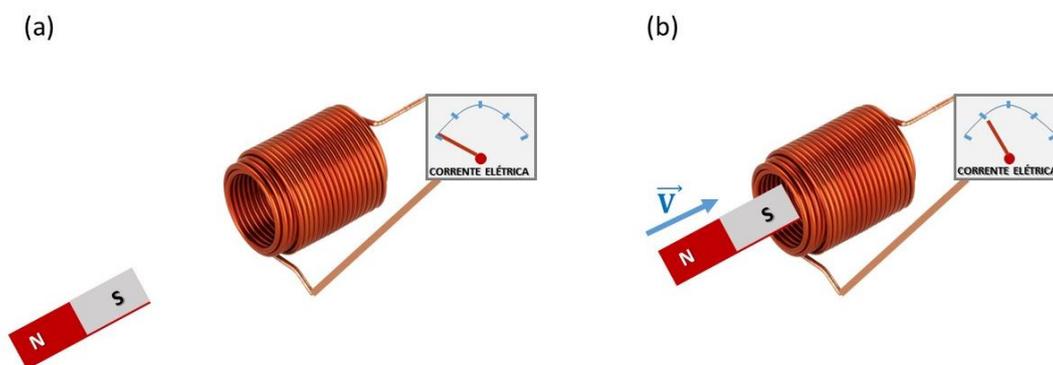


Figura 2-10. Experimento de Faraday. (a) nenhum valor de corrente elétrica detectado ao deixar um ímã parado próximo à bobina metálica. (b) corrente elétrica detectada ao aproximar o ímã da bobina metálica. (Fonte: Adaptado [11])

O conceito variação de fluxo magnético está relacionado com linhas de campo, as quais emergem de um material magnetizado. Quanto mais linhas de campo magnético atravessam uma determinada área de uma região, maior é o fluxo magnético. Portanto, a intensidade do campo magnético é diretamente proporcional ao número de linhas de campo por área.

A variação do fluxo magnético é a responsável por gerar uma força eletromotriz (*fem*) que induzirá uma corrente elétrica pelo circuito. Isso só ocorre devido a essa variação, caso o campo magnético seja constante, não haverá *fem* (\mathcal{E}). Para uma área infinitesimal dA na presença de um campo magnético \mathbf{B} , o fluxo magnético $d\Phi_B$ pode ser calculado da seguinte forma:

$$d\Phi_B = \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = B dA \cos\varphi \quad (2-24)$$

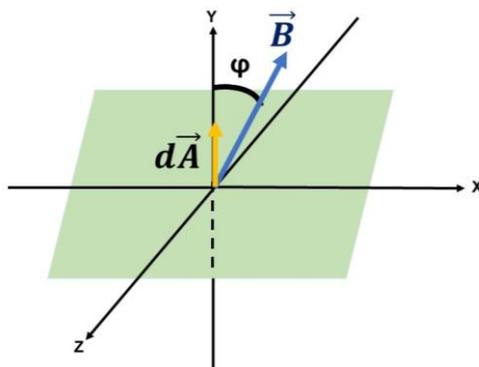


Figura 2-11. Presença de um campo magnético variável em uma região infinitesimal, gerando assim um fluxo magnético. (Fonte: Adaptado [11])n

O ângulo φ varia conforme inclinação do campo magnético em relação à área infinitesimal. Caso o sentido do campo esteja apontando de dentro para fora do plano (mesmo sentido e direção do vetor infinitesimal $d\mathbf{A}$), o ângulo φ será nulo indicando a máxima contribuição para o fluxo.

Ao integrar o fluxo magnético em uma área infinitesimal, obtém-se o fluxo magnético total.

$$\Phi_B = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = \int B dA \cos\varphi \quad (2-25)$$

A variação do fluxo magnético Φ_B em função do tempo dt faz com que uma *fem* \mathcal{E} seja induzida no circuito elétrico. Porém, um fluxo constante não gera uma *fem* \mathcal{E} em um circuito. Assim, diante do conceito de fluxo magnético em casos de campos variáveis, em 1845 o físico alemão Franz Ernst Neumann descreveu a Lei de Faraday:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (2-26)$$

A *fem* \mathcal{E} é devido ao movimento das cargas. Isto também ocorre quando movimentamos um fio carregado no interior de um campo magnético resultante da ação de um trabalho

mecânico, que será convertido em trabalho por unidade de carga (ou *fem* \mathcal{E}), medida entre as extremidades do fio.

Em 1831, Michael Faraday executou três experimentos com o gerador da Figura 2-12:

- Movimentou a espira com velocidade constante \mathbf{v} dentro do campo magnético constante \mathbf{B} , com o plano da espira perpendicular ao campo;
- Manteve a espira estática e movimentou o campo magnético;
- Manteve ambos fixos, mas variou a intensidade do campo \mathbf{B} .

Em ambos os experimentos, uma corrente elétrica atravessou o resistor R , atestando a validade da lei de indução de Faraday e demonstrando que existem duas formas diferentes de produzir corrente através da variação do fluxo magnético, a variação da área ou a variação da intensidade do campo.

$$\mathcal{E} = \int \mathbf{f}_{mag} \cdot d\mathbf{l} = qvBl \quad (2-27)$$

Sendo v a velocidade da carga q no interior do fio, \mathbf{B} é a região do campo magnético e l o comprimento do fio. Na Figura 2-12 tem-se um segmento de comprimento h (à esquerda) e outros 2 segmentos de comprimento x na parte superior e inferior do circuito.

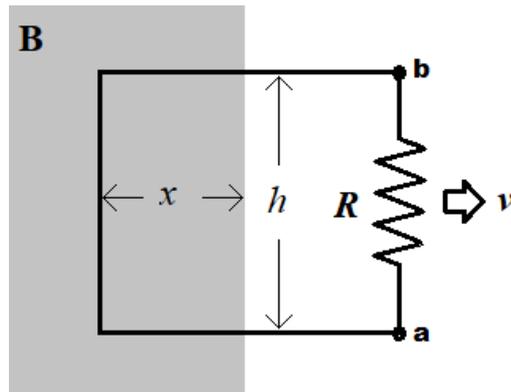


Figura 2-12. Modelo de gerador formado por uma espira retangular imersa em um campo magnético \mathbf{B} . Fonte: (Griffiths)

Outra maneira de expressar é considerar o fluxo magnético (Equação 2-25) que atravessa um determinada área:

$$\phi = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{a} = B(xh) = B(vt)h \quad (2-28)$$

Em que $x = vt$, na Figura 2-12, que limita a área definida seguimentos do circuito. Portanto, a variação desse fluxo em função do tempo é a *fem*, dado pela equação 2-26:

$$\varepsilon = \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d\phi}{dt} \quad (2-29)$$

Então \mathbf{E} está relacionado com a variação do campo magnético \mathbf{B} através da equação 2-12:

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\int \left(\frac{d}{dt}\mathbf{B}\right) \cdot d\mathbf{A} \quad (2-30)$$

A equação 2-30 é a Lei de Faraday na forma de integral. Aplicando o teorema de Stokes, a lei de Faraday pode ser escrita como:

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{d\mathbf{B}}{dt} \quad (2-31)$$

Quando $\mathbf{B} = \text{constante}$, $\nabla \times \mathbf{E} = \mathbf{0}$ (magnetostática). O que a lei de Faraday nos diz é que existem 2 tipos de campos elétricos, aquele gerado pelas cargas elétricas (independente do seu movimento) e outro gerado pelas cargas em movimento dentro de um campo magnético [5].

2.4.2. Lei de Lenz

Embora Faraday tenha conseguido criar uma equação que possibilita determinar o valor da força eletromotriz, ele não conseguiu estabelecer uma lei que determinasse o sentido da corrente elétrica induzida. Coube a Heinrich Lenz completar a teoria da indução de Faraday.

A lei de Lenz pode ser relacionada com o princípio da conservação de energia. A Figura 2-13.a mostra um ímã com o polo norte direcionado para um circuito elétrico circular. Ao aproximar o ímã do circuito elétrico (Figura 2-13.b), de acordo com a Lei de Faraday, uma corrente elétrica será induzida devido a variação do fluxo magnético $\frac{d\Phi_B}{dt}$. Como consequência, essa corrente elétrica induzida gera um campo magnético para se opor a força magnética do ímã. A medida que se aproxima o ímã, a força magnética de oposição aumenta e ao afastá-lo diminui (Figura 2-13.c).

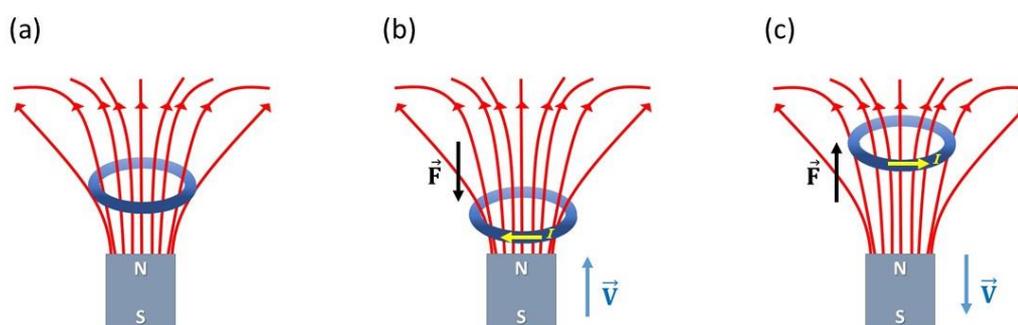


Figura 2-13. Lei de Lenz para definir o sentido da corrente elétrica. (a) ímã parado na presença de um campo magnético. (b) força magnética oposta a força magnética do ímã ao aproximar, induzindo uma corrente no sentido anti-

horário. (c) força magnética a favor da força magnética do ímã ao afastar, induzindo corrente no sentido horário. (Fonte: Adaptado [11])

O campo magnético gerado depende do sentido da corrente elétrica do condutor, que pode ser determinado utilizando a regra da mão direita, em que o polegar esticado indica a direção e o sentido do campo magnético \vec{B} gerado pelo circuito e os demais dedos indicam o sentido da corrente elétrica induzida i . Portanto, de acordo com a Figura 2-13.b, o sentido da corrente elétrica é anti-horário; já na Figura 2-13.c, o sentido é horário [11].

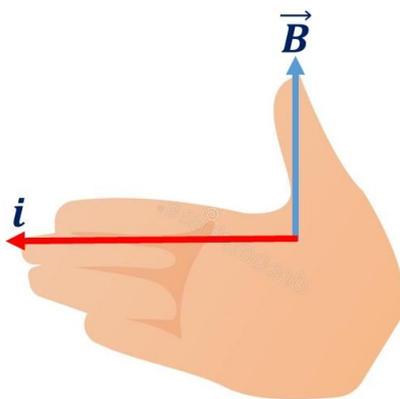


Figura 2-14. Regra da mão direita. O polegar esticado, fazendo um ângulo de 90° com os demais dedos, aponta a direção e sentido do campo magnético \vec{B} . Os demais dedos apontam a direção e sentido da corrente elétrica induzida i . (Fonte: Adaptado [11])

2.4.3. *Indução magnética mútua M*

Quando duas espiras estão próximas, como na Figura 2-15, tem-se que o campo magnético da espira 1 é:

$$\mathbf{B}_{1(r)} = \frac{\mu_0}{4\pi} i_1 \int \frac{d\mathbf{l} \times \hat{\mathbf{n}}}{n^2} \quad (2-32)$$

Como consequência, gera uma indução na espira 2:

$$\phi_2 = \int \mathbf{B}_1 \cdot d\mathbf{a}_2 \quad (2-33)$$

Substituindo a equação 2-32 na equação 2-33, resulta em:

$$\Phi_2 = \int \frac{\mu_0}{4\pi} i_1 \int \frac{d\mathbf{l}_1 \times \hat{\mathbf{n}}}{n^2} \cdot d\mathbf{a}_2 \quad (2-34)$$

Reorganizando esta equação temos:

$$\Phi_2 = \left[\frac{\mu_0}{4\pi} \int \left(\int \frac{d\mathbf{l}_1 \times \hat{\mathbf{n}}}{n^2} \right) \cdot d\mathbf{a}_2 \right] i_1 \quad (2-35)$$

O primeiro termo desta equação é uma constante de proporcionalidade e pode ser expressa como M_{21} . Portanto, a equação pode ser reescrita:

$$\Phi_2 = M_{21} i_1 \quad (2-36)$$

Esta quantidade é puramente geométrica (assim como a resistência e a capacitância) e depende do tamanho, forma (de cada espira) e da distância entre as espiras, isto é:

$$M_{21} = M_{12} = M \quad (2-37)$$

Conhecida como a indutância mútua M de duas espiras.

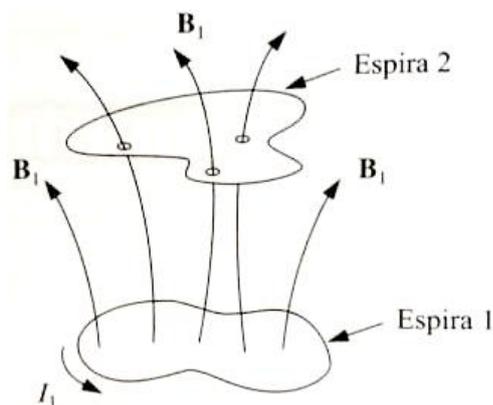


Figura 2-15. Duas bobinas em paralelo. Fonte: (Griffiths)

Ao variar a corrente na bobina 1, um fluxo magnético irá variar e, de acordo com a Lei de Faraday, essa variação do fluxo induzirá uma *fem* na bobina 2.

$$\varepsilon_2 = -\frac{d\Phi_2}{dt} = -M \frac{di_1}{dt} \quad (2-38)$$

Note que a força eletromotriz induzida depende da variação de i . Correntes *constantes* não geram indução. Portanto i deve ser dependente do tempo t .

2.4.4. *Autoindutância magnética L*

Da mesma forma que uma espira pode induzir uma corrente em outra espira, ocorrerá indução nela própria, através da geração de uma contracorrente, neste caso chamada de autoindução L .

$$\Phi = L i \quad (2-39)$$

Assim como a resistência, a autoindução atua como uma impedância (“resistência”) à corrente, criando uma contracorrente que tende a anular os efeitos da corrente que circula na bobina. Naturalmente, como no caso da resistência, o valor de L determinará o nível de impedância (ou a parte da corrente neutralizada).

2.4.5. *Energia magnética armazenada em um indutor L*

Da mesma forma, um indutor também se comporta como um acumulador de energia (“capacitor”), mas do campo magnético, semelhante à função do campo elétrico nos capacitores.

O trabalho executado pela força eletromotriz induzida no circuito é o trabalho por unidade de carga \mathcal{E} multiplicado pela carga que circula no circuito:

$$W = -q \varepsilon_{ind} \quad (2-40)$$

Podendo ser reescrita em função da corrente elétrica:

$$W = \frac{1}{2} Li^2 \quad (2-41)$$

Ou seja, o indutor (ou conjunto de espiras conectadas ao circuito) atua simultaneamente como um “resistor” e como um “capacitor”. Entretanto, a corrente deve depender do tempo. A autoindutância (e a indutância mútua) depende de $\frac{d}{dt} i$ e podemos inferir que os indutores têm efeito desprezível para pequenas variações de corrente, mas importante quando as variações são significativas ou de alta frequência. Portanto, em circuitos com correntes com baixa frequência de oscilação, os resistores e capacitores dominam enquanto os indutores dominarão em regime de alta frequência [5].

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo apresentaremos uma revisão sobre os principais temas pertinentes à elaboração e execução desta dissertação. Primeiramente apresentaremos a metodologia da Aprendizagem Significativa (AS) desenvolvida por David Ausubel e a ferramenta desenvolvida por Joseph Novak, o Mapa Conceitual (MC). Na sequência apresentaremos os conteúdos os quais foram trabalhados com os alunos do 3º ano do ensino médio.

3.1. APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Existem três formas de aprendizagem: cognitiva, afetiva e psicomotora. A cognitiva é relacionada a maneira com que as informações são armazenadas na mente ao aprender, dentro de uma estrutura denominada estrutura cognitiva. A afetiva é o resultado das experiências que o indivíduo passa, como: prazer, dor, satisfação, alegria e tristeza. E por último, a psicomotora tem como resultado as habilidades motoras que o indivíduo possui [6].

David. Ausubel¹, psicólogo norte-americano, propõe uma explicação teórica para o processo de aprendizagem cognitiva, denominada Aprendizagem Significativa. Segundo ele, as informações que chegam ao indivíduo devem ser armazenadas de forma organizada na estrutura cognitiva para que a real aprendizagem ocorra. Assim, ao adquirir novas informações, os conceitos já formados e bem estruturados, denominado “subsunçor”², são utilizados para esclarecer e ajudar a relacionar com um conceito já bem definido e, conseqüentemente, usado como “âncora” para estruturar o novo aprendizado na estrutura cognitiva. Essa relação cognitiva não se restringe apenas a obter conceitos novos, serve também para reestruturar um conceito já definido, mas para isso há a necessidade de obter novas informações que confrontem com a que foi utilizada anteriormente [7, 8].

¹ Norte-americano nascido em 1918, com formação em medicina e psicologia. Após se formar, resolve dedicar-se à educação no intuito de buscar melhorias para o aprendizado. Contrário à aprendizagem mecânica, torna-se representante do cognitivismo, o qual posteriormente propõe a Teoria da Aprendizagem Significativa.

² A palavra “subsunçor” não existe no dicionário português. É uma tradução da palavra inglesa “subsumer”, que na tradução livre seria inseridor.

Como especialista em psicologia educacional, Ausubel defende a metodologia por Aprendizagem Significativa nas salas de aula, usando o conhecimento prévio do aluno como base para novas aprendizagens.

Se eu tivesse que reduzir toda psicologia educacional a um único princípio, diria isto: O fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra o que ele sabe e baseie nisso os seus ensinamentos [7].

3.1.1. *Aprendizagem Significativa no Ensino de Física*

Ao apresentar um conceito de física ao aluno, a estrutura cognitiva busca relacionar o novo termo com algum conceito já pré-definido que esteja armazenado na estrutura. Como exemplo, um professor de física ao apresentar a definição de força para um aluno do primeiro ano do ensino médio acaba o associando como um “subsunçor” já bem definido na estrutura cognitiva desse aluno que o esforço físico: empurrar e puxar um determinado corpo [7]. Após o professor definir o conceito físico de força, novas informações serão enviadas para a estrutura cognitiva e uma reestrutura ocorrerá de forma a organizar novamente esse conceito. Essa reorganização, caso seja de modo eficiente, será importante para compreender adiante outros conceitos, como: força peso, força de atrito e força elástica.

Em contrapartida, quando um aluno decora uma fórmula ou uma lei da física para realizar uma prova no dia seguinte, as novas informações que chegam são distribuídas ao longo de toda estrutura cognitiva sem haja interação com conceitos relevantes existentes, acarretando em um armazenamento de forma desorganizada. Com isso, o aluno aprende somente aquilo que foi falado ou escrito, apresentando dificuldade em realizar uma interpretação do que foi ensinado. Esse tipo de aprendizagem foi denominado por David Ausubel como uma Aprendizagem Mecânica, pois resulta na aplicação mecânica de conteúdo, sem a necessidade de compreensão por parte do aprendiz [8,10].

3.1.2. *Aprendizagem Significativa e Mapas Conceituais*

Tendo como base a Aprendizagem Significativa, Joseph Novak³ propôs o uso de representações gráficas, semelhantes a diagramas, que permitem expor as relações hierárquicas dos conceitos que estão estabelecidos na estrutura cognitiva de uma pessoa [9]. Essa ferramenta,

³ Norte-americano nascido em 1930 formado em ciências e matemática e biologia. Toda sua pesquisa está centrada na Aprendizagem Humana, a qual ele desenvolveu a Teoria de Mapa Conceitual.

denominada de Mapas Conceituais (MC), permite que o professor analise o aprendizado do aluno ao verificar como estão formadas as representações gráficas. O uso de MCs têm sido de grande utilidade para ajudar na aprendizagem significativa no âmbito escolar.

Ausubel sustenta o ponto de vista de que cada disciplina acadêmica tem uma estrutura articulada e hierarquicamente organizada de conceitos que constitui o sistema de informações dessa disciplina. [...] Esses conceitos estruturais podem ser identificados e ensinados ao estudante, constituindo para ele um sistema de processamento de informações, um verdadeiro mapa intelectual que pode ser usado para analisar o domínio particular da disciplina e nela resolver problemas [7].

Um MC é formado basicamente por três elementos, são eles: conceitos, relações e as sentenças. Os conceitos correspondem às principais ideias ou tópicos, como se fossem as palavras chaves e aparecem dentro de retângulos ou círculos; as relações são os conectores entre os conceitos primários e secundários e as sentenças exercem o papel da representação entre dois conceitos. Essa estrutura deve ser esclarecida aos alunos, pois o MC não é autoexplicativo, necessita mostrar a forma de montar, as hierarquias a serem seguidas e como usar os conectores.

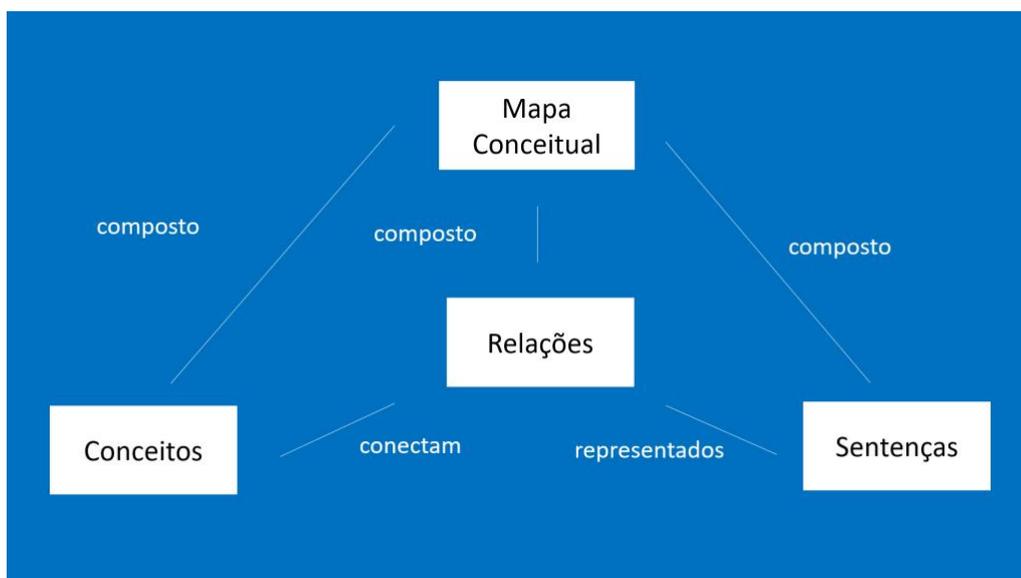


Figura 3-1. Mapa Conceitual dos elementos do MC. [Fonte: Autor.]

3.2. ALGUNS TRABALHOS EM ENSINO DE ELETROMAGNETISMO

A aprendizagem de conceitos de física no Brasil é um tema que tem sido estudado e pesquisado por alguns autores, os quais buscam estratégias de ensino visando melhorar o ensino-aprendizado [14]. Dentre as pesquisas em ensino de física, os conceitos de mecânica clássica são os mais debatidos [15], talvez devido aos inúmeros exemplos práticos no cotidiano

e na facilidade em realizar experimentos, comparado com a mecânica quântica. Entretanto, os conceitos de eletromagnetismo, comparado com os outros conteúdos, são pouco pesquisados no Brasil [16], sendo que poderiam ser mais explorados devido ao seu potencial uso. Há alguns fatores que levam a pouca utilização dessa área da física, um deles é a dificuldade, por parte dos alunos, em compreender a abstração de alguns fenômenos físicos, como exemplo, em visualizar os campos magnéticos no espaço tridimensional, bem como os cálculos matemáticos que está envolvido [17]. Apesar disso, alguns trabalhos foram feitos abordando a parte histórica, teórica e experimental do eletromagnetismo [18].

No campo de eletromagnetismo, há inúmeros trabalhos relacionados com experimentos que envolvem a Lei de Faraday e Lenz [19], como o ensino de física por investigação [20] e experimental [21]. Além disso, estudos têm explorado o uso de mapas conceituais como estratégia para promover a aprendizagem significativa de eletromagnetismo, como demonstrado por Oliveira (2017) em “Utilização de Mapas Conceituais no Ensino de Eletromagnetismo: uma Estratégia para a Aprendizagem Significativa” [22]. Nesse estudo, a utilização de mapas conceituais auxiliou na organização e conexão dos conhecimentos, facilitando a compreensão dos conceitos pelos alunos. A construção dos mapas conceituais permitiu que os alunos visualizassem a estrutura do conhecimento em eletromagnetismo e estabelecessem relações entre os conceitos.

No que se refere à utilização da metodologia de ensino de David Ausubel para ensinar o conteúdo de eletromagnetismo, existem vários trabalhos relevantes. Entre eles estão “Uso de experimentos no ensino de eletromagnetismo: uma abordagem baseada na aprendizagem significativa” [23]. Nesta dissertação de mestrado, o autor explora a utilização de experimentos como estratégia de ensino para promover a aprendizagem significativa no eletromagnetismo. O trabalho fundamenta-se na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e demonstra a eficácia dos experimentos na construção de conhecimento pelos alunos nessa área específica da física. Outro trabalho é o "Experimentos de eletromagnetismo com uso de materiais alternativos: uma abordagem para a aprendizagem significativa" [24]. Nesta dissertação, a autora aborda o uso de materiais alternativos em experimentos de eletromagnetismo como forma de promover a aprendizagem significativa dos estudantes. Destaca-se a importância de utilizar recursos acessíveis e de baixo custo para desenvolver experimentos práticos que estimulem a participação ativa dos alunos e facilitem a compreensão dos conceitos eletromagnéticos. Na mesma área um artigo se destaca: "Aprendizagem significativa e o uso de experimentos no ensino de eletromagnetismo" [25]. Neste artigo, os autores discutem a relação

entre aprendizagem significativa e o uso de experimentos no ensino de eletromagnetismo. Enfatizam a importância de estabelecer uma conexão significativa entre os conceitos teóricos e as experiências práticas, ressaltando os benefícios dos experimentos como ferramentas facilitadoras da aprendizagem dos alunos nessa área. E, por fim, "Experimentos de eletromagnetismo no ensino médio: uma abordagem baseada na aprendizagem significativa" [26]. Este estudo apresenta uma abordagem de ensino baseada na aprendizagem significativa para o uso de experimentos de eletromagnetismo no ensino médio. Destaca-se como a prática experimental pode ajudar os alunos a construir conhecimento e compreender os conceitos eletromagnéticos de forma significativa, contribuindo para um aprendizado mais efetivo nessa etapa da educação.

Alguns estudos têm utilizado ferramentas gráficas para analisar a estrutura cognitiva dos alunos, buscando verificar o impacto da aprendizagem significativa nesse contexto. O uso dos mapas conceituais, como mencionado anteriormente, pode ser uma forma de aplicar a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel no ensino de eletromagnetismo, proporcionando uma análise da incorporação de novas informações nos subsúncos dos alunos. Essa abordagem é importante para garantir resultados positivos no processo de ensino-aprendizagem, pois apenas realizar experimentos sem um planejamento adequado e uma metodologia embasada na aprendizagem significativa pode prejudicar a compreensão dos conceitos. Além disso, o uso do smartphone como ferramenta para a educação tem sido implementado para auxiliar nos experimentos didáticos, considerando que essa tecnologia faz parte do processo de evolução mundial e não deve ser visto como um problema em sala de aula [27].

No estudo "Uso de Dispositivos Móveis no Ensino de Física: Contribuições para a Aprendizagem Significativa" realizado por Soares e Gomes (2018), é investigado o impacto do uso de aplicativos móveis no ensino de física [28]. O estudo revela que a utilização de aplicativos específicos pode promover uma aprendizagem mais significativa, estabelecendo uma conexão entre os conceitos teóricos e sua aplicação prática, além de estimular o interesse dos alunos e facilitar a compreensão dos conteúdos. Santos, Sampaio e Quaresma (2020), em seu trabalho intitulado "Aplicativos Móveis e Aprendizagem Significativa: Contribuições para o Ensino de Física" [29], exploram o uso de aplicativos móveis como ferramentas para promover a aprendizagem significativa em física. O estudo destaca a importância de selecionar aplicativos adequados, que proporcionem uma experiência interativa e desafios cognitivos aos alunos, possibilitando a construção de conhecimento de forma significativa e facilitando a compreensão dos fenômenos físicos. No estudo "O Uso do Smartphone como Recurso Didático

no Ensino de Física" [30], realizado por Rodrigues e Ribeiro (2020), é investigado o potencial do smartphone como ferramenta de ensino em física. O estudo revela que o uso do dispositivo móvel pode estimular a participação ativa dos alunos, facilitar a visualização de fenômenos físicos e promover a aprendizagem significativa. Através do uso de aplicativos específicos, os alunos têm a oportunidade de construir conceitos de forma mais concreta e compreender melhor os fenômenos estudados.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir apresentamos a descrição sumarizada da metodologia aplicada e a aplicação do produto.

4.1. METODOLOGIA

Como já mencionado acima, o presente trabalho tem como objetivo conciliar teoria e práticas experimentais utilizando a metodologia de ensino proposta por David Ausubel, a Aprendizagem Significativa (AS). Já os temas escolhidos para serem trabalhos com os alunos foram: Lei de Faraday e Lei de Lenz. Os motivos da escolha desses temas foram devido à importância científica, que causou uma revolução na física com o surgimento do Eletromagnetismo. Além de que, esse marco científico normalmente não é enfatizado em todas as escolas, por isso, visto essa defasagem, despertou-me o interesse de elaborar uma estratégia de ensino de modo que auxilie na formação do aluno.

Os conteúdos trabalhados, adequam-se, de acordo com a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), com os anos finais do ensino médio, portanto, o público alvo deste trabalho são os alunos do terceiro ano do ensino médio matutino de uma escola estadual de Fama. A turma selecionada para a aplicação do produto constitui-se de um grupo reduzido de alunos, contando com apenas 18 estudantes. Essa quantidade é considerada relativamente baixa em comparação com as demais turmas presentes em instituições escolares similares. Cabe ressaltar que houve uma diminuição de aproximadamente 30% em relação ao número de alunos matriculados no ano anterior, decorrente de fatores como: evasão escolar e transferências para outras instituições de ensino.

A redução no tamanho da turma pode ser resultado de diferentes circunstâncias, como questões socioeconômicas, mudanças de residência ou insatisfação dos estudantes com a instituição escolar. Essa diminuição impacta diretamente a dinâmica da sala de aula, proporcionando um ambiente mais íntimo e propício para a interação entre os alunos e o professor. Além disso, permite uma atenção mais individualizada e personalizada por parte do docente, favorecendo o acompanhamento mais próximo do progresso e das necessidades educacionais de cada aluno.

Embora a redução do número de estudantes possa ser vista como um desafio para a instituição escolar em termos de eficiência e recursos, ela também pode apresentar oportunidades. Uma turma menor tende a criar um ambiente mais acolhedor e favorável ao aprendizado, promovendo a participação ativa e a troca de conhecimentos entre os alunos. Essa configuração proporciona ao professor a possibilidade de adotar estratégias pedagógicas diferenciadas, explorando de maneira mais abrangente as potencialidades individuais e coletivas dos estudantes.

Além disso, a diminuição do tamanho da turma pode contribuir para a construção de um ambiente de ensino mais colaborativo, onde os alunos são incentivados a interagir e compartilhar ideias. Essa interação promove um maior engajamento dos estudantes nas atividades propostas, fomentando o desenvolvimento de habilidades sociais e a construção coletiva do conhecimento. O diálogo entre os alunos e o professor é facilitado, permitindo um acompanhamento mais próximo do processo de aprendizagem e uma identificação mais rápida de eventuais dificuldades ou necessidades específicas dos alunos.

A aplicação do produto em questão foi realizada no primeiro semestre de 2022. É importante ressaltar que, durante esse período, a instituição educacional mencionada estava sujeita aos efeitos de um decreto municipal, especificamente o Decreto 011/2022, que entrou em vigor em 28 de fevereiro. Esse decreto estabeleceu diretrizes para a proteção e prevenção da propagação da COVID-19, em resposta ao aumento do número de casos registrados no âmbito municipal.. Em consonância com as medidas adotadas, foram implementadas práticas de distanciamento físico, reforçou-se a utilização de álcool em gel e outras ações sanitárias pertinentes. Ademais, aproximando do fim do decreto, a escola promoveu uma reunião com os docentes, na qual deliberaram sobre a necessidade de manter o protocolo até o dia 10 de março, devido ao agravamento do quadro epidemiológico, visando salvaguardar a saúde e a segurança de todos os envolvidos no processo educativo. Importa ressaltar que essa interrupção não abrangeu a totalidade do primeiro semestre, porém coincidiu com o período de realização dos experimentos inerentes ao produto em análise. Portanto, a aplicação do produto foi conduzida pelo professor e realizada individualmente pelos alunos, sendo da seguinte maneira: os alunos foram direcionados a uma mesa onde estavam dispostos os experimentos relacionados aos temas da Lei de Faraday e da Lei de Lenz. Cada aluno teve a oportunidade de realizar testes, observar os fenômenos e coletar dados relevantes para responder às perguntas propostas na sequência didática. O tempo médio dedicado a cada aluno foi de aproximadamente 5 minutos

por experimento. Antes da aplicação dos experimentos, os alunos receberam sequência didática em uma aula anterior, permitindo que fizessem uma leitura prévia e se familiarizassem com o conteúdo. Durante os procedimentos, os alunos puderam fazer anotações e registros na folha entregue, utilizando os dados coletados como base para responder ao questionário que se encontra no final. Após concluir a realização dos experimentos, os alunos seguiram o protocolo sanitário em vigor e higienizaram as mãos com álcool em gel. Em seguida, retornaram às suas respectivas carteiras para iniciar a resposta às perguntas.

Antes de detalhar a aplicação do produto, é importante ressaltar que no ano anterior, em 2021, os alunos, que estavam no segundo ano do ensino médio na época, receberam aulas teóricas sobre eletromagnetismo no quarto bimestre. Essa introdução prévia possibilitou a aplicação do produto no final do primeiro semestre de 2022, uma vez que os alunos já possuíam conhecimentos básicos sobre eletrostática, como cargas elétricas, interação entre cargas elétricas, processos de eletrização e campo elétrico. Portanto, no início do ano letivo de 2022, após uma breve revisão de eletrostática foi possível dar continuidade ao conteúdo de eletrodinâmica e iniciar a aplicação do produto, conforme será apresentado nesse tópico.

Para organizar a estratégia de ensino, algumas etapas foram elaboradas, conforme Tabela 4-1.

Tabela 4-1. Etapas da metodologia utilizada no trabalho.

ETAPA	DATA	ATIVIDADES DESENVOLVIDAS	DETALHES
1	16 fev/22	Apresentação do MC e realização de MCs.	Apresentar uma nova ferramenta de organização estrutural.
2	17 fev/22	Realização do MC sobre Eletromagnetismo.	Análise da concepção usando MC
3	22 fev/22	Aula expositiva sobre o conteúdo: corrente elétrica.	Apresentar o conteúdo do ponto de vista científico.
4	23 fev/22	Aula expositiva sobre o conteúdo: campo magnético.	Apresentar o conteúdo do ponto de vista científico.

5	24 fev/22	Aula expositiva sobre Lei de Faraday e Lei de Lenz.	Introduzir novas informações ao subunçor.
6	03 março/22	Experimento: Pêndulo Eletromagnético.	Aplicação do produto em sala de aula com apoio da SD.
7	08 março/22	Experimento: Transformador.	Aplicação do produto em sala de aula com apoio da SD.
8	09 março/22	Experimento: Eletroímã.	Aplicação do produto em sala de aula com apoio da SD.
9	10 maio/22	Aplicação do MC relacionando os experimentos com os conceitos introduzidos pelo professor.	Análise do MC para futura comparação.
10	18 e 31 maio/01 e 07 maio/22	Análise e comparação dos MCs.	Verificar organização das ideias e eventual progresso.

4.1.1. *Mapa Conceitual na Sala de Aula*

Antes de introduzir os conteúdos de eletromagnetismo, foi apresentado a ferramenta Mapa Conceitual (MC), sua utilidade e seus elementos com o intuito de familiarizarem com a novidade. Apresentei aos alunos exemplos de MCs e, por último, solicitei que fizéssemos em conjunto um MC com um tema conhecido por todos: celular. A palavra-chave: celular, em caixa alta, foi escrita no centro da lousa e, posteriormente, os alunos tiveram a liberdade em participarem e continuarem a realização do diagrama (Vale ressaltar que devido ao Protocolo Sanitário de Retorno às Atividades Escolares Presenciais no contexto da pandemia da COVID-19 os alunos não se direcionaram à lousa para o preenchimento, sendo esse um trabalho exercido somente por mim). O MC obtido está representado na Figura 4-1.

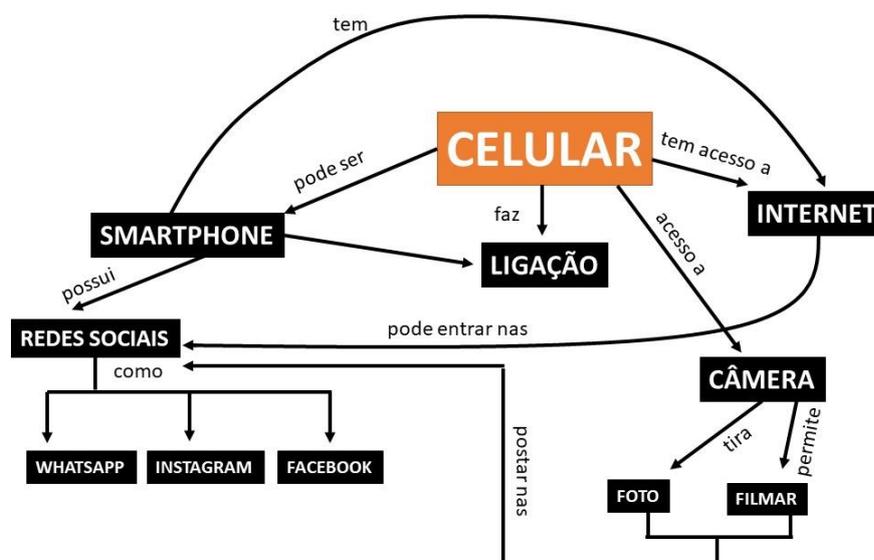


Figura 4-1. Exemplo de proposta de MC aos alunos cujo tema: celular. (Fonte: autor)

Após a realização de um MC em conjunto, foi apresentada a parte teórica de um MC, explicando a estrutura e as diversas maneiras que podem ser construídos, como: unidimensional, bidimensional ou tridimensional, de modo que possibilite ao professor fazer uma interpretação dos conceitos hierárquicos construídos para que ocorra a identificação dos subsunçores e determinar se houve concretização do aprendizado. Posteriormente, foi solicitado aos alunos que realizem, individualmente, dois MCs, bidimensionais sobre o tema eletromagnetismo. O intuito de realizar o MC de uma área tão ampla é justamente para instigar ao aluno a transcrever tudo que está na sua estrutura cognitiva, possibilitando assim uma posterior análise por parte do professor sobre como está a organização dos tópicos dessa área na estrutura cognitiva.

Segundo o autor Moreira [7], a utilização do MC é recomendada quando os alunos já têm noção do assunto. Entretanto, a metodologia utilizada no presente trabalho faz uso do MC para analisar a concepção do aluno sobre eletromagnetismo e, posteriormente, fazer uma comparação com o MC que será solicitado ao término da aplicação do produto com intuito de verificar se houve uma reorganização dos subsunçores ou implemento de novos conceitos na rede cognitiva.

4.2. APRESENTAÇÃO DO CONTEÚDO

Após a realização do MC pelos alunos, cinco aulas foram dedicadas exclusivamente para lecionar os conteúdos necessários para a aplicação e compreensão do produto desta dissertação, são eles: corrente elétrica, campo magnético, Lei de Faraday e Lei de Lenz.

Na segunda etapa foi apresentado, em *slides*, o conteúdo de corrente elétrica, seguindo a proposta da BNCC. Como forma de iniciar a abordagem do conteúdo, parti de subsunçores que possivelmente são do conhecimento do aluno. Como exemplo, ao introduzir o conceito de corrente elétrica, o subsunçor “corrente” foi inicialmente introduzido, mostrando as diversas aplicações desse popular substantivo, tais como: corrente de bicicleta, corrente de prata etc. Assim, foi possível associar e fazer a conexão do substantivo “elos” - que proporcionam a criação de uma corrente - com “cargas elétricas”. Como forma de auxiliar na didática do ensino, utilizei o recurso do *DataShow* para exemplificar a corrente elétrica através de imagens interativas, no caso, *Giffs*. Vale ressaltar que no momento da introdução do conteúdo corrente elétrica os alunos já estudaram carga elétrica e eletrostática.

No conteúdo de campo magnético, fiz uma breve revisão de campo elétrico e, posteriormente, iniciei com o contexto histórico da descoberta da relação corrente elétrica e campo magnético por Oersted, ressaltando esse importante fator histórico que contribuiu para o desenvolvimento da humanidade. Como auxílio para o ensino, também utilizei imagens interativas com o objetivo de demonstrar o experimento de Oersted e também para mostrar o comportamento das linhas de campo, a qual estão presentes no espaço, em que, posteriormente, foi essencial para dar auxílio na explicação de fluxo magnético.

Como sequência da relação da eletricidade e magnetismo, as leis de Faraday e Lenz foram apresentadas aos alunos em duas aulas de cinquenta minutos, tempo esse estipulado devido a necessidade de explicar também os conceitos de fluxo magnético e força eletromotriz. Para o conceito de fluxo magnético, fiz uma assimilação de linhas de campo magnético que atravessam uma determinada área. Como forma de auxiliar na explicação de fluxo magnético, utilizei a analogia do fenômeno “chuva”, em que as gotas de água que caem das nuvens são como as linhas de campo magnético e o local que a chuva cai, ou seja, a região onde ela molha será a área aplicada. Já para *fem* é importante associar com a produção de corrente elétrica. Mostrei, usando imagens interativas, como uma corrente elétrica é produzida apenas aproximando um ímã de uma bobina, ou seja, variando o fluxo magnético. Como esse é um

conceito novo ao aluno, não utilizei analogia, visto que ao tentar exemplificar, poderia comprometer a aprendizagem. Portanto, parti da concepção que uma nova informação foi fornecida, pois nem sempre uma analogia é o ideal para explicar tal conceito, assim como explicar o *spin* de um elétron.

Ao explicar *fem*, intrinsicamente já relacionei com o conceito de lei de Faraday e, para finalizar, mostrei que tanto ao oscilar um ímã próximo a uma bobina quanto oscilar a bobina próximo a um ímã parado o fenômeno da indução ocorrerá. Com isso, foi dado início a sequência didática para explicar a lei de Lenz, mostrando que a corrente gerada pela variação do fluxo magnético também irá gerar um campo magnético. O sentido do campo magnético gerado será demonstrado pela regra da mão direita, porém, sem a necessidade de exigir que memorizem. Para facilitar a compreensão em encontrar o sentido do campo, parti do pressuposto da conservação de energia.

Os conteúdos que serão trabalhados em sala de aula com os alunos estão descritos no apêndice A.

4.3. EXPERIMENTOS

Para a sexta, sétima e oitava etapa da aplicação do produto, conforme tabela 1, um kit contendo três experimentos foi elaborado e construído para fazer parte do produto deste trabalho, são eles: pêndulo eletromagnético, transformador e eletroímã. Os experimentos em questão foram planejados com o intuito de complementarem as aulas teóricas sobre duas leis físicas no campo do Eletromagnetismo: Lei de Faraday e Lei de Lenz - conteúdos esses que marcaram a unificação de Eletricidade com Magnetismo, mas que infelizmente muitas vezes são mencionados sem enfatizar a revolução que essas leis causaram na ciência. Além disso, a experimentação auxilia na obtenção de novos subsunçores e na própria organização da estrutura cognitiva. Moreira (2006) considera as atividades experimentais no Ensino de Física uma ferramenta facilitadora da aprendizagem significativa [10].

4.3.1. *Pêndulo Eletromagnético*

O primeiro experimento consiste em um pêndulo o qual um ímã permanente de neodímio, preso na extremidade do pêndulo, oscila por cima de uma bobina de 1000 espiras que está fixa a uma superfície de madeira (Figura 4-2), ocorrendo assim a indução de uma

corrente elétrica alternada. Um LED (*Light Emitting Diode*) é conectado à bobina com o intuito de comprovar a passagem de corrente elétrica ao acender. Além disso, o pico da intensidade da corrente elétrica alternada induzida pelo ímã permanente é monitorado utilizando um multímetro - instrumento esse disponível na escola – e seu valor será anotado pelos alunos para um posterior cálculo do valor do pico do campo magnético, conforme detalha a sequência didática (SD) no apêndice B, a qual será detalhada no tópico 4.2.1.

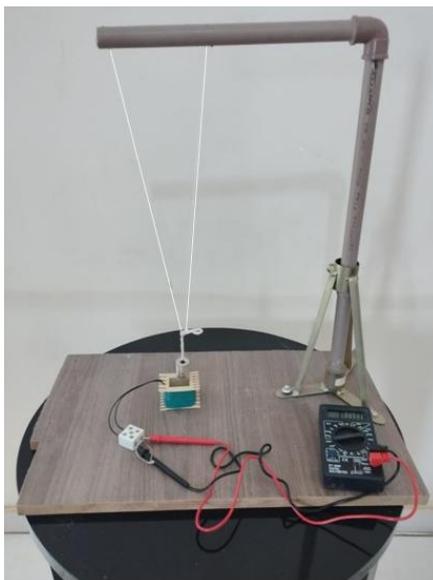


Figura 4-2. Experimento: Pêndulo Eletromagnético. (Fonte: autor)

Como diferencial, esse experimento consiste em utilizar o celular como instrumento de medida através do aplicativo gratuito *PhyPhox*. Nesse caso, o sensor denominado magnetômetro é utilizado para detectar a presença de campo magnético e fornecer gráficos na tela, com valores da intensidade do campo magnético, para o usuário do aplicativo. Diante dessa possibilidade, uma SD foi elaborada instruindo o procedimento de montagem do experimento para que o aluno construa junto ao professor. Entretanto, devido ao protocolo sanitário ficou impossibilitado de compartilhar os materiais e realizar aglomeração para construção do experimento. Portanto, a montagem do experimento e toda a execução será realizada pelo professor, ficando o aluno com o papel de expectador, podendo levantar questionamentos, e fazendo as anotações, conforme pedido na referida SD.

Ao término da execução do experimento, o aluno ficou responsável em responder às perguntas que a SD apresenta. A primeira pergunta consiste em utilizar os valores de corrente elétrica obtidos pelo multímetro para verificar o comportamento da corrente elétrica, relacionando com os conteúdos: corrente contínua e corrente alternada apresentados pelo

professor anterior a aula de realização do experimento. O objetivo é que o aluno relacione o observado, através das anotações da SD, com a corrente alternada, assim concretizando o aprendizado e sabendo distinguir o comportamento que a corrente elétrica pode apresentar.

Para a segunda pergunta da SD é necessário refazer a aplicação do experimento trocando a bobina de 1000 espiras para uma bobina de 500 espiras. Com os dados da corrente elétrica obtido pelo multímetro e o campo magnético pelo aplicativo *PhyPhox*, o aluno terá que refazer o cálculo do campo magnético, utilizando a equação do campo magnético em uma espira disponível na SD, conseqüentemente, relacionar o número de espiras da bobina com a corrente elétrica e o campo magnético. Nessa etapa, o objetivo é relacionar a equação do campo magnético da espira com o observável, no caso a corrente elétrica. Diante dessa informação e outros presentes na SD, espera-se que o aluno consiga expressar numericamente o valor do campo magnético obtido pelas duas bobinas e, com isso, verificar que o número de espiras interfere diretamente no resultado do campo magnético.

A terceira pergunta possui dois questionamentos, o primeiro é sobre os diferentes valores obtidos no experimento quando a bobina é trocada. O aluno utilizará as análises feitas durante o experimento e, com base nessas informações descrever a alteração observada por ele. O segundo é referente ao brilho do LED, visto que ao trocar de bobina a corrente elétrica terá valor alterado. Nesse caso o aluno deverá também descrever o observável e informar o motivo de acender ou não o LED. Essa pergunta complementa a anterior, visto que o valor da corrente elétrica medido pelo multímetro está relacionado com o número de voltas da espira.

Por fim, a quarta pergunta instiga o aluno a observar que apenas quando o ímã está oscilando que haverá variação do fluxo magnético e, conseqüentemente, geração de corrente elétrica. Espera-se que o aluno relate um valor nulo da corrente elétrica, argumentando que como o ímã está parado em frente a bobina não ocorrerá a indução e, portanto, geração de corrente elétrica. Entretanto, o aluno ao consultar a tela do *smartphone* verificará um valor de campo magnético gerado pelo sensor magnético do celular. Essas perguntas são uma maneira de verificar na prática que há a necessidade de uma oscilação do ímã para que a lei de Faraday seja aplicada.

4.3.2. *Transformador*

O experimento Transformador consiste em um núcleo metálico no formato da letra “U”, em que duas bobinas com número de voltas diferentes são acopladas, cada uma em um lado, e

em uma das bobinas, sem preferência, há uma conexão com a tomada, sendo a ddp. de 127 V. O objetivo desse experimento é aplicar a lei de Faraday para elevar ou diminuir a ddp. em um dos terminais. Para comprovar essa transformação, dois multímetros, cada um conectado nos terminais das bobinas, são utilizados para efetuar a medida. Quando a bobina primária, 600 espiras, estiver conectada a uma fonte de alimentação de aproximadamente 12 V. Ao percorrer uma corrente elétrica variável pela bobina primária, haverá uma produção de *fem*, que resultará em um campo magnético variável, formando um eletroímã. Esse campo magnético oscilante induzirá uma *fem* também variável na bobina secundária (300 espiras), que conseqüentemente, irá gerar uma corrente elétrica por ela. O valor gerado pela *fem* dependerá de uma relação (equação 44), a qual é chamada de Indutância Mútua (*M*). Ela depende do fluxo magnético gerado pela bobina primária ϕ_1 , bobina secundária ϕ_2 , intensidade da corrente elétrica que passa pela bobina primária i_1 , corrente elétrica na secundária i_2 e do número de voltas em cada espira: primária N_1 e secundária N_2 [11].

$$M = \frac{N_2 \phi_2}{i_1} = \frac{N_1 \phi_1}{i_2} \quad (4-1)$$

A equação 4-1 pode também ser descrita em função da *fem* (ε) da bobina primária (ε_1) e secundária (ε_2), conforme a equação 45:

$$\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad (4-2)$$

Se considerar a resistência do enrolamento das bobinas igual a zero, cada *fem* deverá ser igual a respectivo valor de tensão da primária e secundária, sendo respectivamente, V_1 e V_2 . Assim, conseguimos uma relação da amplitude de tensão das bobinas com o número de espiras.

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad (4-3)$$

Portanto, além de alterar o valor da corrente elétrica, o segundo terminal terá a intensidade da tensão elétrica alterada. Para o aluno, a compreensão de que houve essa transformação é essencial para assimilar a presença da lei de Faraday no experimento. Apenas

a equação 46 será utilizada para que o aluno calcule a tensão aproximadamente gerada. Vale ressaltar que a relação (equação 46) ao ser calculada, com base nos dados coletados pelo multímetro, apresentará um valor aproximado do esperado na teoria. Isso ocorre devido algumas variáveis, como é o caso da corrente de Foucault gerada no interior do núcleo metálico.

As orientações e informações sobre o experimento estão descritas na SD. Após a realização do experimento, algumas perguntas foram realizadas com o intuito de certificar se houve assimilação por parte do aluno dos conteúdos apresentados em sala de aula com o experimento. A primeira pergunta foi referente a detecção da ddp, através do multímetro, na bobina secundária. Espera-se que o aluno consiga identificar a alteração da ddp, na bobina primária para a bobina secundária devido ao diferente número de enrolamento entre as bobinas.

Na segunda pergunta o aluno deverá realizar o cálculo, utilizando a equação 46, para obter o valor de ddp, na saída, nesse caso na bobina secundária. O valor encontrado deverá ser comparado com o valor detectado pelo multímetro. Conforme já citado nesse tópico, os valores não serão os mesmos, visto que na prática a corrente de Foucault interfere, devendo, portanto, ao aluno usar como justificativa essa variável.

A terceira pergunta questiona o aluno sobre a importância de o sistema ser fechado, ou seja, os blocos metálicos serem no formato da letra “O” e não da letra “U”. Ao realizar a prática, ele verificará que não ocorrerá uma transformação da ddp, na bobina secundária quando o bloco não está fechado.



Figura 4-3. Experimento: Transformador. (Fonte: autor)

4.3.3. *Eletroímã*

O experimento do Eletroímã utiliza a mesma estrutura do experimento Transformador, citado no tópico 3.3.2. Ele consiste em um núcleo metálico no formato da letra U, o qual duas bobinas de diferentes números de voltas 600 e 300 são acopladas em cada lado do núcleo metálico e uma das bobinas é ligada a uma ddp. de 12 V (carregador de celular). Ao ligar o filtro de linha, que faz a conexão do carregador a tomada da rede da escola, o aluno deverá acoplar uma barra metálica na parte superior da estrutura em forma da letra “U”, com o intuito de fechar o bloco, fazendo com que o bloco metálico agora fique no formato da letra “O”. Assim, uma corrente elétrica percorrerá a bobina, acarretando na geração de um campo magnético oscilante, visto que a corrente elétrica é alternada. O campo magnético é intensificado ao passar pelo núcleo de ferro, graças a sua elevada permeabilidade magnética (ferromagnético), tornando-o um eletroímã. Até esse momento, o aluno poderá observar que o fenômeno magnético só ocorre quando o a estrutura metálica é fechada, ou seja, no formato da letra “O”; já quando a barra metálica é retirada, ele perceberá que não ocorre o fenômeno da atração ao aproximar pequenos objetos metálicos em contato com o núcleo.



Figura 4-4. Experimento: Eletroímã. (Fonte: autor)

Para esse experimento a presença de um campo magnético gerado pelo eletroímã é possível ser detectada. Para isso, além do próprio aluno presenciar a atração de pequenos objetos metálicos e até mesmo da barra metálica que fecha o sistema no formato da letra “O”, o aluno usará novamente o aparelho celular com o aplicativo *PhyPhox* ativado no modo magnetômetro para comprovar a presença de um campo magnético. Todo o procedimento e instruções de como medir estão dispostos na SD (apêndice B).

Como estratégia de ensino, no final da SD foram elaboradas três perguntas que serão utilizadas para avaliar o desempenho na evolução dos conteúdos trabalhados. A primeira pergunta é referente ao momento em que uma das bobinas acoplada na estrutura metálica é ligada ao carregador. Nessa etapa ainda não há campo magnético sendo gerado pela estrutura metálica e o aluno pode perceber esse fato tentando colocar uma moeda em contato com a estrutura, verificando que não há atração.

Na segunda pergunta, o aluno é indagado em relação ao tipo de material que foi utilizado para fechar a estrutura metálica. Nesse caso foi mencionado substituir uma barra de ferro por um material de plástico. Nesse ponto, espera-se que haja assimilação de que o metal é um condutor de corrente elétrica e que o plástico não possibilitaria a geração de um campo magnético. Princípio básico que está descrito na segunda etapa: Conteúdos, conforme apêndice A.

A terceira pergunta é referente ao ápice do experimento, a qual é o momento em que a barra de ferro é inserida na parte superior da estrutura, fechando assim o sistema. É pedido ao aluno que descreva o motivo do bloco metálico se tornar um ímã apenas quando o circuito elétrico é ligado. Assim, ele terá que relacionar os conteúdos trabalhados em sala de aula: ímã permanente e eletroímã em conjunto com o observável para descrever.

4.4. APLICATIVO *PHYPHOX*

O PhyPhox [34], é um aplicativo de coleta de dados criado no 2º Instituto de Física da RWTH Aachen University. Lançado em setembro de 2016, o aplicativo está disponível para dispositivos Android e iOS. Ele permite que os usuários realizem experimentos interessantes utilizando os sensores presentes nos smartphones, como acelerômetro, magnetômetro, giroscópio, pressão, microfone, GPS, intensidade luminosa e proximidade.

Ao selecionar a aba correspondente ao experimento desejado, o usuário é direcionado para uma tela onde pode acompanhar em tempo real os valores coletados pelos sensores do smartphone. Além disso, o aplicativo oferece a opção de exportar os dados para análises posteriores em outros programas ou aplicativos.

O PhyPhox tem se mostrado uma ferramenta valiosa tanto para estudantes quanto para professores e pesquisadores. Sua facilidade de uso e a possibilidade de realizar experimentos

utilizando os sensores dos smartphones o tornam uma opção prática e acessível para a exploração de conceitos científicos.

Desde seu lançamento, o PhyPhox tem recebido atualizações constantes, buscando oferecer uma experiência agradável e *enriquecedora* para os usuários. Com sua interface intuitiva e recursos avançados, o aplicativo proporciona uma oportunidade única de explorar e compreender fenômenos físicos e científicos de maneira interativa [31].



Figura 4-5. Tela inicial do *app PhyPhox*.. (Fonte: PhyPhox)

O magnetômetro é um dos sensores utilizados nos experimentos realizados no âmbito deste trabalho. Trata-se de um dispositivo capaz de medir a intensidade do campo magnético. No contexto da utilização do aplicativo PhyPhox, é importante verificar se o aparelho celular possui esse recurso disponível [31].

Para verificar se o dispositivo possui o sensor de magnetômetro, é necessário instalar o aplicativo PhyPhox, que pode ser baixado na PlayStore por meio do seguinte link: https://play.google.com/store/apps/details?id=de.rwth_aachen.phyphox. Após a instalação, ao abrir o aplicativo e acessar a tela inicial do usuário, é necessário verificar se a opção referente ao magnetômetro está ativada [31].

A presença do magnetômetro é essencial para a realização dos experimentos propostos neste trabalho, uma vez que a medição da intensidade do campo magnético é uma das principais abordagens utilizadas para explorar os conceitos relacionados ao eletromagnetismo. Portanto, a verificação da disponibilidade desse sensor é fundamental para garantir a viabilidade da realização dos experimentos propostos no contexto do produto desenvolvido.

O aplicativo PhyPhox oferece uma ampla gama de recursos e funcionalidades que permitem a coleta e visualização de dados obtidos por meio de diversos sensores presentes nos smartphones. Além do magnetômetro, o aplicativo suporta sensores como acelerômetro, giroscópio, pressão, microfone, GPS, intensidade luminosa e proximidade. Essa diversidade de sensores disponíveis possibilita a realização de experimentos abrangentes e aprofundados no campo do eletromagnetismo, enriquecendo a experiência dos usuários.

Ao oferecer a opção de verificar a presença do magnetômetro no dispositivo, o PhyPhox facilita a identificação da capacidade do smartphone em realizar experimentos relacionados ao campo magnético. Essa funcionalidade permite aos usuários verificar de forma rápida e prática se o seu dispositivo possui o recurso necessário para explorar os conceitos abordados no contexto deste trabalho.

Dessa forma, a verificação da presença do magnetômetro por meio do aplicativo PhyPhox é uma etapa fundamental para a adequada utilização do produto desenvolvido neste estudo. Garantir a disponibilidade desse sensor é essencial para assegurar a precisão e confiabilidade dos resultados obtidos nos experimentos, contribuindo para a correta avaliação da estrutura cognitiva dos alunos em relação ao conteúdo de eletromagnetismo.

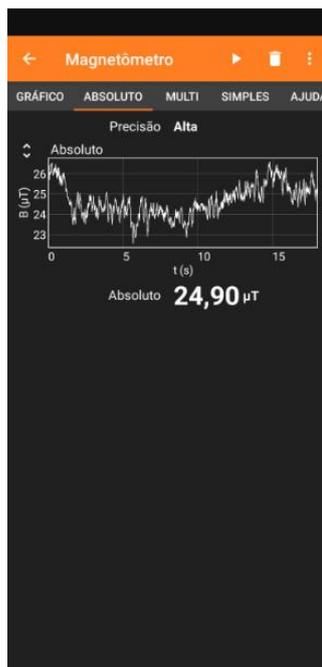


Figura 4-6. Tela do magnetômetro do *app PhyPhox*.. (Fonte: PhyPhox)

4.5. SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS

A sequência didática é um conjunto de atividades, estratégias e intervenções pedagógicas feita com planejamento para que o discente tenha o conhecimento alcançado sobre o determinado tema ou assunto [13].

No presente trabalho, três sequências didáticas (SDs) (apêndice B), correspondentes a cada experimento do kit, foram elaboradas de modo a auxiliarem aos alunos no momento da realização dos experimentos. Cada SD é composta por:

- **Folha de Capa** com nome do respectivo experimento, em que informações da turma, tempo estimado e metas de aprendizagem são descritos;
- **Descrição do Experimento** que será realizado, relacionando o conteúdo da física tratado com o experimento;
- **Lista de Materiais** necessários que foram utilizados do *kit*;
- **Montagem do Experimento**, que detalha o procedimento para montagem, utilizando imagens ilustrativas para auxiliar na leitura;

- **Procedimento para Teste**, a qual explica como deve ser medido e utilizado os instrumentos de medidas;
- **Perguntas**, que foram elaboradas abordando todo o conteúdo físico envolvido, relacionando a teoria com a prática, com o intuito de atingir as metas de aprendizagem descritas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como já mencionado, o produto do presente trabalho é o conjunto: Mapas Conceituais (MCs), aulas teóricas e experimentos. Ele foi aplicado de acordo com a tabela de etapas (Tabela 4-1).

5.1. ETAPA 1 E 2: APLICAÇÃO DOS MCs

No início da aplicação do produto, ao solicitar aos alunos que elaborassem mapas conceituais sobre Eletromagnetismo, a expectativa era de que eles aplicassem todo o conhecimento adquirido ao longo de sua vida escolar, bem como o conhecimento adquirido em seu cotidiano. Nesse sentido, as palavras-chave "Lei de Faraday" e "Lei de Lenz" não eram esperadas para serem utilizadas nos mapas conceituais, uma vez que essa terminologia específica para se referir à indução eletromagnética não é comumente utilizada no dia a dia e também não havia sido abordada nas aulas de ciências no ensino fundamental ao tratar da produção de energia elétrica por meio de usinas hidrelétricas, eólicas, entre outras fontes.

Diante dessa situação, a proposta de elaborar mapas conceituais tinha dois objetivos distintos. Primeiramente, buscava-se obter informações sobre o nível de conhecimento dos alunos em relação a conceitos básicos de eletromagnetismo, com foco na eletrostática. É fundamental ter conhecimento sobre esse conteúdo para iniciar a segunda etapa do projeto, que consiste em introduzir os conceitos necessários de eletromagnetismo, a fim de abordar posteriormente os temas centrais deste trabalho: a Lei de Faraday e a Lei de Lenz.

Para avaliar o nível de conhecimento dos alunos sobre esses conceitos, foram estabelecidos três níveis: insuficiente, regular e bom. O resultado se encontra na Tabela 5-1.

Tabela 5-1. Quantidade de alunos por níveis de aprendizagem pré-aplicação do produto.

NÍVEL	QUANTIDADE
INSUFICIENTE	6
REGULAR	9
BOM	3

Os critérios de cada nível foram elaborados em base dos Objetos de Conhecimento, mais especificamente os conteúdos de eletrostática, que o Currículo Referência de Minas Gerais (CRMG) exige, elaborado a partir dos fundamentos educacionais expostos na nossa Constituição Federal (CF/1988), na Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB 9394/96), no Plano Nacional de Educação (PNE/2014) e na Base Comum Curricular (BNCC) [14]. Dos conteúdos de eletrostática relacionados são: carga elétrica, condutores e isolantes elétricos, processos de eletrização, lei de Coulomb, campo elétrico, potencial elétrico e diferença de potencial elétrico. Os critérios para os níveis insuficiente, regular e bom estão descritos na tabela 5-2.

Tabela 5-2. Critérios dos níveis de conhecimento.

NÍVEL	CRITÉRIO
INSUFICIENTE	Ausência de palavras-chave; palavras-chave sem ramificação ou com ramificação incoerente; palavras-chave sem relação com o tema principal; até 01 palavra-chave com ramificação e termos de ligação bem empregados.
REGULAR	De 02 a 03 palavras-chave, exigido no CRMG, com ramificação e termos de ligação bem empregados.
BOM	Acima de 03 palavras-chave, exigido no CRMG, com ramificação e termos de ligação bem empregados.

Ao analisarmos os resultados dos primeiros mapas conceituais elaborados pelos alunos, podemos perceber a relevância da Aprendizagem Significativa de David Ausubel nesse contexto. A teoria de Ausubel propõe que a aprendizagem ocorre quando o novo conhecimento é integrado de maneira substantiva à estrutura cognitiva existente, ou seja, quando os novos conceitos são relacionados e conectados aos conhecimentos prévios do aluno.

Nesse sentido, os resultados dos primeiros mapas conceituais revelam a importância de se considerar o ponto de partida dos alunos e suas experiências prévias. Os alunos que se enquadraram no critério insuficiente mostraram uma falta de familiaridade com os conceitos básicos de eletrostática, não conseguindo estabelecer as devidas relações entre os elementos do conhecimento. No entanto, é fundamental compreender que isso não indica uma incapacidade

total de aprendizagem, mas sim a necessidade de estabelecer conexões significativas entre os novos conceitos e seus conhecimentos prévios. Os mapas conceituais foram digitalizados e incluídos no **Apêndice C**, para consulta. Foram indentificados por códigos para preservar o anonimato e cuja parte final da sequência alfanumérica consta os números **01** ou **02**, indicando antes e depois da aplicação do produto.

A figura 5-1 representa um MC de um aluno que se enquadra nesse nível. Observa-se que, embora utilizou um subtema, não utilizou termo de ligação com o tema principal. Além disso, demonstrou não ter conhecimento sobre os conteúdos de eletrostática. Pelo fato de não ter transcrito suficientemente no MC os conteúdos básicos de eletrostática, não significa que não poderá inserir na sua estrutura cognitiva novos conceitos relacionados a eletrodinâmica, como às leis de Faraday e Lei de Lenz.

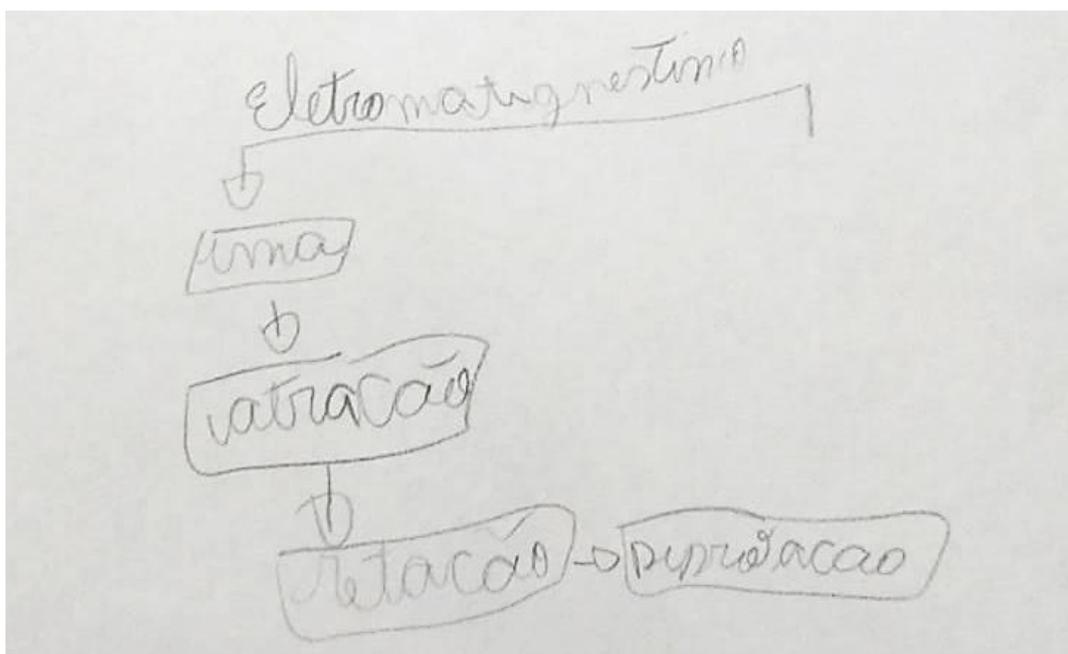


Figura 5-1. MC de nível insuficiente da primeira etapa da aplicação do produto.

Conforme informado na Tabela 5-1, a maior parte dos alunos apresentaram o nível regular. Demonstraram um nível intermediário de compreensão, com a presença de alguns subtemas e termos de ligação adequados. Isso indica que eles foram capazes de estabelecer algumas conexões entre os conceitos, embora ainda precisem desenvolver uma estrutura cognitiva mais organizada e abrangente. Nesse sentido, a aplicação da Aprendizagem Significativa se mostra relevante, pois busca justamente promover a construção de significados e a interconexão dos conceitos, levando a uma compreensão mais profunda e duradoura.

A figura 5-2 representa um MC de um dos alunos diagnosticado como estando no nível regular, observa-se que há subtemas apresentados com mais ramificações e termos de ligação bem empregados. Nota-se que há, comparado com o nível insuficiente, uma estrutura cognitiva com mais termos de eletrostática e que estão organizados ao analisar os termos de conexão.

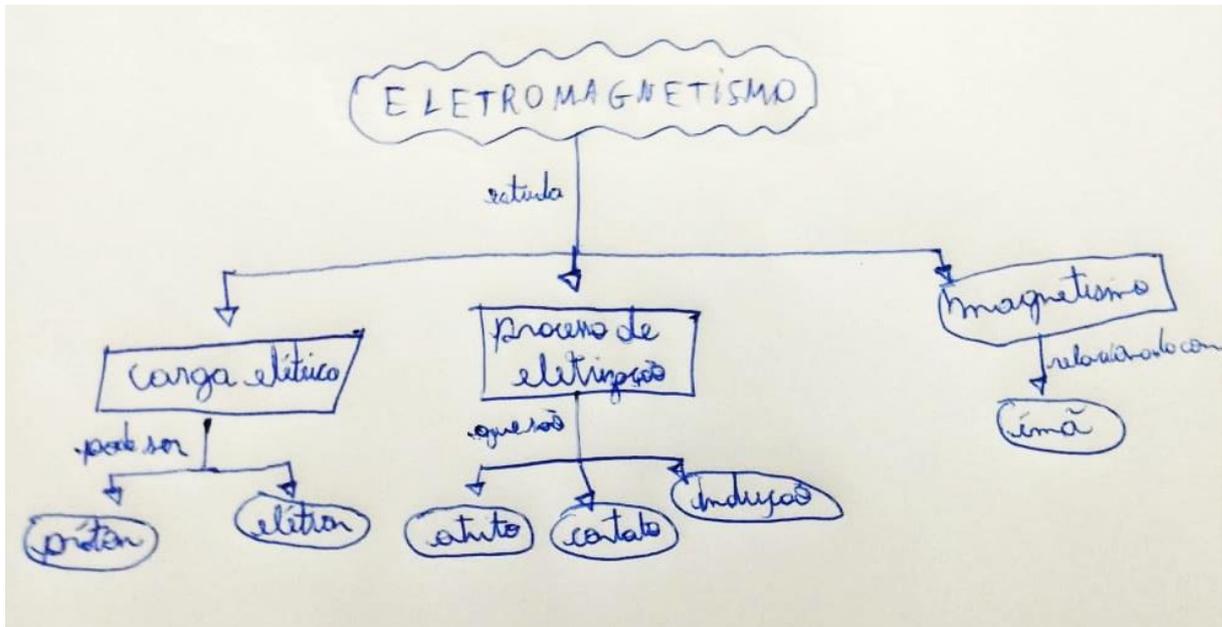


Figura 5-2. MC de nível regular da primeira etapa da aplicação do produto.

Por último, o nível bom é destinado aos MCs que apresentam mais de 03 subtemas com ramificações e termos de ligação bem empregados, demonstrando que o aluno que elaborou possui um conhecimento e uma estrutura cognitiva sobre a eletrostática organizada. Apresentaram mapas conceituais mais completos e estruturados, com uma quantidade maior de subtemas e ramificações bem empregadas. Isso evidencia que eles possuem uma estrutura cognitiva organizada e um conhecimento mais sólido sobre os conceitos de eletrostática. Esses resultados são indicativos de que a Aprendizagem Significativa foi efetiva para esses alunos, permitindo que eles estabelecessem conexões significativas entre os novos conceitos e seu conhecimento prévio.

A figura 5-3 exemplifica um MC com essa característica, em que um número maior de assimilações foi transcrito.

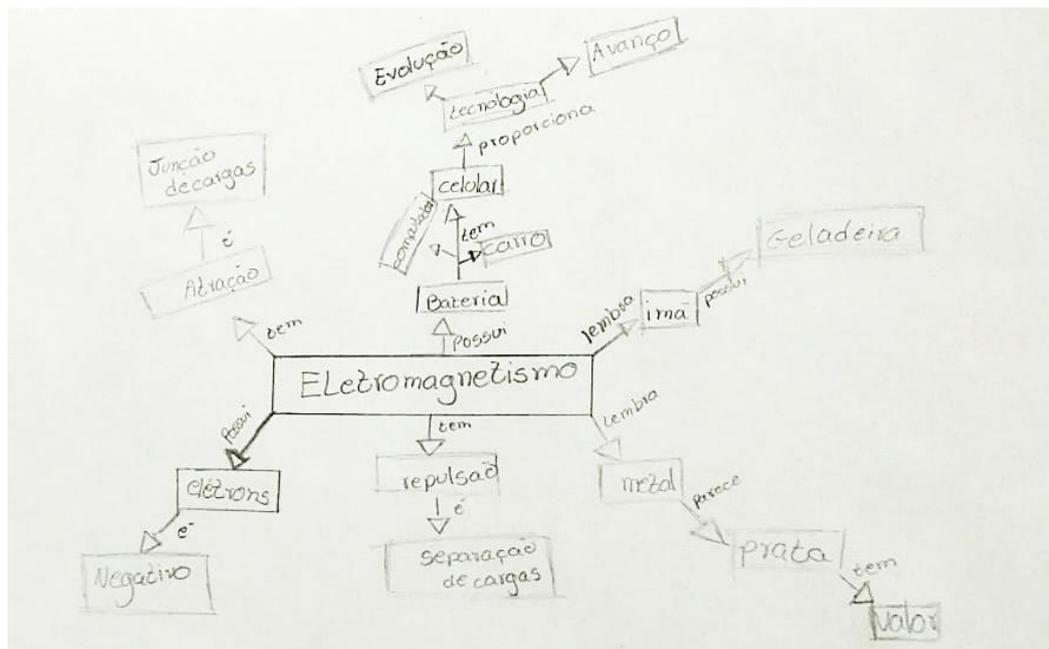


Figura 5-3. MC de nível bom da primeira etapa da aplicação do produto.

Esses resultados nos levam a refletir sobre a importância de uma abordagem pedagógica que valorize a construção de significados pelos alunos. Ao permitir que eles expressem seu entendimento por meio dos mapas conceituais, estamos proporcionando um espaço para que construam sua própria visão do mundo, relacionando os conhecimentos adquiridos em diferentes contextos. A aprendizagem significativa não se restringe apenas à memorização de informações isoladas, mas sim à compreensão profunda e à capacidade de aplicar o conhecimento de forma criativa e reflexiva.

Embora seja esperado que os alunos empreguem termos de eletrostática, visto que esse tópico já foi trabalhado anteriormente em sala de aula, nada impede que utilizem de termos de eletrodinâmica. Como podemos analisar no MC da figura 5-3, tópicos, como o magnetismo, foram empregados devidamente, mostrando que o conhecimento do dia a dia do aluno também interfere na estrutura cognitiva.

O segundo objetivo da solicitação do MC é de monitorar o aluno. Nesse caso, o MC da primeira etapa será comparado com o MC da última etapa da aplicação do produto. Assim será possível analisar se houve inserção de novos conceitos e uma organização na sua estrutura cognitiva. Esse ponto será discutido adiante, após as etapas de aulas teóricas, experimentos e MC pós experimentos.

5.2. ETAPA 3: AULAS EXPOSITIVA SOBRE CORRENTE ELÉTRICA

Durante o período de aulas teóricas, foram abordados diversos tópicos fundamentais para o entendimento dos conceitos de corrente elétrica, campo magnético, Lei de Faraday e Lei de Lenz. Essas aulas seguiram um planejamento cuidadoso descrito no apêndice A do material didático. A metodologia utilizada envolveu a projeção de apresentações de slides, complementadas por explicação na lousa utilizando giz, proporcionando uma abordagem similar àquela utilizada nas aulas anteriores sobre eletrostática.

Com o objetivo de otimizar o tempo em sala de aula e permitir uma maior concentração dos alunos nos conteúdos apresentados, cada aluno recebeu um material impresso, idêntico ao plano de aula, no início de cada aula. Essa medida visou evitar que os estudantes precisassem copiar informações da lousa, possibilitando um foco maior na assimilação dos conceitos e na interação com a explicação do professor.

Dessa forma, o uso das apresentações de slides proporcionou uma organização visual e sequencial dos conteúdos, enquanto a explanação na lousa permitiu uma maior ênfase em pontos-chave e elucidou possíveis dúvidas dos alunos. O material impresso também serviu como um recurso de apoio, possibilitando que os estudantes acompanhassem o desenvolvimento da aula de forma mais efetiva.

Essa abordagem metodológica busca engajar os alunos, promovendo uma aprendizagem ativa e significativa, além de facilitar o acesso aos conteúdos e estimular a participação e o debate em sala de aula. A combinação das diferentes estratégias visa proporcionar uma compreensão mais sólida dos temas abordados e incentivar a construção de conhecimento de forma mais autônoma e crítica.

Foram adotados dois critérios para avaliar o acompanhamento dos alunos em relação aos novos conteúdos apresentados. O primeiro critério foi a frequência nas quatro aulas programadas, uma vez que a ausência dos estudantes poderia comprometer o andamento do trabalho. No entanto, devido à conscientização sobre a importância do trabalho e dos conteúdos que seriam abordados, não houve registro de ausências.

O segundo critério consistiu em realizar uma avaliação do aprendizado dos alunos por meio de perguntas abertas, logo após a apresentação dos conteúdos. Essa abordagem é de suma importância para analisar o nível de compreensão dos estudantes, uma vez que a construção de

hipóteses e a identificação de conflitos contribuem para a construção do conhecimento, como discutido por Oliveira, Veit e Araujo em seu estudo de 2017 [15].

A utilização dessas estratégias de avaliação permite verificar se os alunos estão acompanhando e assimilando adequadamente os novos conceitos apresentados nas aulas. Além disso, promove a participação ativa dos estudantes, incentivando-os a refletir, formular argumentos e compartilhar suas ideias. Essa abordagem também favorece a identificação de possíveis dificuldades de aprendizagem, possibilitando intervenções pedagógicas mais direcionadas e personalizadas.

No contexto do conteúdo de Corrente Elétrica, foram elaboradas quatro perguntas relevantes que estão incluídas na Tabela 5-3, localizada no final do plano de aula correspondente a esse tema. Essas perguntas têm como objetivo avaliar o nível de compreensão e assimilação dos alunos em relação aos conceitos abordados durante as aulas teóricas sobre corrente elétrica. A inclusão dessas perguntas no plano de aula proporciona uma oportunidade para que os alunos demonstrem seus conhecimentos adquiridos. Essa abordagem avaliativa contribui para o acompanhamento do progresso dos alunos e permite ao professor identificar possíveis lacunas de aprendizagem, bem como adaptar o ensino de acordo com as necessidades individuais dos estudantes.

Tabela 5-3. Resultados obtidos por pergunta – Corrente Elétrica.

PERGUNTAS	Respostas satisfatórias	Respostas não satisfatórias
1 – Por que uma lâmpada, por exemplo, só acende quando o interruptor é acionado?	18	0
2 – Um simples pedaço de fio de cobre não possui corrente elétrica por si só. O que é preciso para gerar uma corrente elétrica?	14	4
3 – Qual a diferença entre uma corrente elétrica contínua e de uma alternada?	15	3
4 – Como é o comportamento de uma corrente elétrica ao transcorrer de um material de menor resistividade para um de maior resistividade elétrica?	16	2

A resposta satisfatória de todos os alunos para a pergunta 1 indica que eles compreenderam que uma lâmpada só acende quando o interruptor é acionado devido à passagem de corrente elétrica por um material condutor, como um fio metálico. Esse resultado demonstra uma aprendizagem significativa, conforme proposto por David Ausubel, pois os alunos conseguiram relacionar o novo conteúdo apresentado (corrente elétrica) com seus conhecimentos prévios sobre o funcionamento de uma lâmpada. Esse processo de aprendizagem envolveu a associação entre conceitos pré-existentes e novos conhecimentos, permitindo que os alunos construíssem uma compreensão mais profunda do assunto.

Para a pergunta 2, a qual questiona o motivo dessa corrente elétrica ser gerada. Como resposta satisfatória, espera-se que o aluno mencione a diferença de potencial elétrico (d.d.p.), podendo também complementar que ao ser submetido a uma d.d.p., um campo elétrico surgirá. Embora tenham sido registradas algumas respostas não satisfatórias, a maioria dos alunos compreendeu que é necessário haver uma diferença de potencial elétrico (ddp) para gerar corrente elétrica. Esse entendimento revela uma aprendizagem significativa, pois os alunos foram capazes de conectar um conceito novo com as aulas de campo elétrico, que possivelmente já haviam aprendido nas aulas anteriores. Essa capacidade de relacionar conceitos prévios com

novos conhecimentos é um aspecto central da teoria de Ausubel, pois evidencia a importância da ancoragem dos novos conceitos em uma estrutura cognitiva já existente.

A pergunta 03 foi enfatizada para o aluno pensando nos experimentos do produto, já que compreender a diferença entre corrente contínua e alternada é um dos pontos chave. Como resposta, o aluno deve mencionar que o sentido da corrente elétrica é que define qual tipo de corrente será, ou seja, quando os elétrons estão se movimentando num único sentido, essa corrente é denominada de contínua; já quando os elétrons mudam de sentido constantemente, trata-se de uma corrente alternada. Com a maioria dos alunos fornecendo respostas satisfatórias, pode-se inferir que eles assimilaram a diferença entre corrente elétrica contínua e alternada, relacionando-a com o sentido do fluxo de elétrons. Esse resultado evidencia uma aprendizagem significativa, pois os alunos conseguiram integrar o novo conceito com seu conhecimento prévio sobre o comportamento dos elétrons em diferentes tipos de corrente.

Por último, a pergunta 04 trabalha com o aluno a relação entre corrente e resistência elétrica. Ao questionar a resistividade do material que o fluxo de elétrons percorre, o aluno deve citar que os elétrons terão mais dificuldade para percorrer o novo material, visto que ele apresenta uma resistência elétrica maior que o material usado anteriormente. Com uma alta taxa de respostas satisfatórias, os alunos demonstraram compreender que uma corrente elétrica apresentará maior dificuldade ao passar de um material de menor resistividade para um de maior resistividade elétrica. Isso indica uma aprendizagem significativa, pois os alunos foram capazes de relacionar o novo conceito de resistência elétrica com suas experiências anteriores sobre a condução de eletricidade em diferentes materiais.

A quantidade significativa de alunos que apresentaram respostas satisfatórias nas perguntas da Tabela 5.3 indica que houve uma compreensão do conteúdo abordado durante as atividades. Esses resultados positivos são encorajadores e demonstram que a maioria dos alunos foi capaz de assimilar os conceitos e relacioná-los com seus conhecimentos prévios. No entanto, é importante salientar que o fato de terem respondido corretamente não garante que os conteúdos tenham sido devidamente armazenados e organizados na estrutura cognitiva dos alunos. É possível que tenham ocorrido processos de aprendizagem mecânica, nos quais as informações foram memorizadas temporariamente, mas podem ser esquecidas com o passar do tempo.

A aprendizagem mecânica envolve apenas a repetição ou reprodução de informações sem uma compreensão profunda do seu significado e conexões com outros conhecimentos. É fundamental que os alunos sejam capazes de relacionar o novo conteúdo com seu conhecimento prévio, construindo uma rede de significados e assimilação dos conceitos.

Nesse sentido, é importante ressaltar que as perguntas não foram repetidas posteriormente, e a avaliação final será realizada na última etapa do processo. Nessa etapa, os alunos serão solicitados a refazer os Mapas Conceituais da Etapa 2, o que permitirá verificar se os conteúdos foram assimilados de forma organizada e se os alunos foram capazes de estabelecer relações entre os diferentes conceitos.

Assim, embora os resultados até o momento sejam encorajadores, é essencial ter em mente que a aprendizagem significativa requer uma compreensão profunda e uma organização coerente dos conhecimentos adquiridos. A avaliação final será fundamental para verificar se os alunos foram capazes de internalizar os conceitos de maneira duradoura e significativa, conforme proposto por David Ausubel e sua teoria da aprendizagem significativa.

5.3. ETAPA 4: AULAS EXPOSITIVA SOBRE CAMPO MAGNÉTICO

Essa etapa tem início com uma explanação histórica sobre os fenômenos relacionados ao magnetismo, remontando à Grécia Antiga, quando os gregos observaram que o mineral conhecido como magnetita possuía a capacidade de atrair pequenos fragmentos de ferro. Prosseguindo com o plano de aula, foram abordados os tópicos de ímãs e bússolas, proporcionando aos alunos o conhecimento sobre a natureza do magnetismo. Durante essa explanação, foi destacado o papel do spin do elétron como o elemento gerador do campo magnético. Essa abordagem histórica e conceitual visa contextualizar o tema do magnetismo e familiarizar os alunos com suas origens e fundamentos, permitindo-lhes compreender melhor os fenômenos magnéticos e sua relação com o comportamento dos elétrons.

Nessa etapa, assim como na etapa 3, foram elaboradas quatro perguntas que estão presentes na Tabela 5-4, desta vez relacionadas ao campo magnético. Essas perguntas têm o mesmo objetivo das perguntas da etapa anterior, que é avaliar o nível de compreensão e assimilação dos alunos em relação aos conceitos abordados durante as aulas teóricas sobre

campo magnético. O resultado das respostas as perguntas também estão informadas na Tabela 5-4.

A pergunta 01 tem como objetivo estimular o aluno a refletir sobre a condição necessária para que um corpo possua a propriedade magnética. No caso específico do prego, espera-se que o aluno mencione que a ausência dessa propriedade magnética ocorre devido à ausência de magnetismo no material do prego. Ou seja, o prego não possui um campo magnético forte o suficiente para atrair pedaços de ferro.

Nessa pergunta, foram obtidas 15 respostas satisfatórias, o que indica que a maioria dos alunos compreendeu que a falta de propriedade magnética no prego está relacionada à ausência de um campo magnético significativo. Esses resultados estão alinhados com a teoria da aprendizagem significativa, pois os alunos foram capazes de relacionar o novo conceito de propriedade magnética com seus conhecimentos prévios sobre a interação entre ímãs e objetos metálicos.

Por outro lado, 3 alunos responderam de forma não satisfatória, o que indica que esses alunos podem ter encontrado dificuldades na compreensão do conteúdo sobre a propriedade magnética do prego. Essa situação destaca a importância de buscar novas formas de ensinar, que facilitem o aprendizado desses alunos.

Já a pergunta 02 complementa a anterior, em que o aluno deve relacionar a propriedade magnética com a organização do domínio magnético, ou seja, o alinhamento dos spins do elétron. Espera-se que o aluno compreenda que, microscopicamente, é necessário que os spins dos elétrons do objeto prego se alinhem em uma mesma direção para que ele se torne um ímã. Dos 18 alunos que responderam, 9 alunos demonstraram uma compreensão satisfatória, destacando que é preciso ocorrer o alinhamento dos spins dos elétrons no prego para que ele se torne um ímã. Essa resposta demonstra um entendimento do fenômeno de magnetização e do papel dos elétrons na criação do campo magnético.

No entanto, 9 alunos responderam de forma não satisfatória, indicando uma possível dificuldade na associação entre o alinhamento dos spins do elétron e a formação de um ímã. Esses alunos podem necessitar de uma abordagem de ensino diferenciada, com explicações mais claras e exemplos adicionais para consolidar o conceito.

Para garantir um acompanhamento efetivo, seria ideal oferecer suporte individualizado a cada aluno, identificando suas necessidades específicas e adaptando as estratégias de ensino de acordo. Porém, considerando que este produto pode ser replicado em sala de aula, pode ser desafiador realizar modificações na metodologia aplicada para cada estudante.

No entanto, é fundamental buscar formas de oferecer apoio personalizado, mesmo dentro das limitações do contexto escolar. O professor pode utilizar diferentes abordagens pedagógicas, como recursos visuais, exemplos práticos e atividades interativas, para facilitar a compreensão dos alunos sobre o magnetismo e sua relação com o alinhamento dos spins do elétron. Além disso, incentivar a participação ativa dos alunos, por meio de discussões e atividades em grupo, pode auxiliar no processo de aprendizagem.

É fundamental realizar um acompanhamento individualizado para identificar as lacunas de aprendizagem específicas de cada aluno e adaptar a abordagem de ensino de acordo com suas necessidades. Isso pode incluir estratégias de ensino diferenciadas, recursos visuais ou práticos, explicação mais detalhada ou exemplos adicionais.

A partir desse acompanhamento personalizado, é possível promover uma aprendizagem mais significativa, na qual os alunos se sintam motivados e capazes de compreender os conceitos de forma mais efetiva. A busca por novas formas de ensinar e adaptar o processo educativo às necessidades individuais dos alunos é um compromisso constante dos educadores para garantir uma educação inclusiva e de qualidade.

A pergunta 03 aborda o campo magnético e espera-se que os alunos respondesse que ao afastar um pedaço de metal de um ímã, a diminuição da atração ocorre devido à diminuição das linhas de campo magnético. Eles poderiam mencionar que o ímã gera um campo magnético ao seu redor, e ao afastar o metal, a quantidade de linhas de campo que atravessam o metal diminui. Essa diminuição resulta em uma redução na força de atração entre o ímã e o metal.

Do total de 18 alunos, 10 responderam de forma satisfatória, demonstrando compreensão do conceito. Eles relacionaram corretamente a diminuição da atração com a diminuição das linhas de campo magnético. Essa resposta evidencia uma compreensão clara da relação entre a distância e a intensidade do campo magnético.

Por outro lado, 8 alunos responderam de forma não satisfatória, indicando uma possível dificuldade em estabelecer essa relação. Essa situação destaca a importância de um

acompanhamento individualizado, a fim de identificar as lacunas de aprendizagem e adaptar as estratégias de ensino conforme as necessidades dos alunos.

A pergunta 04 tem como objetivo explorar o conhecimento dos alunos sobre os polos magnéticos, tanto da Terra quanto dos ímãs. Espera-se que os alunos deveriam responder que a bússola sempre aponta para a mesma direção devido à existência de polos magnéticos. Eles poderiam mencionar que a Terra possui um campo magnético com polos norte e sul, e a agulha da bússola é um pequeno ímã que alinha sua extremidade norte magnética com o polo sul magnético da Terra. Dessa forma, a agulha sempre aponta na direção do polo norte geográfico (polo sul magnético) da Terra.

Nessa pergunta 12 responderam de forma satisfatória, demonstrando um bom entendimento sobre os polos magnéticos e sua relação com a orientação da bússola. Eles mencionaram corretamente a existência de polos magnéticos na Terra e na agulha da bússola, relacionando as linhas de campo magnético com a direção apontada pela bússola. Por outro lado, 6 alunos responderam de forma não satisfatória, indicando uma possível dificuldade em compreender a relação entre os polos magnéticos e a orientação da bússola.

Tabela 5-4. Resultados obtidos por pergunta – Campo Magnético.

PERGUNTAS	Respostas satisfatórias	Respostas não satisfatórias
1 – Por que um prego, por exemplo, não possui a propriedade de atrair pedaços de ferro?	15	3
2 - O que seria necessário acontecer, microscopicamente, para que o objeto prego da pergunta 01 se torne um ímã?	9	9
3 – Por que ao afastarmos um pedaço de metal de um ímã há uma diminuição da atração?	10	8
4 – Por que a bússola sempre aponta para a mesma direção?	12	6

A análise detalhada dos resultados obtidos na Tabela 5-4 revela que a maioria dos alunos apresentou um bom desempenho ao responder às perguntas relacionadas ao campo

magnético. Esse resultado é encorajador, pois indica que a maioria dos alunos assimilou os conceitos abordados durante as aulas teóricas.

Esses resultados positivos refletem o sucesso da metodologia de ensino utilizada, que incluiu aulas teóricas, recursos visuais e interação com os alunos. Além disso, é possível destacar a importância do papel do professor na explicação e no direcionamento das discussões sobre o assunto. No entanto, é importante ressaltar que ainda há uma parcela dos alunos que não conseguiu responder de forma satisfatória às perguntas. Isso sugere a existência de possíveis lacunas de aprendizagem que precisam ser identificadas e abordadas. Nesse sentido, seria ideal que houvesse um acompanhamento individualizado de cada aluno, a fim de verificar qual abordagem pedagógica funciona melhor para eles.

Em suma, os resultados obtidos na análise dos dados da Tabela 5-4 indicam um progresso satisfatório no aprendizado dos alunos em relação ao campo magnético. Essa compreensão é fundamental para o desenvolvimento de habilidades e conceitos mais avançados na área de magnetismo.

5.4. ETAPA 5: AULAS EXPOSITIVA SOBRE LEI DE FARADAY E LEI DE LENZ

Durante esta etapa específica do projeto, reservamos duas aulas de 50 minutos cada para abordar os conceitos fundamentais que embasam as Leis de Faraday e Lenz. Inicialmente, retomamos o conteúdo da aula anterior, enfatizando a existência de um tipo especial de ímã chamado eletroímã, que não é permanente e depende da corrente elétrica para gerar um campo magnético. Essa revisão foi importante para garantir que os alunos tivessem uma compreensão sólida desse conceito antes de prosseguir.

Em seguida, dedicamos um tempo significativo para explorar a história da Física relacionada a essas leis. Como já mencionado anteriormente, o experimento de Oersted foi um marco na compreensão da relação entre eletricidade e magnetismo. Explicamos aos alunos como esse experimento revolucionou o campo da Física, ao demonstrar que a passagem de corrente elétrica em um fio gerava um campo magnético ao seu redor. Essa contextualização histórica contribuiu para despertar o interesse dos alunos e destacar a importância dessas leis na compreensão dos fenômenos eletromagnéticos.

Após a apresentação desses conceitos teóricos, foi realizada uma atividade de avaliação para verificar a aprendizagem dos alunos. Ao final do plano de aula elaborado para as Leis de Faraday e Lenz, foram elaboradas quatro perguntas criteriosamente selecionadas (Tabela 5-5). Essas perguntas foram elaboradas com o objetivo de testar a compreensão dos alunos sobre os princípios teóricos discutidos em sala de aula e sua capacidade de aplicá-los em situações práticas.

As perguntas abordaram aspectos relacionados à indução eletromagnética, às leis de Faraday e Lenz e à aplicação dessas leis em diferentes contextos. Por meio dessas perguntas, os alunos tiveram a oportunidade de demonstrar sua compreensão dos conceitos, bem como sua capacidade de analisar e resolver problemas envolvendo a interação entre eletricidade e magnetismo.

A inclusão dessas perguntas no plano de aula teve como objetivo principal avaliar o nível de aprendizagem dos alunos e verificar se eles foram capazes de assimilar os conceitos ensinados. Além disso, essa atividade avaliativa proporcionou uma oportunidade para que os alunos aplicassem seus conhecimentos de forma prática, relacionando-os com situações do mundo real.

Na pergunta 01, é esperado que o aluno mencione o experimento de Oersted como uma explicação para a possibilidade de fazer a agulha de uma bússola, distante de qualquer ímã permanente, mudar de direção. O experimento de Oersted demonstrou que a corrente elétrica alternada gera um campo magnético, também oscilante, que pode interferir no campo magnético terrestre. Como resultado, a agulha da bússola sofrerá influência desse novo campo magnético e sua direção será alterada.

Todos os alunos responderam de forma satisfatória a pergunta, o que é um indicativo positivo do nível de compreensão e assimilação do conteúdo. Esse resultado demonstra que os alunos entenderam a relação entre a corrente elétrica, o campo magnético e a agulha da bússola, assim como a influência de um campo magnético externo na direção da agulha. Essa resposta satisfatória evidencia que os alunos adquiriram o conhecimento necessário para compreender a interação entre eletricidade e magnetismo, bem como sua aplicação em contextos práticos.

Esse resultado é encorajador, pois indica que a abordagem utilizada durante as aulas teóricas e a ênfase na história da Física, como o experimento de Oersted, foram eficazes em promover o aprendizado dos alunos. Além disso, ressalta a importância do planejamento

cuidadoso das atividades de ensino, que possibilitaram aos alunos compreenderem e explicarem corretamente o fenômeno em questão.

Na pergunta 02, espera-se que o aluno seja capaz de diferenciar o experimento de Oersted do experimento realizado por Michael Faraday. Em relação a essa pergunta, seria esperado que os alunos mencionassem que no experimento de Oersted é a corrente elétrica que produz um campo magnético, enquanto no experimento de Faraday é o campo magnético que varia e induz uma corrente elétrica no condutor.

Com base nos resultados da Tabela 5-5, observa-se que 16 dos 18 alunos responderam de forma satisfatória à pergunta, o que indica um alto nível de compreensão por parte da maioria dos alunos. Esse resultado é bastante promissor, pois demonstra que os alunos estão conseguindo identificar e descrever a diferença essencial entre os experimentos de Oersted e Faraday.

Essa resposta positiva reflete a eficácia do ensino realizado até o momento e o bom entendimento dos alunos em relação aos princípios fundamentais das Leis de Faraday e Lenz. Além disso, o fato de os alunos terem assimilado corretamente essa diferença abre caminho para a exploração de experimentos mais complexos, como o Pêndulo Eletromagnético, e promove o desenvolvimento de uma compreensão mais abrangente e aprofundada sobre a relação entre eletricidade e magnetismo.

Diante desse resultado, é importante destacar a importância de manter o engajamento dos alunos e incentivar a continuidade desse processo de aprendizado. É necessário consolidar os conhecimentos adquiridos até o momento e explorar novas aplicações e experiências que aprofundem ainda mais a compreensão dos alunos sobre os princípios do eletromagnetismo.

Na pergunta 03, espera-se que o aluno compreenda a relação entre a variação do fluxo magnético e a indução de corrente elétrica. É esperado que os alunos mencionem que, se um ímã permanecer parado próximo a um condutor fechado, não haverá indução de corrente elétrica, uma vez que não há variação do fluxo magnético no condutor.

Com base nos resultados da Tabela 5-5, observa-se que 14 dos 18 alunos responderam de forma satisfatória à pergunta. Isso indica que a maioria dos alunos entendeu corretamente que a ausência de variação do fluxo magnético resulta na não indução de corrente elétrica. Essa compreensão é essencial para o entendimento dos princípios da indução eletromagnética.

Essa resposta positiva dos alunos reflete o sólido entendimento que eles têm adquirido sobre o tema e sua capacidade de aplicar corretamente os conceitos aprendidos. A compreensão da relação entre o movimento relativo do campo magnético e o condutor é essencial para explorar os princípios da indução eletromagnética, que desempenham um papel fundamental em uma ampla gama de dispositivos e tecnologias presentes em nosso cotidiano.

É fundamental ressaltar o bom domínio dos conceitos por parte dos alunos que responderam de forma satisfatória. Esse resultado é uma conquista que reflete o trabalho conjunto dos educadores e dos alunos. Eles se dedicaram na assimilação dos conteúdos e participaram ativamente das atividades propostas, o que contribuiu para o desenvolvimento de uma compreensão sólida do assunto.

A resposta positiva de 16 alunos em relação à pergunta 04 indica um bom entendimento sobre a relação entre a corrente elétrica induzida e a geração de um campo magnético. Essa pergunta visa fazer com que os alunos estabeleçam uma conexão entre a Lei de Faraday e a Lei de Lenz. Espera-se que os alunos respondam que a corrente elétrica induzida pelo condutor fechado, devido à oscilação de um ímã nas proximidades, pode sim gerar um campo magnético. É importante que eles compreendam que esse campo magnético será oposto ao fluxo magnético que gerou a corrente elétrica.

Ao entender esse conceito, os alunos demonstram uma sólida compreensão dos princípios da indução eletromagnética, reconhecendo que a variação do fluxo magnético através de um circuito fechado resulta em uma corrente induzida, que, por sua vez, gera um campo magnético. Essa resposta satisfatória por parte da maioria dos alunos é um indicativo de que eles estão consolidando seus conhecimentos sobre o assunto e são capazes de aplicá-los de maneira correta. Além disso, evidencia a eficácia do ensino e das estratégias utilizadas para transmitir os conceitos da Lei de Faraday e da Lei de Lenz.

Tabela 5-5. Resultados obtidos por pergunta – Lei de Faraday e Lenz.

PERGUNTAS	Respostas satisfatórias	Respostas não satisfatórias
1 – É possível fazer a agulha de uma bússola, distante de qualquer ímã permanente, mudar de direção?	18	0
2 – Qual a diferença do experimento de Oersted com o realizado por Michael Faraday?	16	2
3 – Se um ímã ficar parado próximo a um condutor fechado, haverá a indução de corrente elétrica? Explique.	14	4
4 – A corrente elétrica induzida pelo condutor fechado, devido a oscilação de um ímã nas proximidades, poderá gerar um campo magnético? Se sim, como é o comportamento das linhas de campo?	16	2

5.5. ETAPAS 6, 7 e 8: APLICAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Os experimentos mencionados neste tópico foram realizados sequencialmente, em datas distintas, seguindo a ordem estabelecida na Tabela 4-1. Na sala de aula, composta por 18 alunos, foi possível cumprir o tempo previsto para a realização de cada experimento. A sequência adotada foi a seguinte: Pêndulo Eletromagnético, Transformador e Eletroímã.

Os testes aos experimentos foram realizados pelos alunos, seguindo uma sequência didática e recebendo orientações por parte do professor. Após concluírem as etapas de montagem, os alunos foram encorajados a reproduzir os experimentos quantas vezes fossem necessárias. Essa abordagem proporcionou aos alunos a liberdade para investigar o fenômeno ocorrido e, assim, responder aos questionamentos propostos ao final da sequência didática.

Essa metodologia de permitir que os alunos reproduzissem os experimentos de forma independente foi importante para estimular o pensamento investigativo e a exploração dos conceitos abordados. Além disso, essa abordagem permitiu que os alunos consolidassem o conhecimento adquirido ao enfrentarem possíveis desafios durante a reprodução dos experimentos.

A abordagem prática desses experimentos engajou ativamente os alunos no processo de aprendizagem, desenvolvendo habilidades de observação, análise e resolução de problemas. Ao vivenciarem a montagem e observarem os resultados, os alunos puderam estabelecer conexões entre a teoria estudada e as experiências concretas, o que contribuiu para uma compreensão mais sólida dos conceitos científicos.

A liberdade concedida aos alunos para investigar e explorar os experimentos também estimulou a criatividade e a curiosidade, despertando o interesse pela disciplina. Além disso, ao final da sequência didática, os alunos foram desafiados a responder a questionamentos relacionados aos experimentos, o que permitiu avaliar o nível de compreensão e assimilação dos conceitos por parte dos estudantes.

No geral, essa abordagem prática e investigativa, aliada à liberdade dada aos alunos para explorar os experimentos, contribuiu para um maior engajamento e participação ativa no processo de aprendizagem. Ao vivenciarem os fenômenos de forma concreta, os alunos foram capazes de compreender e aplicar os conceitos estudados, fortalecendo sua aprendizagem e ampliando sua visão sobre a relação entre a teoria e a prática na disciplina de Ciências.

Além disso, durante a realização dos experimentos, os alunos também tiveram a oportunidade de utilizar o celular como ferramenta para medir o campo magnético, por meio do aplicativo gratuito PhyPhox. Esse aplicativo se mostrou uma ferramenta importante para os alunos, pois permitiu que eles realizassem medições em tempo real, utilizando os sensores presentes em seus dispositivos móveis. Essa utilização do celular como instrumento de medição proporcionou aos alunos uma experiência prática e interativa, que complementou os experimentos realizados em sala de aula. O PhyPhox permitiu que os alunos explorassem e verificassem, de forma concreta, os conceitos de campo magnético e intensidade do campo magnético, enriquecendo sua compreensão sobre o tema. Dessa forma, o uso do aplicativo PhyPhox contribuiu significativamente para a aprendizagem dos alunos, promovendo uma maior interação com os conteúdos de Eletromagnetismo e possibilitando uma abordagem mais abrangente e tecnologicamente atualizada no processo educacional.

5.5.1. *Pêndulo Eletromagnético*

A análise dos resultados obtidos nas respostas às perguntas do experimento (conforme Tabela 5-6) revelou um desempenho satisfatório por parte da maioria dos alunos, evidenciando

sua capacidade de identificar o fenômeno observado e relacioná-lo com o conteúdo abordado em sala de aula.

Na primeira pergunta, os alunos foram solicitados a identificar o comportamento da corrente elétrica ao oscilar o pêndulo com o ímã permanente pela bobina de 1000 espiras. Esperava-se que os alunos percebessem uma variação na intensidade da corrente elétrica, observada por meio do multímetro, e estabelecessem uma relação com a oscilação do pêndulo. De acordo com a tabela, 16 dos 18 alunos responderam de maneira satisfatória a essa pergunta, evidenciando sua compreensão do fenômeno de indução eletromagnética.

A segunda pergunta demandava dos alunos o cálculo da intensidade máxima do campo magnético das bobinas de 1000 e 500 espiras, utilizando a equação fornecida na sequência didática. Para isso, era necessário utilizar o valor da intensidade máxima da corrente elétrica observada no multímetro. Essa etapa permitia aos alunos assimilar a influência do campo magnético na geração de corrente elétrica na bobina. Dos 18 alunos, 14 responderam de forma satisfatória a essa pergunta, demonstrando sua habilidade em aplicar os conceitos aprendidos para realizar cálculos e estabelecer relações entre variáveis.

A terceira pergunta levava os alunos a refletir sobre o motivo da alteração na intensidade da corrente elétrica ao trocar a bobina. Essa questão estimulava os alunos a considerarem a importância do número de voltas da espira da bobina, uma vez que esse fator influencia diretamente a intensidade da corrente elétrica gerada. Nesse caso, 12 dos 18 alunos conseguiram responder de maneira satisfatória, evidenciando um entendimento parcial desse aspecto.

Por fim, a quarta pergunta resumia o experimento ao questionar por que a intensidade da corrente elétrica é nula, mas o campo magnético possui um valor quando o pêndulo não está oscilando. Essa pergunta exigia que os alunos compreendessem que a corrente elétrica é induzida apenas durante a oscilação do ímã, em conformidade com a Lei de Faraday. Dos 18 alunos, 16 responderam de forma satisfatória a essa pergunta, demonstrando uma compreensão sólida desse princípio.

Os resultados indicam que a maioria dos alunos conseguiu relacionar os fenômenos observados no experimento com os conceitos teóricos discutidos em sala de aula. No entanto, é importante destacar que algumas questões ainda apresentaram um desafio para um número significativo de alunos, como a compreensão da influência do número de voltas da espira na intensidade da corrente elétrica. Essa análise dos resultados evidencia o progresso dos alunos no desenvolvimento de habilidades e conhecimentos relacionados à indução eletromagnética.

A capacidade de aplicar equações, estabelecer relações entre variáveis e compreender os princípios fundamentais da indução eletromagnética são aspectos cruciais para a compreensão de diversos dispositivos e tecnologias presentes em nosso cotidiano.

O desempenho dos alunos nesse experimento é reflexo do trabalho conjunto entre os educadores e os estudantes. A sequência didática e a orientação fornecida pelo professor foram fundamentais para que os alunos pudessem realizar a montagem dos experimentos de forma adequada. A liberdade dada aos alunos para reproduzir os experimentos quantas vezes fosse necessário proporcionou um ambiente propício para investigação e exploração dos fenômenos observados. No entanto, é importante ressaltar que alguns alunos apresentaram dificuldades em compreender o motivo da alteração na intensidade da corrente elétrica ao trocar a bobina, bem como a importância do número de voltas da espira nesse processo. Esses pontos podem indicar a necessidade de reforço conceitual e de uma abordagem mais detalhada durante as aulas.

É fundamental que os educadores avaliem os resultados desse experimento e utilizem as dificuldades identificadas como base para aprimorar suas práticas de ensino. Estratégias adicionais, como exemplos práticos, analogias e atividades de aplicação dos conceitos estudados, podem ser incorporadas para fortalecer a compreensão dos alunos.

Tabela 5-6. Resultados obtidos no questionário – Pêndulo Eletromagnético

PERGUNTAS	Respostas satisfatórias	Respostas não satisfatórias
1 – Ao oscilar o pêndulo com o ímã permanente pela bobina de 1000 espiras, percebe-se que uma corrente elétrica é acusada pelo multímetro. De acordo com a sua observação, qual o comportamento da corrente elétrica? A intensidade da corrente é fixo ou oscila? Explique.	16	2
2 – Calcule a intensidade máxima do campo magnético da bobina de 1000 espiras, de 500 espiras e compare os valores.	14	4
3 – Explique o motivo da intensidade da corrente elétrica ser alterada ao trocar a bobina.	12	6
4 – Explique o porquê da intensidade da corrente elétrica ser nula, mas o campo magnético possuir um valor quando o o pêndulo não está oscilando.	16	2

5.5.2. Transformador

Após a realização dos procedimentos experimentais da sequência didática proposta, foi possível analisar as respostas dos alunos às perguntas formuladas, verificando o nível de compreensão alcançado e a assimilação dos conceitos abordados. Os resultados obtidos, apresentados na Tabela 5-7 revelam um desempenho satisfatório da maioria dos alunos, evidenciando a compreensão de que ocorre uma transformação da tensão elétrica no experimento e que as bobinas de cobre, juntamente com o número de voltas, desempenham um papel fundamental nesse processo.

Ao analisar a primeira pergunta, que investiga se os valores da tensão elétrica medidas nos terminais das bobinas primária e secundária são diferentes e se houve aumento ou diminuição, observamos que 17 alunos responderam de forma satisfatória. Isso indica que os estudantes compreenderam que existe uma diferença nos valores de tensão elétrica entre as bobinas, assimilando que ocorre uma transformação ou indução de tensão no sistema. Além disso, eles foram capazes de identificar se houve aumento ou diminuição nessa transformação, evidenciando um bom entendimento do fenômeno observado.

Na segunda pergunta, que envolve um raciocínio mais complexo, os alunos foram desafiados a calcular o valor esperado da tensão elétrica gerada na bobina secundária com base na equação fornecida na sequência didática, comparando-o com os valores experimentais obtidos por meio da medição no multímetro. Nesse caso, 13 alunos responderam de forma satisfatória, indicando uma compreensão razoável da relação entre o número de espiras e a tensão elétrica gerada. Esses resultados sugerem que os alunos foram capazes de realizar os cálculos teóricos e estabelecer uma comparação com os resultados práticos, demonstrando uma capacidade de análise e interpretação.

A terceira pergunta aborda o efeito da remoção da barra metálica do bloco metálico sobre a tensão elétrica no terminal da bobina secundária. Nessa questão, 12 alunos responderam de forma satisfatória, compreendendo que a retirada da barra metálica resulta na interrupção do circuito elétrico e, conseqüentemente, na ausência de tensão elétrica na bobina secundária. Essa resposta demonstra uma compreensão da importância da estrutura metálica fechada para a geração da tensão elétrica.

Em geral, os resultados obtidos nas respostas às perguntas revelam um nível satisfatório de compreensão e assimilação dos conceitos relacionados à indução de tensão elétrica nas bobinas. No entanto, é importante destacar que ainda há uma parcela dos alunos que apresenta algumas dificuldades conceituais, especialmente na formulação de cálculos e na compreensão mais aprofundada das relações entre o número de espiras e a tensão elétrica. Portanto, é recomendável que os educadores avaliem essas dificuldades identificadas e desenvolvam estratégias de ensino adicionais, como exemplos práticos e exercícios de aplicação, visando reforçar os conceitos e promover uma melhor compreensão dos fenômenos estudados.

É importante destacar que a maioria dos alunos demonstrou habilidades satisfatórias ao relacionar os conceitos teóricos com os resultados experimentais, sugerindo uma assimilação dos conteúdos abordados. No entanto, é preciso ressaltar que apenas o mapa conceitual, presente no final do produto, poderá fornecer informações mais detalhadas sobre a aprendizagem efetiva dos alunos.

Tabela 5-7. Resultados obtidos no questionário – Transformador.

PERGUNTAS	Respostas satisfatórias	Respostas não satisfatórias
1 – Os valores da tensão elétrica medidas nos terminais das bobinas: primária e secundária são diferentes? Se sim, aumentou ou diminuiu?	17	1
2 – Existe uma relação entre o número de espiras e a tensão elétrica. Calcule o valor esperado da tensão gerada na bobina secundária e compare o valor encontrado com o anotado na tabela da pergunta 1.	13	5
3 – O que acontece com a tensão elétrica no terminal da bobina secundária quando a barra metálica é retirada do bloco metálico?	12	6

5.5.3. *Eletroímã*

No contexto do experimento Eletroímã, os alunos utilizaram a estrutura previamente estabelecida para o experimento Transformador, citada no tópico 5.5.2. Durante o experimento, os alunos tiveram a oportunidade de ligar os terminais de uma das bobinas em qualquer ordem e, em seguida, observar a variação da intensidade do campo magnético registrada pelo aplicativo PhyPhox, conforme apresentado na Tabela 5-8. Essa abordagem experimental permitiu que os alunos compreendessem a relação direta entre a corrente elétrica e a geração do campo magnético nesse contexto específico. No entanto, ao analisar as respostas para a pergunta 2, nota-se que houve um número menor de respostas satisfatórias em comparação às perguntas 1 e 3. Isso indica que seis alunos não conseguiram assimilar a importância de fechar o bloco metálico para estabelecer o campo magnético desejado.

Ao iniciar o experimento, os alunos foram instruídos a ligar o circuito na fonte de alimentação de 12 V e observar o comportamento do campo magnético registrado pelo aplicativo PhyPhox. Dos dezoito alunos participantes, dezessete responderam de forma satisfatória à pergunta 1, demonstrando uma compreensão adequada do fenômeno observado ao ligarem o circuito.

A pergunta 2 abordou o comportamento do campo magnético ao acoplar a barra metálica e solicitou aos alunos que imaginassem o possível comportamento caso a barra fosse substituída por um material plástico. Treze alunos responderam de forma satisfatória, indicando uma compreensão parcial desse aspecto específico. No entanto, seis alunos não conseguiram

compreender a necessidade de fechar o bloco metálico para estabelecer o campo magnético desejado, o que sugere uma lacuna em sua compreensão do fenômeno em questão.

A pergunta 3 direcionou os alunos a colocar uma moeda na estrutura metálica e verificar se ocorria atração. Quatorze dos dezoito alunos responderam de forma satisfatória, demonstrando uma compreensão adequada do fenômeno observado e fornecendo uma explicação científica coerente para a atração observada.

Os resultados obtidos indicam que a maioria dos alunos foi capaz de estabelecer conexões entre os conceitos teóricos abordados em sala de aula e os resultados experimentais no contexto do experimento Eletroímã. No entanto, vale ressaltar que uma análise completa do mapa conceitual, a ser realizada posteriormente, fornecerá informações mais abrangentes sobre a efetividade da aprendizagem, possibilitando uma avaliação mais precisa do grau de assimilação dos conceitos estudados pelos alunos ou seja, será verificado se houve armazenamento correto das informações obtidas na estrutura cognitiva dos alunos.

Tabela 5-8. Resultados obtidos no questionário – Eletroímã.

PERGUNTAS	Respostas satisfatórias	Respostas não satisfatórias
1 – Ao ligar o circuito na fonte de alimentação de 12 V, como é o comportamento do campo magnético informado no aplicativo <i>PhyPhox</i> ?	17	1
2 – Ao acoplar a barra metálica, como é o comportamento do campo magnético gerado? Caso a barra metálica fosse substituída por um material plástico, como você acha que seria o comportamento do campo magnético?	13	5
3 – Coloque a moeda na estrutura metálica e verifique se houve atração. Caso a resposta seja sim, qual a explicação científica para esse fenômeno?	14	4

5.6. ETAPAS FINAIS: MAPA CONCEITUAL PÓS EXPERIMENTOS

No contexto deste trabalho, que tem como um dos objetivos aplicar mapas conceituais para avaliar a estrutura cognitiva dos alunos em relação ao conteúdo de Eletromagnetismo e, assim, verificar a eficácia da metodologia de ensino, foi realizada uma etapa inicial de aplicação dos mapas conceituais, seguida por aulas teóricas e experimentos práticos. O produto utilizado nessa abordagem envolveu a exploração de conceitos como corrente elétrica, campo elétrico, lei de Faraday e lei de Lenz, seguida por perguntas relacionadas aos conteúdos abordados em cada aula teórica.

Nas seções 5.2, 5.3 e 5.4 do trabalho, observou-se, de maneira geral, resultados positivos, com a maioria dos alunos sendo capaz de responder satisfatoriamente às perguntas propostas, demonstrando compreensão e aquisição dos conhecimentos esperados. Após essa fase inicial, os alunos foram expostos à etapa experimental, que consistiu na apresentação de três experimentos: o Pêndulo Eletromagnético, Transformador e Eletroímã. Durante essa etapa, os alunos foram encorajados a explorar, testar e manipular os experimentos, a fim de responder às perguntas presentes na sequência didática dos experimentos.

Os resultados obtidos nessa etapa experimental também foram, em sua maioria, positivos, com os alunos demonstrando compreensão dos experimentos e dos fenômenos envolvidos. No entanto, a preocupação era se essas respostas seriam efetivamente incorporadas à estrutura cognitiva dos alunos, ou seja, se as ideias relacionadas aos novos termos empregados no campo do eletromagnetismo seriam devidamente organizadas em sua rede cognitiva.

Após a aplicação do produto, foi solicitado aos alunos que realizassem novamente testes de múltipla escolha abordando o tema central do Eletromagnetismo. A expectativa era que as novas informações adquiridas durante a aplicação do produto fossem assimiladas e integradas à estrutura cognitiva dos alunos. Para verificar essa hipótese, os resultados dos testes de múltipla escolha realizados antes e depois da aplicação do produto foram comparados. Os critérios de nível de aprendizagem utilizados nos testes pós-aplicação foram os mesmos adotados nos testes anteriores.

Tabela 5-9. Comparação do desempenho dos alunos, por níveis de aprendizagem: pré e pós-aplicação do produto.

NÍVEL	PRÉ-APLICAÇÃO	PÓS-APLICAÇÃO
INSUFICIENTE	6	2
REGULAR	9	4
BOM	3	12

Ao analisar a Tabela 5-9, constata-se uma redução no número de alunos classificados como "insuficiente" de acordo com os critérios estabelecidos na Tabela 5-2, passando de 6 para 2 alunos. A Figura 5-4 exemplifica o caso de um aluno que, após ter realizado um Mapa Conceitual de critério insuficiente anteriormente, obteve novamente um resultado insuficiente em um novo MC. O mapa conceitual produzido pelo aluno apresenta algumas deficiências na organização e conexão dos termos. Observa-se que as palavras estão dispostas de forma isolada, sem estabelecer relações significativas entre si e não apresenta termo de ligação. Além disso, é evidente a ausência de palavras-chave relacionados aos conteúdos abordados, tais como lei de Faraday e de Lenz, transformador, pêndulo eletromagnético, eletroímã, campo magnético e corrente elétrica. Essas lacunas indicam que os novos termos não foram devidamente incorporados na estrutura cognitiva do aluno, conforme proposto por Ausubel.



Figura 5-4. MC de nível insuficiente da última etapa da aplicação do produto.

No nível "regular", em que os alunos são capazes de utilizar de 2 a 3 palavras-chave com ramificação e empregar os termos de ligação corretamente, observou-se uma redução de 9 para 4 alunos. Essa diminuição é considerada positiva, pois significa que quatro alunos que estavam inicialmente classificados como "insuficiente" apresentaram uma evolução em suas respostas e alcançaram o nível "regular". O mapa conceitual produzido pelo aluno da figura 5-5 demonstra uma tentativa de estabelecer conexões entre algumas palavras-chave e a utilizar termos de ligação de forma adequada. No entanto, é observado que a estrutura cognitiva do aluno ficou limitada a apenas três subconceitos. Isso indica uma restrição na capacidade de expandir e aprofundar a compreensão dos conteúdos abordados. Apesar do esforço em estabelecer algumas relações entre os termos, a falta de um número maior de subconceitos limita a representação completa e abrangente do conhecimento.

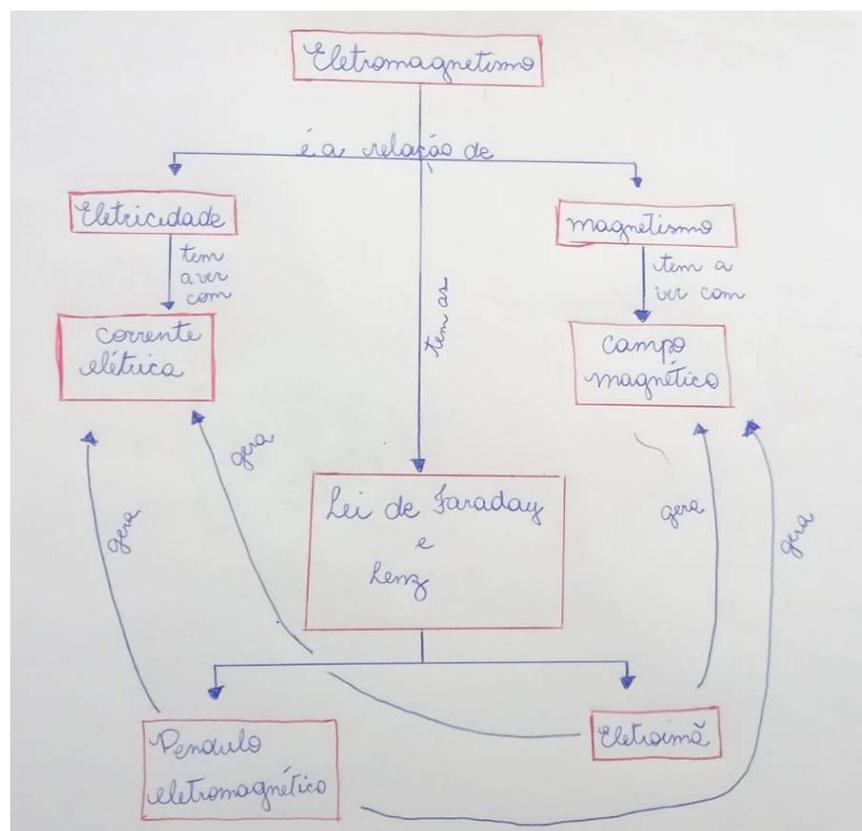


Figura 5-5. MC de nível regular da última etapa da aplicação do produto.

Por outro lado, o nível considerado "bom" apresentou um aumento excepcional, passando de 3 para 12 alunos. Esses alunos foram capazes de utilizar mais de 3 palavras-chave

Esses resultados são encorajadores e fornecem evidências de que a abordagem adotada, por meio da aplicação de mapas conceituais seguidos por aulas teóricas e experimentos práticos, promoveu a construção de uma sólida base de conhecimento e uma melhor compreensão dos princípios de Eletromagnetismo pelos alunos. A utilização dos critérios de nível de aprendizagem permitiu uma análise objetiva e quantitativa do progresso dos alunos, fornecendo um feedback claro sobre sua evolução ao longo do processo de ensino-aprendizagem.

No entanto, é importante ressaltar que esses resultados são baseados em uma amostra específica de alunos e em um contexto específico. Estudos futuros podem ampliar a investigação para outras turmas e contextos, a fim de validar ainda mais os benefícios e a eficácia dessa abordagem no ensino de Eletromagnetismo. Além disso, é fundamental continuar aprimorando e adaptando os recursos e estratégias utilizados, levando em consideração as necessidades e características individuais dos alunos, para promover uma aprendizagem ainda mais significativa e duradoura nessa área de conhecimento.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao executar a aplicação do produto educacional, que consistiu na utilização de sequências didáticas e de um kit experimental, deparou-se com um cenário desafiador devido à vigência do decreto municipal e da decisão em manter o protocolo sanitário, por parte da escola, os quais determinavam medidas de proteção e prevenção contra a propagação da COVID-19. Com a restrição imposta pelo protocolo de segurança sanitária, os alunos foram impedidos de realizar a montagem do experimento em duplas, como era inicialmente planejado. Essa limitação acarretou na perda da oportunidade de vivenciar e desenvolver habilidades práticas relacionadas à montagem e manipulação do equipamento experimental. A realização conjunta da montagem proporcionaria um ambiente propício para a colaboração, o trabalho em equipe e a troca de conhecimentos entre os alunos.

Além disso, ao participarem ativamente da montagem do experimento, os alunos teriam a oportunidade de explorar e compreender melhor os princípios e conceitos envolvidos no fenômeno estudado, consolidando sua compreensão do conteúdo. A restrição imposta pelo protocolo de segurança sanitária limitou a experiência prática dos alunos, impactando negativamente a construção de conhecimento em sua totalidade. No entanto, é importante ressaltar que, mesmo com essa limitação, os alunos ainda tiveram a oportunidade de realizar os testes, observações e coleta de dados, permitindo que pudessem analisar e interpretar os resultados obtidos e aplicar os conceitos teóricos aprendidos durante o processo educativo. Embora as restrições impostas pelo referido decreto tenham impactado parcialmente a execução do produto, foi possível conduzi-lo em um ambiente presencial, respeitando integralmente os protocolos sanitários estabelecidos.

Outrossim, é pertinente ressaltar como um fator positivo no contexto da aplicação do produto a notável dedicação dos discentes ao trabalho, resultando em uma baixa taxa de ausências às aulas, o que confere maior confiabilidade aos resultados desta dissertação. Ademais, constatou-se que os estudantes manifestaram interesse genuíno em adquirir conhecimento, o que é um dos elementos essenciais para a efetivação da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, pois sem o despertar do interesse, a consolidação do processo de aprendizagem fica comprometida.

O conjunto de aulas teóricas, aulas experimentais, uso de aparelho celular e MCs obtiveram êxito na aprendizagem do aluno, conforme os dados analisados no tópico 4. Isso

demonstra que essa combinação resulta positivamente e que deve ser testada em outros ambientes a fim de averiguar tal resultado. Analisando especificamente as aulas teóricas, as analogias utilizadas para explicar alguns conteúdos acabaram atraindo a atenção dos alunos, pois com essa estratégia eles puderam utilizar de uma referência já bem definida em sua estrutura cognitiva – a qual denominamos de subsunçor – e a partir dela ancorar novas informações para que ficasse guardado de forma organizada em sua estrutura cognitiva.

Já nas aulas experimentais, houve também o interesse por parte dos alunos, pois nelas eles puderam investigar e questionar os fenômenos ocorridos, despertando assim o interesse pelos experimentos. Essa liberdade em testar o experimento influenciou no resultado final, pois nesse momento os alunos chegaram a debater com outros alunos os possíveis motivos para que um determinado fenômeno ocorresse. Em algumas situações, esse debate transcendia os experimentos em aula e partia para o cotidiano, demonstrando assim interesse e troca de conhecimento com os demais alunos.

Em relação as manipulações das equações presentes das perguntas da sequência didática dos experimentos, houve algumas dificuldades em interpretação e nas manipulações algébricas. Entretanto, isso era esperado, já que, pela experiência de discente, aquela turma já apresentava dificuldade em manipulações matemáticas e na identificação das grandezas. Em busca de amenizar esse problema, em paralelo com a aplicação do produto, duas aulas foram utilizada para resolver exercícios que envolvem a identificação de grandezas físicas e manipulações algébricas.

Já a apresentação e utilização dos MCs nessa turma foi bem aproveitada. Além de utilizarem nesse trabalho, acabaram adotando essa ferramenta em outras disciplinas como forma de verificar se estavam aprendendo e para organizar as ideias. Como informado no tópico resultados e discussões, os MCs foram essenciais para verificar se foi inserido de forma correta informações sobre as leis de Faraday e Lenz na estrutura cognitiva do aluno, utilizando uma tabela de critérios para que a comparação fosse justa.

Por fim, o material apresentou um resultado satisfatório, sendo um grande potencial para ser desenvolvido na área de eletromagnetismo. Os experimentos utilizados são fáceis de serem transportados, sendo a necessidade de ficar em um local fixo, sendo, portanto, um aliado para o professor utilizar com seus alunos em sala de aula.

7. REFERÊNCIAS

1. PEDRISA, C.M. Características históricas do ensino de ciências. *Ciência & Ensino*, Campinas, n. 11, p. 9-12, 2001.
2. GATTI, B. A. Formação de professores: condições e problemas atuais. *Revista Brasileira de Formação de Professores*, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 90-102, mai. 2009.
3. HILGER, T. R.; GRIEBELER, A. Uma proposta de unidade de ensino potencialmente significativo utilizando mapas conceituais. *Investigações em Ensino de Ciências*, V. 18, n. 1, p. 199-213, 2013.
4. PONTES NETO, J. A. DA S.. Teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel: perguntas e respostas. *Série-Estudos (UCDB)*, v. 21, p. 117-130, 2006.
5. GRIFITHS, D. *Introduction of Electrodynamics*. 3rd ed. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey. 1999.
6. MOREIRA, M.A. (1995). Monografia n° 10 da 5th-ie Ellfoques Tearicos. Porto Alegre. Instituto de Ffsica da UFRGS. Originalmente divulgada, em 1980, na serie "Melhoria do Ensino", do Programa de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino Superior (PADES)/ UFRGS, N° 15.Publicada, em 1985, no livro "Ensino e aprendizagem: enfoques teóricos", Siio Paulo, Editora Moraes, p. 61-73_ Revisada em 1995.
7. AUSUBEL, David P., NOVAK, Joseph D., HANESIAN, Helen. *Psicologia educacional*. Tradução Eva Nick. Rio de Janeiro: Interamericana , 1980. Página 137
8. MOREIRA, M.A. A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E SUA IMPLEMENTAÇÃO NA SALA DE AULA. Brasília. Editora UnB, 2006.
9. NOVAK, J. Meaningful learning: the essential factor for conceptual change in limited or appropriate propositional hierarchies (LIPhs) leading to empowerment of learners. *Science Education*, 86 (4), pp.548-571, 2002.
10. MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. *Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel*. 2. ed. São Paulo: Centauro, 2006. Página 42.

11. SEARS & ZEMANSKY. **Física III: Eletromagnetismo**/Hugh D. Young, Roger A. Freedman; colaborador A. Lewis Ford; tradução Lucas Pilar da Silva e Daniel Vieira; revisão técnica Adir Moysés Luiz - 14^o ed. - São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2015
12. REITZ, J.R. **Fundamentos da teoria eletromagnética**/ John R. Reitz, Frederick J. Milford, Robert W. Christy; tradução de Renê Balduino Sander - 12^o reimpressão. - Rio de Janeiro: Elsevier, 1982.3
13. MASSONI, N. T. Ensino de laboratório em uma disciplina de Física Básica voltada para cursos de Engenharias: Análises e perspectivas. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Porto Alegre, v.31, n.2, p.258-288, 2014.
14. RODRIGUES, C.; SAUERWEIN, I. P. S.; SAUERWEIN, R. A. Uma proposta de inserção da teoria da relatividade restrita no Ensino Médio via estudo do GPS. Revista Brasileira de Ensino de Física, Santa Maria, v.36, n.1, 2014.
15. OLIVEIRA, V.; VEIT, E. A.; ARAUJO, I. S. Resolução de problemas abertos no ensino de física: uma revisão da literature. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 39, n. 3, e3042-17, 2017.
16. PIEPER, F. C.; ANDRADE NETO, A. S. Evidências da emergência de drivers hiperculturais durante o aprendizado de conceitos de eletromagnetismo em alunos do Ensino Médio após a utilização de simulações computacionais. Acta Scientiae, v. 17, n. 3, 2015.
17. PAZ, A.M. Atividades Experimentais e Informatizadas: contribuições para o ensino de eletromagnetismo. Tese de Doutorado, Florianópolis, 2007.
18. FONTES, D. T.M; RODRIGUES, A.M. Fundamentação Teórica no Ensino de Eletromagnetismo: uma revisão da literatura em periódicos nacionais. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.38, n.2, p.965-991, ago. 2021.
19. PEDROSO, L.S.; ARAÚJO, M.S.T. Aprendizagem Significativa de Conceitos de Eletromagnetismo Utilizando Simulações Interativas no Ensino Médio. Anais do II Seminário Hispano Brasileiro – CTS, p. 512 – 523, 2012.

20. LIMA, D.S. Ensino de Física por Investigação: uma proposta para o ensino da lei de Faraday. Dissertação do programa MNPEF. UFPA, Belém – PA, 2020.
21. HESSEL, R; FRESCHI, A.A.; SANTOS, F.J. Lei de Indução de Faraday: uma verificação experimental. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 37, n.1, 1506. 2015.
22. OLIVEIRA, R. M. Mapas conceituais no ensino de eletromagnetismo: uma abordagem baseada na aprendizagem significativa de Ausubel (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil. 2017.
23. FERNANDES, R. M. P. "Uso de experimentos no ensino de eletromagnetismo: uma abordagem baseada na aprendizagem significativa", Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, 2014.
24. SILVA, M. F. T. "Experimentos de eletromagnetismo com uso de materiais alternativos: uma abordagem para a aprendizagem significativa", Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, 2015.
25. SOUZA, R. C., BRITO, C. A. S. and SILVA, R. F. R. "Aprendizagem significativa e o uso de experimentos no ensino de eletromagnetismo", *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 39, no. 3, 2017.
26. SANTOS, E. S; LIMA, M. P. and LEITE, M. S. G. "Experimentos de eletromagnetismo no ensino médio: uma abordagem baseada na aprendizagem significativa", *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, vol. 13, no. 3, 2020.
27. MORAN, J. M.; MASSETTO, M. T., BEHRENS M.A. *Novas tecnologias e mediações pedagógicas*. Campinas, SP. Papirus, 2012.
28. SILVA, R. F., & Almeida, J. R. (2019). Uso de dispositivos móveis no ensino de ciências: um estudo sobre a aprendizagem significativa. *Revista de Ensino de Ciências e Matemática*, 10(3), 113-132.
29. SANTOS, R. F., Sampaio, S. C., & Quaresma, R. C. (2020). Aprendizagem significativa em física através do uso de aplicativos móveis. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 42, e4202.
30. RODRIGUES, M. R., & Ribeiro, D. (2020). O uso do smartphone como recurso didático no ensino de física. *Revista Interdisciplinar de Estudos em Educação*, 5(2), 196-206.

31. MINAS GERAIS. Currículo Referência de Minas Gerais. Minas Gerais, 2018. Disponível em:<http://www2.educacao.mg.gov.br/images/documentos/20181012%20-%20Curr%C3%ADculo%20Refer%C3%Aancia%20de%20Minas%20Gerais%20vFinal.pdf> Acesso em: 12/06/2022.
32. RUBINSTEIN, Edith. A pergunta no processo de ensino-aprendizagem. Rev, psicopedagog. ,São Paulo, v.36, n.111,p.317-331,dez 2019.
33. STAACKS, S., HUTZ, H., HEINKE e STAMPFER, C. **Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox**. IOP Science. Publicado 16 de maio de 2018.
34. Sítio do *Phyphox* - <https://phyphox.org>. Acessado em junho/2023.

Apêndice A. PLANOS DE AULA

Neste capítulo apresento os planos de aula sobre os conteúdos: corrente elétrica, campo magnético e leis de Faraday e Lenz

A.1. Plano de aula 1 – corrente elétrica

Tempo estimado: 01 aula (50 min)

Material necessário: *datashow*, lousa e giz

Aplicação: aulas lecionadas pelo *datashow*, utilizando a lousa e giz como complemento as explicações.

Revisão de Eletrostática

Ao iniciarmos as aulas de eletromagnetismo, estudamos a eletrostática, que é o ramo da física responsável por estudar o comportamento das cargas elétricas em repouso e os fenômenos relacionados, como atração e repulsão elétrica e a força que existe entre as cargas. Agora, no conteúdo Corrente Elétrica, estudaremos os fenômenos envolvidos quando a carga elétrica está em movimento, denominada de eletrodinâmica.

Eletrodinâmica

Corrente Elétrica

Como mencionado, agora trataremos da eletrodinâmica, ramo esse da física que estuda o movimento das cargas elétricas e seus fenômenos envolvidos. Para isso, precisamos relembrar uma característica que um material condutor possui, que é possuir elétrons livres. Entretanto, essas cargas elétricas estão em repouso (figura 1.a) ou em movimentos desordenados (figura 1.b).

Questionamento: Você acha que é possível manipular as cargas elétricas e fazê-las entrar em movimento?

Quando há a presença de um campo elétrico em um material condutor, os elétrons passam a se movimentar em direção oposta as linhas de campo elétrico, conforme figura 1.c. O

que gera esse campo elétrico é a aplicação de uma diferença de potencial elétrica (ddp.) nas extremidades do material condutor.

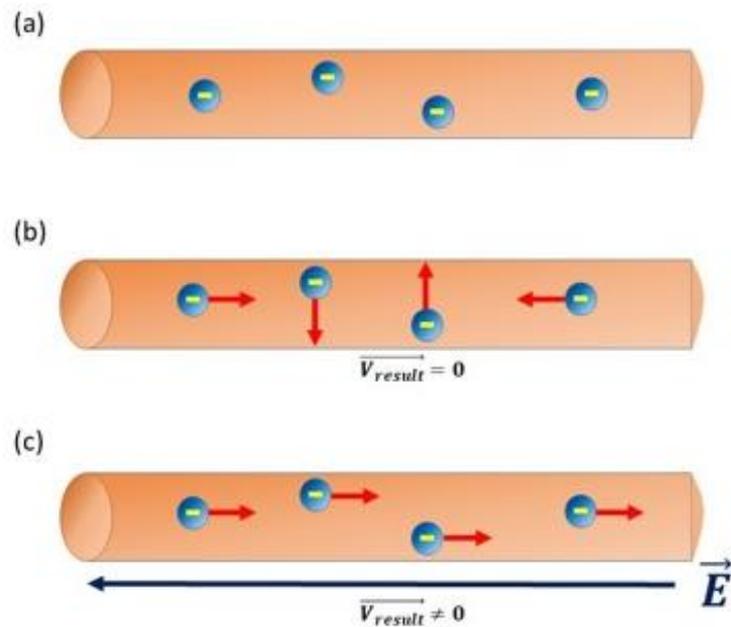


Figura A-1. (a) Cargas elétricas estáticas. (b) cargas elétricas em movimento desordenado, tendo como resultante uma velocidade igual a 0. (c) carga elétrica em movimento ordenado devido a presença de um campo elétrico uniforme. (Fonte: Autor)

O fluxo ordenado de partículas portadoras de carga elétrica, devido a ddp existente nas extremidades de um condutor, é denominada de corrente elétrica. Embora o sentido das cargas elétricas do próton e elétron serem opostos, o sentido de propagação da corrente elétrica é definido como sendo sempre no mesmo sentido do campo elétrico, independente do portador de carga elétrica, conforme figura 2.

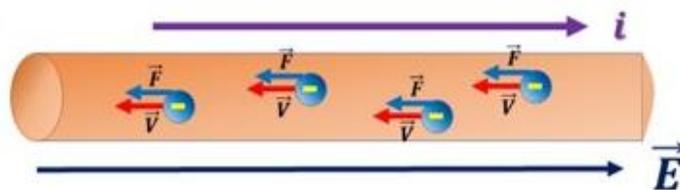


Figura A-2. A corrente elétrica acompanha o sentido do campo elétrico. (Fonte: Autor)

Analogia

Imagine uma corrente de bicicleta, ela é formada por elos, que ao se unir a outros, forma uma corrente. Como analogia, o elo é como se fosse uma carga elétrica. A união de elos, corrente de bicicleta, em movimento é a corrente elétrica e a força aplicada ao pedal para ocorrer o movimento dessa corrente de bicicleta é a ddp aplicada. No caso da figura abaixo, a carga elétrica é o elétron, portanto, a corrente elétrica gerada seria o movimento no sentido contrário da corrente da bicicleta.

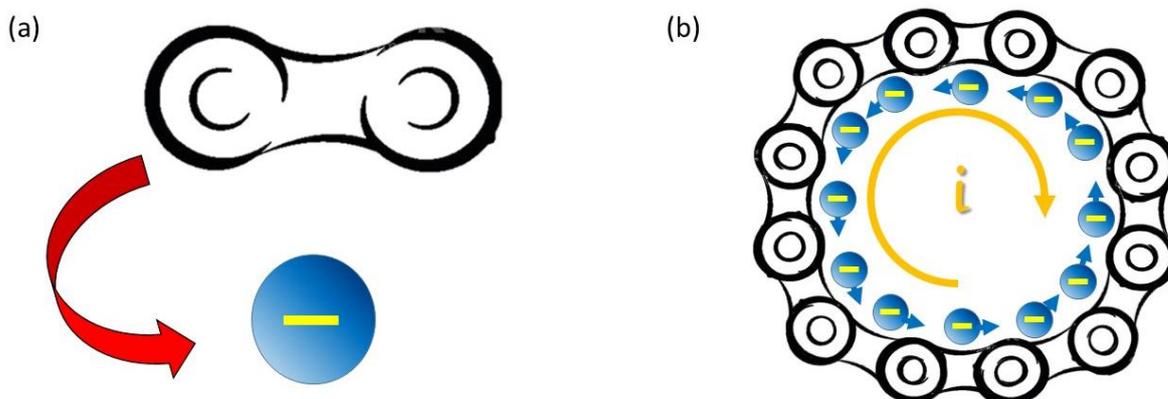


Figura A-3. (a) Analogia: elo feito de um material metálico com carga elétrica . (b) Analogia: corrente de bicicleta com corrente elétrica. (Fonte: Autor)

A corrente elétrica pode ser expressa matematicamente como sendo a carga elétrica que atravessa uma área de secção reta de um condutor em um intervalo de tempo. Ou seja:

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (\text{A-1})$$

Sendo: i a corrente elétrica, ΔQ a carga que atravessa a área de secção reta e Δt o intervalo de tempo.

Como a carga elétrica é dada em Coulomb (C) e o intervalo de tempo em segundos (s), a unidade de medida da corrente elétrica, no Sistema Internacional (SI) é, portanto, C/s, a qual foi denominada de ampère, identificada pela letra A.

Tipos de corrente elétrica

Existem dois tipos de corrente elétrica: contínua e alternada. A primeira é chamada de contínua devido ao sentido de deslocamento ser único e constante. Já a alternada é quando o sentido de propagação da corrente elétrica oscila, ou seja, muda de sentido com frequência devido a inversão da polaridade do potencial aplicado no condutor. Apesar da corrente alternada oscilar constantemente até chegar ao seu destino, ela possui vantagens comparadas a contínua. Uma delas é que possibilita que a ddp a qual está submetida seja transformada com certa facilidade, ou seja, aumentando ou diminuindo a ddp através de um aparato denominado de transformador.

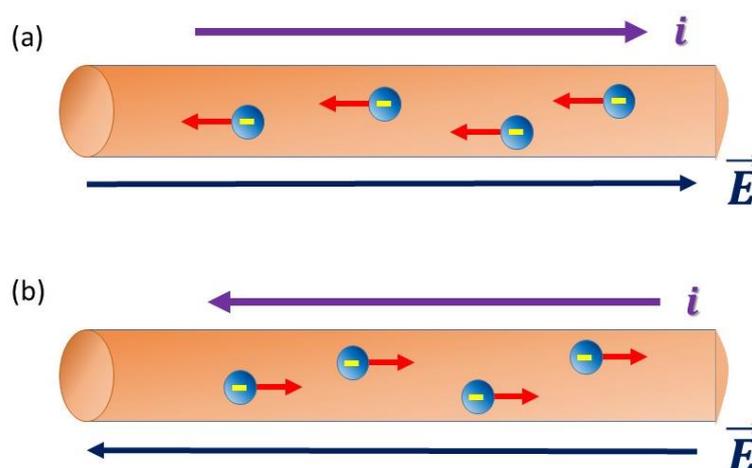


Figura A-4. Corrente alternada. (a) Corrente elétrica no sentido do campo elétrico. (b) corrente elétrica acompanhando a mudança de sentido do campo elétrico. (Fonte: Autor)

Importância da corrente elétrica

A corrente elétrica tem uma importância incontestável no nosso dia-a-dia. Ela está aplicada em objetos simples, como lâmpadas, televisores, computadores, celulares etc. Em uma lâmpada incandescente, por exemplo, ao acionar o interruptor, uma corrente elétrica atravessa seu filamento localizado em seu interior. Como a corrente elétrica, nesse caso, é de um fluxo ordenado de elétrons, ao percorrer o filamento os elétrons transformam sua energia elétrica em uma energia térmica, fenômeno esse denominado de efeito Joule, fazendo com que o filamento aqueça até ocasionar um brilho. Por esse motivo que a lâmpada incandescente esquenta após algum tempo ligada.

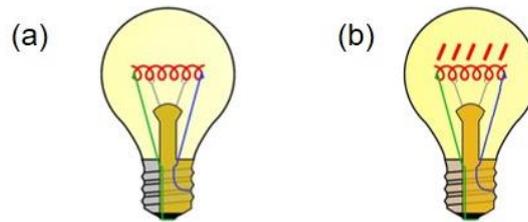


Figura A-5. Lâmpada incandescente. (a) interruptor desligado, impossibilitando a passagem de corrente elétrica. (b) interruptor ligado, possibilitando a passagem de corrente elétrica e, conseqüentemente, ocorrendo o efeito Joule. (Fonte: Autor)

O motivo da corrente elétrica ao passar pelo filamento da lâmpada e gerar energia térmica é devido a mudança de estrutura, ou seja, mudança para um material com uma maior resistividade elétrica. Nesse caso, a mudança ocorre do cobre para o tungstênio. Veremos agora com mais detalhe o que é uma resistência elétrica.

Resistência elétrica

A capacidade física de um corpo qualquer se opor à passagem de corrente elétrica é denominada de resistência elétrica. Isso ocorre porque os elétrons livres colidem entre si também com os átomos que constituem o corpo.

Questionamento: Quais os fatores que influenciam na resistência elétrica?

O físico alemão Georg Simon Ohm postulou, em seu trabalho publicado em 1827, a lei que ficou conhecida como lei de Ohm.

1° Lei de Ohm

Essa lei diz que uma resistência elétrica em um circuito equivale à razão entre a ddp a qual o circuito está ligado e a corrente elétrica que a percorre. Ela pode ser expressa matematicamente como:

$$R = \frac{U}{i} \quad (\text{A-2})$$

Sendo: R a resistência elétrica, U a ddp aplicada no circuito em que a resistência está e i a corrente elétrica que a percorre.

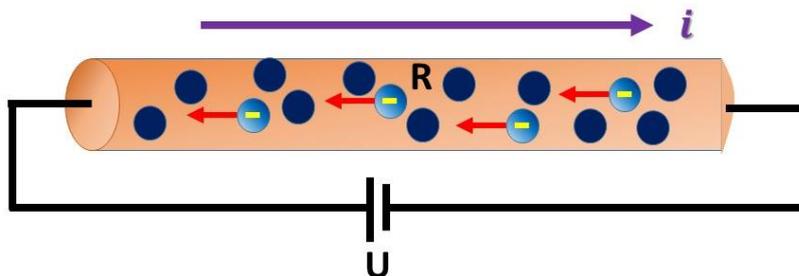


Figura A-6. Representação de uma resistência elétrica ao ser percorrida por uma corrente elétrica devido a ddp aplicada. As esferas em azul escuro representam os átomos do material. (Fonte: Autor)

2° Lei de Ohm

Outros fatores que podem ser utilizados para estabelecer o valor da resistência elétrica de um material são: o comprimento da resistência (L), a resistividade elétrica que esse material apresenta (ρ) e a área de secção reta desse material (A). Podendo ser expressa matematicamente da seguinte forma:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (\text{A-3})$$

A resistividade elétrica do material diz o quanto aquele material resiste a passagem da corrente elétrica. O valor de cada material está tabelado. Já a área de secção reta depende do formato do condutor, caso seja um fio metálico, consideramos como sendo um cilindro, em que sua área é expressa pela área de um círculo.

Analogia

Imagine você entrando em uma sala para assistir a uma aula de física. Você observa e tem apenas uma cadeira no fundo da sala para se sentar. Porém, a sala é organizada, as carteiras estão alinhadas de modo que vários corredores surgem entre as fileiras., facilitando o seu acesso a essa cadeira livre. De repente, você percebe que está na sala errada. Ao direcionar a sala correta você visualiza que também possui apenas uma carteira livre no final da fileira. Mas ao contrário da sala anterior, essa é totalmente desorganizada, as carteiras estão desalinhadas e você possui dificuldade de percorrer até o final dessa sala, pois ao se deslocar, você terá que desviar de alunos, mochilas no chão e carteiras no meio do corredor. Portanto, houve uma resistência para que chegasse até sua carteira. Podemos comparar a sala organizada com um

material que possui baixa resistência, ou seja, que não possui tantos obstáculos; já a sala desorganizada seria um material com alta resistência, com múltiplos obstáculos.

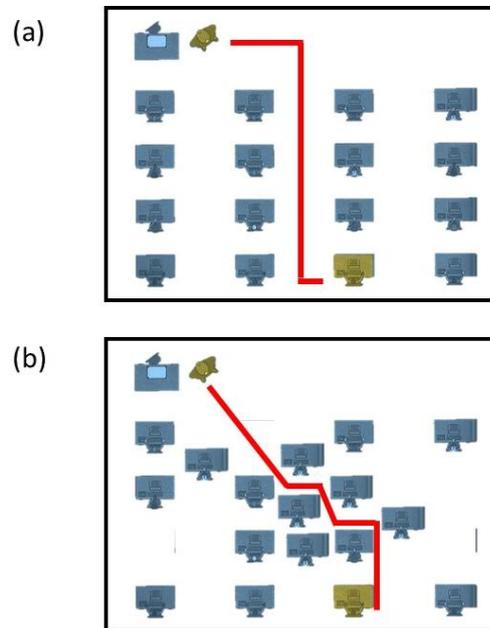


Figura A-7. (a) Analogia: facilidade de percorrer uma sala de aula organizada com resistência elétrica baixa. (b) Analogia: dificuldade de percorrer uma sala de aula organizada com resistência elétrica alta.

Perguntas

1. Por que uma lâmpada, por exemplo, só acende quando o interruptor é acionado?
2. Um simples pedaço de fio de cobre não possui corrente elétrica por si só. O que é preciso para gerar uma corrente elétrica?
3. Qual a diferença entre uma corrente elétrica contínua e de uma alternada?
4. Como é o comportamento de uma corrente elétrica ao transcorrer de um material de menor resistividade para um de maior resistividade elétrica?

A.2. Plano de aula 2– campo magnético

Tempo estimado: 01 aula (50 min)

Material necessário: *datashow*, lousa e giz

Aplicação: aulas lecionadas pelo *datashow*, utilizando a lousa e giz como complemento as explicações.

Magnetismo

História

O campo magnético e a força magnética estão presentes no dia a dia do ser humano. Seja nos dispositivos eletrônicos, como computadores, celulares, micro-ondas ou pelo simples fato de estar presente no planeta Terra. Os primeiros registros da observação de fenômenos magnéticos datam de pelo menos 2500 anos na região da cidade de Magnésia (hoje localizada na Turquia), pelo minério de nome magnetita (Fe_3O_4). No começo houve a tentativa de explicá-lo pela magia.

Até o início do século XIX, o uso de objetos com propriedades magnéticas era limitado a orientação norte-sul, ou seja, utilizada nas navegações.



Figura A-8. Magnetita. [Istock, 2022]

Os corpos dotados de propriedade magnética são chamados de ímãs, podendo ser naturais, como a magnetita, ou artificiais, como os ímãs de geladeira, os quais são construídos por ligas metálicas ou materiais cerâmicos. Uma de suas características é a capacidade de atrair alguns materiais metálicos.

Propriedade Magnética

Questionamento: O que a bússola tem a ver com magnetismo?

A bússola é composta por um pequeno ímã em forma de agulha suspenso sobre um eixo livre para girar em cima da rosa dos ventos. Essa agulha sempre se orienta para a mesma direção e sentido independentemente do quanto você muda a bússola de posição.

Questionamento: Mas por que a agulha da bússola sempre aponta para a mesma direção e sentido?

Para compreender esse fenômeno, devemos conhecer as propriedades que caracterizam os ímãs. São elas:

- O ímã possui duas regiões, denominadas de polo: polo sul magnético e polo norte magnético.

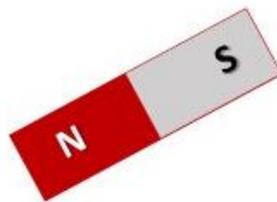


Figura A-9. Representação de um ímã, composto por dois polos magnéticos: norte e sul.

- Ao aproximarmos dois ímãs, verificamos que quando os polos magnéticos de mesmo nome estão frente a frente, há uma repulsão; já quando os polos magnéticos de nomes diferentes estão frente a frente, há a atração.

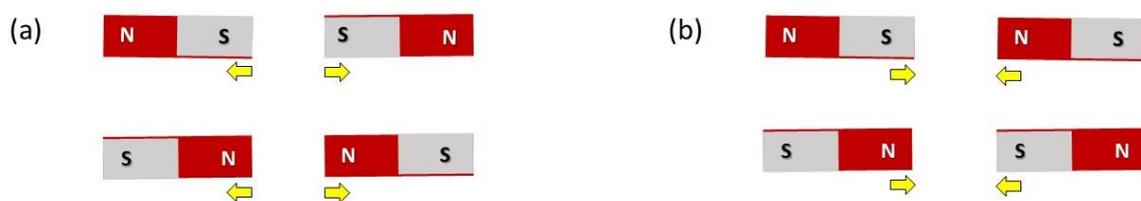


Figura A-10. Interação entre os polos. (a) polos de mesmo nome se repelem. (b) polos de nomes diferentes se atraem. [Fonte: autor]

- Os polos de um ímã são inseparáveis, independentemente se for cortado ao meio. Portanto, um ímã sempre será um dipolo magnético, ou seja, apresentará dois polos.

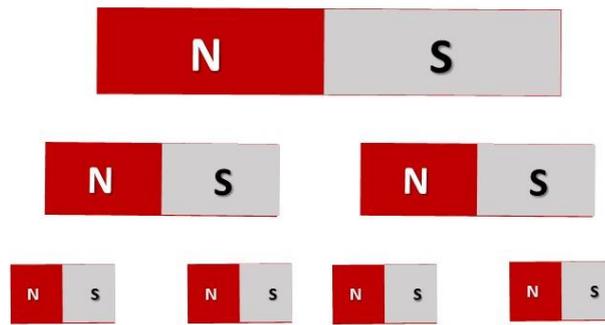


Figura A-11. Ímã fragmentado, mas mantendo sua característica magnética: sempre um dipolo. [Fonte: autor]

Agora sim podemos compreender o porquê do bússola sempre apontar para a mesma direção e sentido. Acabamos de ver que um ímã possui dois polos magnéticos, assim como o ímã, a Terra também é um dipolo magnético. Em seu núcleo externo, cerca de 3 mil km de profundidade, acredita-se haver ferro e níquel em estado de fusão. Esse fluido, em constante movimento, é o motivador para que gere um campo magnético.

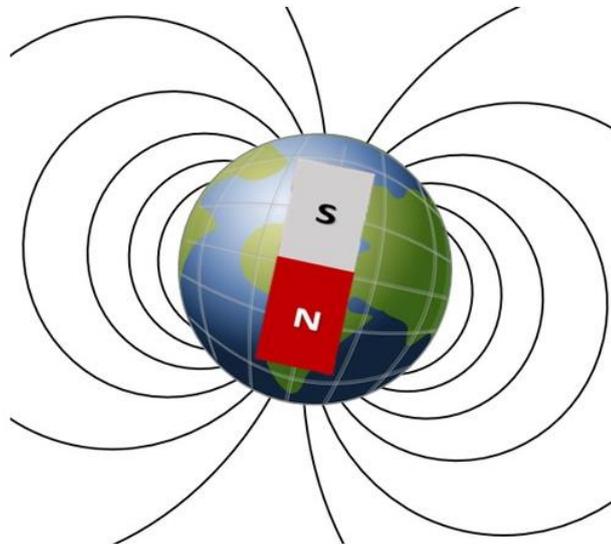


Figura A-12.Polos magnéticos da Terra. [Fonte: autor]

Onde é o polo norte geográfico terrestre é o polo sul magnético; já onde é o polo sul geográfico é o polo norte magnético. Como já havíamos verificado, os polos de nomes diferentes se atraem, portanto, a extremidade da agulha de uma bússola que aponta para o sul magnético terrestre (norte geográfico) é denominada de polo norte magnético. Em contrapartida, a outra extremidade da agulha só poderá ser o polo sul magnético. Portanto,

independentemente o quando você oscila a bússola, ela sempre irá parar apontada para a mesma direção.

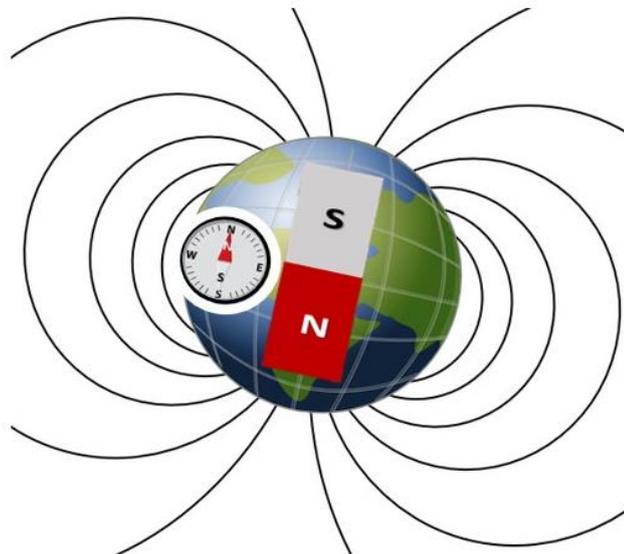


Figura A-13. Bússola sendo orientada pelo ímã terrestre. [Fonte: autor]

Linhas de Campo Magnético

Questionamento: Qual é a interação que ocorre para que ímã atraia ou repele outro ímã?

Assim como uma carga elétrica possui campo elétrico ao seu redor; o ímã também possui um campo, denominado de campo magnético, que sai no polo norte magnético e entra para o polo sul magnético. Esse campo pode ser representado por linhas, chamadas de linhas de campo magnético.

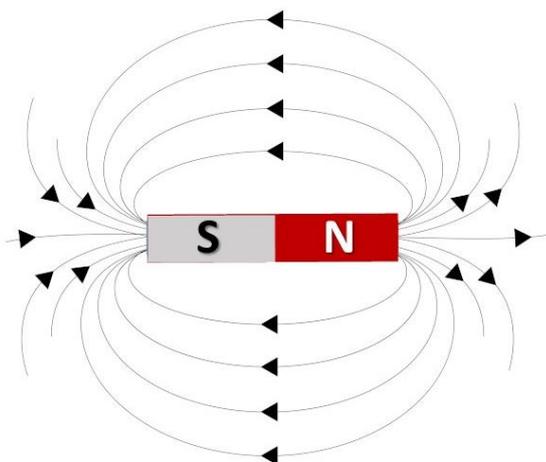


Figura A-14. Linhas de campo magnético ao redor do ímã.

Quando as linhas de campo magnético de um ímã se interagem com as linhas de outro ímã, duas situações podem ocorrer: a primeira é quando os polos dos ímãs que estão dispostos frente a frente são opostos. Nesse caso, as linhas de campo se conectarão, ocorrendo a “permissão” para que os ímãs se atraem; já quando os polos dos ímãs que estão dispostos frente a frente são iguais, não ocorrerá a conexão das linhas de campo, ocorrendo a repulsão dos ímãs.



Figura A-15. Interação entre as linhas de campo magnético. (a) conexão das linhas de campo do polo sul para o norte de outro ímã. (b) não interação entre as linhas de campo magnético.

A intensidade do campo magnético, ou seja, o quão vai atrair ou repelir um objeto, está associado a quantidade de linhas que está sendo gerado pelo polo norte magnético.

- Quanto mais linhas de campo magnético, maior a atração ou repulsão;
- Quanto menos linhas de campo magnético, menor a atração ou repulsão.

A distância é outro fator que interfere na atração ou repulsão. Quanto mais perto do ímã, maior a atração ou repulsão, ou seja, a medida que um objeto é afastado a intensidade da atração

ou repulsão diminui. Isso acontece devido a diminuição das linhas de campo magnético que interagem com o objeto.

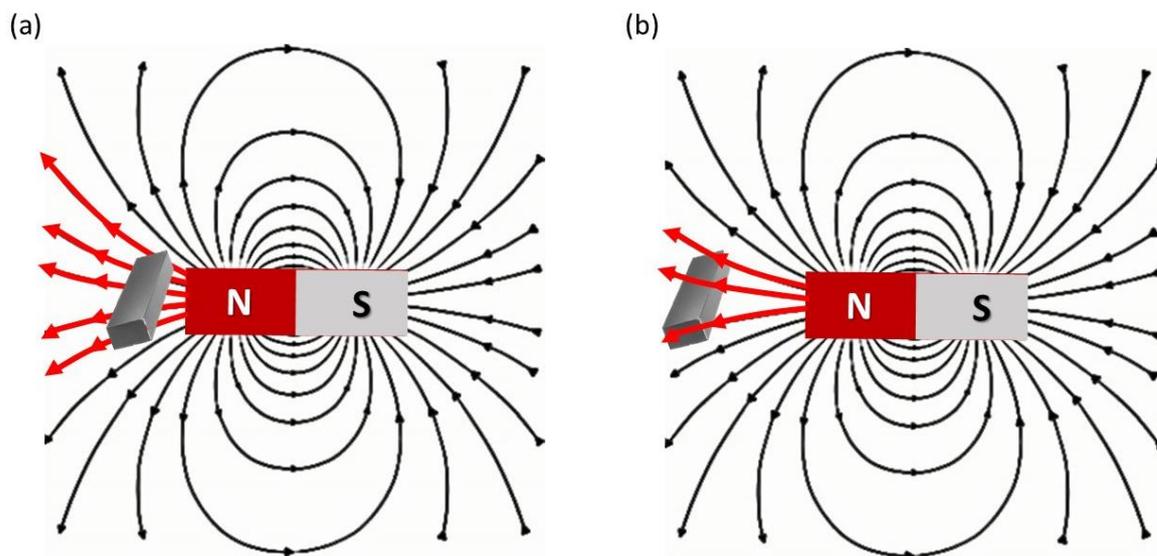


Figura A-16. Interação das linhas de campo magnético com um objeto metálico. (a) ativação de 5 linhas de campo magnético ao posicionar o objeto próximo ao polo norte. (b) ativação de 3 linhas de campo magnético ao afastar o objeto do polo norte.

Natureza do Magnetismo

Questionamento: O que faz gerar um campo magnético?

A natureza do comportamento magnético está relacionada com o que chamamos de domínio magnético alinhado. No interior dos materiais magnético, os elétrons possuem um movimento intrínseco, denominado de *spin*. Quando esses *spins* estão alinhados, dizemos que há um domínio magnético orientado.

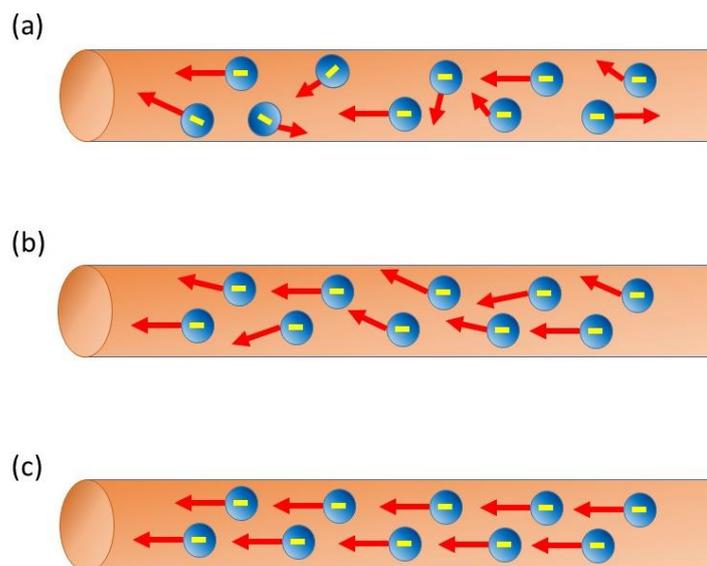


Figura A-17. Domínio magnético dos materiais. (a) ausência de alinhamento do domínio magnético, caracterizando um objeto não magnetizado. (b) domínio magnético parcialmente alinhado, resultando em um material com pouca magnetização. (c) alinhamento dos domínios magnéticos, gerando um material magnetizado.

Além dos materiais com propriedades encontrados na natureza e criados artificialmente, existem os eletroímãs, como veremos na próxima aula.

Perguntas

1. Por que um prego, por exemplo, não possui a propriedade de atrair pedaços de ferro?
2. O que seria necessário acontecer, microscopicamente, para que o objeto prego da pergunta 01 se torne um ímã?
3. Por que ao afastarmos um pedaço de metal de um ímã há uma diminuição da atração?
4. Por que a bússola sempre aponta para a mesma direção?

A.3. Plano de aula 3 – lei de Faraday e lei de Lenz

Tempo estimado: 02 aula (1h40min)

Material necessário: *datashow*, lousa e giz

Aplicação: aulas lecionadas pelo *datashow*, utilizando a lousa e giz como complemento as explicações.

Eletromagnetismo

História

Antes do século XIX, não havia uma relação entre os campos: Eletricidade e Magnetismo. Os cientistas estudavam e realizavam experimentos separadamente, até que em 1819, o cientista dinamarquês Hans Christian Oersted descobriu, de forma acidental, uma relação direta entre o magnetismo e a eletricidade. Em um de seus experimentos, uma corrente elétrica passava por um material condutor em forma de espira, assim ele havia notado que o ponteiro (agulha imantada) de uma bússola que estava próximo ao experimento se movia quando a espira era conectada ou desconectada pela fonte. Esse experimento ficou conhecido como experimento de Oersted e foi fundamental para estabelecer uma relação entre o **magnetismo** e a **eletricidade**, constituindo assim um novo ramo da Física, o **Eletromagnetismo**.

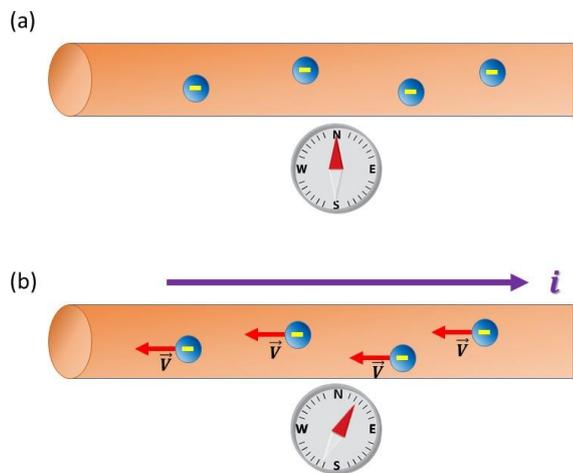


Figura A-18. Representação do experimento de Oersted. (a) comportamento da bússola sem a presença de uma corrente elétrica. (b) comportamento da bússola ao passa uma corrente elétrica em um circuito.

Diante da relação estabelecida, a comunidade científica se voltou a realizar experimentos e a estudar possíveis fenômenos que pudesse ser explicado por esse novo ramo. Dentre as diversas descobertas, daremos enfoque a duas: **Indução de Faraday** e a **Lei de Lenz**.

Lei de Faraday

Em 1831, o inglês Michael Faraday realizou uma das maiores descobertas para o Eletromagnetismo. Ao realizar vários testes, um deles chamou a sua atenção. Consistia em dois circuitos elétricos próximos um ao outro que, ao ligar o primeiro circuito a uma fonte de alimentação, uma corrente elétrica era detectada no segundo circuito. O mesmo acontecia ao desligar o circuito, porém, o sentido da corrente era oposto.

Questionamento: Por que esse experimento impressionou Faraday?

Até então, tinha-se o conhecimento de que a corrente elétrica alternada ao passar por um fio condutor gerava um campo magnético - experimento de Oersted. Mas no experimento de Faraday, uma corrente elétrica no primeiro circuito gerava uma corrente no segundo circuito. Para explicar isso, Faraday imaginou que o campo magnético, gerado pelo primeiro circuito, ao entrar em contato com o segundo circuito iria induzir uma corrente elétrica. Para verificar essa hipótese, Faraday então resolveu aproximar um ímã de um circuito elétrico. Para sua surpresa, era detectado corrente elétrica à medida que o ímã se aproximava e afastava - processo esse que mais tarde levou ao conceito de *variação do fluxo magnético*. Ele também se indagou sobre a possibilidade de oscilar o circuito próximo do ímã, o qual foi verificado de que a indução de corrente elétrica também ocorria.

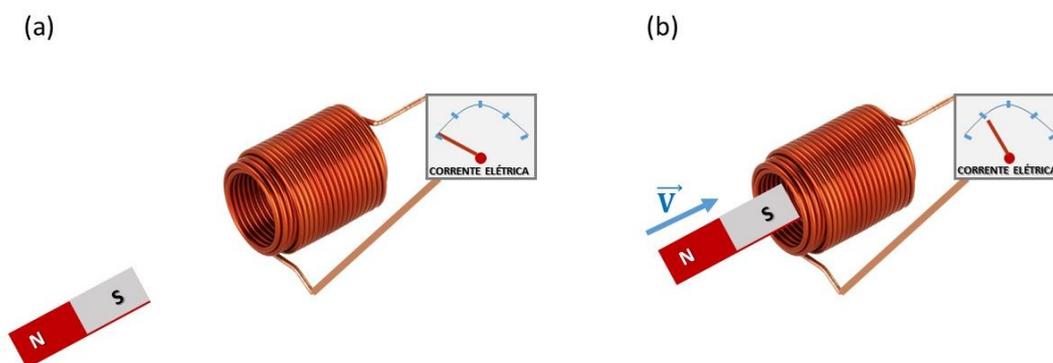


Figura A-19. Experimento de Faraday. (a) nenhum valor de corrente elétrica detectado ao deixar um ímã parado próximo a bobina metálica. (b) corrente elétrica detectada ao aproximar o ímã da bobina metálica. (Fonte: Autor)

Ao aproximar e afastar o ímã do circuito elétrico, haverá uma variação do magnetismo, pois a intensidade da corrente ora aumenta e ora diminui. Dizemos que está ocorrendo uma variação do fluxo magnético nesse caso.

Analogia:

Como analogia utilizaremos o fenômeno da chuva. Onde a nuvem carregada é um material magnetizado, as gotas de água que caem são as linhas de campo magnético e a região onde as gotas caem é a área. Quanto mais gotas caem nessa região, mais intenso é a chuva, ou seja, transcrevendo para eletromagnetismo, quanto mais linhas de campo magnético atravessa uma determinada área, maior é o fluxo magnético.

Questionamento: Mas por que a variação do fluxo magnético gera uma corrente elétrica?

Esse questionamento nos leva ao ponto fundamental, o qual denominamos de Lei de Faraday. Ela diz que o fluxo magnético é o responsável por gerar o que chamamos de força eletromotriz (*fem*) no circuito elétrico que, conseqüentemente, induzirá uma corrente elétrica.

A *fem* é o trabalho realizado sob uma carga elétrica por uma força não eletrostática. Portanto, o deslocamento dessa carga elétrica não tem relação com uma ddp, até porque não existe uma fonte de alimentação no experimento de Faraday.

Podemos fazer uma analogia entre a *fem* e a pressão para compreendermos melhor. A grandeza física pressão é uma força aplicada em uma determinada área. Considerando a área como uma carga elétrica e a força com uma “força” que não seja elétrica. Assim, a *fem* é uma “força” aplicada na carga elétrica

Relação: Corrente Elétrica e Campo Magnético

Campos magnéticos gerados por correntes elétricas estão no nosso dia a dia, como em circuitos elétricos de aparelhos eletrônicos ou na própria fiação da rede elétrica nas nossas casas.

A intensidade do campo magnético e as linhas de campo magnético dependem do formato do condutor.

Retilíneo

As linhas de campo magnético produzidas por uma corrente que passa por um condutor retilíneo são circunferências concêntricas ao fio. Para saber o sentido do campo magnético, basta aplicar a regra da mão direita. Com o polegar esticado, posicione conforme o sentido da corrente elétrica. Feche os outros dedos, de forma que toquem a palma da mão. O sentido que você utilizou para fechar os dedos será o mesmo do campo magnético gerado.

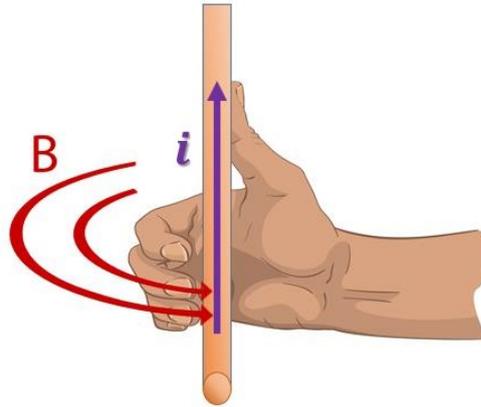


Figura A-20. Regra da mão direita. O polegar acompanha o sentido da corrente elétrica e os outros dedos indicam o sentido do campo magnético. (Fonte: Autor)

A intensidade do campo magnético pode ser calculada pela equação:

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi d} \quad (\text{A-4})$$

Sendo: B a intensidade do campo magnético, μ a permeabilidade magnética do meio e d a distância do condutor retilíneo até um ponto P.

Espira

A passagem de corrente elétrica pela espira gera um campo magnético cujas linhas de campo têm uma configuração diferente daquela que é típica do condutor retilíneo. Nesse caso, o campo gerado é perpendicular ao círculo condutor que forma a espira. Através da regra da mão direita modificada é possível compreender como é o sentido do campo magnético. Nessa regra o polegar agora representa o campo magnético e os outros quatro dedos representam a corrente elétrica. Portanto, os dedos acompanham a direção da corrente, onde as unhas apontam para o sentido dessa corrente; já o polegar esticado informa onde será a direção e o sentido do campo magnético.

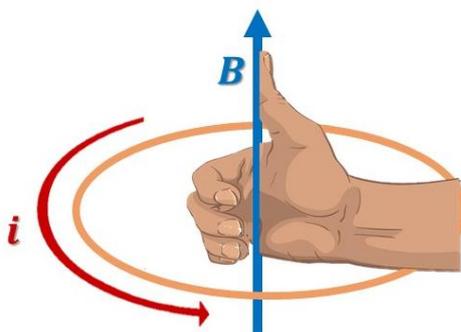


Figura A-21. Regra da mão direita modificada. Os quatro dedos acompanham o sentido da corrente elétrica e o polegar indicada o sentido do campo magnético. (Fonte: Autor)

A intensidade do campo magnético no centro de uma espira pode ser calculada pela equação:

$$B = \frac{\mu_0}{2R} i \quad (\text{A-5})$$

Sendo: B a intensidade do campo magnético, μ a permeabilidade magnética do meio e R o raio da espira. **Dado:** $\mu = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ T} \cdot \frac{\text{m}}{\text{A}}$ ou $\frac{\text{H}}{\text{m}}$.

Caso o condutor tenha mais de uma espira, basta acrescentar a equação uma variável, n , que representará o número de espiras. Portanto:

$$B = n \frac{\mu_0}{2R} i \quad (\text{A-6})$$

Lei de Lenz

A lei de Lenz foi embasada pelo princípio da conservação de energia. A primeira ilustração da figura abaixo mostra um ímã com o polo norte direcionado para um circuito elétrico circular. Ao aproximar o ímã do circuito elétrico, de acordo com a Lei de Faraday, uma corrente elétrica será induzida devido a variação do fluxo magnético, como consequência, um campo magnético é gerado pelo circuito para se opor a força magnética do ímã. A medida que se aproxima o ímã, a força magnética aumenta e ao afastá-lo diminui, demonstrando haver uma conservação do campo magnético.

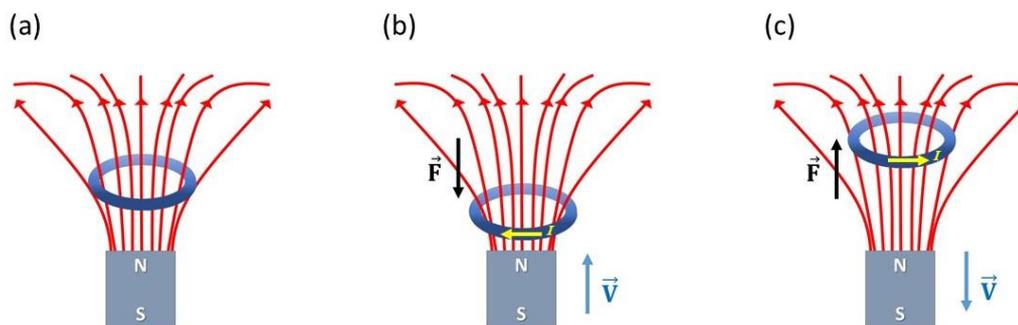


Figura A-22. Lei de Lenz para definir o sentido da corrente elétrica. (a) ímã parado na presença de um campo magnético. (b) força magnética oposta a força magnética do ímã ao aproximar, induzindo uma corrente no sentido anti-horário. (c) força magnética a favor da força magnética do ímã ao afastar, induzindo corrente no sentido horário. (Fonte: Adaptado)

Isso significa que um campo magnético é criado pelo circuito fechado para se opor ao campo magnético do ímã.

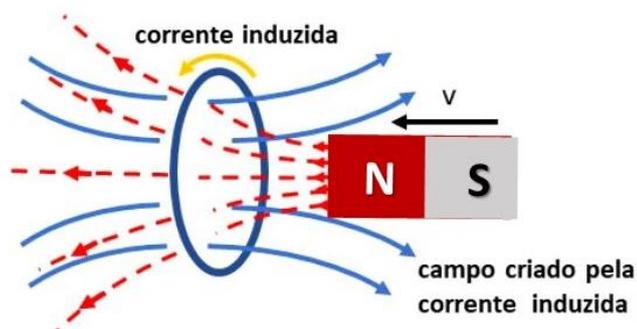


Figura A-23. Campo magnético gerado pelo circuito em espira para se opor ao campo magnético do ímã. (Fonte: Adaptado Sears, 2015)

Perguntas

1. É possível fazer a agulha de uma bússola, distante de qualquer ímã permanente, mudar de direção?
2. Qual a diferença do experimento de Oersted com o realizado por Michael Faraday?
3. Se um ímã ficar parado próximo a um condutor fechado, haverá a indução de corrente elétrica? Explique.

4. A corrente elétrica induzida pelo condutor fechado, devido a oscilação de um ímã nas proximidades, poderá gerar um campo magnético? Se sim, como é o comportamento das linhas de campo?

Apêndice B. EXPERIMENTOS.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 28

PAULO HENRIQUE GOMES

PRODUTO EDUCACIONAL

**EXPERIMENTOS DIDÁTICOS SOBRE LEI DE FARADAY E LEI DE LENZ
UTILIZANDO SMARTPHONE COMO INSTRUMENTO DE MEDIDA**

ALFENAS/MG

2023

PAULO HENRIQUE GOMES

**EXPERIMENTOS DIDÁTICOS SOBRE LEI DE FARADAY E LEI DE LENZ
UTILIZANDO SMARTPHONE COMO INSTRUMENTO DE MEDIDA**

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: Experimentos Didáticos sobre Lei de Faraday e Lei de Lenz Utilizando Smartphone como Instrumento de Medida, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 28 – Unifal/MG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Célio Wisniewski

Alfenas/MG

2023

AGRADECIMENTOS

A elaboração de um trabalho requer esforço pessoal. Entretanto, não seria possível sem a contribuição de algumas pessoas nessa etapa, seja diretamente ou indiretamente, na qual, gostaria de agradecer.

Primeiramente agradeço a Deus, pela saúde e disposição. Agradeço a minha família pelo apoio e colaboração em todos momentos na qual passei ao longo do mestrado.

Agradeço ao Prof. Dr. Célio Wisniewski, pela orientação, incentivo, aos ensinamentos e pela oportunidade para realizarmos este trabalho.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

B.1. Introdução

O produto em questão se trata de Experimentos Didáticos sobre Lei de Faraday e Lei de Lenz utilizando Smartphone como Instrumento de Medida, o qual faz parte da dissertação de mestrado do programa Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF) do polo 28 pela Universidade Federal de Alfenas (Unifal/MG). Sendo realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Diante do cenário educacional brasileiro, mais precisamente as metodologias de ensino de física, ficou evidente que o ensino tradicional não gera motivação ou interesse por grande parte dos alunos. Isso se deve pelo fato de que o professor é visto como o detentor do conhecimento e o aluno é meramente um expectador, além da falta ou a pouca frequência de aulas experimentais e o uso excessivo do livro didático. A metodologia de ensino aplicada em conjunto com a precária estrutura nas escolas públicas resulta na falta de motivação e desinteresse por parte dos alunos, deixando a impressão de que a física está distante da sua realidade [1,2].

Outro fator importante, que está diretamente relacionado ao rendimento dos alunos, é o papel do professor. Embora tenha uma carreira docente desvalorizada e muitas vezes as condições de trabalho sejam precárias, esse profissional é o agente motivador e responsável pelas Sequências Didáticas (SD) das aulas teóricas e práticas. A respeito das aulas experimentais, muitas vezes elas seguem uma rotina de verificação do fenômeno físico em questão, seguindo um manual para que as respostas sejam adquiridas [1,3].

Em base dessas averiguações, um produto educacional, através de um kit experimental, na área de Eletromagnetismo, com os tópicos Lei de Faraday e Lei de Lenz, foi desenvolvido. A escolha se deve a tamanha importância que essas leis representaram para a ciência, sendo um marco científico que é pouco explorado em salas de aula. Com isso, o objetivo é oferecer ao professor um produto educacional que visa agregar em sua formação, de modo que instigue a curiosidade e o interesse dos alunos, a qual será aplicado esse produto. Além disso, o aplicativo PhyPhox – aplicativo de coleta de dados utilizando sensores dos smartphones - foi utilizado para agregar ao produto.

Nesse produto educacional você encontrará os materiais necessários para a construção do kit experimental e para a sua montagem e a instrução de como baixar e utilizar o sensor do seu *smartphone* através do aplicativo disponível gratuitamente, o *PhyPhox*. No apêndice A tem planos de aula embasados pela metodologia da Aprendizagem Significativa como sugestão de aplicação em conjunto com o produto.

B.2. Construção do kit experimental

O kit experimental proporciona a reprodução de três experimentos didáticos que auxiliam nas aulas de eletromagnetismo, mais precisamente na relação entre eletricidade e magnetismo, sendo eles: o pêndulo eletromagnético, eletroímã e um transformador elétrico. Com esses experimentos é possível demonstrar a indução de Faraday, assim como a geração de um campo magnético devido a uma passagem de corrente elétrica, combinado com o aplicativo gratuito *PhyPhox* para medir a intensidade do campo magnético.

A construção do kit é bastante simples e leva em conta os seguintes materiais para a sua confecção:

- 02 Tubo de PVC de ½: 50 cm e 30 cm;
- 01 Conexão joelho de ½;
- 01 Base de madeira: 50 x 30 x 2 cm;
- 01 Suporte metálico (de antena);
- 03 Parafusos auto-atarraxante chata 4,8 x 50;
- 01 Fio de *Nylon*: 100 cm;
- 01 Ímã permanente: neodímio;
- 01 bobina de 1000 espiras;
- 01 bobina de 600 espiras;

- 01 bobina de 500 espiras;
- 01 bobina de 300 espiras;
- 01 conector de louça;
- 01 LED difuso 5 mm: 1,5 V e 20 mA (qualquer cor);
- 01 Fita isolante;
- 01 Régua escolar;
- 01 Aparelho Celular *Smartphone* com sensor magnético;
- 02 Multímetros;
- 01 chapa de ferro 10 x 3 cm;
- 01 fonte de carregador de celular (12 V);
- 01 bloco metálico em forma da letra “U”;
- 01 moeda.

Obs.: as bobinas podem ser enroladas em um carretel com fio de cobre esmaltado de medidas de 25 a 30 AWG.

B.3. Construção do experimento pêndulo eletromagnético

Neste experimento, você estudará e analisará a aplicação da Lei de Faraday. Nesse caso, a oscilação de um pêndulo, o qual um objeto magnético se encontra na extremidade, induzirá uma corrente elétrica na bobina de fio de cobre que se encontra fixa e situada abaixo do pêndulo. Para comprovar a existência de uma corrente elétrica, dois LEDs (diodos emissores de luz), compatíveis com a corrente gerada pela bobina, estarão conectados à bobina, acendendo à medida que o pêndulo oscila, e um multímetro ligado na função amperímetro será utilizado para fornecer os valores da corrente elétrica induzida.

De acordo com a Lei de Faraday, a corrente elétrica é gerada devido a força eletromotriz que surge quando há uma variação do fluxo magnético, ocasionado pela variação de linhas de campo magnético, ou seja, graças ao afastamento e aproximação de um objeto magnético, como o ímã permanente. Como mencionado acima, uma corrente elétrica, nesse caso sendo uma corrente alternada devido a mudança de sentido que a corrente sofrerá, percorrerá o fio de cobre da bobina, cujo formato do fio é de um solenoide [4]. A importância do formato do fio de metálico se dá pela intensidade da força eletromotriz gerada. No caso de um solenoide, essa força é proporcional ao número de voltas na bobina, conseqüentemente, quanto mais espiras uma bobina possua, maior será o pico de intensidade do campo magnético gerado pela bobina (equação 1).

$$B = n \frac{\mu_0 i}{2R} \quad (\text{B-1})$$

Sendo: **B** o campo magnético; n o número de voltas da bobina; μ a permeabilidade magnética; i a corrente elétrica e R o raio da bobina. Dado: $\mu = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ T} \cdot \frac{\text{m}}{\text{A}}$ ou $\frac{\text{H}}{\text{m}}$.

Para comprovar a variação do fluxo magnético, um aparelho celular *smartphone* será posicionado ao lado da bobina para detectar a variação do campo magnético. Para isso, o aplicativo *PhyPhox* (Physical Phone Experiments) – disponibilizado gratuitamente nas lojas de aplicativos - irá coletar o campo magnético durante o experimento e disponibilizar na tela para o usuário, permitindo verificar a mudança do campo magnético a medida que o pêndulo oscila. Isso é possível porque alguns modelos de *smartphones* possuem o sensor chamado magnetômetro. Posteriormente, os dados serão utilizados para responder as perguntas contidas na sequência didática da próxima seção.

Iniciaremos agora o processo de montagem do experimento: Pêndulo Eletromagnético, sendo necessário realizar os seguintes passos:

1. O primeiro passo consistiu em obter uma base de madeira com dimensões de 50 x 30 x 2 centímetros. A base utilizada é de uma madeira de MDF reaproveitada de uma porta de guarda roupa. Essa base foi colocada em uma superfície adequada para dar início à montagem do experimento;



Figura B-1. Base de madeira. [Fonte: autor]

2. Posicione o suporte metálico de antena na extremidade da base de madeira. Caso não seja possível encontrar esse suporte em uma casa de materiais para construção, é possível confeccionar um suporte alternativo utilizando uma barra de cano PVC de 1/2 polegada. Para isso, corte a barra de PVC em três segmentos de comprimento igual e monte um tripé, unindo as extremidades dos segmentos com conexões de PVC adequadas. Marque os pontos de fixação na base de madeira utilizando um lápis ou caneta;



Figura B-2. Marcação dos furos na base de madeira. [Fonte: autor]

3. Em seguida, realize o furo na madeira, para isso, utilize uma furadeira elétrica com uma broca adequada. No caso do parafuso auto-atarraxante chata 4,8 x 50, recomenda-se o uso de uma broca com diâmetro ligeiramente menor que o diâmetro do corpo do parafuso. Geralmente, uma broca de diâmetro 4 mm ou 4,5 mm seria apropriada. Antes de iniciar a perfuração, posicione a broca na furadeira, garantindo que esteja bem fixada. Em seguida, alinhe a broca com o local marcado na madeira e pressione suavemente a furadeira, aplicando uma força constante. Certifique-se de manter a furadeira nivelada e perpendicular à superfície da madeira para obter um furo reto e adequado ao tamanho do parafuso. Caso não tenha acesso a uma furadeira, é possível usar um prego para fazer o orifício na madeira. Se o parafuso auto-atarraxante chata 4,8 x 50 possui uma ponta afiada, você pode usar o próprio parafuso para realizar o furo. Posicione a ponta do parafuso no local marcado na madeira e segure-o firmemente com uma mão. Com a outra mão, segure o martelo e comece a bater com cuidado na ponta do parafuso. Continue batendo até que o parafuso tenha penetrado na madeira o suficiente para fornecer uma guia para o restante da fixação;



Figura B-3. na base de madeira. [Fonte: autor]

4. Posicione o suporte metálico ou o suporte alternativo de PVC na posição em que marcou os orifícios e fixe os pés ou as extremidades com parafusos utilizando uma chave Philips. O suporte metálico ou o suporte alternativo fixado à base de madeira servirá como suporte para a estrutura de cano PVC, que será confeccionada no próximo passo;



Figura B-4. Fixação do suporte na base de madeira. [Fonte: autor]

5. Com o joelho de $\frac{1}{2}$ polegada em mãos, faça a conexão entre uma das extremidades do joelho e o cano de PVC de $\frac{1}{2}$ polegada com 50 cm de comprimento. Em seguida, conecte a outra extremidade do joelho ao cano de PVC de $\frac{1}{2}$ polegada com 30 cm de comprimento. Essas conexões irão formar uma estrutura no formato da letra "L", onde o joelho atua como a curva de junção entre os dois canos de PVC. Certifique-se de encaixar as peças com firmeza para garantir a estabilidade da estrutura;



Figura B-5. Estrutura de PVC montada. [Fonte: autor]

6. Após fazer a conexão entre o joelho de $\frac{1}{2}$ polegada e os canos de PVC de $\frac{1}{2}$ polegada com 50 cm e 30 cm de comprimento, posicione o lado do joelho com o cano de 50 cm na base do suporte metálico. Certifique-se de que o encaixe esteja firme e estável. Em seguida, localize o parafuso de fixação do suporte metálico (no

suporte utilizado para esse experimento o parafuso fica no centro do suporte) e rosqueie-o no sentido de fixação, de modo a garantir que o cano não possa se movimentar. Aperte o parafuso o suficiente para proporcionar uma fixação segura, mas evite apertar excessivamente para evitar danos à estrutura. Essa etapa garantirá que o cano fique adequadamente preso ao suporte metálico, promovendo estabilidade e evitando movimentos indesejados durante o experimento;



Figura B-6. Fixação da estrutura de PVC ao suporte. [Fonte: autor]

7. Na extremidade oposta à conexão do joelho de $\frac{1}{2}$ polegada, no cano de 30 cm, você precisa criar dois furos verticais para fixar os fios de nylon que irão simular um balanço. Existem duas opções para fazer esses furos:

Opção 1: Utilize um prego e um martelo. Posicione o prego na superfície do cano e, com cuidado, bata-o com o martelo até atravessar completamente o PVC. Repita o processo para fazer o segundo furo, garantindo que eles estejam alinhados verticalmente e distantes cerca de 15 cm um do outro.

Opção 2 (alternativa): Uma alternativa é aquecer o prego em uma fonte de calor, como fogo ou uma chama de fogão. Em seguida, com cuidado e utilizando pinças ou luvas térmicas para evitar queimaduras, pressione o prego quente contra o cano de PVC na posição desejada. O calor do prego irá derreter o PVC, criando um orifício no cano. Repita

o processo para fazer o segundo furo, mantendo a distância de aproximadamente 15 cm entre eles.



Figura B-7. Furos da estrutura de PVC. [Fonte: autor]

8. Agora, pegue o fio de Nylon e passe-o através dos dois orifícios que foram feitos no cano de PVC. Certifique-se de que o fio esteja bem passado pelos furos e não apresente nenhum emaranhado. Em seguida, amarre firmemente as duas extremidades do fio no ímã de neodímio. O ímã ficará suspenso pelo fio, simulando um balanço. No entanto, ao amarrar o fio, deixe uma distância de aproximadamente 6 cm entre a base de madeira e o ímã. Isso permitirá que o ímã balance livremente e facilite a realização das futuras etapas do experimento. Certifique-se de que os nós estejam bem apertados para garantir a segurança e estabilidade do balanço.



Figura B-8. Linha de Nylon passada ao orifício do cano de PVC. [Fonte: autor]

9. Agora, posicione a bobina de cobre de 1000 espiras abaixo do ímã. É importante garantir que o movimento de pêndulo do ímã não cause nenhum choque com a bobina. Para isso, será necessário verificar a distância entre o ímã e a bobina.

No caso deste experimento, a bobina utilizada tem um tamanho de 5 cm de altura. No entanto, na etapa anterior, quando amarramos o fio de nylon no ímã e o deixamos suspenso a uma distância de 6 cm da base de madeira, já consideramos uma margem de segurança. Portanto, não é necessário realizar nenhuma regulagem adicional, pois a distância entre o ímã e a bobina já está adequada. O ímã deve estar suspenso a aproximadamente 1 cm acima da bobina. Certifique-se de que o ímã esteja equidistante e alinhado com a bobina para permitir o movimento de pêndulo sem que ocorra qualquer interferência entre os dois componentes.

OBS.: Para realizar essa etapa, a bobina de cobre de 1000 espiras foi criada enrolando um fio de cobre esmaltado em um carretel de plástico. O fio de cobre esmaltado utilizado geralmente tem uma espessura medida em AWG (American Wire Gauge) e, nesse caso, foi utilizado a de 30 AWG, mas poderia ser a medida de 25 AWG que não iria afetar o resultado. Esses fios são revestidos com um esmalte isolante que protege o cobre e impede curtos-circuitos entre as espiras da bobina. O processo de enrolar a bobina consiste em passar o fio de cobre esmaltado ao redor do carretel de plástico, garantindo que cada volta fique bem ajustada e não haja cruzamento entre as espiras. É necessário realizar um total de 1000 voltas ao redor do carretel para formar a bobina de cobre de 1000 espiras. Esse

número específico de espiras foi escolhido para atender às necessidades do experimento e garantir um desempenho adequado.



Figura B-9. Bobina de cobre posicionada abaixo do ímã. [Fonte: autor]

10. Agora que a bobina está devidamente posicionada abaixo do ímã, vamos prosseguir para a próxima etapa. Conecte as extremidades do fio de cobre da bobina nos terminais do conector de louça. Certifique-se de que as conexões estejam bem fixas e seguras.

Após conectar a bobina, chegou a hora de fixar o LED nos outros dois terminais do conector de louça. O LED possui dois fios, um positivo e um negativo. Conecte o fio positivo do LED em um dos terminais do conector de louça e o fio negativo em outro terminal. Essa conexão permitirá que o LED seja alimentado pela corrente gerada pela bobina quando o ímã oscilar próximo a ela.

Certifique-se de realizar as conexões corretamente, observando a polaridade do LED para conectar o fio positivo ao terminal correto do conector de louça. É importante fixar bem os fios no conector de louça, garantindo uma conexão segura e firme. Isso

permitirá que a corrente elétrica gerada pela bobina seja conduzida para o LED, fazendo com que ele acenda e demonstre o efeito desejado durante o experimento.

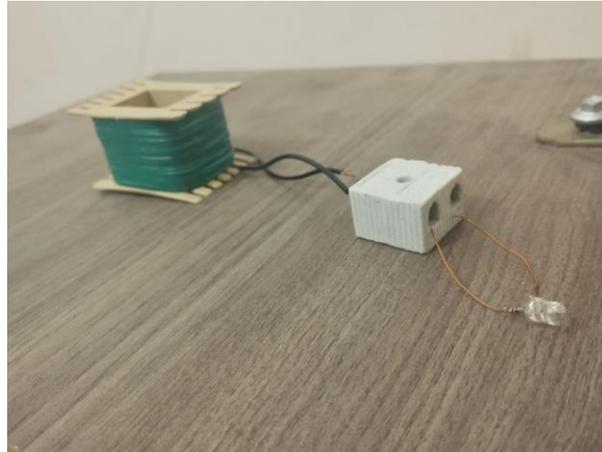


Figura B-10. Conexão da bobina com LED. [Fonte: autor]

11. Agora será necessário posicionar os instrumentos de medidas:

- a. Com o multímetro ligado na função amperímetro, posicione os cabos nos terminais do conector de louça, de modo que tenha contato com o metal do fio;
- b. Agora será necessário colocar o aparelho celular posicionado ao lado da bobina. Mas antes desse passo será necessário deixar o aplicativo *PhyPhox* selecionado para detectar o campo magnético. Para isso, siga os passos a seguir:
 - i. Abra o aplicativo *PhyPhox* e selecione o Sensor Magnetômetro;



Figura B-11. Tela inicial do aplicativo *PhyPhox*. [Fonte: autor]

ii. Ao entrar em magnetômetro, a tela apresentará da seguinte forma.

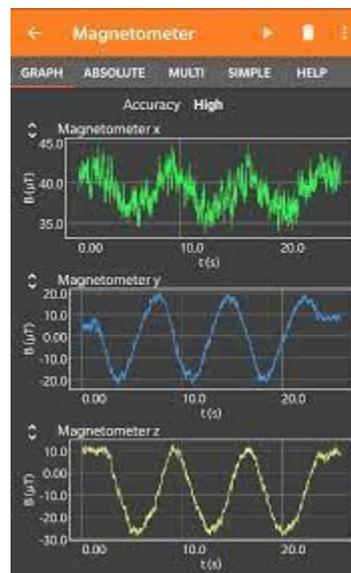


Figura B-6. Aba magnetômetro do *PhyPhox*. [Fonte: autor]

- iii. Posteriormente, inicie o programa no símbolo *play*, presente na parte superior da aba.
- iv. Agora posicione o celular ao lado da bobina para finalizar a montagem do experimento.

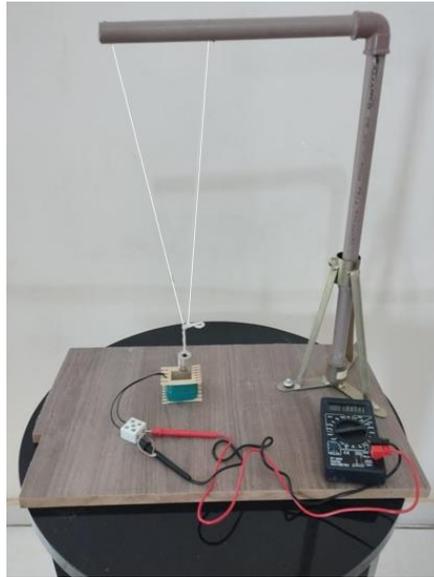


Figura B-12. Experimento Pêndulo Eletromagnético. [Fonte: autor]

B.4. Questionário avaliativo do experimento – Pêndulo Eletromagnético

Com a estrutura toda montada, faça o procedimento a seguir para realização do experimento:

1. Anote os valores de intensidade do campo magnético e corrente elétrica fornecidos pelo aplicativo e multímetro, respectivamente:

Tabela B-1. Planilha para anotação da corrente elétrica e o campo magnético.

	MEDIDA 1	MEDIDA 2	MEDIDA 3	MÉDIA
CORRENTE ELÉTRICA (mA)				
CAMPO MAGNÉTICO (μ T)				

2. Puxe o ímã de modo que fique com uma inclinação de cerca de 45° com a base de madeira. Depois solte-o, de modo que fique oscilando:
 - a. Verifique se o LED piscou. Anote o observado:

- b. Verifique se a intensidade do campo magnético está variando. Caso esteja, anote quando a intensidade atingir seu valor máximo;

Tabela B-2. Planilha para anotação do campo magnético.

	MEDIDA 1	MEDIDA 2	MEDIDA 3	MÉDIA
CAMPO MAGNÉTICO (μT)				

- c. Verifique a intensidade da corrente elétrica na tela do multímetro. Anote o pico da intensidade.

Tabela B-3. Planilha para anotação da corrente elétrica.

	MEDIDA 1	MEDIDA 2	MEDIDA 3	MÉDIA
CORRENTE ELÉTRICA (A)				

3. Troque a bobina de 1000 espiras para a bobina de 500 espiras;
4. Realize os procedimentos do item 2, novamente. Anote os valores:

Tabela B-4. Planilha para anotação da corrente elétrica e o campo magnético.

	MEDIDA 1	MEDIDA 2	MEDIDA 3	MÉDIA
CORRENTE ELÉTRICA (mA)				
CAMPO MAGNÉTICO (μT)				

5. Verifique na tela do multímetro a intensidade da corrente elétrica à medida que a oscilação diminui. Faça anotações do ocorrido.

6. O experimento foi realizado, agora você deverá analisar os dados fornecidos pelo aplicativo e responder as perguntas a seguir.

Perguntas:

1. Ao oscilar o pêndulo com o ímã permanente pela bobina de 1000 espiras, percebe-se que uma corrente elétrica é acusada pelo multímetro. De acordo com a sua observação, qual o comportamento da corrente elétrica? A intensidade da corrente é fixo ou oscila? Explique.
2. Através da equação do campo magnético de um solenoide é possível calcular a intensidade máxima do campo magnético. Para isso, algumas variáveis devem ser aplicadas. Com base nos dados obtidos no experimento e com informações disponíveis na Sequência Didática, calcule:
 - a. A intensidade máxima do campo magnético da bobina de 1000 espiras;
 - b. A intensidade máxima do campo magnético da bobina de 500 espiras;
 - c. Caso os valores dos itens 2.a e 2.b sejam diferentes, explique o provável motivo que justifica essa alteração.
3. Ao trocar a bobina de 1000 espiras pela bobina de 500 espiras, o valor da intensidade máxima da corrente elétrica é alterado. Explique:
 - a. o motivo da mudança de valores ocorrer;
 - b. o motivo do LED não piscar.
4. 4. Através dos dados obtidos no item 1 do Procedimento para Teste, explique o porquê de a intensidade da corrente elétrica ser nula, mas o campo magnético possuir um valor. Compare com os dados obtidos quando o pêndulo está oscilando.

B.5. Construção do experimento transformador

O experimento Transformador consiste em um aparelho composto por uma bobina primária, uma bobina secundária e um bloco metálico, normalmente feito de ferro, que converte a ddp, elevando-a ou diminuindo, dependendo da configuração dessas bobinas. As bobinas, com números de voltas diferentes, são acopladas em um núcleo metálico fechado, onde há uma conexão da bobina primária com uma fonte de alimentação.

O objetivo desse experimento é verificar na prática o postulado da lei de Faraday, através da elevação ou diminuição da ddp em um dos terminais. Para comprovar essa transformação, dois multímetros, cada um conectado nos terminais das bobinas, são utilizados para efetuar a medida. Quando a bobina primária estiver submetida a uma ddp, uma corrente elétrica alternada percorrerá a bobina primária, surgindo assim um campo magnético oscilante que, induzirá uma *fem* no bloco metálico, ocorrendo assim uma corrente elétrica alternada que, como consequência, irá gerar um campo magnético variável, fazendo com que a estrutura metálica seja um eletroímã [4]. Esse campo magnético oscilante induzirá uma *fem* na bobina secundária, gerando uma corrente elétrica. Assim, ao medir a tensão na bobina secundária, seu valor será diferente da bobina primária. O valor gerado pela *fem* dependerá de uma relação (equação 2), a qual é chamada de Indutância Mútua (M), em que depende do fluxo magnético gerado pela bobina primária ϕ_1 , bobina secundária ϕ_2 , intensidade da corrente elétrica que passa pela bobina primária i_1 , corrente elétrica na secundária i_2 e do número de voltas em cada espira: primária N_1 e secundária N_2 [11].

$$M = \frac{N_2 \cdot \phi_2}{i_1} = \frac{N_1 \cdot \phi_1}{i_2} \quad (\text{B-2})$$

A equação 1 pode também ser descrita em função da *fem* (ε) da bobina primária (ε_1) e secundária (ε_2), conforme a equação 2:

$$\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad (\text{B-3})$$

Se considerar a resistência do enrolamento das bobinas igual a zero, cada *fem* deverá ser igual a respectivo valor de tensão da primária e secundária, sendo respectivamente, V_1 e V_2 . Assim, conseguimos uma relação da amplitude de tensão das bobinas com o número de espiras.

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad (\text{B-4})$$

Portanto, além de alterar o valor da corrente elétrica, o segundo terminal terá a intensidade da tensão elétrica alterada.

Iniciaremos agora o processo de montagem do experimento: Transformador, sendo necessário realizar os seguintes passos:

1. Para montar o segundo experimento, aproveitaremos a estrutura do pêndulo eletromagnético montado anteriormente. Utilizaremos a mesma base de madeira, incluindo o suporte metálico já fixado, sem nenhuma alteração ou interferência. Portanto, o primeiro procedimento será reutilizar a estrutura existente. Certifique-se de que a base de madeira com as medidas de 50 x 30 x 2 cm esteja posicionada em uma superfície adequada para dar início à montagem do novo experimento. Caso o suporte metálico tenha sido removido temporariamente, fixe-o novamente na extremidade da base de madeira, garantindo sua estabilidade. Com essa base montada, estaremos prontos para prosseguir com os demais passos do segundo experimento;
2. Esse bloco metálico pode ter sido aproveitado de um brinquedo ou qualquer outra fonte disponível.

Se você não tiver um bloco metálico disponível, uma alternativa viável é adquirir três barras sólidas de aproximadamente 8 x 1,5 x 1,5 cm cada. Essas barras podem ser encontradas em lojas de materiais de construção ou ferragens. Para montar a estrutura alternativa, basta unir as três barras sem a necessidade de soldagem, garantindo que elas formem um "U" e que a base fique em contato com a madeira. Essa configuração também proporcionará estabilidade à estrutura, permitindo que

o experimento seja realizado com sucesso.

As bobinas utilizadas no experimento foram reaproveitadas de um outro experimento, garantindo a eficiência do novo projeto. No entanto, caso as bobinas não estejam disponíveis, uma alternativa viável é enrolar as próprias bobinas utilizando um carretel de plástico. O enrolamento das bobinas pode ser feito manualmente, passando o fio de cobre esmaltado ao redor do carretel, garantindo que cada volta fique bem ajustada e sem cruzamentos entre as espiras. Dessa forma, é possível obter bobinas personalizadas e adaptadas ao experimento, mesmo sem a disponibilidade das bobinas prontas.



Figura B-13. Estrutura Metálica e bobinas de cobre dispostas sob a base de madeira
(Fonte: autor)

3. Cada bobina será posicionada em uma perna da estrutura, garantindo uma distribuição equilibrada. Certifique-se de fixar firmemente as bobinas nas pernas da estrutura, de modo que fiquem estáveis e seguras durante o experimento;



Figura B-14. Bobinas sendo acopladas na estrutura metálica. (Fonte: autor)

Agora, vamos fechar o circuito utilizando a chapa de ferro com dimensões de 10 x 3 cm. Posicione a chapa de ferro de forma a conectar as extremidades do bloco metálico em forma de "U", de modo que a configuração inicial se transforme em um "O". Certifique-se de que a chapa de ferro esteja firmemente fixada no bloco metálico, garantindo uma conexão estável e segura. Essa configuração de circuito fechado permitirá que a corrente elétrica flua através do bloco metálico, desempenhando um papel fundamental no funcionamento do experimento;



Figura B-15. Chapa metálica na parte inferior da estrutura metálica. (Fonte: autor)

4. Agora plugue a fonte de alimentação (carregador de celular) na tomada da sala. Normalmente a fonte de alimentação é bivolt, entretanto, por precaução é recomendado verificar a tensão de entrada do carregador. Em seguida, conecte os

terminais do carregador de celular (tensão de saída) nos terminais da bobina de 600 voltas;



Figura B-16. Carregador conectado nos terminais de uma das bobinas. (Fonte: autor)

5. A estrutura já está montada, agora será necessário posicionar os instrumentos de medidas:
 - a. Com os multímetros ligados na função amperímetro, posicione os cabos nos terminais que ligam o carregador à bobina primária, e com a bobina secundária, de modo que tenha contato com o metal do fio;
 - b. Agora coloque o aparelho celular posicionado ao lado da bobina. Mas antes desse passo será necessário deixar o aplicativo *PhyPhox* selecionado para detectar o campo magnético. Para isso, siga os passos a seguir:
 - i. Abra o aplicativo *PhyPhox* e selecione o Sensor Magnetômetro, conforme figura 1;
 - ii. Ao entrar em magnetômetro, a tela apresentará a imagem conforme figura 2;
 - iii. Posteriormente, inicie o programa no símbolo *play*, presente na parte superior da aba.

- iv. Agora posicione o celular ao lado da bobina para finalizar a montagem do experimento.

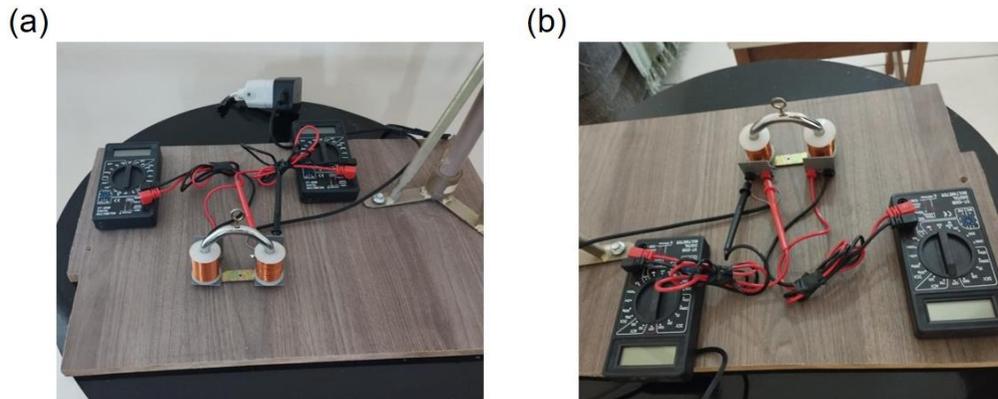


Figura B-17. Experimento Transformador. (a) visão frontal do experimento. (b) visão traseira do experimento, mostrando a ligação (Fonte: autor)

Questionário avaliativo do experimento – transformador

Com a estrutura toda montada, faça o procedimento a seguir para realização do experimento e responda aos questionamentos:

1. Anote os valores da tensão elétrica da bobina primária e secundária ao ligar o carregador e responda as perguntas:

Tabela B-5. Planilha para anotação da tensão elétrica.

	MEDIDA 1	MEDIDA 2	MEDIDA 3	MÉDIA
BOBINA PRIMÁRIA				
BOBINA SECUNDÁRIA				

- a. Houve diferença na tensão elétrica nos terminais das bobinas? Se sim, aumentou ou diminuiu?
- b. Caso a resposta anterior tenha sido “sim”, por que houve mudança? Explique.

- c. Se alterarmos as bobinas, o que acontecerá com a tensão elétrica nos terminais?
 - d. Como é o comportamento do campo magnético ao ligar o circuito?
2. Existe uma relação entre o número de espiras e a tensão elétrica. Calcule o valor esperado da tensão gerada na bobina secundária e compare o valor encontrado com o anotado na tabela da pergunta 1.
 3. Faça o procedimento de teste novamente, conforme pergunta 1, mas agora retire a barra metálica do bloco. O que acontece com a tensão elétrica no terminal da bobina secundária? Relate e justifique o ocorrido.

B.6. Construção do experimento eletroímã

Eletroímãs são usados em diversos aparelhos, como motores, campainhas e carregadores de celular. De maneira geral, eles são ímãs temporários que dependem da corrente elétrica para que um campo magnético seja estabelecido. Caso a corrente elétrica seja interrompida, não haverá mais presença de campo magnético. Esse princípio é basicamente o mesmo do experimento de Oersted, diferenciando no formato do material condutor.

Para isso, o presente experimento, Eletroímã, utiliza da mesma estrutura do experimento Transformador. Ele consiste em um núcleo metálico no formato da letra U, o qual duas bobinas de diferentes números de voltas 600 e 300 são acopladas em cada lado do núcleo metálico e uma das bobinas é ligada a uma ddp de 12 V (carregador de celular). Ao ligar o filtro de linha, que faz a conexão do carregador a tomada da rede, uma barra metálica deve ser acoplada na parte superior da estrutura em forma da letra “U”, com o intuito de fechar o bloco, fazendo com que o bloco metálico agora fique no formato da letra “O”. Assim, uma corrente elétrica percorrerá a bobina, acarretando na geração de um campo magnético oscilante, visto que a corrente elétrica é alternada. O campo magnético é intensificado ao passar pelo núcleo de ferro, graças a sua elevada permeabilidade magnética (ferromagnético), tornando-o um eletroímã. Uma vez interrompida a passagem de corrente pela bobina, não haverá mais um campo magnético.

O processo de montagem do experimento Eletroímã é exatamente o mesmo do experimento Transformador mostrado no tópico 2.2. Entretanto, o procedimento para montagem deve ser feito de acordo com as instruções a seguir:

Questionário avaliativo do experimento – eletroímã

Com a estrutura toda montada, faça o procedimento a seguir para realização do experimento e responda aos questionamentos:

1. Ao ligar o circuito na fonte de alimentação de 12 V, como é o comportamento do campo magnético informado no aplicativo *PhyPhox*?
2. Ao acoplar a barra metálica, como é o comportamento do campo magnético gerado? Caso o a barra metálica fosse substituída por um material plástico, como você acha que seria o comportamento do campo magnético?
3. Coloque uma moeda na estrutura metálica e verifique se houve uma atração. Caso tenha uma atração, qual a explicação científica para esse fenômeno?

B.7. Aplicativo *Phyphox*

O *PhyPhox* é uma marca registrada que foi criada no 2º Instituto de Física da RWTH Aachen University. Trata-se de um aplicativo de coleta de dados que está disponível para Android e IOS desde setembro de 2016. Ele permite que os usuários possam realizar alguns experimentos interessantes utilizando os sensores que os celulares *smartphones* possuem. Dependendo do aparelho celular, os sensores que podem estar presentes são: acelerômetro, magnetômetro, giroscópio, pressão, microfone, GPS, intensidade luminosa e proximidade [5].

Ao selecionar a aba desejada para realizar a medição, uma tela será aberta ao usuário para que ele possa verificar em tempo real os valores. O *app* também oferece o recurso de exportar os dados, caso seja do desejo do usuário para uma posterior análise em outro programa ou *app* [5].



Figura B-18. Tela inicial do *app PhyPhox*:. (Fonte: PhyPhox)

O sensor utilizado para os experimentos no produto desse trabalho é o magnetômetro, que é um dispositivo que mede a intensidade do campo magnético. Para saber se o aparelho celular possui esse recurso, basta instalar o aplicativo *PhyPhox* (utilize o link para ter acesso ao *app* pela PlayStore https://play.google.com/store/apps/details?id=de.rwth_aachen.phyphox) e ao entrar na tela inicial do usuário, verifique se a opção magnetômetro está ativada.

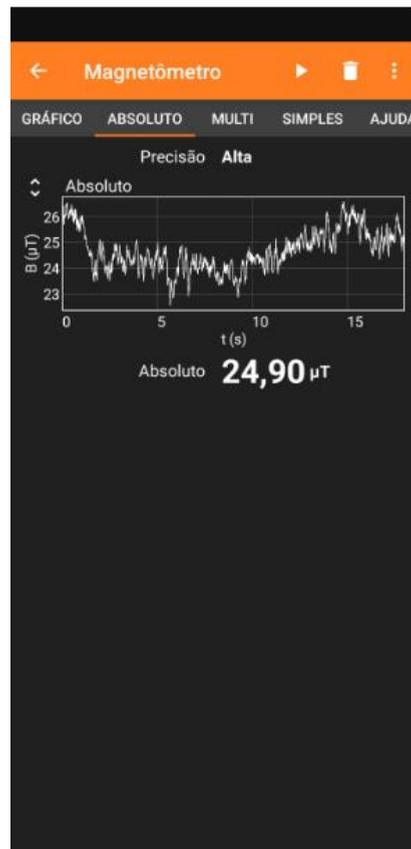


Figura B-19. Tela do magnetômetro do *app PhyPhox*.. (Fonte: PhyPhox)

B.8. Experimentos: Metodologia de Ensino

Ao término da execução do experimento, alguns questionamentos foram elaborados para que os alunos pudessem respondê-los. Os questionamentos apresentados no tópico 2. têm como objetivo fazer com que o aluno assimile os conteúdos já aprendido em sala de aula, mais precisamente na área de eletromagnetismo, com a prática. Nenhuma questão foi criada de forma que tivesse uma resposta objetiva, portanto, possibilita que o aluno possa respondê-las com as suas palavras, deixando o professor responsável para analisar as respostas. Entretanto, há um padrão das respostas esperadas, conforme veremos a seguir.

B.9. Respostas do experimento – Pêndulo Eletromagnético

A primeira pergunta consiste em utilizar os valores de corrente elétrica obtidos pelo multímetro para verificar o comportamento da corrente elétrica, relacionando com os conteúdos: corrente contínua e corrente alternada já apresentados pelo professor em aulas

anterior a realização do experimento. O objetivo é que o aluno relacione o observado, através das anotações da SD, com a corrente alternada, assim concretizando o aprendizado e sabendo distinguir o comportamento que a corrente elétrica pode apresentar.

Para a segunda pergunta da SD é necessário refazer a aplicação do experimento trocando a bobina de 1000 espiras para uma bobina de 500 espiras. Com os dados da corrente elétrica obtido pelo multímetro e o campo magnético pelo aplicativo *PhyPhox*, o aluno terá que refazer o cálculo do campo magnético, utilizando a equação do campo magnético em uma espira disponível na SD, conseqüentemente, relacionar o número de espiras da bobina com a corrente elétrica e o campo magnético. Nessa etapa, o objetivo é relacionar a equação do campo magnético da espira com o observável, no caso a corrente elétrica. Diante dessa informação e outras presentes na SD, espera-se que o aluno consiga expressar numericamente o valor do campo magnético obtido pelas duas bobinas e, com isso, verificar que o número de espiras interfere diretamente no resultado do campo magnético.

A terceira pergunta possui dois questionamentos, o primeiro é sobre os diferentes valores obtidos no experimento quando a bobina é trocada. O aluno utilizará as análises feitas durante o experimento e, com base nessas informações descrever a alteração observada por ele. O segundo é referente ao brilho do LED, visto que ao trocar de bobina a corrente elétrica terá valor alterado. Nesse caso o aluno deverá também descrever o observável e informar o motivo de acender ou não o LED. Essa pergunta complementa a anterior, visto que o valor da corrente elétrica medido pelo multímetro está relacionado com o número de voltas da espira.

Por fim, a quarta pergunta instiga o aluno a observar que apenas quando o ímã está oscilando que haverá variação do fluxo magnético e, conseqüentemente, geração de corrente elétrica. Espera-se que o aluno relate um valor nulo da corrente elétrica, argumentando que como o ímã está parado em frente a bobina não ocorrerá a indução e, portanto, geração de corrente elétrica. Entretanto, o aluno ao consultar a tela do *smartphone* verificará um valor de campo magnético gerado pelo sensor magnético do celular. Essas perguntas são uma maneira de verificar na prática que há a necessidade de uma oscilação do ímã para que a lei de Faraday seja aplicada.

B.10. Respostas do experimento – Transformador

A primeira pergunta foi referente a detecção da ddp, através do multímetro, na bobina secundária. Espera-se que o aluno consigo identificar a alteração da ddp na bobina primária para a bobina secundária devido ao diferente número de enrolamento entre as bobinas.

Na segunda pergunta o aluno deverá realizar o cálculo, utilizando a equação 22, para obter o valor de ddp na saída, nesse caso na bobina secundária. O valor encontrado deverá ser comparado com o valor detectado pelo multímetro. Conforme já citado nesse tópico, os valores não serão os mesmos, visto que na prática a corrente de Foucault interfere, devendo, portanto, ao aluno usar como justificativa essa variável.

A terceira pergunta questiona o aluno sobre a importância de o sistema ser fechado, ou seja, os blocos metálicos serem no formato da letra “O” e não da letra “U”. Ao realizar a prática, ele verificará que não ocorrerá uma transformação da ddp na bobina secundária quando o bloco não está fechado.

B.11. Respostas do experimento – Eletroímã

A primeira pergunta é referente ao momento em que uma das bobinas acoplada na estrutura metálica é ligada ao carregador. Nessa etapa ainda não há campo magnético sendo gerado pela estrutura metálica e o aluno pode perceber esse fato tentando colocar uma moeda em contato com a estrutura, verificando que não há atração.

Na segunda pergunta, o aluno é indagado em relação ao tipo de material que foi utilizado para fechar a estrutura metálica. Nesse caso foi mencionado substituir uma barra de ferro por um material de plástico. Nesse ponto, espera-se que haja assimilação de que o metal é um condutor de corrente elétrica e que o plástico não possibilitaria a geração de um campo magnético.

A terceira pergunta é referente ao ápice do experimento, a qual é o momento em que a barra de ferro é inserida na parte superior da estrutura, fechando assim o sistema. É pedido ao aluno que descreva o motivo do bloco metálico se tornar um ímã apenas quando

o circuito elétrico é ligado. Assim, ele terá que relacionar os conteúdos trabalhados em sala de aula: ímã permanente e eletroímã em conjunto com o observável para descrever.

B.12. Considerações finais

Os experimentos didáticos do produto em questão foram aplicados em uma sala de aula de uma escola pública de Minas Gerais. Ao construir os experimentos junto aos alunos, alguns problemas ocorreram, sendo necessário realizar algumas modificações. Um deles é a confecção da bobina de cobre esmaltado, em que os alunos tiveram dificuldade em enrolar inúmeras voltas pelo carretel. Nesse caso é recomendado levar uma bobina de cobre já pronta, diminuindo o tempo do experimento e facilitando na hora da montagem.

O produto aplicado em sala ficou dentro da expectativa esperada, pois os alunos acabaram ficando mais interessados em instigar os experimentos e, assim, relacioná-los com as aulas teóricas que tiveram de Lei de Faraday e Lenz. Como colaboração para o produto, o uso do aparelho celular é de grande importância, já que os alunos são orientados a não utilizarem o celular em sala de aula para não atrapalhar no aprendizado. Essa liberdade em utilizar, para fins pedagógicos, acaba criando uma quebra de paradigma de que o celular só atrapalha e passa a ser mais um aliado do aluno.

Esse produto pode também ser utilizado mesmo sem o aluno conhecer teoricamente a Lei de Faraday e Lenz, pois ele desperta a curiosidade do aluno fazendo com que ele procure respostas para os fenômenos que estão acontecendo. Posteriormente, caso esse produto seja aplicado em sala de aula, o professor poderá complementar com aulas teóricas sobre o assunto envolvido. Além disso, como sugestão, o professor pode utilizar os planos de aulas que estão no apêndice A desse trabalho. Os planos de aula foram criados utilizando a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, a qual novas informações são inseridas na estrutura cognitiva de forma organizada [7].

B.13. Referências

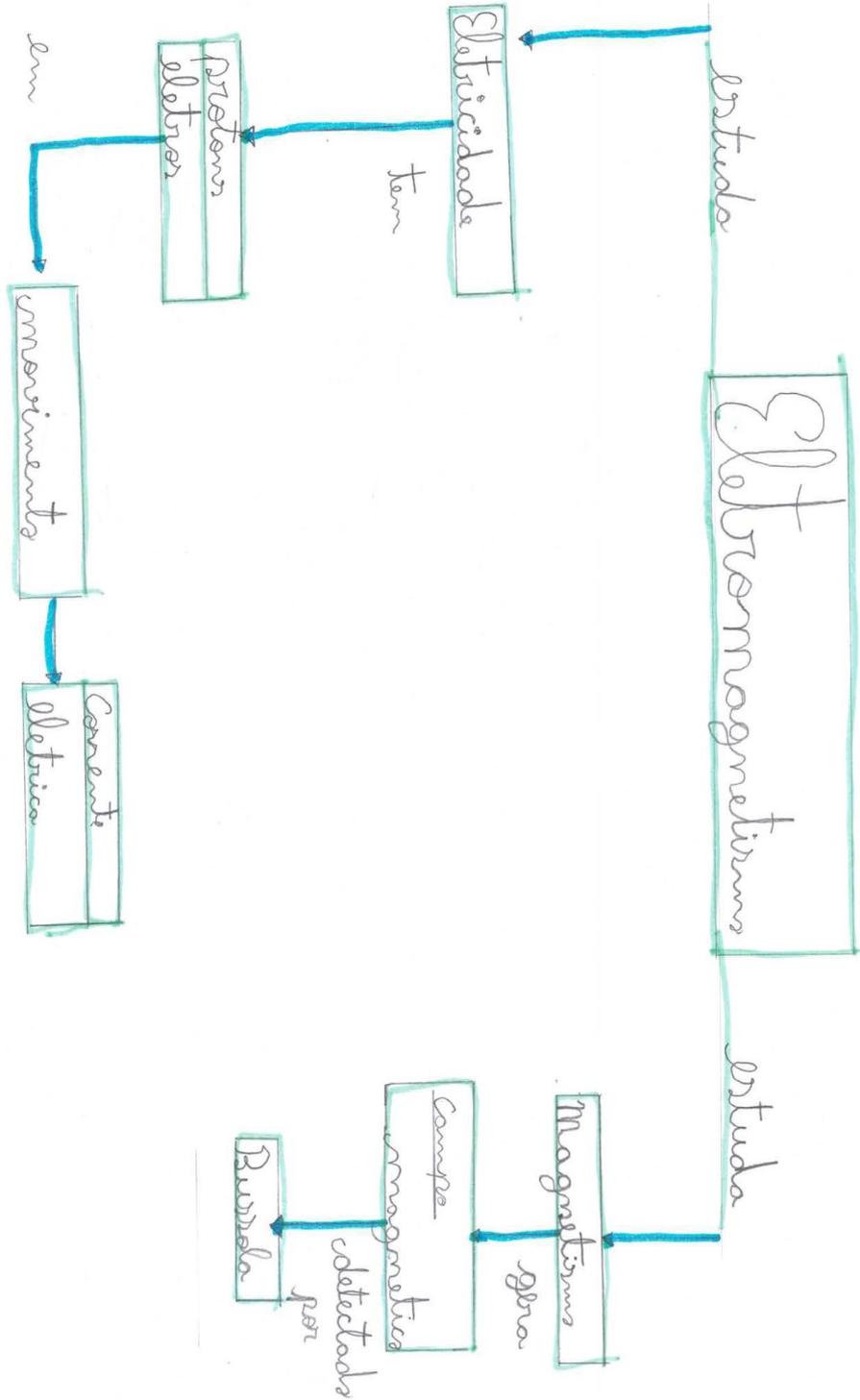
1. PEDRISA, C.M. Características históricas do ensino de ciências. *Ciência & Ensino*, Campinas, n. 11, p. 9-12, 2001.

2. GATTI, B. A. Formação de professores: condições e problemas atuais. *Revista Brasileira de Formação de Professores*, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 90-102, mai. 2009.
3. HILGER, T. R.; GRIEBELER, A. Uma proposta de unidade de ensino potencialmente significativo utilizando mapas conceituais. *Investigações em Ensino de Ciências*, V. 18, n. 1, p. 199-213, 2013
4. SEARS E ZEMANSKY. Física III: Eletromagnetismo/Hugh D. Young, Roger A. Freedman; colaborador A. Lewis Ford; tradução Lucas Pilar da Silva e Daniel Vieira; revisão técnica Adir Moysés Luiz - 14° ed. - São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2015
5. STAACKS, S., HUTZ, H., HEINKE e STAMPFER, C. Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox. *IOP Science*. Publicado 16 de maio de 2018.
6. Reitz, J.R. Fundamentos da teoria eletromagnética/ John R. Reitz, Frederick J. Milford, Robert W. Christy; tradução de Renê Balduino Sander - 12° reimpressão. - Rio de Janeiro: Elsevier, 1982.
7. AUSUBEL, David P., NOVAK, Joseph D., HANESIAN, Helen. *Psicologia educacional*. Tradução Eva Nick. Rio de Janeiro: Interamericana , 1980. Página 137.

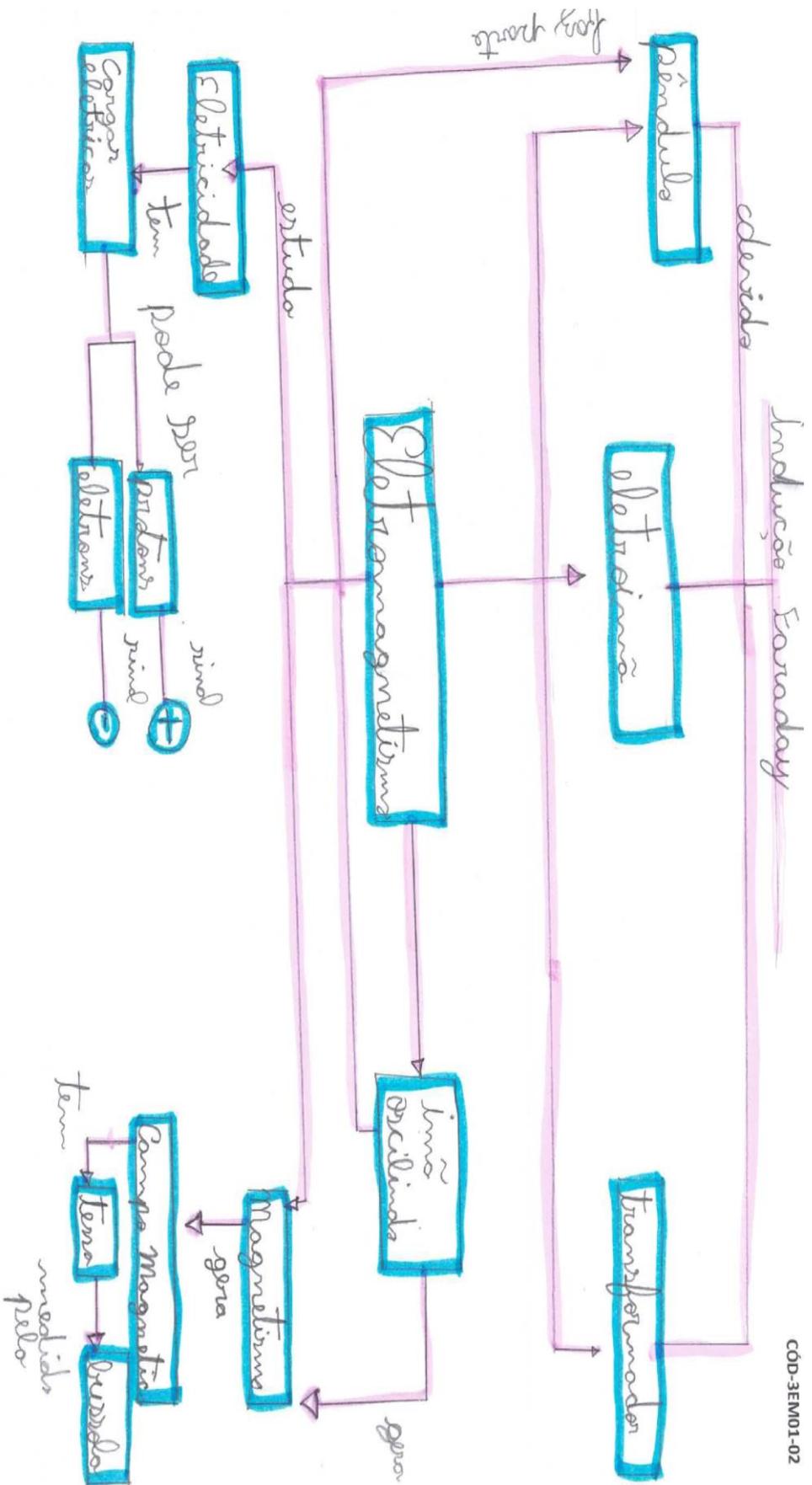
Apêndice C. MAPAS CONCEITUAIS

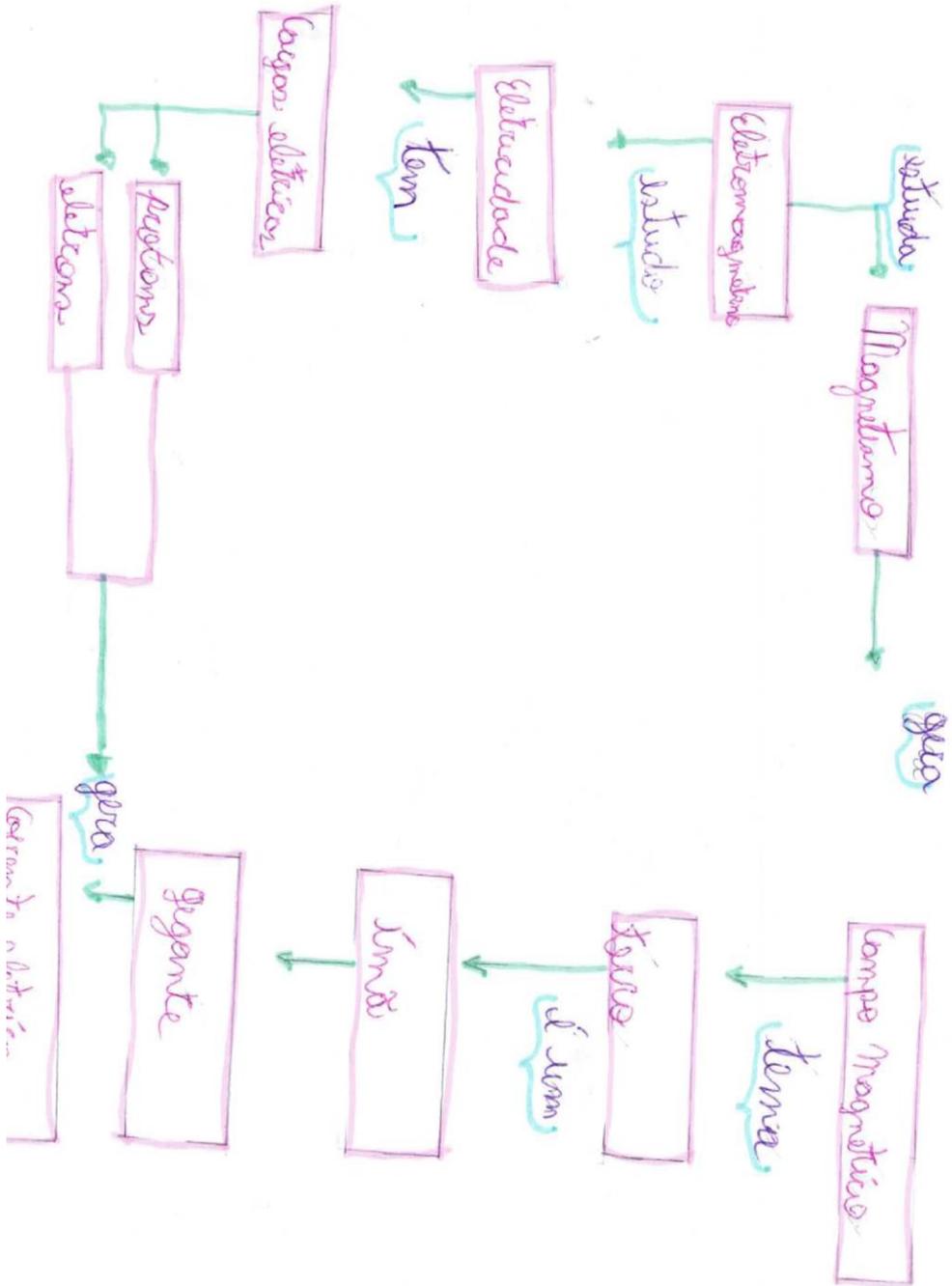
Os mapas conceituais apensados aqui foram utilizados para avaliação da aprendizagem dos discentes envolvidos, segundo os critérios da Tabela 5-2, e servem como referência aos docentes que optarem por esta forma de avaliação na aplicação deste produto. Os discentes são identificados por códigos para preservar a identidade.

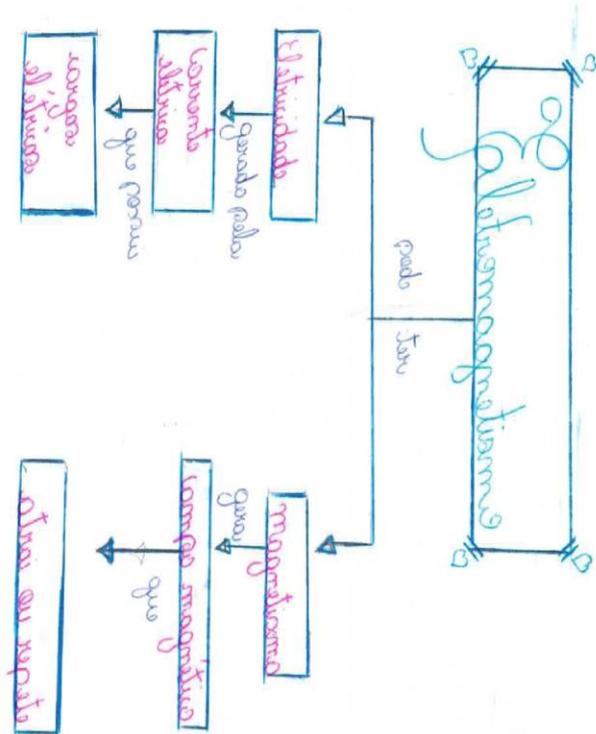
Figura C-1. Mapas conceituais elaborados pelos discentes como parte do processo de avaliação da aplicação do produto. Foram identificados por códigos para preservar o anonimato. (Fonte: autor)

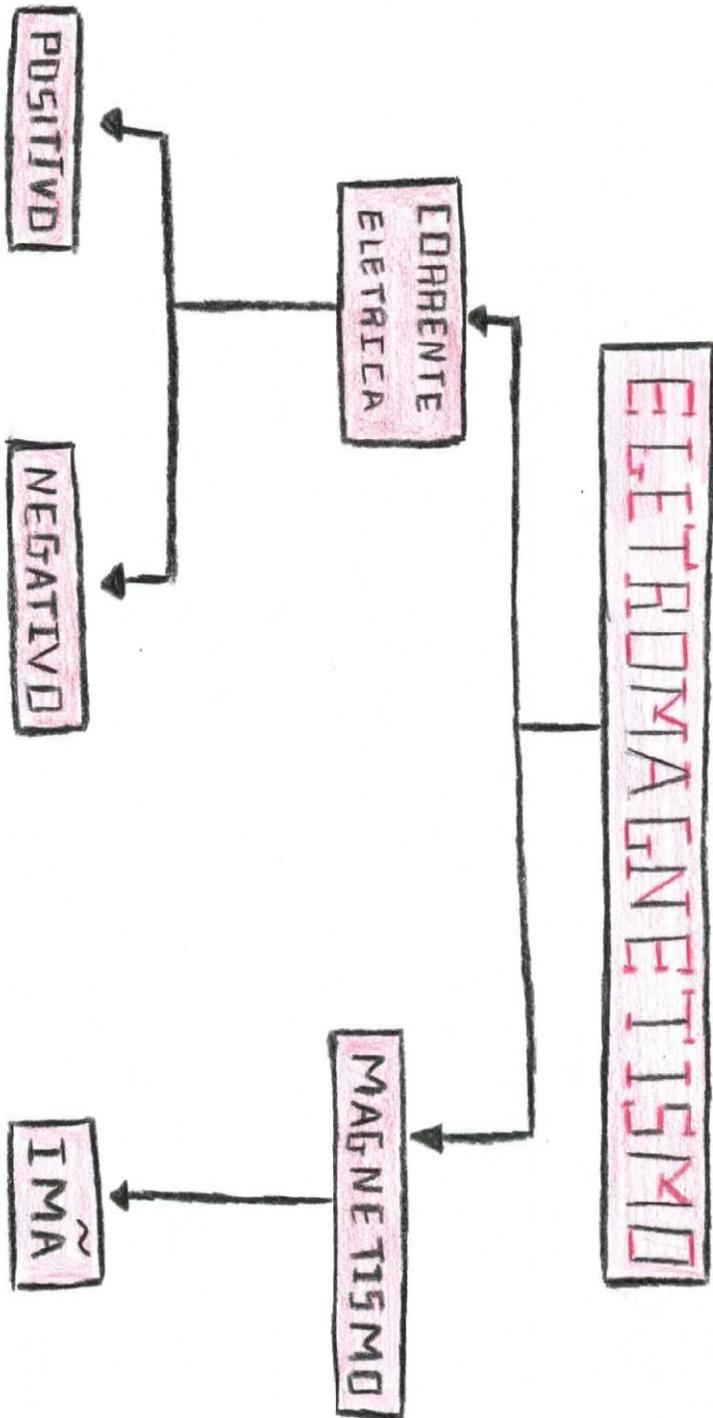


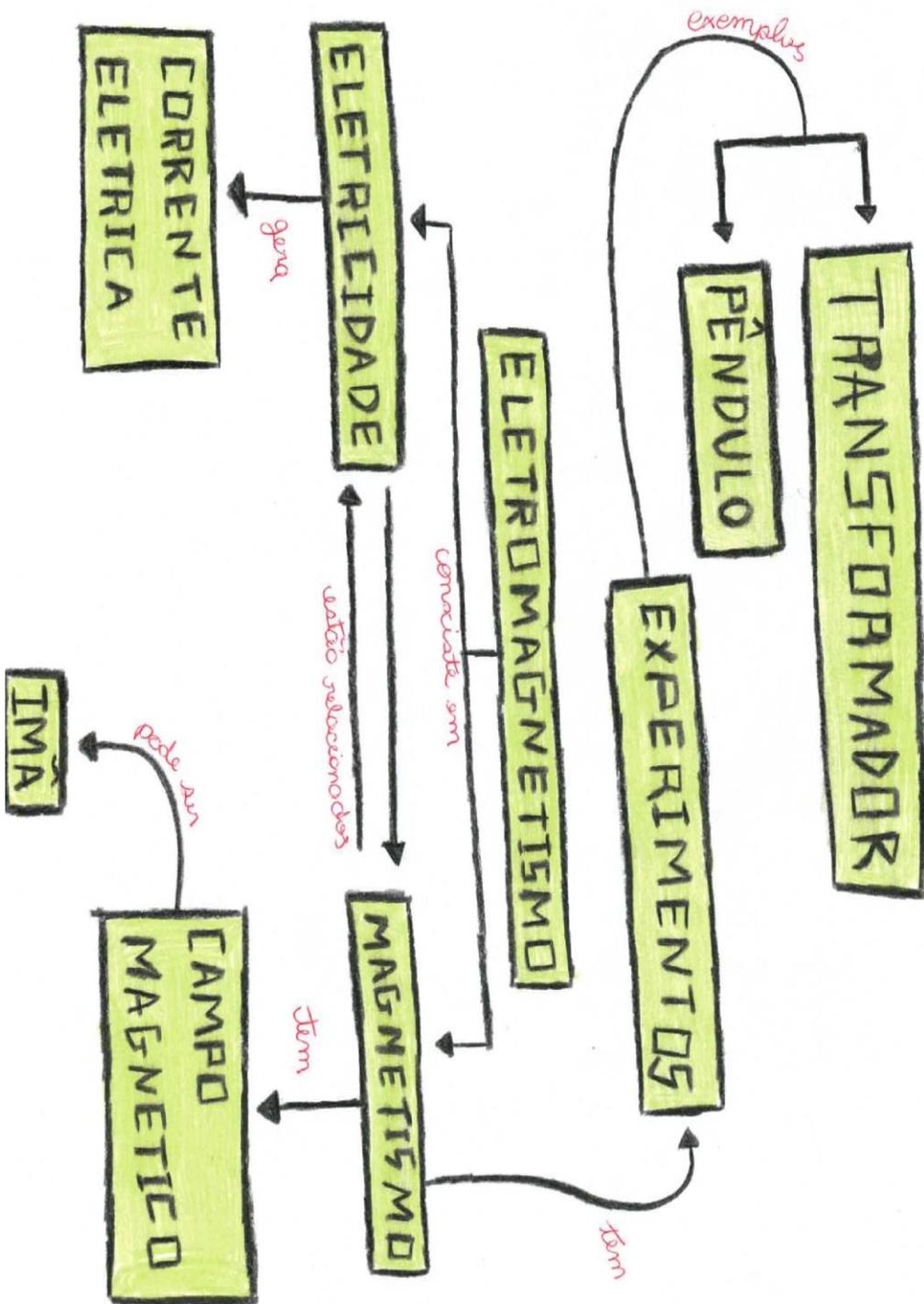
COD: 3EM01-01

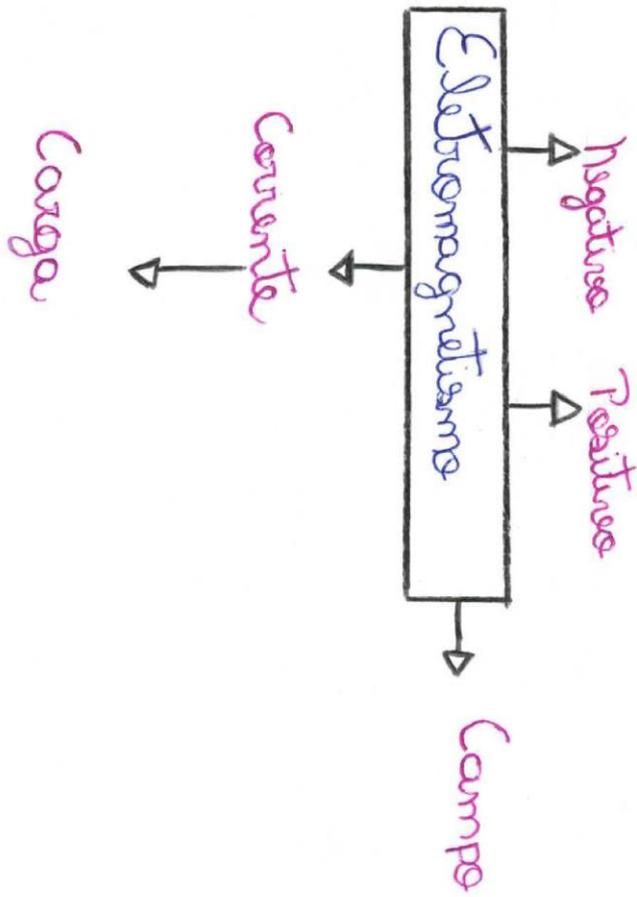


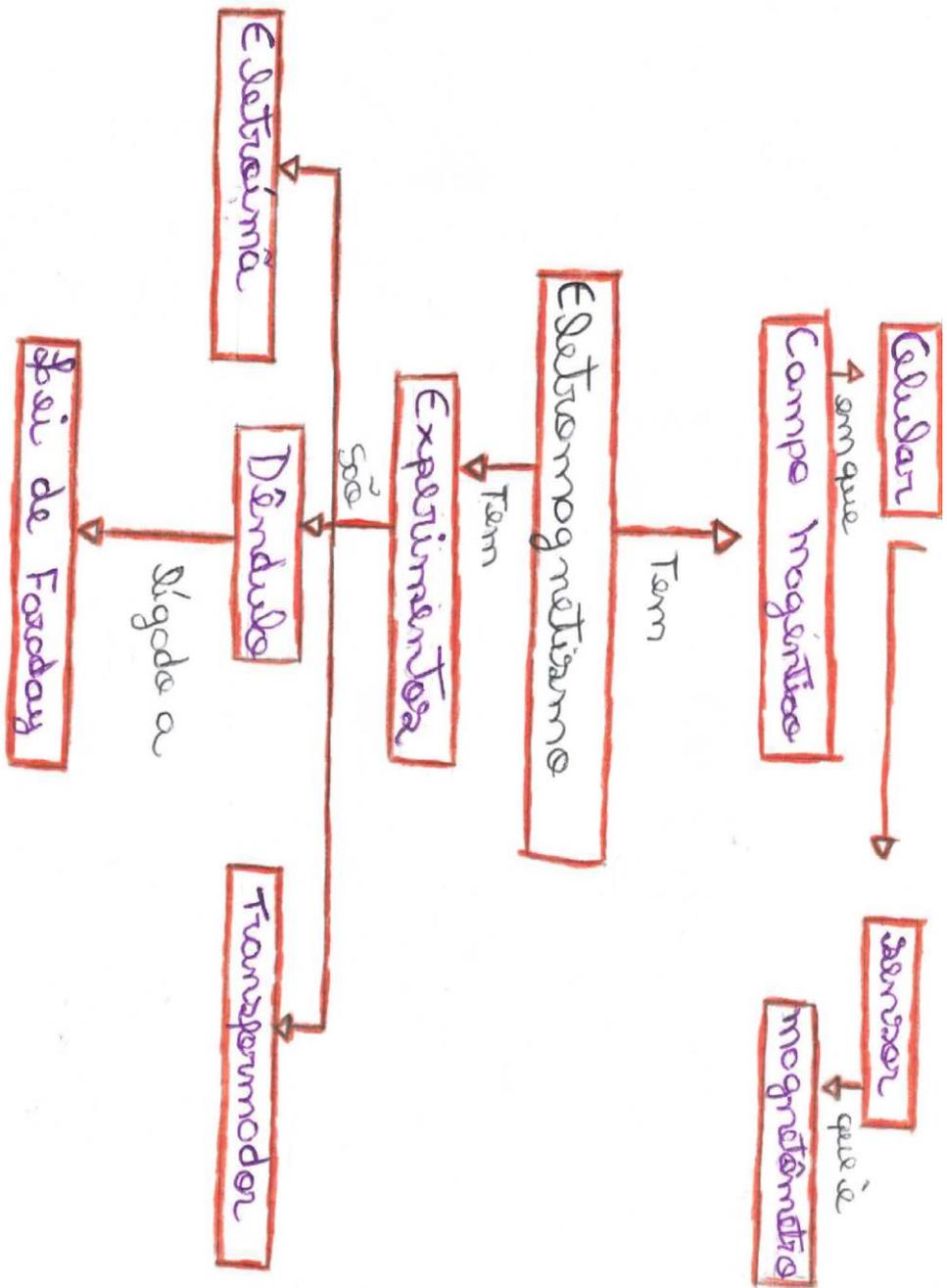


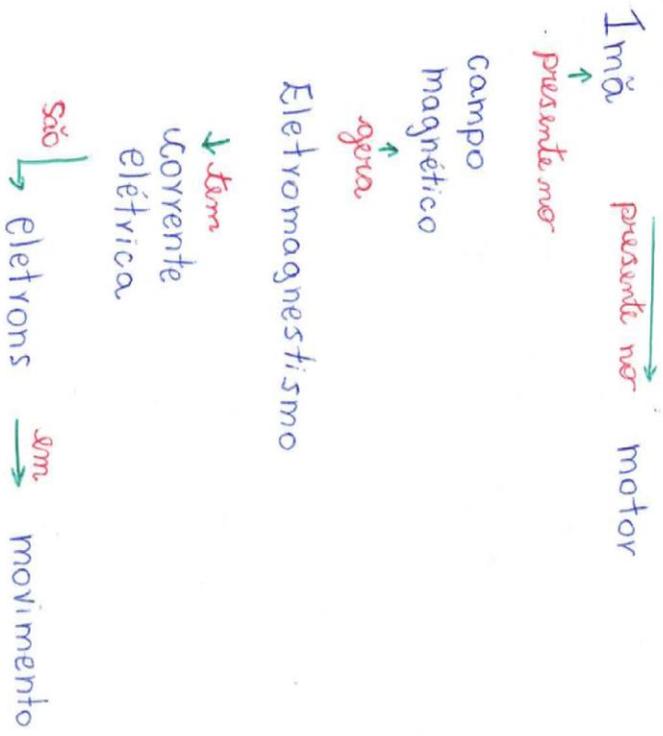


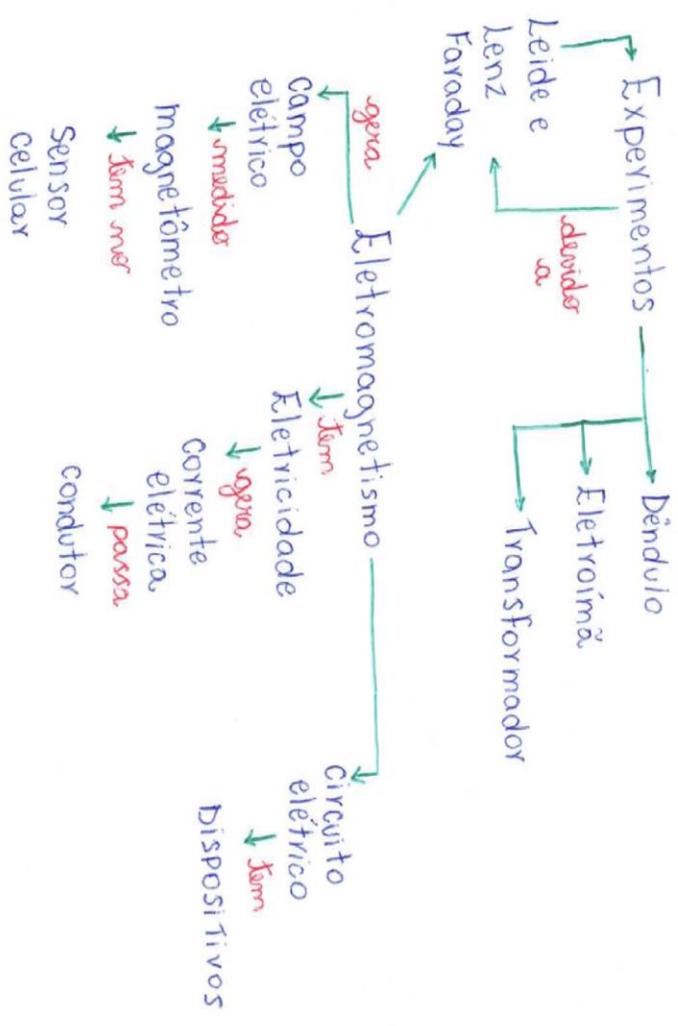


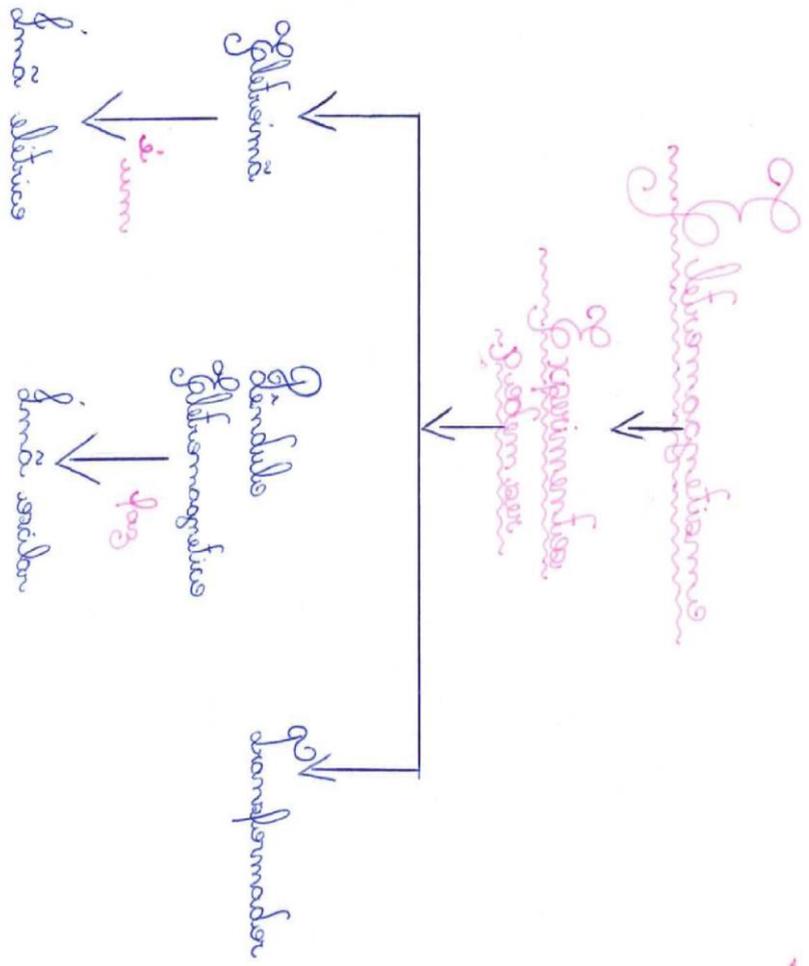


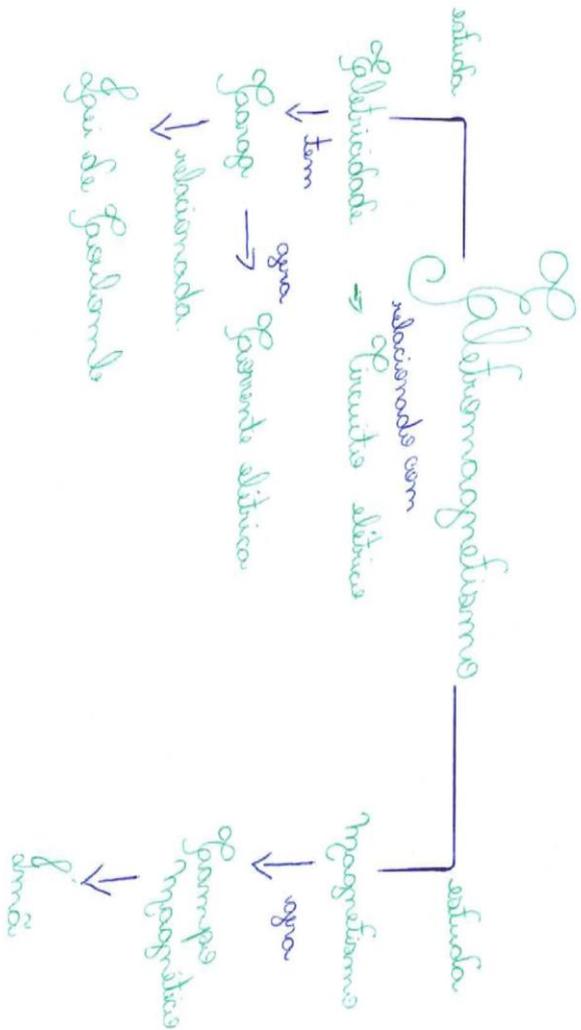


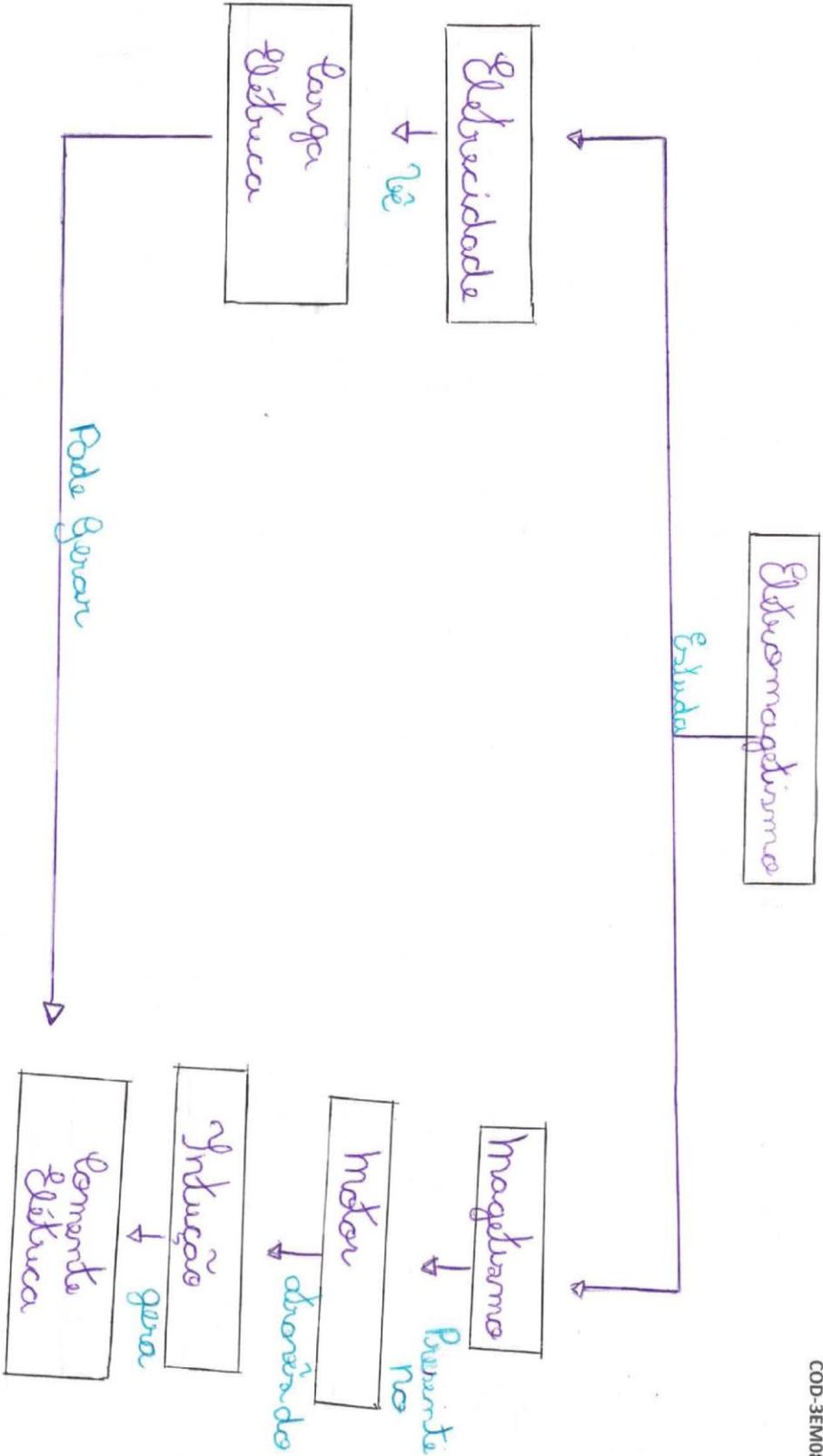


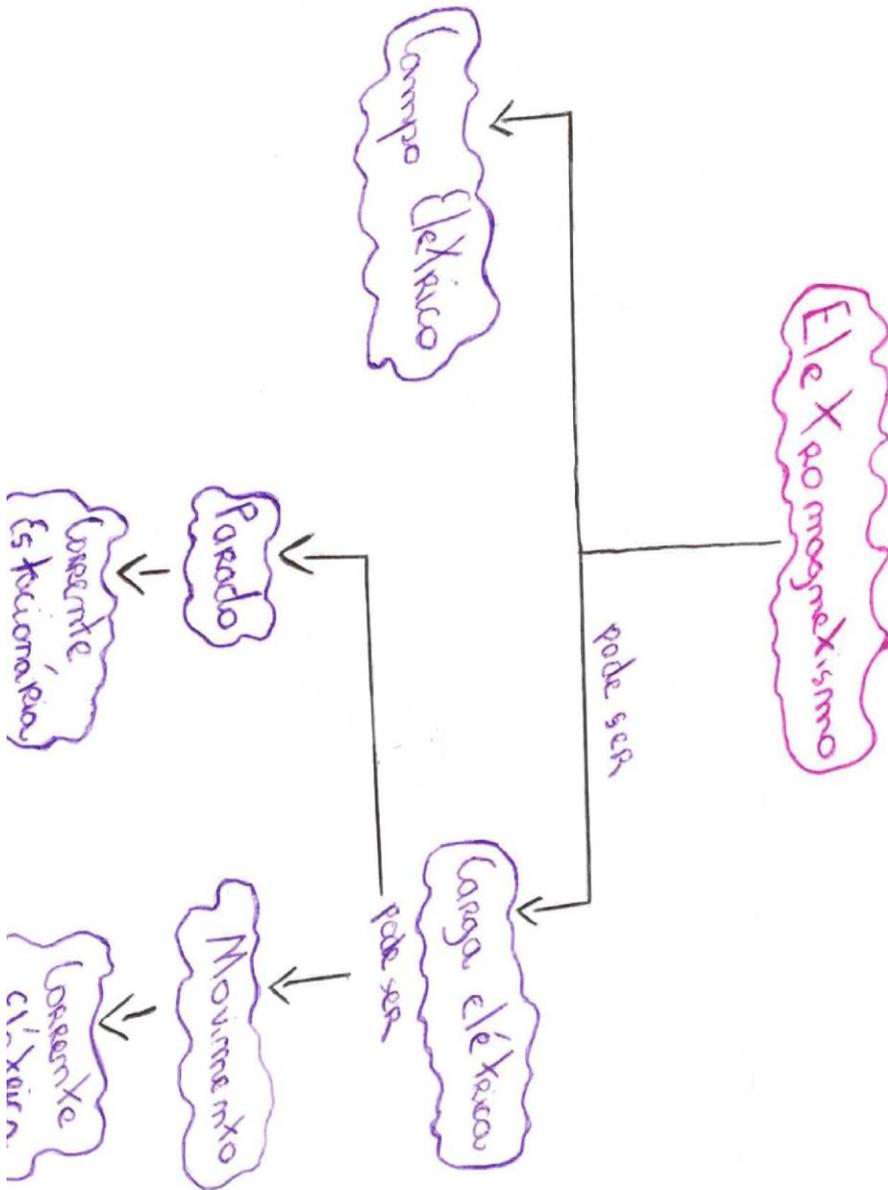


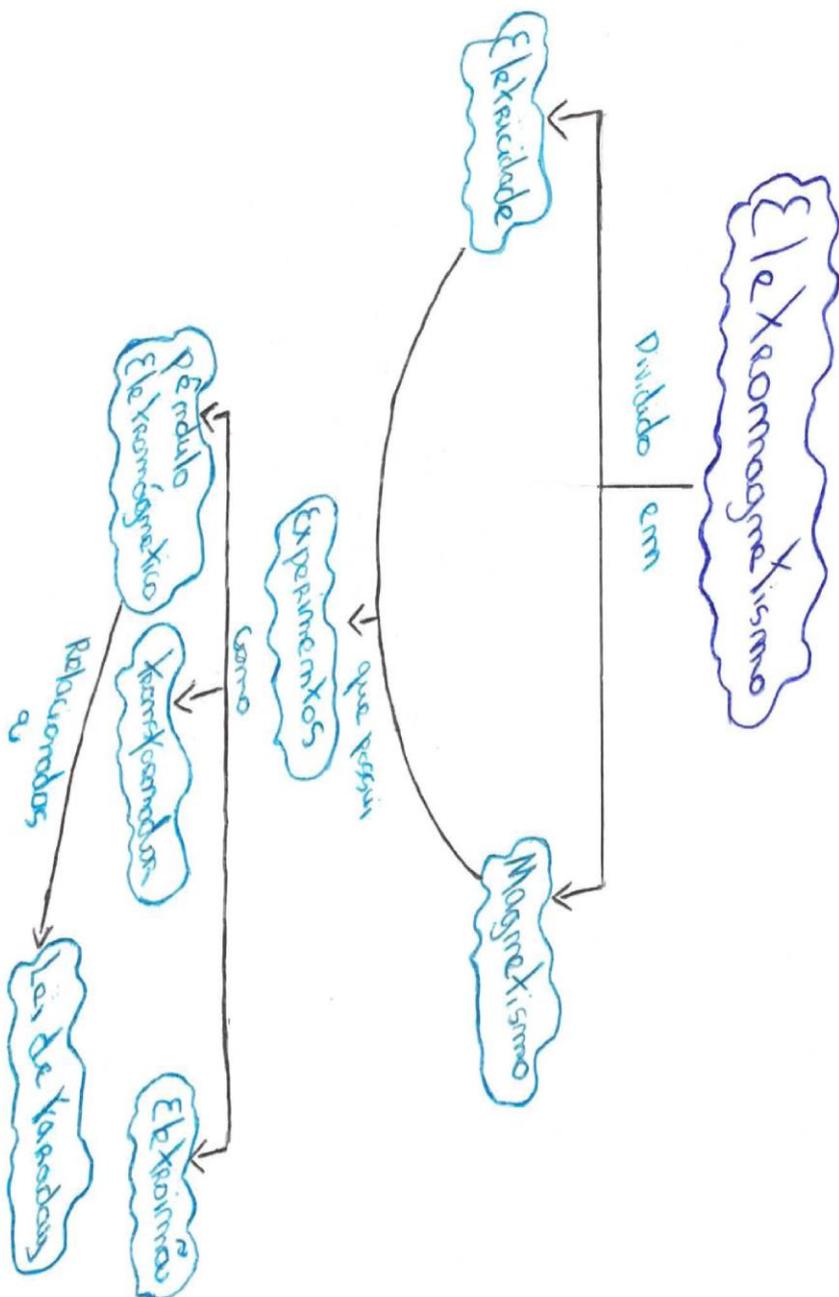


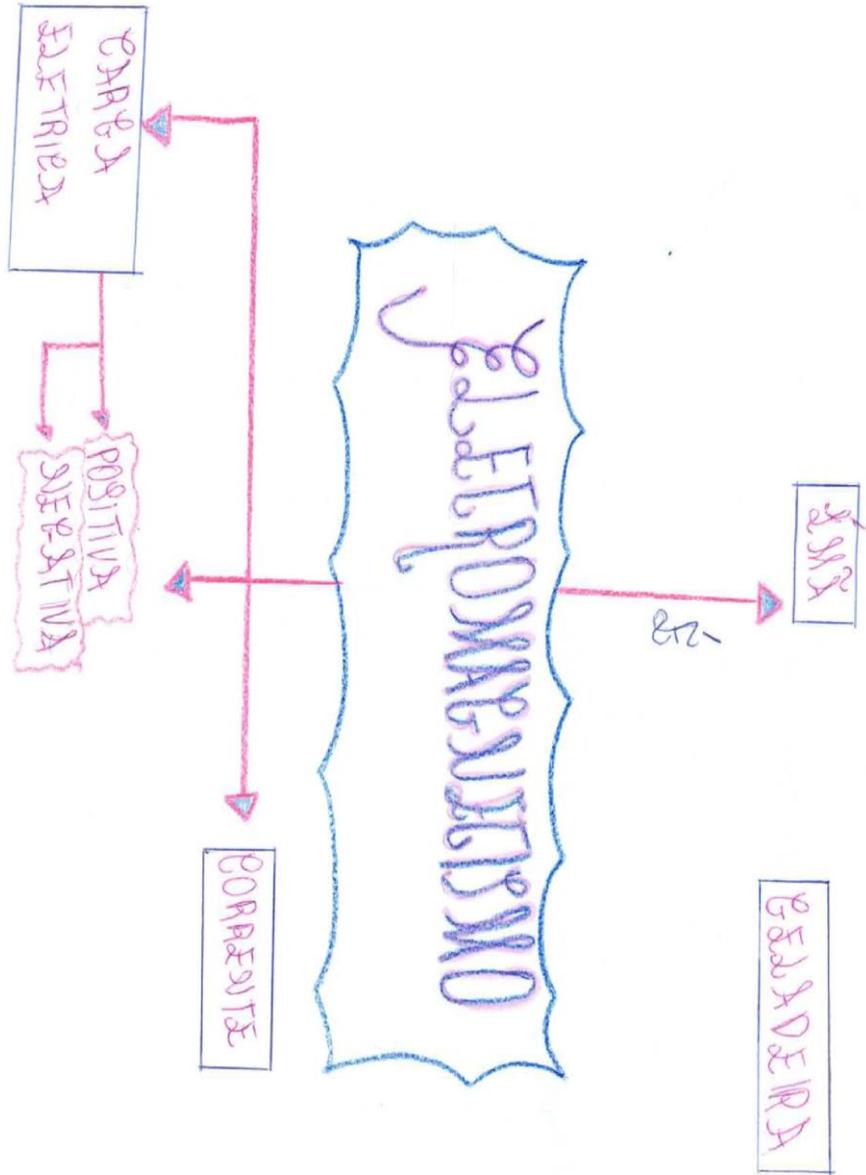


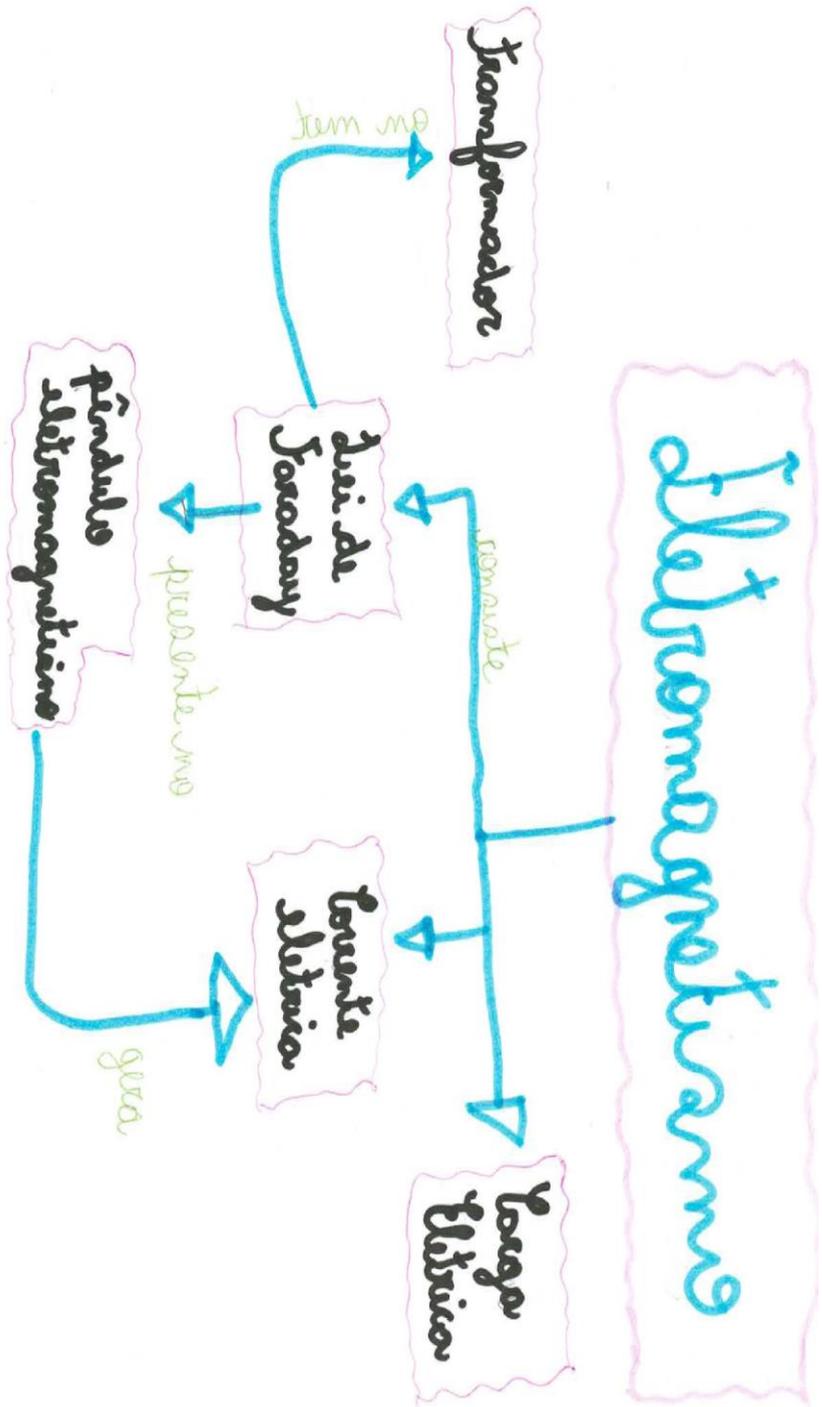












Elaboración de medicamentos

