



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CATALÃO (UFCAT)
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO PROFISSIONAL DE ENSINO DE FÍSICA (MNPEF)

WESLEI ROCHA LEMES

**CONCEPÇÕES ESPONTÂNEAS EM CIRCUITO ELÉTRICO SIMPLES E LEI
DE FARADAY-LENZ: Uma abordagem através de experimentos com materiais
alternativos**

CATALÃO-GO
2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CATALÃO

INSTITUTO DE FÍSICA

Av. Dr. Lamartine Pinto de Avelar, número 1120, - Bairro Setor Universitário, Catalão/GO, CEP 75704-020
Telefone: - - <https://www.ufcat.edu.br>

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA)

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DE TESES E DISSERTAÇÕES DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CATALÃO (UFCAT)

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Catalão (UFCAT) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFCAT), sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei 9.610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFCAT é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação ou Tese?

Dissertação

2. Nome completo do autor

Nome: Weslei Rocha Lemes

3. Título do trabalho

Título: CONCEPÇÕES ESPONTÂNEAS EM CIRCUITO ELÉTRICO SIMPLES E LEI DE FARADAY-LENZ: Uma abordagem através de experimentos com materiais alternativos.

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento: [X] SIM [] NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa.

Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

- a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);
- b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor



Documento assinado eletronicamente por **MARCIONILIO TELES DE OLIVEIRA SILVA, Orientador(a)**, em 06/03/2024, às 15:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Weslei Rocha registrado(a) civilmente como Weslei Rocha Lemes, Usuário Externo**, em 16/07/2024, às 13:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufcat.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0042731** e o código CRC **CADC2BAE**.

WESLEI ROCHA LEMES

**CONCEPÇÕES ESPONTÂNEAS EM CIRCUITO ELÉTRICO SIMPLES E LEI
DE FARADAY-LENZ: Uma abordagem através de experimentos com materiais
alternativos**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), do Instituto de Física da Universidade Federal de Catalão (UFCAT), como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Educação Básica. Linha de pesquisa: Física no Ensino Médio.
Orientador: Professor Doutor Marcionílio Teles de Oliveira Silva.

CATALÃO-GO

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFCAT.

Lemes, Wesley Rocha
CONCEPÇÕES ESPONTÂNEAS EM CIRCUITO ELÉTRICO
SIMPLES E LEI DE FARADAY-LENZ : Uma abordagem através de
experimentos com materiais alternativos / Wesley Rocha Lemes. -
2024.
140, CXL f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Marcionílio Teles de Oliveira Silva.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Catalão, Instituto
de Física, Catalão, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
em Rede, Catalão, 2024.
Bibliografia. Anexos. Apêndice.
Inclui fotografias, símbolos, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de
tabelas.

1. Ensino de Física. 2. Circuitos Elétricos. 3. Concepções
Espontâneas. 4. Experimentos. I. Silva, Marcionílio Teles de Oliveira,
orient. II. Título.

CDU 53



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

UNIDADE ACADÊMICA ESPECIAL DE FÍSICA

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº 08 da sessão de Defesa de Dissertação de **Weslei Rocha Lemes**, que confere o título de **Mestre em Ensino de Física**, na área de concentração **Física na Educação Básica**.

Aos trinta dias do mês de agosto de dois mil e vinte três, a partir das 14:00 horas, por videoconferência, realizou-se a sessão pública de Defesa de Tese/Dissertação intitulada “CONCEPÇÕES ESPONTÂNEAS EM CIRCUITO ELÉTRICO SIMPLES E LEI DE FARADAY-LENZ: Uma abordagem através de experimentos com materiais alternativos” nas dependências da Universidade Federal de Catalão, onde os programas de pós-graduação stricto sensu em funcionamento encontram-se provisoriamente vinculados à Universidade Federal de Goiás, em virtude de procedimentos técnicos relacionados à CAPES, já sendo realizada a transferência da Biblioteca Digital de Dissertações e Teses (BDTD). Assim, justifica-se os nomes das instituições neste documento, uma no cabeçalho (UFG), outra no corpo do texto (UFCAT). Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor **Marcionilio Teles de Oliveira Silva (PPGEF/UFCAT)** com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor **Eberth de Almeida Corrêa (FGA/UNB)**, membro titular externo; Professor Doutor **Jalles Franco Ribeiro da Cunha (PPGEF/UFCAT)**, membro titular interno. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da dissertação, tendo sido o candidato **aprovado** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor **Marcionilio Teles de Oliveira (PPGEF/UFCAT)**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos trinta dias do mês de agosto de dois mil e vinte três.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Marcionilio Teles De Oliveira Silva, Orientador**, em 31/08/2023, às 14:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Eberth de Almeida Corrêa, Usuário Externo**, em 01/09/2023, às 07:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jalles Franco Ribeiro Da Cunha, Professor do Magistério Superior**, em 12/09/2023, às 00:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4009997** e o código CRC **BC83BC02**.

Ao meu incrível e inesquecível pai Jesus Rocha Lemes (*in memoriam*). À todas as famílias brasileiras que perderam entes queridos para a Covid-19; À todas as pessoas que sofrem de alguma doença psicossomática; A todos os pais de crianças autistas.

Agradecimentos

Agradeço à Deus pelo sustento, força e amparo em tempos de adversidades;

À minha família pelo apoio e compreensão;

Ao meu orientador pela paciência e solicitude;

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

RESUMO

CONCEPÇÕES ESPONTÂNEAS EM CIRCUITO ELÉTRICO SIMPLES E LEI DE FARADAY-LENZ:

Uma abordagem através de experimentos com materiais alternativos

Weslei Rocha Lemes

Orientador:

Professor Doutor Marcionílio Teles de Oliveira Silva

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação Em Ensino de Física no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

O presente trabalho tem em vista incentivar professores de Física a enfrentar problemas relativos à estrutura da maioria das escolas públicas, especialmente em relação à falta de laboratórios de Física, partindo-se do pressuposto de que a ausência de um laboratório não pode impedir o professor de realizar atividades experimentais com seus alunos. Portanto, trata-se de uma proposta pautada na utilização de experimentos com materiais de baixo custo, que possam despertar o interesse dos alunos pela Física e, simultaneamente, explorar as concepções espontâneas destes estudantes, proporcionando-os, através da construção de seu próprio conhecimento e da mediação do professor, condições para superá-las. Este trabalho está ancorado em dois suportes essenciais no processo de ensino e aprendizagem da disciplina de Física: a importância da utilização de experimentos durante as aulas e o entendimento de que a exploração das concepções espontâneas dos estudantes é fundamental para o alcance de resultados formativos positivos. Visando contribuir com esses pontos, foi elaborado um Produto Educacional, contendo atividades experimentais e procedimentos metodológicos. A Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel orientou o processo de imersão conceitual e construção do material didático. As atividades experimentais, bem como as metodologias e estratégias propostas no Produto Educacional são de fácil reprodução, que a depender do público-alvo e da estrutura escolar, poderão demandar adaptações e ajustes.

Palavras-chave: Ensino de Física, Circuitos Elétricos, Concepções Espontâneas, Experimentos.

Catalão, GO
2024

ABSTRACT

CONCEPÇÕES ESPONTÂNEAS EM CIRCUITO ELÉTRICO SIMPLES E LEI DE FARADAY-LENZ:

Uma abordagem através de experimentos com materiais alternativos

Weslei Rocha Lemes

Supervisor:

Professor Doutor Marcionílio Teles de Oliveira Silva

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

This work aims to encourage Physics teachers to face problems related to the structure of most public schools, especially in relation to the lack of Physics laboratories, starting from the precepts that the absence of a laboratory cannot prevent the teacher from to carry out experimental activities with their students. Therefore, it is a proposal based on the use of experiments with low-cost materials, which can awaken students' interest in Physics and, simultaneously, explore the intuitive conceptions of these students, providing them, through the construction of their own knowledge and the teacher's mediation, conditions to overcome them. This work is anchored on two essential supports in the teaching and learning process of the Physics discipline: the importance of using experiments during classes, and the understanding that exploring students' spontaneous conceptions is fundamental to achieving positive educational results. Aiming to contribute with these points, an Educational Product was elaborated, containing experimental activities and methodological procedures. David Ausubel's Meaningful Learning Theory guided the process of conceptual experience and construction of didactic material. The experimental activities, as well as the methodologies and strategies proposed in the Educational Product are easy to reproduce, which depend on the target audience and the school structure and may require preferences and adjustments.

Keywords: Physics Teaching, Electric Circuits, Spontaneous Conceptions, Experiments.

Catalão, GO
2024

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Representação do processo de assimilação.....	21
Figura 2.2: Principais conceitos relativos à aprendizagem de acordo com a TAS.....	23
Figura 3.1: Segmento de um fio condutor conduzindo uma corrente.....	38
Figura 3.2: Corrente elétrica é uma grandeza orientada, mas não obedece à regra de soma de vetores e, portanto, não é um vetor.....	37
Figura 3.3: Um condutor uniforme de comprimento l e área de secção transversal A . Uma diferença de potencial $V_b - V_a$ é mantida no condutor de maneira que existe um campo elétrico E no condutor, e este campo produz uma corrente I que é proporcional à diferença de potencial.....	39
Figura 3.4: Símbolos de resistores em um circuito elétrico.....	41
Figura 3.5: Exemplos de aparelhos e seus respectivos resistores.....	41
Figura 3.6: Ilustração de um resistor fabricado comercialmente.....	42
Figura 3.7: Exemplo de um resistor comercial.....	43
Figura 3.8: Símbolo da representação de um capacitor em um circuito elétrico.....	44
Figura 3.9: Alguns modelos de capacitores.....	44
Figura 3.10a: Símbolo que representa os interruptores ou chaves em um circuito elétrico.....	45
Figura 3.10b: Interruptor.....	45
Figura 3.10c: Chave Tripolar.....	45
Figura 3.11: Símbolo que representa um disjuntor em um circuito elétrico.....	46
Figura 3.12: Disjuntores - chaves que se desligam automaticamente.....	46
Figura 3.13: Fusíveis – Proteção contra elevações de corrente elétrica.....	46
Figura 3.14: Símbolo que representa um amperímetro em um circuito elétrico.....	47
Figura 3.15: Símbolo que representa um voltímetro em um circuito elétrico.....	47
Figura 3.16: Símbolo que representa um galvanômetro em um circuito elétrico.....	48
Figura 3.17: Dispositivos de Controle: Galvanômetro, Amperímetro e Voltímetro.....	48
Figura 3.18: Efeito Joule.....	49
Figura 3.19: Lâmpada Incandescente.....	50

Figura 3.20: Filamento Incandescente.....	50
Figura 3.21: Dissipação da Potência em um Resistor.....	51
Figura 3.22: Circuito de uma única malha com uma bateria e um resistor.....	53
Figura 3.23: Ligações em série (A) e em paralelo (B) de resistores (R_1 e R_2)	54
Figura 3.24: Associação de resistores em série.....	54
Figura 3.25: Na associação em paralelo, a corrente elétrica é dividida entre os diferentes ramos do circuito.....	56
Figura 3.26: Associação mista de resistores – A.....	56
Figura 3.27: Associação mista de resistores – B.....	57
Figura 3.28: Um circuito que consiste em um resistor R e uma bateria com diferença de potencial ΔV entre seus terminais.....	58
Figura 4.1: Experiência de Oersted.....	59
Figura 4.2: Experiência de Oersted.....	60
Figura 4.3: Quando o ímã é afastado ou aproximado de um solenoide (bobina), nele se estabelece uma corrente elétrica induzida.....	62
Figura 4.4: Fluxo Magnético.....	62
Figura 4.5: Força eletromotriz induzida em uma bobina.....	63
Figura 4.6: Força eletromotriz para N espirais.....	64
Figura 4.7: Corrente induzida em uma espira condutora.....	65
Figura 4.8: Sentido da força eletromotriz induzida em uma espira condutora...	66
Figura 4.9: Experimento Lei de Faraday e Lei de Lenz.....	67
Figura 5.1: Montagem de um circuito elétrico.....	71
Figura 5.2: Lâmpadas, fios e bocais.....	72
Figura 5.3: Ligação em paralelo feita com lâmpadas de potências diferentes...	72
Figura 5.4: Ligação em série feita com lâmpada de potências diferentes.....	73
Figura 5.5: Circuito série referente à Figura 5.4.....	73
Figura 5.6: Ligação mista feita com lâmpadas com potências diferentes.....	74
Figura 5.7: Circuito série referente à Figura 5.6.....	74
Figura 5.8: Outra ligação mista feita com lâmpadas com potências.....	75
Figura 5.9: Circuito série referente à Figura 5.8.....	75
Figura 5.10: Outras lâmpadas.....	76
Figura 5.11: Tubo de alumínio em diferentes ângulos.....	77
Figura 5.12: Ímã de Neodímio formato de cilindro.....	77

Figura 5.13: Peça de ferro em formato de cilindro.....	77
Figura 5.14: Materiais (aparato) utilizados na atividade experimental 3.....	78
Figura 6.1: Desempenho dos alunos no questionário envolvendo circuito elétrico (experimento 1)	84
Figura 6.2: Relação entre o número de acertos por questão (pré-teste e pós-teste).....	86
Figura 6.3: Respostas para as questões 1 e 2 do Questionário 2.....	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Código de cores para resistores.....	42
Tabela 3.2: Código de Cores.....	43
Tabela 4.1: Direção, o sentido do fluxo (indutor e induzido) e da corrente elétrica, conforme a Figura 4.7.....	66
Tabela 6.1: Número de acertos dos alunos no questionário sobre circuito elétrico (pré-teste e pós-teste)	83
Tabela 6.2: Número de acertos dos alunos por questão (pré-teste e pós-teste)	84

SUMÁRIO

Capítulo 1 Introdução	16
Capítulo 2 Fundamentação Teórica.....	19
2.1 Teoria da Aprendizagem Significativa	19
2.2 Concepções Espontâneas em Física	30
2.2.1 Concepções Espontâneas e Mudança Conceitual.....	32
2.3 Considerações sobre a Importância da Utilização de Atividades Experimentais no Ensino de Física.....	34
Capítulo 3 Breve Abordagem da Atividade Experimental envolvendo Circuito Elétrico.....	36
3.1 Corrente Elétrica	36
3.2 Corrente Contínua e Corrente Alternada	38
3.3 Densidade de Corrente	38
3.4 Resistência e Lei de Ohm	39
3.5 Resistência e Resistividade	40
3.6 Circuitos Elétricos.....	41
3.6.1 Elementos de um Circuito Elétrico.....	41
3.6.1.1. Dispositivos de manobra.....	45
3.6.1.2. Dispositivos de segurança	46
3.6.3. Dispositivos de Controle	47
3.6.3.1 Aparelhos para medir a intensidade da corrente e a voltagem em um circuito elétrico	47
3.7 Energia nos Circuitos Elétricos	48
3.7.1 O Efeito Joule.....	48
3.7.2. Lâmpadas de Incandescência: uma aplicação do efeito Joule	49
3.7.3 Potência Dissipada em um Resistor	50
3.7.4. Força Eletromotriz, Baterias e outros Geradores	52
3.8 Associação de Resistores.....	53
Capítulo 4 Breve Abordagem de conteúdos relacionados às Atividades Experimentais envolvendo as Leis de Faraday e Lenz	59
4.1. Relembrando alguns conceitos importantes.....	59
4.2 Indução Eletromagnética: Lei De Faraday.....	61
4.3 Lei de Lenz.....	65

Capítulo 5 Aplicação do Produto Educacional – Considerações Gerais.....	69
5.1 Desenvolvimento das atividades relacionadas ao experimento 1	70
5.1.1. Primeira montagem.....	72
5.1.2. Segunda montagem.....	73
5.1.3. Terceira montagem.....	74
5.1.4. Quarta montagem	75
5.2 Desenvolvimento das atividades relacionadas ao experimento 2.....	76
5.3 Desenvolvimento das atividades relacionadas ao experimento 3.....	78
Capítulo 6 Aplicação do Produto Educacional – Resultados e Análise.....	79
6.1.2 Análise dos resultados obtidos a partir da aplicação do questionário referente a atividade experimental 1 (experimento 1)	84
6.2 Resultados e Análise dos Experimentos 2 e 3	90
Capítulo 7 Considerações Finais	94
Referências Bibliográficas.....	97
APÊNDICES.....	101
APÊNDICE A – Produto Educacional	101
APÊNDICE B - Questionário 1 - Experimento 2 (tubo).....	126
APÊNDICE C - Questionário 2 - Experimento 2 (tubo)	127
APÊNDICE D - Questionário 3 - Experimento 2 (LED)	128
APÊNDICE E - Questionário Geral – Experimentos 2 e 3.....	129
ANEXO I - Questionário – Circuito elétrico simples.....	130
ANEXO II – Texto – Quais Lâmpadas Acendem? Entendendo o funcionamento dos circuitos elétricos	137

Capítulo 1

Introdução

Comumente encontramos professores de Física preocupados com os rumos que tem tomado o ensino público desta tão fascinante e importante disciplina. Salas lotadas, alunos desmotivados e com defasagens em conteúdos básicos de Matemática, redução do número de aulas semanais e falta de laboratório de Ciências, são alguns dos muitos problemas enfrentados pelo professor. Diante de tais desafios, muitos têm acomodado e pautado suas aulas na mera transmissão de informações que visa a assegurar simplesmente a memorização do conteúdo, contribuindo assim para uma triste realidade: a maioria dos alunos tem afirmado que não gosta de Física, que é uma disciplina muito difícil, que aprendem muito pouco etc.

Todos os problemas concernentes ao Ensino de Física, mencionados acima, não são de fácil superação. São verdadeiros obstáculos que tem se levantado, promovendo o insucesso em relação ao ensino e a aprendizagem. Uma disciplina tão bela, com tantas aplicações no cotidiano das pessoas, não pode continuar sendo vista de uma forma tão negativa por parte dos estudantes. Partindo dessa colocação, este trabalho visa incentivar professores de Física a enfrentar o problema da estrutura sofrível da maioria das escolas públicas em relação à falta de um laboratório de Física, partindo-se do pressuposto de que a ausência de um laboratório não pode impedir o professor de realizar atividades experimentais com seus alunos. Portanto, busca-se: utilizar experimentos com materiais de baixo custo, que possam despertar o interesse dos alunos pela Física e, ao mesmo tempo, “atacar” suas concepções espontâneas, proporcionando-os, através da construção de seu próprio conhecimento e da mediação do professor, condições para superá-las.

Sobre a necessidade de o professor trabalhar as concepções espontâneas dos estudantes, Quevedo e Strieder (2008) destacam que,

Os alunos trazem para a escola suas concepções espontâneas referentes aos fenômenos físicos, por isso, é importante que o professor esteja ciente, para encontrar uma maneira de levá-los até o conhecimento científico, provocando, quando necessário, uma mudança de conceito diante dos fenômenos. Os alunos precisam ser colocados frente a problemas e desafios a serem superados, desta forma, serem estimulados a tratar com estranheza os fatos que parecem simples e desnecessários de serem estudados (QUEVEDO; STRIEDER, 2008, p. 05 apud LIMA, 1999).

Embora a grande maioria dos professores de Física reconheça a importância de utilizar atividades experimentais como estratégia de ensino, poucos conseguem regularizar, como prática pedagógica, tal metodologia. Muitos até iniciam tais trabalhos com bastante vontade e disposição, mas, ao esbarrar nas dificuldades, não conseguem perseverar com os seus projetos. Alguns se frustram ao perceberem que a realização de um experimento não proporcionou resultados tão satisfatórios como almejavam, no que diz respeito à evolução conceitual por parte de seus alunos, e acabam desistindo. Outros, simplesmente se acomodam e escolhem continuar no caminho considerado mais fácil, ou seja, preferem continuar com uma prática pedagógica desprovida de inovação, cuja metodologia se resume basicamente na aula expositiva e na resolução de exercícios, com base nas fórmulas.

Os antigos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (2000) fazem uma crítica contundente, em relação aos problemas concernentes ao Ensino de Física no Brasil, ao sinalizarem que:

O ensino de Física tem-se realizado, frequentemente, mediante a apresentação de conceitos, leis e fórmulas, de forma desarticulada, distanciados do mundo vivido pelos alunos e professores e também por isso, vazios de significado. Privilegia a teoria e a abstração, desde o primeiro momento, em detrimento de um desenvolvimento gradual da abstração que, pelo menos, parta da prática e de exemplos concretos. (BRASIL, 2000, p. 22)

De acordo com Zylbersztajn (1983, p. 10), o trabalho prático poderá servir para que os alunos se conscientizem de suas próprias ideias e das de seus colegas. Poderá ainda facilitar a mudança conceitual e a sua consolidação, contudo para que isto ocorra o simples contato com aparelhos não é suficiente. Mais importante é que discussões sobre as predições e conclusões sejam estimuladas, antes e após o “experimento”. Por outro lado, pensando na necessidade de motivar os alunos e tornar as aulas de Física mais prazerosas, Peruzzo (2012) ressalta que “a atividade experimental vem como uma importante ferramenta pedagógica, apropriada para despertar o interesse dos alunos, cativá-los para os temas propostos pelos professores e capaz de ampliar a capacidade para a aprendizagem”.

Assim, a idealização deste trabalho está ancorada em dois suportes que são essenciais no processo de ensino e aprendizagem da disciplina de Física. O primeiro, diz respeito à importância da utilização de experimentos durante as aulas. Parte do pressuposto de que a ausência de um laboratório de Ciências na escola não pode impedir o professor de realizar atividades experimentais com seus alunos. O segundo, fundamenta-se no entendimento de que é praticamente impossível o professor alcançar

resultados satisfatórios, em relação aprendizagem dos alunos, sem investir consideravelmente nas concepções espontâneas apresentadas pelos mesmos.

Espera-se que os assuntos elencados nesta pesquisa possam estimular outros professores a trilharem na mesma temática, abordando outros ramos da Física e utilizando novos experimentos com materiais alternativos. Como já foi mencionado, este trabalho trata-se de uma proposta e toda proposta deve possuir um caráter desafiador e mostrar outros caminhos a seguir. Certamente, abordar outros conteúdos de Física, na perspectiva deste trabalho, não será uma tarefa complexa e causadora de desânimo.

A motivação que envolve a idealização e o desenvolvimento deste trabalho perpassa por alguns fatores como realização pessoal, afinidade com a Física, interesse no aperfeiçoamento da prática pedagógica, oportunidade de contribuir com ações potencialmente capazes de mudar a visão de muitos alunos em relação à Física, algumas experiências exitosas vivenciadas em sala de aula etc.

Além de incentivar professores de Física a utilizarem experimentos em suas práticas, este estudo busca colaborar com intervenções pedagógicas planejadas com objetivo de promover mudanças na estrutura cognitiva do estudante, conduzindo-o para uma aprendizagem significativa. Ademais, busca-se alertar sobre a necessidade de trabalhar as concepções espontâneas dos alunos. O presente trabalho também apresenta um Produto Educacional na forma de um manual, contendo atividades experimentais e procedimentos metodológicos. As atividades experimentais, bem como as metodologias e estratégias propostas no Produto Educacional, não são atividades enfadonhas e de difícil aplicação.

A escolha deste tema se deu a partir de situações vividas como estudante e, também, como professor de Física, como, por exemplo: resultados satisfatórios em um trabalho sobre concepções espontâneas desenvolvido na graduação em Física; experiência exitosa, em sala de aula, com atividades experimentais sobre associação de resistores; a constatação de que muitos alunos de escolas públicas concluem o Ensino Médio sem nunca ouvirem falar de Indução Eletromagnética em sala de aula etc.

Este trabalho está dividido da seguinte forma: Referencial Teórico (Teoria da Aprendizagem Significativa), Concepções Espontâneas em Física, Concepções Espontâneas e Mudança Conceitual, Importância da Utilização de Experimentos no Ensino de Física, Conteúdos Envolvendo Circuitos Elétricos Simples, Conteúdos Envolvendo a Lei de Faraday-Lenz, Aplicação do Produto Educacional (Considerações Gerais), Resultados e Análises.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

Em um projeto que tem como proposta dar subsídio a educadores e, por consequência, melhorar a qualidade do ensino da disciplina de Física na educação básica, através de estratégias e práticas com produtos educacionais, é de suma importância que os trabalhos de pesquisa tenham como fundamentação teórica pelo menos uma das denominadas teorias da aprendizagem. A teoria da aprendizagem escolhida para fundamentar este trabalho é a **Teoria da Aprendizagem Significativa** (TAS). Neste capítulo, será apresentada uma síntese abordando os principais princípios e pressupostos da TAS. Também, serão apresentadas algumas informações a respeito das concepções espontâneas em Física e mudança conceitual. E, por fim, serão feitas algumas considerações sobre a importância do uso de atividades experimentais no Ensino de Física.

2.1 Teoria da Aprendizagem Significativa

A Teoria da Aprendizagem Significativa foi proposta por David P. Ausubel (1918-2008), um Psicólogo da Educação Norte-Americano. Ausubel publicou a TAS em 1963, na obra *The Psychology of Meaningful Verbal Learning*, e a desenvolveu durante as décadas de 1960 e 1970. Mais tarde, no início de 1980, o educador americano Joseph Novak refinou a teoria, aperfeiçoando-a e fazendo uma ampla divulgação dela. No Brasil, uma das maiores autoridades no que diz respeito ao estudo e divulgação da teoria de Ausubel é o Professor Marco Antônio Moreira, professor titular do Instituto de Física da UFRGS (SARAIVA EDUCAÇÃO, 2022).

É importante ressaltar que nenhuma teoria da aprendizagem é perfeita, ou seja, nenhuma consegue responder e resolver todas as questões concernentes ao complexo processo que envolve a aprendizagem do indivíduo. No Brasil, a TAS de Ausubel tem sido amplamente utilizada como referencial teórico de diversos trabalhos acadêmicos em educação. Ao que tudo indica, esse “sucesso” da referida teoria se dá devido a coerência de suas principais propostas educacionais, que não destoam da realidade vivenciada por docentes e discentes, e, também, porque consegue dialogar com outras teorias da aprendizagem sem desconsiderá-las totalmente. Porém, é preciso que se tome cuidado ao

abordar a TAS, uma vez que que essa teoria tem sido tratada e mencionada com uma multiplicidade de sentidos. Pensando nesta perspectiva, Marco Moreira faz um importante alerta:

[...] houve uma apropriação superficial, polissêmica, do conceito de aprendizagem significativa, de modo que qualquer estratégia de ensino passou a ter a aprendizagem significativa como objetivo. No entanto, na prática a maioria dessas estratégias, ou a escola de um modo geral, continuam promovendo muito mais a aprendizagem mecânica, puramente memorística, do que a significativa. (MOREIRA, 2010, p. 01).

Assim como toda teoria fundamentada na psicologia cognitivista, a Teoria da Aprendizagem Significativa considera que o desenvolvimento cognitivo do aprendiz depende diretamente da interação entre o novo conhecimento e o conhecimento já existente em sua estrutura cognitiva. O professor Marco Antônio Moreira (2010), com base na obra de Ausubel (2003), faz a seguinte descrição,

Aprendizagem significativa é aquela em que ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe. Substantiva quer dizer não-literal, não ao pé-da-letra, e não-arbitrária significa que a interação não é com qualquer ideia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende. (MOREIRA, 2010, p. 02).

O conhecimento prévio do indivíduo está para a TAS de Ausubel assim como a interação do indivíduo com o meio está para a Teoria Sociointeracionista de Vygotsky. A este conhecimento já existente, Ausubel chamou de **subsunçor**¹, ideia-âncora ou ideia de esteio. Para Ausubel, o subsunçor é tão importante que se fosse possível isolar uma única variável como a que mais influencia a aprendizagem, ela seria o conhecimento prévio do aprendiz. Refletindo sobre como se dá a aprendizagem significativa, Moreira e Masini (1982), destacam que:

A aprendizagem significativa ocorre quando a nova informação se ancora em conceitos relevantes preexistentes na estrutura cognitiva de quem aprende. Ausubel vê o armazenamento de informações no cérebro humano como sendo altamente organizado, formando uma hierarquia conceitual na qual elementos mais específicos de conhecimento são ligados (e assimilados) a conceitos mais gerais, mais inclusivos”. (MOREIRA; MASSINI, 1982, p. 07).

Ao processo que envolve a interação cognitiva entre conhecimentos novos e prévios, Ausubel chamou de **assimilação**. Neste processo, tanto o novo conhecimento

¹ Segundo Moreira (1983, p. 62), “ [...] a palavra ‘subsunçor’ não existe em português; trata-se de uma tentativa de aportuguesar a palavra inglesa ‘subsumer’. Seria mais ou menos equivalente a inseridor, facilitador ou subordinador”.

adquirido como o conhecimento já existente, através da “ampliação” da estrutura cognitiva e da incorporação de novas ideias a ela, alcançam novos significados e modificações nos subsunçores. O processo da assimilação, na concepção de Ausubel, pode ser representado através de um diagrama de cores (Figura 2.1).



Figura 2.1 – Representação do processo de assimilação

Fonte: Moraes (2012, p. 39).

Segundo Moraes (2012), o diagrama de cores acima foi estrategicamente construído para ilustrar o processo inicial da assimilação. Para a construção do diagrama, foi utilizado o conhecimento sobre mistura de cores primárias (amarelo + azul = verde). No retângulo amarelo, encontra-se a nova informação (potencialmente significativa) que interage de forma substantiva e não-arbitrária com o conhecimento prévio (subsunçor) do aprendiz, representado pela circunferência azul e, desta interação, resulta o produto interacional (aquisição de significados), representado pela elipse verde.

Também é importante destacar que, em uma situação relacionada a sala de aula, tanto os conhecimentos prévios (subsunçores) adquiridos fora do ambiente escolar como os adquiridos na escola são considerados importantes dentro de uma perspectiva de aprendizagem significativa. Cabe, então, ao professor, criar meios para que esses conhecimentos sejam diagnosticados, explorados e trabalhados de forma que os alunos, através da interação, tenham os significados enriquecidos dentro de suas estruturas cognitivas. Segundo Moreira e Masini (1982), a estrutura cognitiva, na teoria de Ausubel, é uma estrutura hierárquica e organizada de conceitos que são abstrações da experiência do indivíduo.

Em Física, por exemplo, se os conceitos de força e campo já existem na estrutura cognitiva do aluno eles servirão de subsunçores para novas informações referentes a certos tipos de força e campo como, por exemplo, a força e o campo eletromagnéticos. Entretanto, este processo de ancoragem da nova informação resulta em crescimento e modificação do conceito subsunçor. Isso significa que os subsunçores existentes na estrutura cognitiva podem ser abrangentes e bem desenvolvidos ou limitados e pouco desenvolvidos dependendo da frequência com que ocorre aprendizagem significativa em conjunção com um dado subsunçor. No exemplo dado, uma ideia intuitiva de força e campo serviria como subsunçor para novas informações referentes a forças e campos gravitacional, eletromagnético e nuclear, porém na medida

que esses novos conceitos fossem aprendidos de maneira significativa isso resultaria num crescimento e elaboração dos conceitos subsunçores iniciais. Isto é, os conceitos de força e campo ficariam mais elaborados, mais exclusivos e mais capazes de servir de subsunçores para novas informações relativas a forças e campos ou correlatas. (MOREIRA; MASINI, 1982, p. 08).

Por outro lado, se o conteúdo escolar a ser aprendido não encontrar suporte em um conhecimento já existente na estrutura cognitiva do aluno, poderá ocorrer a **aprendizagem mecânica** e não a **aprendizagem significativa**. Segundo Moreira (2010),

[...] aprendizagem que mais ocorre na escola é outra: a *aprendizagem mecânica*, aquela praticamente sem significado, puramente memorística, que serve para as provas e é esquecida, apagada, logo após. Em linguagem coloquial, a aprendizagem mecânica é a conhecida *decoreba*, tão utilizada pelos alunos e tão incentivada na escola. (MOREIRA, 2010, p 12).

Diferentemente da aprendizagem significativa, a aprendizagem mecânica pouco promove a interação entre o conhecimento já existente e as novas informações. Assim, quando estas novas informações são aprendidas de maneira arbitrária, sem interagir com os conceitos relevantes já existentes na estrutura cognitiva do aluno, a tendência é que ele (o aluno) procure decorar fórmulas e leis que são esquecidas logo após as avaliações, na maioria das vezes, realizadas através da aplicação de uma prova escrita. Porém, a aprendizagem mecânica não é completamente descartada dentro da teoria Ausubeliana. Ausubel não apresentou estas duas modalidades de aprendizagem como dicotômicas, mas, como um contínuo. Logo, a aprendizagem mecânica pode ser necessária no processo ensino-aprendizagem, principalmente, no caso da apresentação de novos conceitos, sempre com a intenção de que estes novos conceitos, posteriormente, sejam transformados em aprendizagem significativa (MOREIRA, 2010).

Os autores Ausubel, Novak e Hanesian (1980) enfatizam que, de um modo geral, tanto a aprendizagem significativa quanto a aprendizagem mecânica podem evidenciar duas categorias básicas de aprendizagem: **por recepção** e **por descoberta**. A aprendizagem por recepção ocorre quando o aluno recebe a informação ou o conteúdo a ser aprendido em sua forma final, sem a necessidade de nenhuma descoberta do que vai aprender, ou seja, do aluno só se exige a internalização do material que a ele é apresentado. Moreira faz uma importante descrição da aprendizagem por recepção:

Aprendizagem receptiva é aquela em que o aprendiz “recebe” a informação, o conhecimento, a ser aprendido em sua forma final. Mas isso não significa que essa aprendizagem seja passiva, nem que esteja associada ao ensino expositivo tradicional. A “recepção” do novo conhecimento pode ser, por exemplo, através de um livro, de uma aula, de uma experiência de laboratório, de um

filme, de uma simulação computacional, de uma modelagem computacional, etc. Aprender receptivamente significa que o aprendiz não precisa descobrir para aprender. Mas isso não implica passividade. Ao contrário, a aprendizagem significativa receptiva requer muita atividade cognitiva para relacionar, interativamente, os novos conhecimentos com aqueles já existentes na estrutura cognitiva, envolvendo processos de captação de significados, ancoragem, diferenciação progressiva e reconciliação integrativa. (MOREIRA, 2010, p 13).

Por outro lado, na aprendizagem por descoberta, o conteúdo a ser aprendido não é apresentado na sua forma integral e deve ser descoberto pelo aluno antes que ele possa relacioná-lo com as informações pré-existentes em sua estrutura cognitiva. Fazendo uma descrição e, ao mesmo tempo, alertando sobre as limitações psicológicas e educacionais da aprendizagem por descoberta, Moreira ressalta:

Aprendizagem por descoberta implica que o aprendiz primeiramente descubra o que vai aprender. Mas, uma vez descoberto o novo conhecimento, as condições para a aprendizagem significativa são as mesmas: conhecimento prévio adequado e predisposição para aprender. Exceto em crianças pequenas, a aprendizagem por descobrimento não é condição para aprender de maneira significativa. De um modo geral, não é preciso descobrir para aprender significativamente. É um erro pensar que a aprendizagem por descoberta implica aprendizagem significativa. Adultos, e mesmo crianças já não tão pequenas, aprendem basicamente por recepção e pela interação cognitiva entre os conhecimentos recebidos, i.e., os novos conhecimentos e aqueles já existentes na estrutura cognitiva. Seria inviável para seres humanos aprender significativamente a imensa quantidade de informações e conhecimentos disponíveis no mundo atual se tivessem que descobri-los. (MOREIRA, 2010, p. 13).

Mediante o que já foi apresentado sobre a TAS, os principais conceitos dessa teoria podem ser articulados e representados esquematicamente na Figura 2.2.

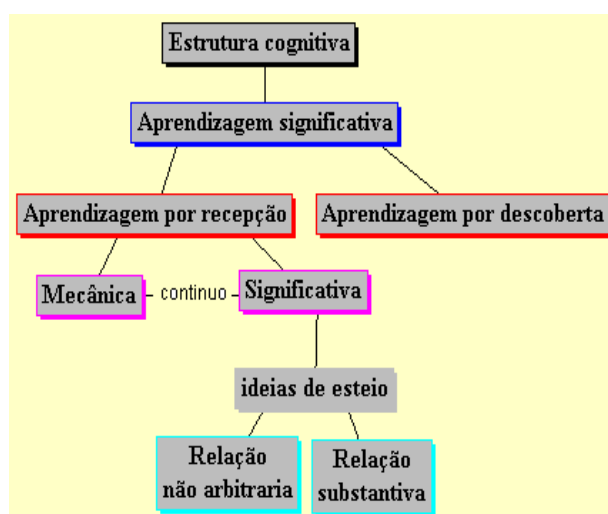


Figura 2.2: Principais conceitos relativos à aprendizagem de acordo com a TAS.

Fonte: Faria (1989, p. 07).

Como o objetivo principal deste texto é fundamentar teoricamente um trabalho que apresenta uma pesquisa envolvendo ensino e aprendizagem da disciplina de Física, é importante também discorrer sobre os dois principais processos, através dos quais a estrutura cognitiva está caracterizada, segundo a TAS: a **diferenciação progressiva** e a **reconciliação integradora**. De acordo com Moreira,

A diferenciação progressiva é o processo de atribuição de novos significados a um dado subsunçor (um conceito ou uma proposição, por exemplo) resultante da sucessiva utilização desse subsunçor para dar significado a novos conhecimentos. Através de sucessivas interações um dado subsunçor vai, progressivamente, adquirindo novos significados, vai ficando mais rico, mais refinado, mais diferenciado, e mais capaz de servir de ancoradouro para novas aprendizagens significativas. (MOREIRA, 2010, p 06).

Com base na proposta da aprendizagem significativa, os autores Moreira e Masini (1982) ressaltam que somente o princípio da diferenciação progressiva não é suficiente para que o indivíduo aprenda significativamente. Será necessário, também, fazer reconciliações entre diferenças reais ou aparentes, explorar relações entre proposições e conceitos e chamar atenção para similaridades e diferenças. A esse processo, Ausubel chamou de reconciliação integrativa ou integradora, e foi descrito por Moreira da seguinte forma:

A *reconciliação integradora*, ou *integrativa*, é um processo da dinâmica da estrutura cognitiva, simultâneo ao da diferenciação progressiva, que consiste em eliminar diferenças aparentes, resolver inconsistências, integrar significados, fazer superordenações. (MOREIRA, 2010, p. 06).

Segundo Ausubel (1968 *apud* MOREIRA e MASINI, 1982), os princípios da diferenciação progressiva e reconciliação integrativa devem ser utilizados na programação do conteúdo, de forma que as ideias mais gerais e mais inclusivas da disciplina sejam apresentadas no início para, somente então, serem diferenciadas progressivamente, em termos de detalhe e especificidade.

No contexto da sala de aula, Ausubel (2003), *apud* Moreira e Masini, (1982), define Diferenciação Progressiva (A) e Reconciliação Integrativa (B) como:

A - Diferenciação progressiva é o princípio pelo qual o assunto deve ser programado de forma que as ideias mais gerais e inclusivas da disciplina sejam apresentadas antes e, progressivamente diferenciadas, introduzindo detalhes específicos necessários. Essa ordem de apresentação corresponde à sequência natural da consciência, quando um ser humano é espontaneamente exposto a um campo inteiramente novo de conhecimento; B - Reconciliação integrativa é o princípio pelo qual a programação do material instrucional deve ser feita para explorar relações entre ideias, apontar similaridades e diferenças

significativas, reconciliando discrepâncias reais ou aparentes. (MOREIRA; MASINI 1982, p. 22)

Para facilitar a aprendizagem significativa, os princípios da diferenciação progressiva e reconciliação integrativa devem acontecer de forma interdependente e simultânea, tanto na dinâmica da estrutura cognitiva quanto no ensino. Moreira (2012) ressalta que o ensino deveria começar com os aspectos mais gerais, mais inclusivos e mais organizadores do conteúdo. Desta forma, no decorrer de um curso de uma disciplina, por exemplo, os conteúdos gerais e específicos devem ser trabalhados em uma perspectiva de diferenciação e integração, de idas e voltas, de subir e descer, várias vezes, nas hierarquias conceituais. Todavia, dificilmente esses princípios podem ser observados em uma prática escolar de ensino. Geralmente, os conteúdos são apresentados sequencialmente, sem idas e voltas, e ao professor é cobrado pelo menos um esforço no sentido de cumprir com um currículo pré-estabelecido. Sobre um dos principais materiais didáticos e importante instrumento de apoio das tarefas do professor, que é o livro didático, Moreira destaca:

A grande maioria dos livros didáticos não promove a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora. Sua organização é linear, muitas vezes cronológica, começando com o mais simples e terminando com o mais complexo, ou mais difícil. É uma organização lógica, não psicológica. Do ponto de vista cognitivo, a aprendizagem significativa será facilitada se o aprendiz tiver uma visão inicial do todo, do que é importante para, então, diferenciar e reconciliar significados, critérios, propriedades, categorias, etc. (MOREIRA, 2010, p. 20).

Fazendo um paralelo entre os princípios da diferenciação progressiva e reconciliação integrativa, propostos por Ausubel, e o ensino da disciplina de Física, é importante que o professor que entende que seus alunos precisam aprender os conteúdos de forma significativa não fique preso somente ao livro didático, uma vez que esse material, dificilmente, como já foi salientado, leva em consideração alguns pressupostos defendidos por Ausubel em relação à abordagem dos conteúdos. Assim, é necessário que o professor busque outros recursos pedagógicos para que suas aulas se tornem mais atrativas, despertando o interesse dos estudantes e possibilitando sempre uma reorganização cognitiva entre ideias e conceitos, através da interação contínua, instigante e enriquecedora entre os novos conceitos apresentados e os conhecimentos já existentes na estrutura cognitiva desses estudantes.

Observa-se que, normalmente, nos livros didáticos do Ensino Médio, a organização sequencial dos conteúdos ocorre de forma linear “de baixo para cima”. Os

conteúdos que envolvem o estudo do eletromagnetismo, por exemplo, geralmente são apresentados sequencialmente da seguinte forma: Carga elétrica → Força Elétrica → Campo Elétrico → Potencial Elétrico → Corrente Elétrica → Potência Elétrica → Circuito Elétrico Simples → Campo Magnético → Força Magnética → Indução Eletromagnética. Esta organização sequencial, mesmo que apresentada no sumário de alguns livros didáticos como um pacote ou unidade com o título “eletromagnetismo”, trata os fenômenos elétricos primeiro de forma separada, para somente depois fazer a união com os fenômenos magnéticos, formando, então, os fenômenos eletromagnéticos. Por mais que os livros didáticos tentem apresentar, inicialmente, uma proposta de união entre os fenômenos elétricos e magnéticos, através de uma apresentação da evolução histórica dos conceitos, tal proposta se limita apenas como uma informação a mais, sem necessariamente preocupar com os processos que fundamentam a aprendizagem.

É fácil perceber que a ordem sequencial de conteúdos disposta acima está em desacordo com o princípio da diferenciação progressiva defendido por Ausubel, pois vai do particular para o geral, enquanto Ausubel defende a posição de que as ideias, fenômenos e conceitos mais gerais e inclusivos devem ser apresentados no início do processo de ensino para que sirvam de suporte ou âncora para novos conceitos (MOREIRA; MASINI, 1982).

Dentro de uma perspectiva Ausubeliana de ensino e aprendizagem, o professor jamais poderá pensar que as primeiras aulas de um determinado assunto poderão ser planejadas com menos afincamento, dedicação e reflexão. Pelo contrário, é exatamente no início, na introdução de um novo conteúdo, que o professor precisa saber explorar os conhecimentos prévios dos estudantes, relacionar esses conhecimentos com os fenômenos mais gerais e inclusivos que envolvem esse novo conteúdo, provocar uma organização e integração das ideias e conceitos mais gerais na estrutura cognitiva desses estudantes, para que depois possam ser progressivamente diferenciados em termos de detalhes e especificidades, contribuindo assim para que ocorra a aprendizagem significativa (MOREIRA; MASINI, 1982).

Considerando a organização sequencial de conteúdo (trazida comumente pelos livros didáticos do Ensino Médio), apresentada anteriormente, e pensando em uma proposta de ensino baseada na TAS, ao introduzir o assunto “Eletromagnetismo”, o professor poderá planejar as primeiras aulas atentando para as seguintes sugestões:

- Primeiramente, admitir que todos os alunos já possuem algum conhecimento prévio do assunto em sua estrutura cognitiva;

- Através da aula expositiva e dialógica, procurar diagnosticar os conhecimentos prévios dos alunos em relação ao conteúdo, conhecimentos estes adquiridos fora e dentro do ambiente escolar. É muito importante que todos os alunos da turma, ou pelo menos a maioria, participem efetivamente da aula, fazendo questionamentos e relatando experiências cotidianas relacionadas aos fenômenos elétricos e magnéticos como, por exemplo, contato com aparelhos e condutores elétricos, ímãs, bússolas etc. É importante, também, que o professor faça anotações e registre o maior número de informações possível;

- Elaborar e aplicar listas de exercícios e/ou questionários, com o objetivo de diagnosticar o que o aluno já conhece sobre o assunto;

- É um excelente e oportuno momento para o professor fazer uma discussão com os alunos sobre aspectos mais gerais da disciplina como, por exemplo, sobre a evolução da Física, sobre o que fazem os Físicos, sobre Física Clássica e Moderna, sobre o papel dos conceitos em Física, sobre aplicações tecnológicas da Física etc. Não é tarefa difícil para o professor situar o Eletromagnetismo nessa discussão;

- Após a discussão sobre os temas e conceitos mais gerais da Física, de forma um pouco mais específica, procurar focalizar os conceitos de força e campo eletromagnéticos;

- Enfatizar que desde o século XIX, especificamente no ano de 1820, *Eletricidade e Magnetismo são, na verdade, duas faces de uma mesma moeda: o Eletromagnetismo*. Para reforçar essa importante descoberta, realizar juntamente com os alunos o experimento de Oersted. O ideal é que a própria construção do aparato ocorra na presença dos alunos;

- Realizar uma atividade experimental envolvendo a indução eletromagnética. Um experimento de fácil construção é a bobina Faraday-Lenz (acendendo uma lâmpada de LED). O objetivo dessa atividade deve ser apenas mostrar a ocorrência do fenômeno e relacioná-lo com a geração de energia elétrica, sem entrar em detalhes e especificidades do conteúdo. É importante que o professor destaque que a descoberta do fenômeno da indução eletromagnética foi responsável, por exemplo, pelo funcionamento de motores elétricos e pela geração de energia elétrica em grande escala.

Contudo, diante do que foi exposto até aqui, **quais são as condições para a ocorrência da aprendizagem significativa?** Essencialmente, Ausubel estabeleceu duas regras básicas ou condições para que a aprendizagem significativa ocorra. São elas: “1) O material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo; 2) O aprendiz deve apresentar uma predisposição para aprender” (MOREIRA, 2010, p. 08). Além de

dependem da natureza do material a ser aprendido, a primeira dessas condições depende também da natureza da estrutura cognitiva do aprendiz. A respeito dessa condição, Moreira (2012) tece o seguinte comentário:

A primeira condição implica 1) que o material de aprendizagem (livros, aulas, aplicativos, ...) tenha significado lógico (isto é, seja relacionável de maneira não-arbitrária e não-literal a uma estrutura cognitiva apropriada e relevante) e 2) que o aprendiz tenha em sua estrutura cognitiva ideias-âncora relevantes com as quais esse material possa ser relacionado. Quer dizer, o material deve ser relacionável à estrutura cognitiva e o aprendiz deve ter o conhecimento prévio necessário para fazer esse relacionamento de forma não-arbitrária e não literal. (MOREIRA, 2010, p. 08)

Moreira (2012) ainda ressalta que o material em si não pode ser significativo, é apenas potencialmente significativo. Por exemplo, não existe livro, aula ou atividade experimental significativos, pois o significado está nas pessoas, não nos materiais. Dessa forma, em uma situação de ensino, é o aluno que atribui significados aos materiais de aprendizagem.

Em relação a segunda condição, Moreira e Masini (1982) sugerem que, independentemente de quão potencialmente significativo seja o material a ser aprendido, se a intenção do aprendiz é, simplesmente, a de memorizá-lo arbitrariamente e literalmente, tanto o processo de aprendizagem como o resultado desse processo serão mecânicos e sem significado. Acerca das implicações da condição de que o aprendiz deve apresentar uma predisposição para aprender, Moreira (2012) destaca que:

Não se trata exatamente de motivação, ou de gostar da matéria. Por alguma razão, o sujeito que aprende deve se predispor a relacionar (diferenciando e integrando) interativamente os novos conhecimentos a sua estrutura cognitiva prévia, modificando-a, enriquecendo-a, elaborando-a e dando significados a esses conhecimentos. Pode ser simplesmente porque ela ou ele sabe que sem compreensão não terá bons resultados nas avaliações. Aliás, muito da aprendizagem memorística sem significado (a chamada aprendizagem mecânica) que usualmente ocorre na escola resulta das avaliações e procedimentos de ensino que estimulam esse tipo de aprendizagem. (MOREIRA, 2010, p. 08).

Algumas pesquisas voltadas para o Ensino de Ciências têm apontado de forma categórica que a utilização de atividades experimentais pode possibilitar e facilitar a aprendizagem significativa. Tanto professores quanto alunos demonstram bastante otimismo e entusiasmo quando o assunto envolve atividades experimentais. De acordo com Araújo e Abib (2003):

[...] o uso de atividades experimentais como estratégia de ensino de física tem sido apontado por professores e alunos como uma das maneiras mais frutíferas de se minimizar as dificuldades de se aprender e de se ensinar Física de modo significativo e consistente (ARAÚJO; ABIB, 2003 p. 176).

Associar os conhecimentos prévios dos alunos às atividades experimentais constitui um importante fator para o desenvolvimento de uma aprendizagem mais significativa, pois:

Fazer o experimento com o grupo, observar as dúvidas dos estudantes e dificuldades pode constituir um momento ímpar ao professor para coletar os indícios do que os alunos já sabem para, em seguida, planejar ações que associem o que ele pretende ensinar às descobertas destes durante a realização do experimento, operacionalizando a aprendizagem significativa. (GUIMARÃES; DORN, 2015, p. 156).

Levando em consideração que uma atividade experimental pode ser desenvolvida fazendo uma interação daquilo que o aluno já conhece, empiricamente ou não, com novas informações sobre um determinado fenômeno, e, que essa interação tem potencial para promover novos e mais enriquecidos significados na estrutura cognitiva desse aluno, pode-se concluir que **a atividade experimental pode ser caracterizada como uma atividade potencialmente significativa**. Discorrendo sobre atividades experimentais ou atividades de laboratório, o próprio Ausubel esclarece que existe:

[...] uma relutância muito grande em reconhecer-se que os pré-requisitos (...) para a aprendizagem significativa também se aplicam aos métodos de resolução de problemas e laboratoriais. Contudo, deveria ser bastante evidente que o desempenho de experiências laboratoriais com base num livro de instruções, sem se compreenderem os princípios substantivos e metodológicos subjacentes envolvidos, confere muito pouca compreensão genuína e que muitos estudantes de matemática e de ciências consideram relativamente simples ‘descobrir’ respostas corretas a problemas ‘tipo’ sem compreenderem realmente o que estão a fazer. Alcançam a última proeza através da mera memorização destes ‘problemas tipo’ e dos procedimentos adequados para manipularem os símbolos de cada tipo. Não obstante, ainda não se considera, de um modo geral, que o trabalho laboratorial e a resolução de problemas não são experiências genuinamente significativas, a não ser que se construam numa base de conceitos e de princípios claramente compreendidos na disciplina em questão e a não ser que as operações constituintes sejam, elas próprias, significativas (AUSUBEL, 2003, p. 52).

Para finalizar essa fundamentação teórica, é importante esclarecer outro aspecto da aprendizagem significativa, destacado por Moreira (2012): aprendizagem significativa não é, necessariamente, sinônimo de aprendizagem correta. É importante ressaltar que este aspecto vai ao encontro da proposta deste trabalho. Moreira (2012) também acrescenta que aprendizagem significativa não é aquela que nunca esquecemos. Aprender significativamente envolve todo um processo e cada etapa desse processo é importante.

Sendo assim, quando o aluno apresenta uma concepção espontânea em algum conceito ou fenômeno relacionado à Física, isso não quer dizer que esse aluno não tenha aprendido nada segundo a TAS. Nesta perspectiva, Moreira (2010) faz o seguinte comentário:

Quando o sujeito atribui significados a um dado conhecimento, ancorando-o interativamente em conhecimentos prévios, a aprendizagem é significativa, independente de se estes são os aceitos no contexto de alguma matéria de ensino, i.e., de se os significados atribuídos são também contextualmente aceitos, além de serem pessoalmente aceitos. As conhecidas concepções alternativas, tão pesquisadas na área de ensino de ciências, geralmente são aprendizagens significativas (e, por isso, tão resistentes à mudança conceitual). Por exemplo, se uma pessoa acredita que no verão estamos mais próximos do sol e no inverno mais distante, explicando assim as estações do ano, isso pode ser significativo para ela embora não seja a explicação cientificamente aceita. (MOREIRA, 2010, p. 08).

Com base na discussão apresentada até aqui, nota-se que a aprendizagem, sob a ótica da Teoria da Aprendizagem Significativa, envolve um conjunto de elementos interdependentes e indissociáveis. Nesse processo, a atuação do professor é fundamental, visto que colabora com a assimilação de novos símbolos e conceitos, de modo que estes sejam mais facilmente anexados à estrutura cognitiva.

2.2 Concepções Espontâneas em Física

Com base na discussão apresentada na seção anterior (2.1 Teoria da Aprendizagem Significativa), percebe-se que o estabelecimento de relações entre o conteúdo e os conhecimentos prévios dos estudantes é fundamental para a promoção de uma aprendizagem efetiva, alinhada às necessidades formativas dos indivíduos. Nesse processo, o levantamento das concepções espontâneas, ou seja, de percepções imediatas dos estudantes sobre a temática, contribui no sentido de direcionar os processos educativos.

As concepções espontâneas são denominadas de diversas formas: ideias preconcebidas, concepções ou conceitos intuitivos, prévios, de senso comum, alternativos, espontâneos etc. Resguardadas as diferenças conceituais que podem existir entre essas expressões, elas serão abordadas neste trabalho como concepções espontâneas, que são construídas tanto dentro como fora do âmbito escolar. Segundo Silveira (1992, p. 39), “[...] as concepções espontâneas são concepções que os alunos possuem com significados contextualmente errôneos, não compartilhados pela comunidade científica e, portanto, em desacordo com as teorias científicas atuais”. Essas

ideias prévias dos alunos, que muitas vezes se opõem às concepções cientificamente adequadas (por exemplo: a ideia de calor como fluido, de força como sendo proporcional a velocidade, de que a corrente elétrica “desgasta-se” ao passar por "obstáculos" num circuito, etc.), se não forem consideradas e abordadas corretamente, contribuem para dificultar a compreensão dos conceitos físicos e podem ter uma relação direta com a resistência que muitos alunos possuem para com a disciplina de Física.

Segundo Pietrocola (2001), o desenvolvimento dessas noções, que comumente diferem das teorias e conceitos, se inicia no período da infância e são fundamentadas em observações cotidianas, existindo para os mais diversos fenômenos e constitui um grande obstáculo no aprendizado dos estudantes, pois são difíceis de serem mudadas. Cachapuz, Praia e Jorge (2002) fazem um alerta no sentido de não apenas preocupar-se com a sua definição, mas discutir e refletir a sua importância para a aprendizagem e a necessidade de buscar meios para abordá-las de maneira mais eficaz. Segundo eles,

A necessidade de adequar as estratégias de ensino às ideias prévias dos alunos exige que tenhamos necessidade de diagnosticar as concepções espontâneas dos alunos. E diagnosticar não apenas as já existentes antes do ensino formal (concepções intuitivas como, por exemplo, a ideia de calórico), mas também as que se articulam com o ensino desenvolvido e porventura tenham sido por ele reforçadas ou até induzidas ainda que não intencionalmente. (CACHAPUZ; PRAIA; JORGE, 2002, p. 1555).

Mesmo sem uma abordagem focada nas concepções espontâneas, o professor de Física, no seu dia a dia na sala de aula, pode constatar, através do diálogo e dos questionamentos dos alunos, o que a maioria das pesquisas tem evidenciado, comumente, em relação a estas concepções, a saber: 1) Algumas delas são compartilhadas pela grande maioria dos alunos; e 2) São muito resistentes à mudança, ou seja, tendem a continuarem inalteradas mesmo diante da instrução formal (BUCUSSI, 2007).

Estas concepções alternativas caracterizam-se por serem superficiais e coerentes com o ponto de vista do estudante, explicando, equivocadamente, situações do dia a dia ou questões colocadas pela educação formal. Também são resistentes à mudança, manifestando-se mesmo após o ensino formal, revelando-se como estruturas conceituais que não estão isoladas e que podem estar explícitas ou implícitas para os estudantes (BUCUSSI, 2007, p. 18).

Nesse sentido, as concepções espontâneas podem ser compreendidas como noções que permitem ao professor explorar e introduzir conceitos mais complexos de modo que estes sejam percebidos como significativos pelos educandos.

2.2.1 Concepções Espontâneas e Mudança Conceitual

Nas últimas décadas, tem sido realizada uma quantidade enorme de pesquisas envolvendo o estudo das concepções espontâneas. Mas, apesar dos esforços nessa direção, ao observar o cotidiano escolar, é possível afirmar que os resultados das pesquisas pouco têm chegado efetivamente à sala de aula. Nessa direção, nota-se uma necessidade de reforçar o vínculo entre o ensino e a pesquisa.

Somente diagnosticar concepções espontâneas e divulgar dados coletados em pesquisas não será suficiente para que ocorra uma mudança conceitual por parte dos estudantes. Para que haja um desenvolvimento conceitual nos alunos é preciso, preliminarmente, despertar um conflito de suas concepções com as científicas, ou seja, gerar certo desconforto em suas mentes. Segundo Gravina e Buchweitz (1994), é necessário aprofundar a discussão e a reflexão sobre a importância do estudo das concepções espontâneas para a aprendizagem.

Para que a aprendizagem ou mudança conceitual ocorra, a nova concepção precisa ser útil, ou seja, que tenha potencial explicativo e preditivo, possibilitando a solução de novos problemas, sugerindo novos experimentos e investigações, e prevendo a sua utilização em outras situações e estudos. Portanto, para haver a incorporação de uma nova informação ou concepção na estrutura cognitiva de um estudante, ela deve mostrar suas vantagens em relação a outras existentes, ser inteligível e clara, evidenciar sua plausibilidade, facilitar ou propiciar uma melhor compreensão, e mostrar sua utilidade na explicação e solução de questões e problemas novos ou não resolvidos pelas concepções existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Essas ideias podem servir para o material educativo potencialmente significativo um método de ensino adequado para a ocorrência da aprendizagem de conceitos científicos. (GRAVINA; BUCHWEITZ, 1994, p. 112).

Estudos que oferecem propostas de Ensino de Física de cunho metodológico também alertam os professores sobre a importância de considerar, refletir e discutir os conhecimentos prévios dos alunos, pois

[...] os conhecimentos anteriores que ele (o aluno) já detém muitas vezes interferem na efetiva apreensão do conteúdo veiculado na escola. Se descaracterizarmos ou ignorarmos este problema, frequentemente estaremos incentivando no aluno a utilização de conceitos e leis da Física apenas para ‘situações de quadro negro’ e provas (quando ocorrem), enquanto para situações vividas prevalecem os conhecimentos do senso comum (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1991 apud ALVES FILHO, 2000, p.160).

Para que os resultados das pesquisas contemplem efetivamente o aluno, é preciso criar mecanismos que possibilite ao professor desenvolver trabalhos capazes de promover

uma evolução frente às concepções espontâneas. Desta forma, vale destacar que um trabalho não aprofundado destas concepções pode comprometer o ensino e a aprendizagem, contribuindo para o fracasso escolar dos alunos e impedindo-os de caminhar.

A metodologia de ensino utilizada por muitos professores de Física (muitos sem formação na área) contribui sistematicamente para o insucesso em relação ao afloramento e a superação das concepções espontâneas. Tal metodologia, centrada na memorização de fórmulas matemáticas e na resolução de exercícios utilizando essas fórmulas, coopera também para o surgimento de conceitos equivocados em relação aos próprios conteúdos trabalhados.

Não é necessário acompanhar por muito tempo um professor de Física para perceber a exagerada ênfase matemática adotada na abordagem dos conceitos físicos. De forma geral, observa-se uma abordagem pautada em resolução de equações e leis, logo, desconexa da vivência dos alunos e vazia de significado. Naturalmente, não se pode negar a relevância dos conhecimentos matemáticos, mas é essencial que sejam entendidos como meios e não como os fins do processo educativo. Comentando sobre alguns resultados de uma pesquisa que abrangia também alunos de graduação em Física, Villatorre, Higa e Tychanowicz (2009) ressaltam que:

É possível observar então que, quando se apresentam questões fora do formato usualmente utilizado na sala de aula (exercícios numéricos, centrados nos cálculos matemáticos, com pouca análise conceitual e repetitivos), até mesmo alunos do ensino superior podem recorrer a um conhecimento alternativo (VILLATORRE; HIGA; TYCHANOWICZ, 2009, n.p.).

Dessa forma, pode-se discutir os conceitos trazidos pelos alunos comparando-os com os de caráter científico, aproveitando as semelhanças, diferenciando contextos e apontando (in) consonâncias. Segundo afirma Maldaner (2007),

Os alunos chegam à escola com explicações próprias sobre os fenômenos do cotidiano e, como operações mentais, elas são sustentadas por conceitos produzidos nas interações sociais internalizadas, fazendo parte de sua estrutura mental. Não importa se os conceitos do cotidiano sejam muito diferentes daqueles científicos que a escola ensina. Ambos são importantes no trabalho pedagógico escolar, pois ambos serão mutuamente enriquecidos, conforme defende Vygotsky. (MALDANER, 2007, p. 125).

Por mais que um texto, aceito como científico, evidencie com clareza os conceitos físicos e por mais exemplos que sejam apresentados, muitas vezes os alunos não conseguem desenvolver uma mudança conceitual, ou seja, transformar o conhecimento

espontâneo em conhecimento científico. Assim, a mediação do professor torna-se um fator de extrema relevância, desde que ele compreenda que o desenvolvimento conceitual pode ocorrer lentamente, sem necessariamente ser um processo de mera substituição. Seguindo este raciocínio, Moreira (1999) afirma que:

[...] a mudança conceitual na estrutura cognitiva do aluno também não é um processo de substituição de uma concepção para outra, de um significado para outro. A mudança conceitual é progressiva, evolutiva, não substitutiva. As novas concepções, ou os novos significados de uma dada concepção, coexistem (talvez para sempre), na estrutura cognitiva, com as preexistentes (MOREIRA, 1999, p. 61).

Numa perspectiva otimista em relação à compreensão de conceitos físicos por parte dos estudantes, é importante frisar que, embora os conhecimentos prévios sejam importantes como ponto de partida para o processo de ensino e de aprendizagem, é função do professor, como mediador entre o aluno e o conhecimento, empenhar para levar os alunos a superá-los e ampliá-los, garantindo a apropriação do conhecimento científico. Nessa superação, o professor pode criar situações que provoquem um desequilíbrio cognitivo, de modo que os alunos passem a adotar uma atitude científica no processo de aprender a aprender.

De qualquer forma, fica evidente que o professor que realmente almeje que seus alunos aprendam Física, não pode ignorar uma abordagem sincera e correta das concepções espontâneas que, certamente, uma hora ou outra, manifestar-se-ão através dos estudantes.

2.3 Considerações sobre a Importância da Utilização de Atividades Experimentais no Ensino de Física

A atividade experimental é reconhecida, pelos mais representativos modelos de Ensino das Ciências, como uma ferramenta que possui potencialidades educativas relevantes. Tanto professores como alunos têm considerado que o uso de experimentos torna as aulas de Física mais atrativas e dinâmicas, o que resulta em uma maior interação entre o professor e o aluno e, por consequência, um desenvolvimento conceitual e prático mais satisfatório por parte do estudante (RODRIGUES, 2018).

A prática do uso de experimentos em sala de aula, com o objetivo de estimular o desenvolvimento e a compreensão de conceitos, segundo Carvalho et al (1999, p. 42) “[...] é uma forma de levar o aluno a participar de seu processo de aprendizagem, sair de

uma postura passiva e começar a perceber e a agir sobre o seu objeto de estudo [...]”. Reconhecendo a relevância da utilização de atividades experimentais nas aulas de Física, Peruzzo (2012) também ressalta que a abordagem de atividades experimentais como estratégia didática apresenta-se enquanto uma forma efetiva de minimização das dificuldades de aprender e ensinar conteúdos físicos de modo significativo e dinâmico.

De acordo com algumas pesquisas, associar os conhecimentos prévios dos alunos às atividades experimentais constitui um importante fator para o desenvolvimento de uma aprendizagem mais significativa. Segundo Moreira (1999), “[...] a aprendizagem significativa é um processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se, de maneira substantiva (não literal) e não arbitrária, a um aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo”. De acordo com Ausubel (1968), “a aprendizagem significativa ocorre quando os novos conhecimentos que se adquirem relacionam-se com o conhecimento prévio que o aluno possui”.

Embora muito se fale da importância da experimentação no Ensino de Física, poucos professores trabalham com experimentos, ou quando o fazem, trabalham com o único objetivo de comprovar a teoria aprendida. Mas, segundo Sant’Anna (2010), a proposta de investigação experimental deve almejar, além da representação prática dos conteúdos apresentados em sala de aula, estabelecer conexões com fenômenos presentes no cotidiano dos estudantes (SANT’ANNA et al., 2010).

Paula (2006) salienta que a promoção de experimentos propicia eficiência na construção da aprendizagem referente à conceitos mais complexos, visto que converge conhecimentos teóricos com práticas executadas pelos próprios estudantes. Para Carvalho et al (1998, p. 20), “[...] a principal função das experiências é, com a ajuda do professor e a partir das hipóteses e conhecimentos anteriores, ampliar o conhecimento do aluno sobre os fenômenos naturais e fazer com que ele o relacione com sua maneira de ver o mundo”. Trabalhar as concepções espontâneas através de atividades experimentais não trará uma solução “mágica” para os problemas, mas, contribuirá satisfatoriamente para a evolução conceitual do estudante, aproximando-o do conhecimento que é cientificamente aceito.

Covolán (2003) afirma que o trabalho com experimentos, além de ser um diferencial motivador, estabelece relações com o cotidiano dos estudantes, promovendo um clima de comprometimento e descoberta, o que colabora com a transposição de barreiras de aprendizagem, assim proporcionando um conhecimento construído de forma coletiva e ativa.

Capítulo 3

Breve Abordagem da Atividade Experimental envolvendo Circuito Elétrico

Um longo e árduo caminho é trilhado pelos estudantes até que venham adquirir conhecimento suficiente para compreender o funcionamento dos circuitos elétricos simples, que são compostos de resistores associados em série, paralelo ou em associação mista. Antes de começar o estudo das correntes e circuitos elétricos, os estudantes lidam com cargas elétricas quase sempre em repouso (eletrostática). Assim, o contato dos alunos com as correntes e circuitos elétricos marca o início dos estudos relacionados com fenômenos com cargas elétricas em movimento.

3.1 Corrente Elétrica

O termo “corrente elétrica”, ou simplesmente corrente, é usado para descrever o fluxo de carga elétrica em alguma região do espaço. Na maioria das situações comuns, o fluxo de carga ocorre em um condutor, como por exemplo, um fio de cobre.

Sem dúvida, a corrente elétrica é o fenômeno mais importante para a tecnologia contemporânea. Os avanços da eletrônica e da eletrotécnica passam pelos fenômenos relacionados com portadores de cargas (elétrons) em movimento. Os motores elétricos, os equipamentos para telecomunicações, os aparelhos elétricos residenciais e empresariais, e os computadores são exemplos de aparelhos, cujos quais, suas funções são baseadas na corrente elétrica.

Para definir matematicamente a corrente, pode-se supor que partículas carregadas estão deslocando perpendicularmente em relação a uma superfície de área A . Essa área poderia ser a área de secção transversal de um fio, como mostra a Figura 3.1 (TIPLER; MOSCA, 2009):

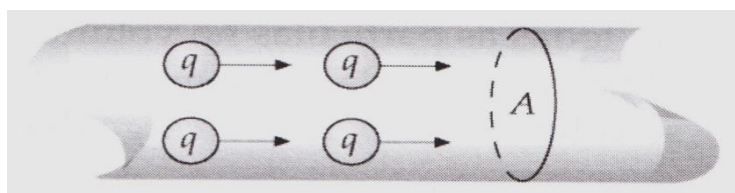


Figura 3.1: Segmento de um fio condutor conduzindo uma corrente.

Fonte: Tipler e Mosca (2009, p. 145).

Se ΔQ é a quantidade de carga que flui através da área de secção transversal A , durante o intervalo de tempo Δt , a corrente média $I_{méd}$ que passa em A é dada por:

$$I_{méd} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (1)$$

É possível que a taxa a que a carga flui varie com o tempo. Nesse caso, a corrente instantânea I é definida como o limite da expressão precedente à medida que Δt tende a zero, isto é (GRAÇA, n.d.):

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt} \quad (2)$$

No SI, o **Ampère** (A) é estabelecido como padrão de corrente, e o **Coulomb** (C) é definido como a carga transferida em 1 segundo por uma corrente de 1 ampère (1 A = 1 C/s) (GRAÇA, n.d.):

Por integração, a carga que passa pelo plano no intervalo de 0 a t pode ser determinada da seguinte forma (GRAÇA, n.d.):

$$q = \int dq = \int_0^t I dt, \quad (3)$$

onde a corrente I pode variar com o tempo.

O sentido da corrente elétrica, desde o início da história da eletricidade, foi estabelecido como sendo o sentido do fluxo de cargas positivas (oposto ao movimento dos elétrons). Até os dias de hoje, utiliza-se esse sentido, que é denominado sentido convencional da corrente (GRAÇA, n.d.). A corrente elétrica é uma grandeza orientada, mas não obedece à regra de soma de vetores e, portanto, não é um vetor, ou seja, correntes se somam algebricamente e não vetorialmente, conforme ilustra a Figura 3.2.

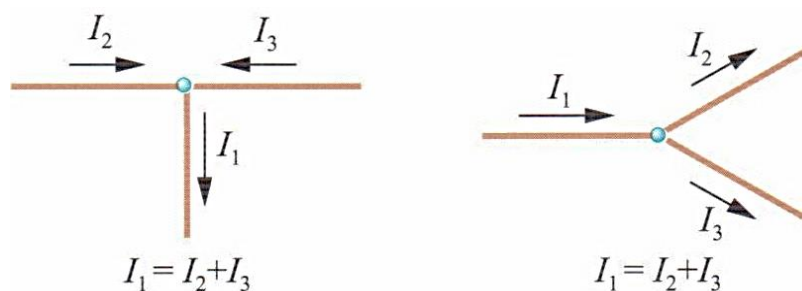


Figura 3.2: Corrente elétrica é uma grandeza orientada, mas não obedece à regra de soma de vetores e, portanto, não é um vetor.

3.2 Corrente Contínua e Corrente Alternada

A aplicação de um campo elétrico \vec{E} em um fio condutor estabelece neste fio uma corrente elétrica, cujo sentido (convencional) é o mesmo do vetor \vec{E} . Então, se o sentido de o campo elétrico aplicado permanecer sempre o mesmo, o sentido da corrente também se manterá inalterado, isto é, as cargas se deslocarão em um mesmo sentido ao longo do fio. Neste caso, a corrente elétrica é denominada **corrente contínua**. A corrente contínua é gerada por pilhas e baterias (MÁXIMO; ALVARENGA, 2007).

Entretanto, as cargas elétricas podem oscilar rapidamente no interior do fio, movendo ora em um sentido, ora em sentido contrário, como acontece, por exemplo, quando se liga um aparelho (uma lâmpada, um ferro elétrico, um liquidificador etc.) em uma residência. Nesse caso, a corrente é denominada **corrente alternada**. A corrente alternada que chega às tomadas das residências é gerada por usinas que transformam qualquer tipo de energia em elétrica (MÁXIMO; ALVARENGA, 2007).

3.3 Densidade de Corrente

Conforme já foi destacado (Seção 3.1 - Corrente Elétrica), a corrente elétrica é uma grandeza escalar a qual também é possível associar-se uma orientação, pelo fato de que corrente é um fluxo. Assim, toda corrente é o fluxo de uma grandeza vetorial. Para descrever esse fluxo, usa-se a densidade de corrente \mathbf{j} , onde \mathbf{j} é o vetor que tem a mesma direção da corrente. Para cada elemento da seção reta de um condutor, o módulo de \mathbf{j} é igual a corrente dividida pela área do elemento. Desta forma, a corrente que atravessa o elemento de área pode ser escrita como $\mathbf{j} \cdot d_A$, onde d_A é o vetor área do elemento, perpendicular ao elemento. A corrente total que atravessa a superfície é, portanto (MÁXIMO; ALVARENGA, 2007):

$$I = \int \mathbf{j} \cdot d_A \quad (4)$$

Se a densidade de corrente for uniforme em toda a seção do fio, a equação acima pode ser escrita como:

$$I = \int \mathbf{j} \cdot d_A = j \int d_A = jA, \quad (5)$$

e, portanto,

$$j = \frac{I}{A} \quad (6)$$

onde A é a área de seção reta do fio. A unidade de densidade de corrente, no SI, é o Ampère por metro quadrado (A/m^2).

3.4 Resistência e Lei de Ohm

A Figura 3.3 mostra uma corrente I percorrendo um segmento de um condutor metálico com comprimento l e área de seção transversal A . O potencial elétrico V_b é maior do que o potencial elétrico V_a , pelo fato do campo elétrico ser orientado no sentido da diminuição do potencial elétrico.

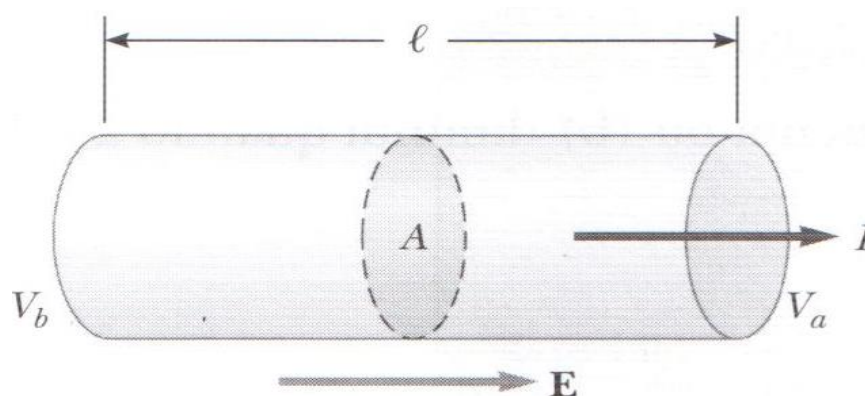


Figura 3.3: Um condutor uniforme de comprimento l e área de seção transversal A . Uma diferença de potencial $V_b - V_a$ é mantida no condutor de maneira que existe um campo elétrico E no condutor, e este campo produz uma corrente I que é proporcional à diferença de potencial.

Fonte: Serway e Jewett Junior (2006, p. 771).

Admitindo que o campo elétrico \vec{E} seja uniforme ao longo do segmento, a diferença de potencial V entre os pontos b e a é dada por (GOUVEIA, 2022):

$$V = V_b - V_a = E l \quad (7)$$

Quando uma diferença de potencial V é aplicada nas extremidades de um condutor metálico, como o da Figura 3.3, a corrente observada no condutor é proporcional à voltagem aplicada, isto é, $I \propto V$. Essa proporcionalidade pode ser escrita como $V=RI$, onde a constante de proporcionalidade R é chamada **Resistência**. Assim, a resistência do condutor é a relação entre a diferença de potencial V do condutor e a corrente I que ele transporta, ou seja (GOUVEIA, 2022):

$$R = \frac{V}{I} \quad (8)$$

A unidade de resistência elétrica no **SI**, volt por ampère, é denominada **ohm** (Ω):

$$1\Omega = 1 \frac{V}{A}.$$

Para muitos materiais, incluindo os metais, experimentos mostram que a resistência é constante para grande parte das voltagens aplicadas. Esse comportamento é conhecido como **Lei de Ohm**, em homenagem a Georg Simon Ohm (1787-1854), que foi o primeiro a fazer um estudo sistemático da resistência elétrica (GOUVEIA, 2022).

A Lei de Ohm não é uma lei fundamental da natureza, mas um relacionamento empírico válido somente para determinados materiais e dispositivos, sob uma escala limitada de condições. Os materiais que obedecem a lei $V = R I$, ou seja, materiais cuja resistência não depende da queda de potencial ou da corrente, são denominados **materiais ôhmicos**. Os materiais que não obedecem a Lei de Ohm são chamados **não ôhmicos**. Para esses materiais, a resistência depende da corrente I , logo a tensão V não é proporcional a I . (GOUVEIA, 2022).

É um erro bastante comum apresentar a relação $V = RI$ como sendo a expressão matemática da Lei de Ohm. A rigor, a relação $V = RI$, em si, não é a Lei de Ohm. Esta relação é apenas uma equação obtida imediatamente da definição de resistência $R = \frac{V}{I}$, onde a resistência R pode não ser constante (GOUVEIA, 2022).

3.5 Resistência e Resistividade

A resistência R de um fio condutor ôhmico é proporcional ao seu comprimento L , e inversamente proporcional à sua área de seção transversal. Isto é (MELO, 2022):

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (9)$$

onde a constante de proporcionalidade ρ é chamada de **Resistividade** do material, cujas unidades são ohm-metro ($\Omega.m$). Cada material ôhmico tem uma resistividade característica, um parâmetro que depende das propriedades do material e da temperatura (MELO, 2022).

Para evitar uma possível confusão entre resistência e resistividade, pode-se fazer necessário chamar atenção para uma diferença importante: a resistência é uma

propriedade de um dispositivo (corpo); a resistividade é uma propriedade de um material (substância) (MELO, 2022).

3.6 Circuitos Elétricos

Qualquer caminho fechado, por onde as partículas portadoras de cargas elétricas possam fluir, é chamado de *circuito elétrico*. Em outras palavras, circuito elétrico é o conjunto de caminhos por onde passa a corrente elétrica. Um circuito elétrico é constituído por dispositivos nos quais é possível estabelecer uma corrente elétrica. Em um circuito elétrico em funcionamento, como existe corrente elétrica, e existem diferenças de potencial elétrico (tensões), haverá conversão de energia elétrica em outras formas de energia (ASTH, 2022).

3.6.1 Elementos de um Circuito Elétrico

Segue-se, em uma rápida descrição, a representação e exemplos de alguns elementos que compõem um circuito elétrico: 1) **Resistor**: É um dispositivo (corpo ou elemento qualquer) colocado em um circuito para oferecer uma resistência elétrica bem definida. Tem como principal função converter energia elétrica em energia térmica. Os resistores são representados nos circuitos elétricos pelos símbolos abaixo (Figura 3.4; ASTH, 2022):

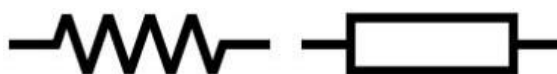


Figura 3.4: Símbolos de resistores em um circuito elétrico.

Fonte: Wikipédia (2022, n.p.).

Existem resistores de vários modelos e com aspectos físicos diversos. A Figura 3.5 mostra alguns aparelhos que usam resistores elétricos, tais como chuveiros, ferros elétricos, sanduicheiras, aquecedores etc.



Figura 3.5: Exemplos de aparelhos e seus respectivos resistores.

Fonte: Wikipédia (2022, n.p.).

Os resistores, comercialmente, costumam ser chamados de elementos de aquecimento ou de “resistências”. É comum alguém dizer que a resistência do chuveiro “queimou”, o que pode causar certa confusão, pois a resistência é uma propriedade, e não um dispositivo (ASTH, 2022).

Os resistores de uso comum são produzidos, industrialmente, em grandes quantidades. Este processo torna o seu custo acessível, porém, em contrapartida, sua precisão fica prejudicada. Por este motivo, é importante saber a imprecisão destes resistores (fornecida pelos fabricantes) e identificar a faixa que compreende o seu valor provável, conforme ilustra a Figura 3.6.

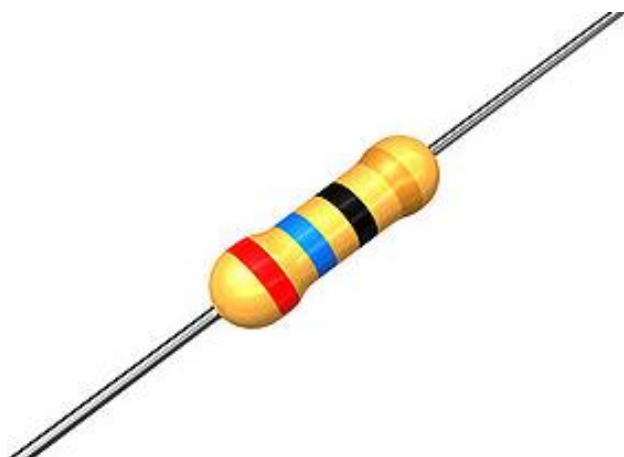


Figura 3.6: Ilustração de um resistor fabricado comercialmente.

Fonte: Can Stock Photo (2022, n.p.).

Os valores dos resistores, produzidos industrialmente, observam o seguinte código de cores:

COR	ALGARISMO	COR	ALGARISMO
Preto	0	Verde	5
Marrom	1	Azul	6
Vermelho	2	Violeta	7
Laranja	3	Cinza	8
Amarelo	4	Branco	9

Tabela 3.1: Código de cores para resistores.

Fonte: Silva (2022, n.p.).

Assim, para interpretar a leitura do valor da resistência e da sua tolerância, considere o diagrama abaixo (Tabela 3.2):

separadas por um isolante (dielétrico do capacitor). Quando se estabelece uma diferença de potencial entre estas placas, há fluxo de carga para elas, de modo que uma fica carregada positivamente e a outra negativamente (ASTH, 2022).

Em um circuito elétrico, o capacitor tem a função de armazenar energia durante certo tempo, para, num dado momento e de acordo com a necessidade, fornecer essa energia às cargas para manter a corrente elétrica (ASTH, 2022).

A carga q que um capacitor armazena é proporcional à diferença de potencial V em seus terminais. A constante de proporcionalidade é a **Capacitância C** , que está relacionada com a carga q e à diferença de potencial pela equação (ASTH, 2022).

$$q = VC \rightarrow C = \frac{q}{V} \quad (10)$$

No SI, a unidade de Capacitância é o Farad (F). É definido como a capacitância de um corpo ou dispositivo que armazena a carga de 1 C quando submetido à tensão de 1 V: 1 farad (1 F) = 1 coulomb / 1 volt (ASTH, 2022).

O nome do capacitor é dado de acordo com a forma de suas placas. Existe o capacitor plano, o capacitor cilíndrico, o capacitor esférico etc. Independentemente do tipo, o capacitor é sempre representado pelo símbolo da Figura 3.8. A Figura 3.9 mostra alguns modelos de capacitores.



Figura 3.8: Símbolo da representação de um capacitor em um circuito elétrico.

Fonte: Wikipédia (2022, n.p.).



Figura 3.9: Alguns modelos de capacitores.

Fonte: Wikipédia (2022, n.p.).

3. 6. 1.1. Dispositivos de manobra

São elementos que servem para acionar ou desligar um circuito elétrico (como as chaves e os interruptores). A Figura 3.10 mostra a representação destes dispositivos em um circuito elétrico.

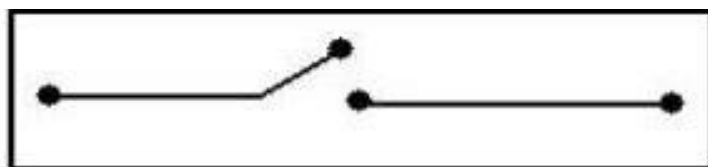


Figura 3.10a: Símbolo que representa os interruptores ou chaves em um circuito elétrico.

Fonte: Wikipédia (2022, n.p.).



Figura 3.10b: Interruptor.

Fonte: Wikipédia (2022, n.p.).



Figura 3.10c: Chave Tripolar.

Fonte: Wikipédia (2022, n.p.).

3.6.1.2. Dispositivos de segurança

Os dispositivos de segurança são dispositivos que, ao serem atravessados por uma corrente de intensidade maior que a prevista, interrompem a passagem de corrente elétrica, preservando da destruição os demais elementos do circuito. Os mais comuns são os fusíveis e os disjuntores, conforme ilustram as Figuras 3.11 (símbolo em um circuito elétrico), 3.12 e 3.13 (exemplos de disjuntores e fusíveis).

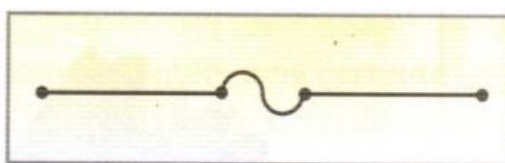


Figura 3.11: Símbolo que representa um disjuntor em um circuito elétrico.

Fonte: Wikipédia (2022, n.p.).

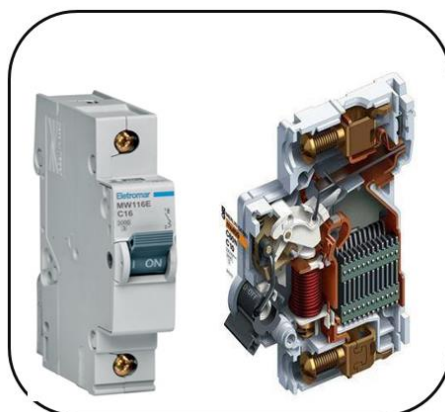


Figura 3.12: Disjuntores - chaves que se desligam automaticamente.

Fonte: Wikipédia (2022, n.p.).



Figura 3.13: Fusíveis – Proteção contra elevações de corrente elétrica.

Fonte: Tudo Sobre Fusíveis (2014, n.p.).

Os disjuntores que substituem os fusíveis têm a vantagem de não se queimarem em caso de sobrecarga de energia, ou curto-circuito, pois desligam o circuito automaticamente.

3.6.3. Dispositivos de Controle

Os dispositivos de controle são usados para detectar a presença de corrente elétrica, para medir a intensidade da corrente elétrica ou da voltagem em uma parte do circuito elétrico.

3.6.3.1 Aparelhos para medir a intensidade da corrente e a voltagem em um circuito elétrico

Dentre os dispositivos geralmente utilizados para as medidas de corrente I e voltagem/tensão V em um circuito elétrico são os amperímetros e os voltímetros. Os **amperímetros** são aparelhos usados para medir a intensidade de corrente elétrica. Devem ser ligados em série no circuito (Figura 3.14). A resistência dos amperímetros deve ser muito pequena para não interferir no circuito. Os **voltímetros** são dispositivos usados para medir a voltagem entre dois pontos de um circuito elétrico (Figura 3.15). Devem ser ligados em paralelo e possuem uma resistência grande, para que a corrente elétrica não se desvie do seu caminho (SANTOS, 2022).

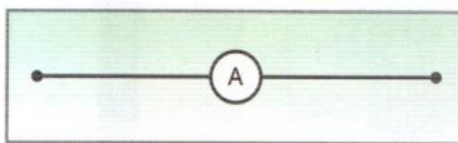


Figura 3.14: Símbolo que representa um amperímetro em um circuito elétrico.

Fonte: Wikipédia (2022, n.p.).

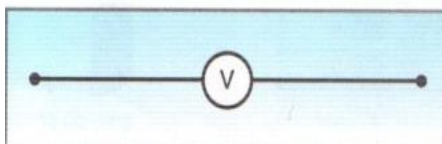


Figura 3.15: Símbolo que representa um volímetro em um circuito elétrico.

Fonte: Wikipédia (2022, n.p.).

Outra classe de dispositivos são os conhecidos **Galvanômetros**, que são medidores eletromagnéticos usados para medir corrente elétrica de baixa intensidade ou diferença de potencial estabelecida entre dois pontos. Os galvanômetros entram, como componentes, nos amperímetros, usados para medir correntes elétricas mais intensas, e voltímetros, usados para medir diferenças de potencial elétrico. Seu símbolo em um circuito elétrico está mostrado na Figura 3.16. Alguns modelos de galvanômetros estão apresentados na Figura 3.17.

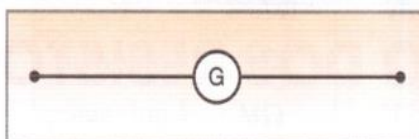


Figura 3.16: Símbolo que representa um galvanômetro em um circuito elétrico.

Fonte: Wikipédia (2022, n.p.).



Figura 3.17: Dispositivos de Controle: Galvanômetro, Amperímetro e Voltímetro.

Fonte: Wikipédia (2022, n.p.).

3.7 Energia nos Circuitos Elétricos

3.7.1 O Efeito Joule

É fato conhecido que, quando há uma corrente elétrica em uma resistência, ela se aquece. A figura abaixo (Figura 3.18) mostra um filamento metálico (uma resistência) aquecido até se tornar avermelhado devido a uma corrente elétrica. Este fenômeno, conhecido como **Efeito Joule**, ocorre porque os elétrons em movimento, os quais

constituem a corrente elétrica, estão constantemente colidindo contra átomos da rede cristalina do filamento. Estas colisões fazem aumentar a energia de vibração dos átomos em questão, e, conseqüentemente, provocam um aumento na temperatura da substância.

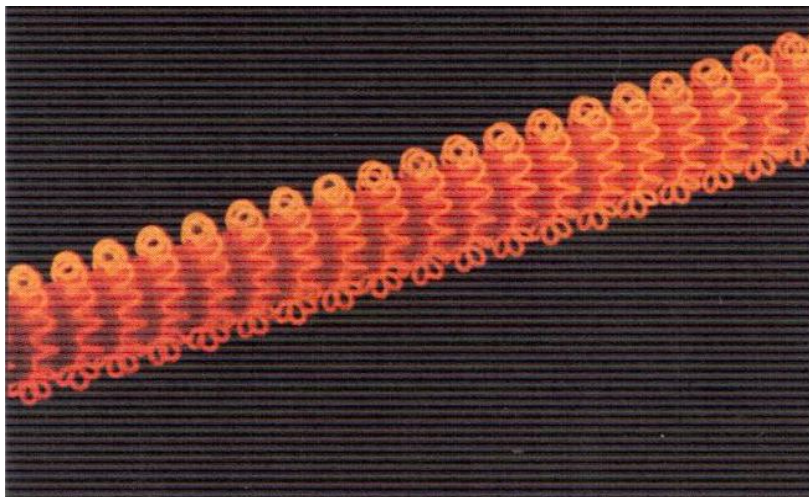


Figura 3.18: Efeito Joule.

Fonte: Máximo e Alvarenga (2007, p. 369).

Como podemos observar acima (Figura 3.18), quando há uma corrente elétrica em uma resistência, ele se aquece. Como já fora dito, este fenômeno é denominado Efeito Joule (MÁXIMO; ALVARENGA, 2007).

3.7.2. Lâmpadas de Incandescência: uma aplicação do efeito Joule

A lâmpada incandescente (Figura 3.19), que já foi muito utilizada nas residências, foi inventada pelo norte-americano Thomas Edison. Certamente, foi uma das maiores invenções de toda a História. Esse tipo de lâmpada é constituído de um filamento encerrado em um bulbo de vidro. O filamento (Figura 3.20), que se parece com uma minúscula mola, é feito a partir de um fio metálico de Tungstênio que é enrolado duas vezes na forma helicoidal. Ao ser submetido a uma corrente elétrica, aquece alcançando temperaturas em torno de 2700 °C, tornando-se incandescente e emitindo luz visível. O ponto de fusão do Tungstênio é bastante elevado, em torno de 3420°C.

A função do bulbo de vidro de uma lâmpada incandescente é isolar o filamento, mantendo-o em contato com um gás inerte (normalmente, o Argônio). Sem o bulbo, o filamento entra em contato com o oxigênio do ar e sofre um processo de oxidação, também conhecido como combustão ou queima.

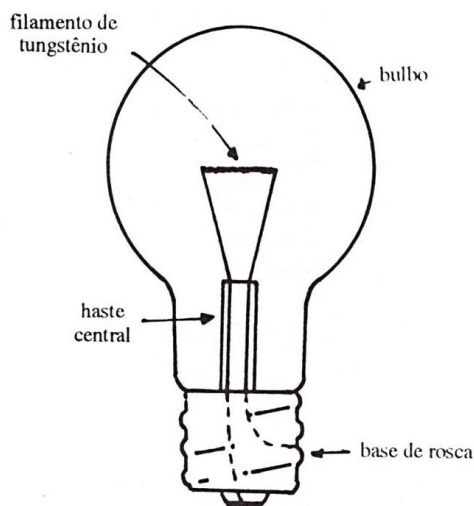


Figura 3.19: Lâmpada Incandescente.

Fonte: Wikipédia (2022, n.p.).



Figura 3.20: Filamento Incandescente.

Fonte: Wikipédia (2022, n.p.).

As lâmpadas incandescentes transformam a energia elétrica em calor (cerca de 95%) e luz (cerca de 5%). Por isso, essas lâmpadas são classificadas como aparelhos resistivos (apenas 5% da energia elétrica por ela consumida é transformada em energia luminosa). Por causa de sua baixa eficiência, atualmente, estas lâmpadas vêm sendo substituídas por lâmpadas fluorescentes e lâmpadas LED, que apresentam eficiência bem maior e possuem outro tipo de funcionamento.

3.7.3 Potência Dissipada em um Resistor

Considere o segmento de fio de comprimento L e área de seção transversal A , mostrado na Figura 3.21. O fio possui uma corrente estacionária orientada para a direita. Considere, também, a carga livre Q inicialmente no segmento.

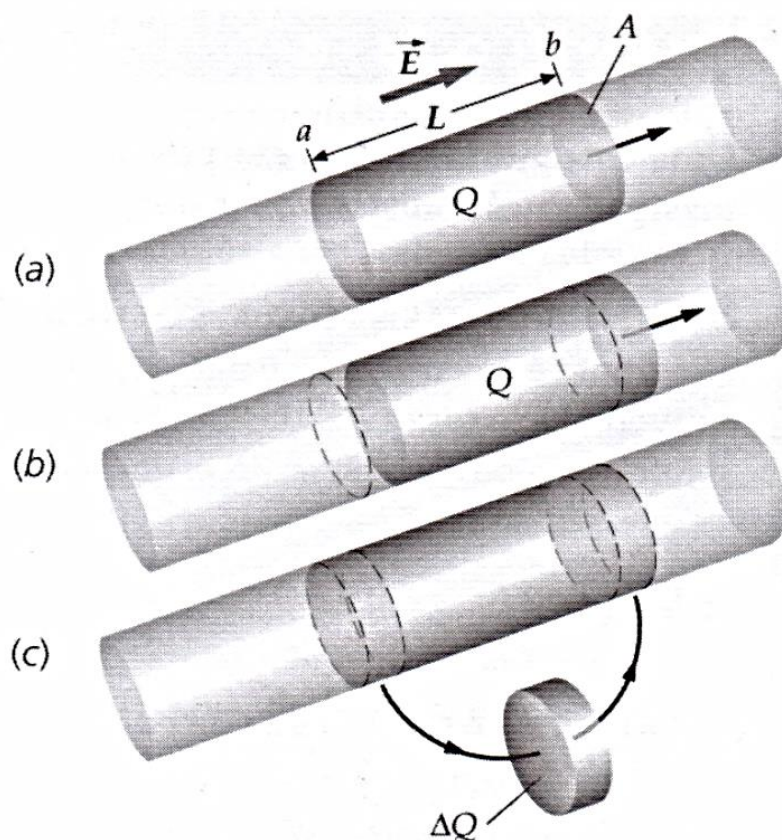


Figura 3.21: Dissipação da Potência em um Resistor.

Fonte: Tipler e Mosca (2009, p. 153).

Como podemos observar acima (Figura 3.21), durante um intervalo de tempo Δt , uma quantidade de carga ΔQ passa pelo ponto a , onde o potencial é V_a . Durante o mesmo intervalo de tempo, uma igual quantidade de carga deixa o segmento, passando pelo ponto b , onde o potencial é V_b . O efeito resultante durante o tempo Δt é: a carga Q , que estava inicialmente no segmento do condutor, tanto perdeu uma energia potencial igual a $\Delta Q V_a$ quanto ganhou uma quantidade de energia igual a $\Delta Q V_b$. Isso corresponde a uma diminuição na energia potencial, uma vez que $V_a > V_b$.

Durante o intervalo de tempo Δt , essa carga livre é submetida a um pequeno deslocamento para a direita (Figura 3.21b). Esse deslocamento é equivalente a uma quantidade de carga ΔQ (Figura 3.21c) movimentada da extremidade esquerda, onde ela possuía uma energia potencial $\Delta Q V_a$, para a extremidade direita, onde ela apresenta uma energia potencial $\Delta Q V_b$. Portanto, a variação na energia potencial de Q será:

$$\Delta U = \Delta Q (V_b - V_a) \quad (11)$$

Uma vez que $V_a > V_b$, essa variação representa a perda de energia potencial de Q. A energia potencial perdida será, então, $-\Delta U = \Delta Q V$, onde $V = V_b - V_a$ é a queda de potencial entre as extremidades do segmento. Assim, a taxa de energia potencial perdida é:

$$-\frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} V = IV \quad (12)$$

onde $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ é a corrente. Desta forma, a energia potencial perdida por unidade de tempo é a **Potência** P dissipada no segmento do condutor:

$$P = IV \quad (13)$$

Se o potencial V é expresso em volts e a corrente I em ampères, a potência será dada em Watts. A Equação 13 pode ser aplicada a qualquer elemento de um circuito. A taxa com a qual a energia potencial é liberada para o elemento é igual ao produto da queda de potencial entre seus terminais e a corrente que passa através dele. Em um condutor, a energia potencial é dissipada na forma de energia térmica no condutor.

Utilizando a equação $R = \frac{V}{I}$, pode-se reescrever a Equação 13 da seguinte maneira:

$$P = IV = I^2 R = \frac{V^2}{R} \quad (14)$$

3.7.4. Força Eletromotriz, Baterias e outros Geradores

Para que a corrente circule de modo permanente em um circuito, é necessário que algum dispositivo supra a energia elétrica que se perde em forma de calor. Os dispositivos capazes de fornecer tal energia elétrica são denominados geradores de força eletromotriz (*fem*). O primeiro gerador de *fem* a ser desenvolvido foi a bateria química, também chamada de bateria voltaica e continua sendo um dos dispositivos mais utilizados para geração de corrente contínua. A bateria possui um polo negativo e outro positivo, nos quais as voltagens são V_- e V_+ , respectivamente. Entre os polos há uma diferença de tensão $V = V_+ - V_-$. A figura abaixo (Figura 3.22) mostra um circuito envolvendo uma bateria e um resistor.

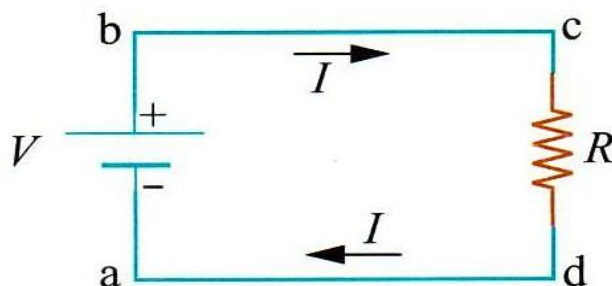


Figura 3.22: Circuito de uma única malha com uma bateria e um resistor.

Fonte: Chaves e Sampaio (2007, p. 104).

A força eletromotriz é designada pelo símbolo ε . Em uma bateria ideal, a diferença de potencial V entre os dois polos é sempre igual à *fem* ε , independentemente da corrente no circuito. Nos casos reais, quando há corrente no circuito, a tensão na bateria é menor que ε porque ela tem uma resistência interna r . A queda de tensão nos fios de condução é geralmente ignorada nos circuitos, ou seja, os fios são imaginados com resistência nula. Assim, os pontos b e c na Figura 3.22 estão à mesma tensão V_+ e os pontos a e d estão à mesma tensão V_- . Se a bateria é não ideal, a resistência do circuito é igual a $R + r$, e a relação entre ε e a corrente é:

$$\varepsilon = (R + r) I \quad (15)$$

Como $V = RI$, a tensão entre os polos da bateria é:

$$V = \varepsilon - r I. \quad (16)$$

A Equação 15 mostra que a corrente no circuito depende da resistência conectada à bateria. É comum a concepção incorreta de que uma bateria é uma fonte de corrente constante. A própria Equação 16 apresenta claramente que isso não é verdade. Mostra também que não é verdade que uma bateria seja uma fonte de voltagem constante entre os terminais. Uma bateria é uma fonte de *fem* constante (SERWAY; JEWETT JUNIOR, 2006).

3.8 Associação de Resistores

Existem duas maneiras distintas de se combinarem ou associarem dois ou mais resistores: associação em **série** ou associação em **paralelo** (Figura 3.23). A ilustração da

Figura 3.23A mostra uma ligação em série; a ilustração da Figura 3.23B mostra uma ligação em paralelo.

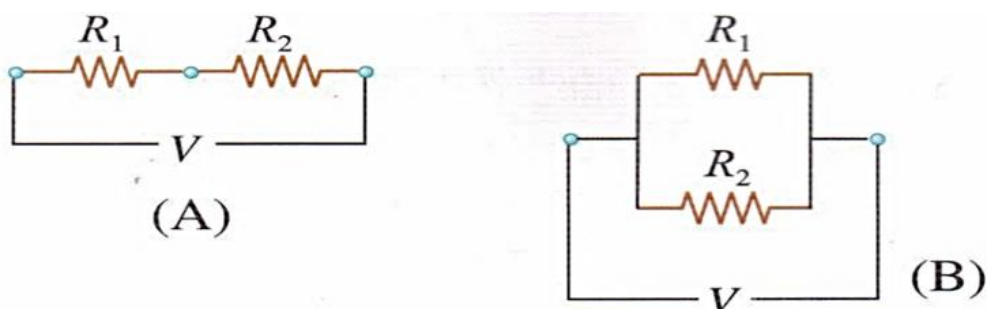


Figura 3.23: Ligações em série (A) e em paralelo (B) de resistores (R_1 e R_2)

Fonte: Chaves e Sampaio (2007, p. 105).

Resistores ligados em série transportam a mesma corrente e resistores ligados em paralelo estão submetidos à mesma voltagem. Na ligação em série, a mesma corrente passa pelos dois resistores. Na ligação em paralelo, os dois resistores estão sujeitos a uma mesma voltagem, enquanto a corrente se divide pelos dois ramos do circuito.

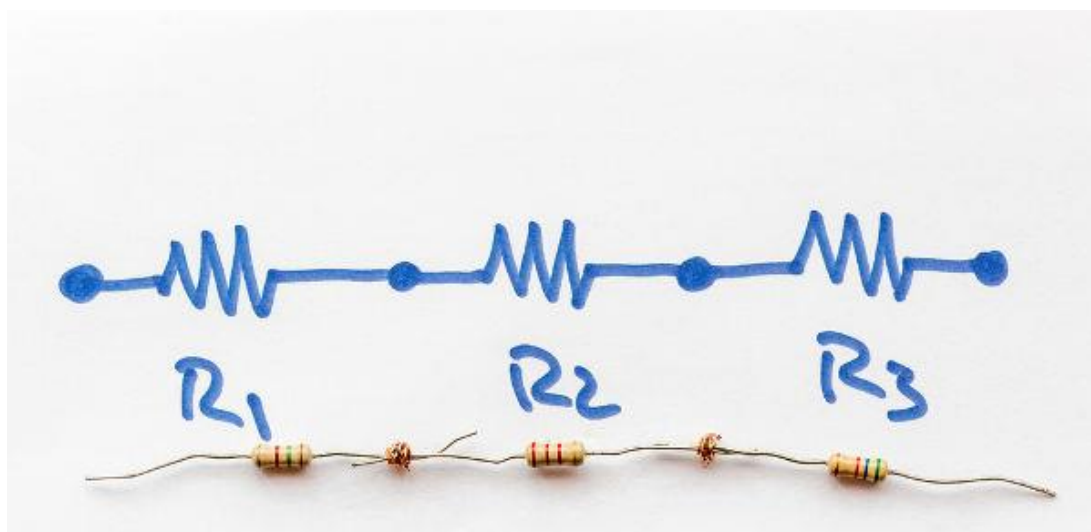


Figura 3.24: Associação de resistores em série.

Fonte: Helerbrock, (2022, n.p.).

Como podemos observar acima (Figura 3.24), na ligação em série, a corrente elétrica é igual para todos os resistores. Nos cálculos que envolvem circuitos elétricos, é conveniente substituir uma determinada associação de resistores por um resistor equivalente. Os resistores ligados em série podem ser substituídos por um resistor equivalente R_{eq} percorrido pela mesma corrente I e com a mesma diferença de

potencial V que os resistores originais. Considerando inicialmente dois resistores ligados em série (Figura 3.23 A), de resistências R_1 e R_2 , a resistência equivalente da associação é dada pela equação:

$$V = R_{eq} I \quad (17)$$

A voltagem V é a soma das voltagens aplicadas a cada um dos dois resistores associados em série, ou seja,

$$V = V_1 + V_2 \quad (18)$$

Que, a partir da Equação 17, poderá ser escrita na forma:

$$V = R_1 I + R_2 I = (R_1 + R_2) I \quad (19)$$

Comparando a Equação 17 com a Equação 19, conclui-se que a resistência equivalente de dois resistores associados em **série** é dada por:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 \quad (20)$$

Generalizando este resultado para o caso de n resistores ligados em série, têm-se:

$$R_{eq} = \sum_{I=1}^n R I \quad (21)$$

Caso os resistores estejam ligados em **paralelo** (Figura 3.23 B), tem-se:

$$I = I_1 + I_2 \quad (22)$$

ou

$$I = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} = V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (23)$$

que comparando com a Equação 20, permite-se concluir que a resistência equivalente de dois resistores associados em **paralelo** é dada por:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}, \quad (24)$$

ou

$$R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (25)$$

para o caso de apenas dois resistores. Para uma combinação com n resistores ligados em paralelo (Figura 3.25), a Equação 25 pode ser escrita da seguinte forma:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{l=1}^n \frac{1}{R_l} \quad (26)$$

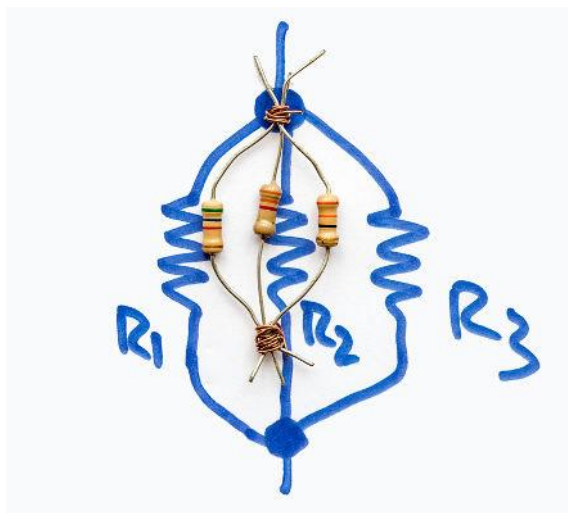


Figura 3.25: Na associação em paralelo, a corrente elétrica é dividida entre os diferentes ramos do circuito.

Fonte: Helerbrock, (2022, n.p.).

Quando os resistores são associados em série e em paralelo num mesmo circuito, denomina-se Associação **Mista** de Resistores. De acordo com as Figuras 3.26 e 3.27, os resistores R_1 e R_2 estão ligados em série e os resistores R_3 e R_4 estão ligados em paralelo.

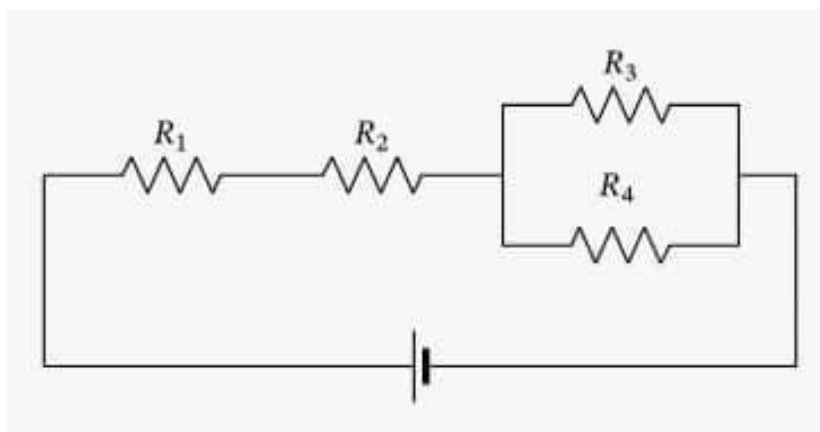


Figura 3.26: Associação Mista de Resistores.

Fonte: Nagwa (2022, n.p.)



Figura 3.27: Associação Mista de Resistores.

Fonte: Helerbrock, (2022, n.p.).

Para chegar ao resistor equivalente, deve-se resolver as associações por partes. Para isso, vai-se substituindo cada associação parcial (série ou paralelo) por um único resistor, reduzindo aos poucos o esquema da associação. Então, para encontrarmos o resistor equivalente da associação mostrada na Figura 3.26, podemos efetuar o cálculo da seguinte forma:

$$R_{eq} = (R_1 + R_2) + \left(\frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} \right) \quad (27)$$

Observações:

1) Quando se liga lâmpadas em paralelo, suas características (tensão elétrica nominal e potência nominal) se conservam como especificado pelo fabricante, por exemplo, 220 V - 60 W, mantendo o seu brilho característico (o brilho é proporcional à potência dissipada pela lâmpada). Ou seja, quando a lâmpada é ligada na tensão nominal, ela dissipa a potência nominal e seu brilho é normal. Quando ligada em tensão menor que a nominal, seu brilho é menor que o normal; já em tensão acima da nominal, a lâmpada dissipa potência maior que a nominal, podendo queimar-se (falha no filamento). (SERWAY; JEWETT JUNIOR, 2006);

2) Sabe-se que uma lâmpada acende quase instantaneamente quando um interruptor é ligado. Isto ocorre porque em um condutor, o campo elétrico que impulsiona os elétrons livres é estabelecido no condutor quase que instantaneamente. Assim, quando o interruptor é ligado, a força elétrica que faz que os elétrons passem a se deslocar através do fio começa imediatamente. Os elétrons que já estão no filamento da lâmpada passam a deslocar-se em resposta a essa força, e a lâmpada começa a emitir luz. Ou seja, os

elétrons não precisam se deslocar do interruptor de luz para o filamento da lâmpada para a luz acender, como alguns podem imaginar (SERWAY; JEWETT JUNIOR, 2006);

3) Algumas concepções espontâneas estão associadas à corrente elétrica em um circuito como o da figura abaixo (Figura 3.28). Uma delas é que a corrente vem de um dos terminais da bateria e é “gasta” enquanto atravessa o resistor. Logo, a corrente existe em apenas uma parte do circuito. A compreensão correta, no entanto, é que a corrente é a mesma em toda parte do circuito. Uma concepção equivocada relacionada a essa é a de que a corrente que sai do resistor é menor do que a que entra, porque uma parte da corrente é “gasta”. Outra concepção incorreta é a de que a corrente sai dos dois terminais da bateria, em direções opostas, “chocando-se” no resistor, e fornecendo a energia desta maneira. No entanto, a compreensão correta é que as cargas fluem no mesmo sentido rotacional em todos os pontos do circuito (SERWAY; JEWETT JUNIOR, 2006);

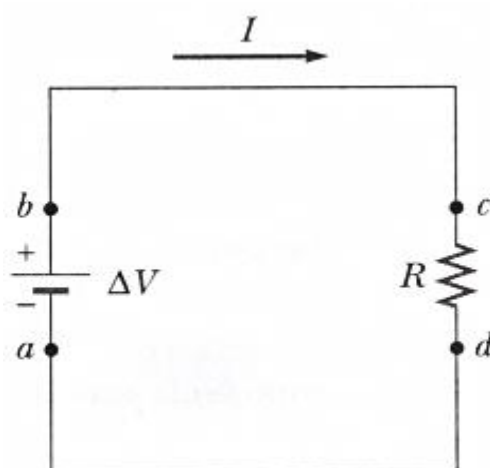


Figura 3.28: Um circuito que consiste em um resistor R e uma bateria com diferença de potencial ΔV entre seus terminais. A carga positiva flui no sentido horário.

Fonte: Serway e Jewett Junior (2006, p. 781).

4) A frase “a corrente segue a trajetória de menor resistência”, embora bastante utilizada, é uma frase incorreta. É uma referência a associação de resistores em paralelo de trajetórias de correntes, de maneira que a corrente possa seguir uma ou mais trajetórias. O correto é que a corrente segue todas as trajetórias. Aquelas trajetórias com resistência menor terão correntes grandes, mas mesmo as trajetórias com resistência muito elevada transportam alguma corrente (SERWAY; JEWETT JUNIOR, 2006).

Capítulo 4

Breve Abordagem de conteúdos relacionados às Atividades Experimentais envolvendo as Leis de Faraday e Lenz

4.1. Relembrando alguns conceitos importantes

Antes de iniciar os estudos relacionados à indução eletromagnética, é importante retomar alguns conceitos que são fundamentais para uma compreensão satisfatória do referido fenômeno, a saber (MÁXIMO; ALVARENGA, 2007):

1º) O eletromagnetismo, abrangendo o estudo dos fenômenos elétricos e magnéticos, surgiu com a constatação de que esses fenômenos têm uma origem comum: a carga elétrica;

2º) Cargas estáticas geram campos elétricos, enquanto cargas em movimento, isto é, correntes, geram campos magnéticos. Todo campo magnético se estabelece por cargas elétricas em movimento. Esse fenômeno foi constatado, experimentalmente, em 1820, pelo Físico Dinamarquês H. Oersted. A Figura 4.1 representa uma repetição da experiência de Oersted:

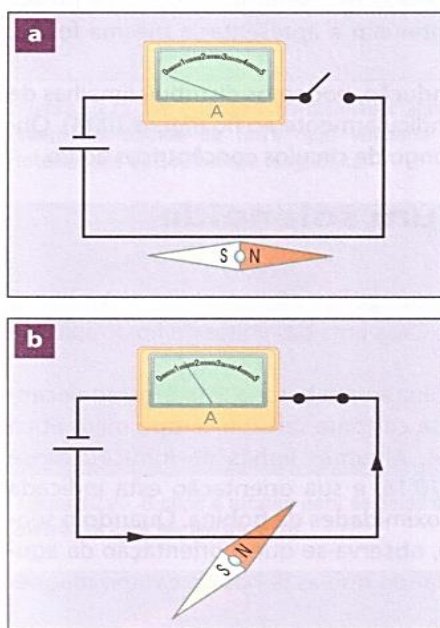


Figura 4.1: Experiência de Oersted.

Fonte: Máximo e Alvarenga (2007, p. 405).

De acordo com a experiência da Figura 4.1:

- um fio retilíneo (no qual não há corrente elétrica) é colocado sobre uma agulha magnética, orientada livremente na direção norte-sul (Figura 4.1a);
- fazendo-se passar uma corrente no fio no fio (fechando-se o circuito), observa-se que a agulha se desvia, tendendo a adotar uma direção perpendicular ao fio (Figura 4.1b);
- interrompendo-se a corrente no fio (abrindo-se o circuito), a agulha volta a se orientar na direção norte-sul.

3º) Um solenoide (bobina), percorrido por uma corrente elétrica, tem um comportamento semelhante ao de um ímã. Assim, pode-se dizer que o solenoide se constitui em um eletroímã, ou seja, um ímã obtido através de corrente elétrica, conforme ilustrado pela Figura 4.2.

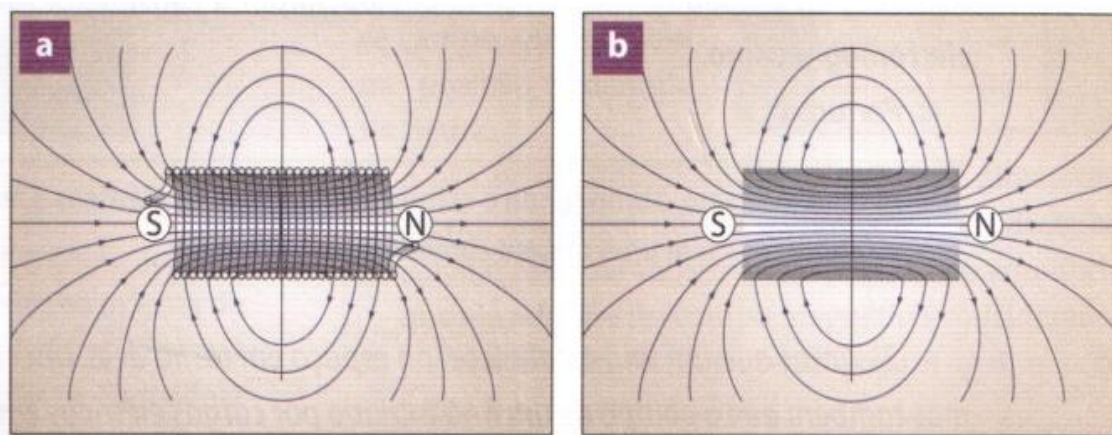


Figura 4.2: Experiência de Oersted.

Fonte: Máximo e Alvarenga (2007, p. 406).

4º) Materiais como ferro, cobalto, níquel, gadolínio e disprósio são fortemente magnéticos, sendo chamados de ferromagnéticos. Um alto grau de alinhamento dos ímãs elementares, constituídos pelos átomos, só ocorre com as substâncias ferromagnéticas. As demais substâncias apresentam normalmente um alinhamento muito pequeno, cujo efeito magnético externo não é perceptível;

5º) Um campo magnético é criado por cargas elétricas em movimento, e esse campo somente atua em outras cargas elétricas, exercendo forças sobre elas, se essas cargas também estiverem em movimento.

4.2 Indução Eletromagnética: Lei De Faraday

A experiência de Oersted comprovou que um condutor percorrido por corrente elétrica produz um campo magnético. A partir desta descoberta, os cientistas da época passaram, então, a pesquisar a possibilidade de ocorrência do inverso: obter corrente elétrica a partir de ações exercidas por campos magnéticos (MÁXIMO; ALVARENGA, 2007).

No início dos anos de 1830, Michael Faraday (Físico Inglês) e Joseph Henry (Físico Estadunidense) descobriram, independentemente, que uma corrente elétrica poderia ser gerada magneticamente - mas tal efeito é apenas observado quando o fluxo magnético que atravessa o circuito varia com o tempo. Este fenômeno é conhecido como Indução Eletromagnética e as correntes e força eletromotriz (f_{em}) que são geradas deste modo são chamadas de correntes induzidas e f_{em} induzida (MÁXIMO; ALVARENGA, 2007).

É importante destacar que a descoberta do fenômeno da indução eletromagnética deu origem ao desenvolvimento de vários recursos tecnológicos disponíveis atualmente, que influenciam direta e positivamente as nossas vidas, facilitando muitas de nossas tarefas diárias. Tal descoberta permitiu a construção de geradores mecânicos conhecidos como **dínamos**, que, baseado no fenômeno mencionado, transforma energia mecânica em energia elétrica. O primeiro gerador mecânico foi construído no ano seguinte à descoberta e alavancou o desenvolvimento tecnológico, principalmente devido à nova forma de corrente elétrica que poderia ser gerada (corrente alternada). Certamente, uma das principais aplicações desses geradores é sua utilização nas usinas hidrelétricas que são a principal fonte de energia elétrica no Brasil (MÁXIMO; ALVARENGA, 2007).

Ressalta-se que a Lei da Indução Eletromagnética não foi escrita por Faraday em linguagem matemática. Faraday não possuía uma formação que o permitia escrever a sua descoberta através de uma abordagem matemática. A equação matemática que usualmente conhecemos como Lei de Faraday, e que constitui uma das quatro Leis Fundamentais do Eletromagnetismo, foi elaborada e escrita por James Clerk Maxwell (1831-1879), físico e Matemático Britânico. Maxwell foi um dos mais importantes nomes da Física, mais conhecido por ter dado forma final à teoria moderna do eletromagnetismo (HELERBROCK, 2022).

Antes das descobertas de Faraday, só se conhecia corrente elétrica gerada por pilhas e baterias (corrente contínua). Era praticamente impossível, por exemplo, o

fornecimento de energia elétrica suficiente para alimentar uma cidade (MÁXIMO; ALVARENGA, 2007). A importante descoberta de Faraday pode ser compreendida analisando a simples experiência mostrada na Figura 4.3, que ilustra um ímã e um solenoide cujas extremidades estão ligadas a um amperímetro:

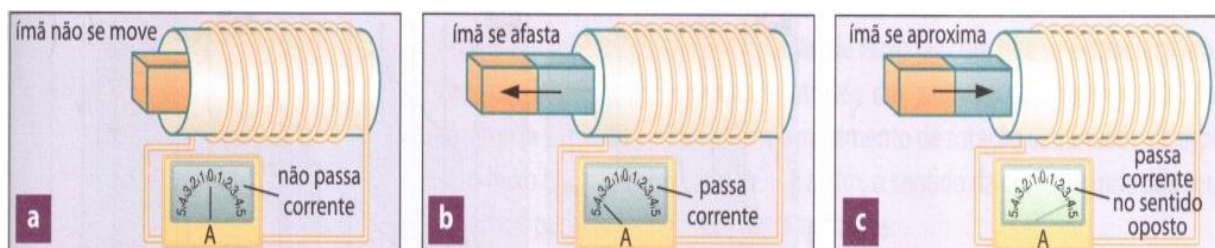


Figura 4.3: Quando o ímã é afastado ou aproximado de um solenoide (bobina), nele se estabelece uma corrente elétrica induzida.

Fonte: Máximo e Alvarenga (2007, p. 406).

De acordo com a Figura 4.3, observa-se que:

- No caso de um ímã em repouso no interior do solenoide (Figura 4.3a), a agulha do amperímetro não indica a passagem de corrente elétrica, ou seja, o efeito procurado não ocorre;
- Afastando-se o ímã do solenoide (Figura 4.3b), entretanto, o amperímetro imediatamente acusa a passagem de corrente nas espiras do solenoide. Se o movimento do ímã for interrompido, a corrente deixa de circular;
- Aproximando-se o ímã do solenoide, o amperímetro também indica a presença de uma corrente nas espiras, mas em sentido contrário ao interior (Figura 4.3c);
- Os mesmos efeitos são observados se o ímã for mantido em repouso e o solenoide movimentar aproximando ou afastando dele.

Para que se compreenda a Lei de Faraday da Indução Eletromagnética, torna-se necessário o conhecimento de um conceito muito importante, denominado “**fluxo magnético**”. Nos livros do Ensino Médio, quando abordado, o fluxo magnético é apresentado de maneira bastante simplificada. Aprofundando um pouco mais o estudo, o fluxo magnético pode ser definido de maneira similar ao fluxo do campo elétrico. Considere a Figura 4.4, que mostra uma espira condutora que envolve uma área **A**, submetida a um campo magnético \vec{B} .

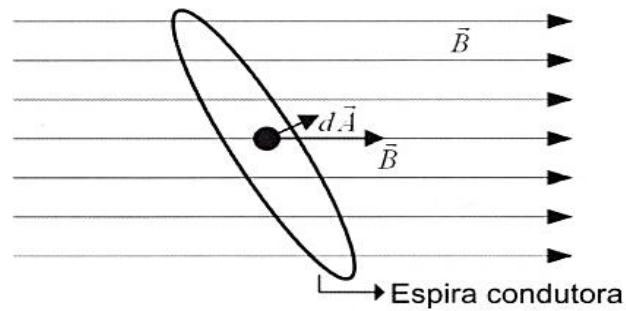


Figura 4.4: Fluxo Magnético.

Fonte: Helerbrock, (2022, n.p.).

O fluxo magnético Φ através da superfície “A” de uma espira condutora é o produto da área da superfície pela componente da indução magnética ortogonal a essa área em cada ponto, ou seja, a integral do produto escalar de B por dA , onde dA é um elemento infinitesimal de área:

$$\Phi = \int B \cdot dA \quad (28)$$

A unidade de fluxo magnético no SI é o Tesla \cdot m² ($T \cdot m^2$), denominado de Weber (Wb), em homenagem ao Físico Alemão Wilhelm Weber (1804-1891):

$$1 \text{ weber} = 1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \cdot \text{m}^2 \quad (29)$$

Foi no ano de 1831 que Faraday constatou que a variação de fluxo através de uma espira condutora, como a mostrada na Figura 4.5, faz surgir uma força eletromotriz (f_{em}) “ ϵ ” entre os terminais A e B. Como caso especial da Equação 28, suponha que a espira esteja em um plano e que o campo magnético seja perpendicular ao plano da espira.

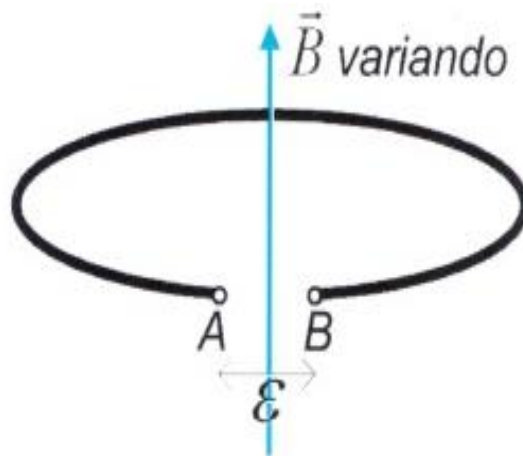


Figura 4.5: Força eletromotriz induzida em uma bobina.

Fonte: Helerbrock, (2022, n.p.).

Nesse caso, pode-se escrever o produto escalar da Equação 28 como $B dA \cos 0^\circ = B dA$. Se, além disso, o campo magnético for uniforme, B pode ser colocado de fora da integral. Assim, a integral se reduz a $\int dA$, que é simplesmente a área da espira. Então, a Equação 28 pode ser reescrita como $\Phi = BA$ e a variação de fluxo é analisada pela variação da indução magnética B .

A Lei de Faraday estabelece que a força eletromotriz " \mathcal{E} " induzida em uma espira, como a mostrada na Figura 4.5, é dada em volts:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (30)$$

No caso de N espiras (Figura 4.6), a força eletromotriz, em volts, será:

$$\mathcal{E} = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (31)$$

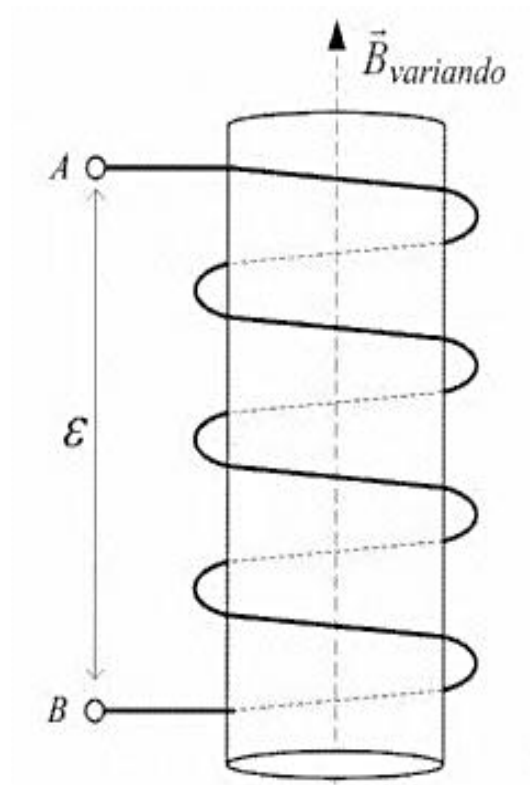


Figura 4.6: Força eletromotriz para N espirais.

Fonte: Helerbrock, (2022, n.p.).

O sinal negativo da Equação 30 indica que a força eletromotriz gerada no fenômeno da indução eletromagnética tende a se opor à variação do fluxo através do qual

foi criada. Esse sinal é mais bem explicado pela Lei de Lenz, que será abordada posteriormente. A Lei de Lenz foi assim denominada em homenagem ao Físico Estoniano Heinrich Friedrich Emil Lenz (1804-1865) (HELERBROCK, 2022).

4.3 Lei de Lenz

Em 1834, o cientista Heinrich Friedrich Lenz descobriu, a partir de resultados experimentais, que a variação do fluxo magnético através de uma espira fechada faz surgir na espira uma corrente induzida em um sentido tal que o fluxo gerado pela corrente induzida se opõe à variação do fluxo original. Então, o sinal negativo da Equação 30 significa que a fem (\mathcal{E}) cria uma corrente \mathbf{i} e um campo magnético \mathbf{B} que se opõem à mudança no fluxo Φ . Essa descoberta, que ficou conhecida como Lei de Lenz, é uma consequência direta do Princípio da Conservação da Energia e complementa a Lei de Indução de Faraday (MÁXIMO; ALVARENGA, 2007).

A Lei de Lenz pode ser ilustrada através da Figura 4.7a, b, c e d:

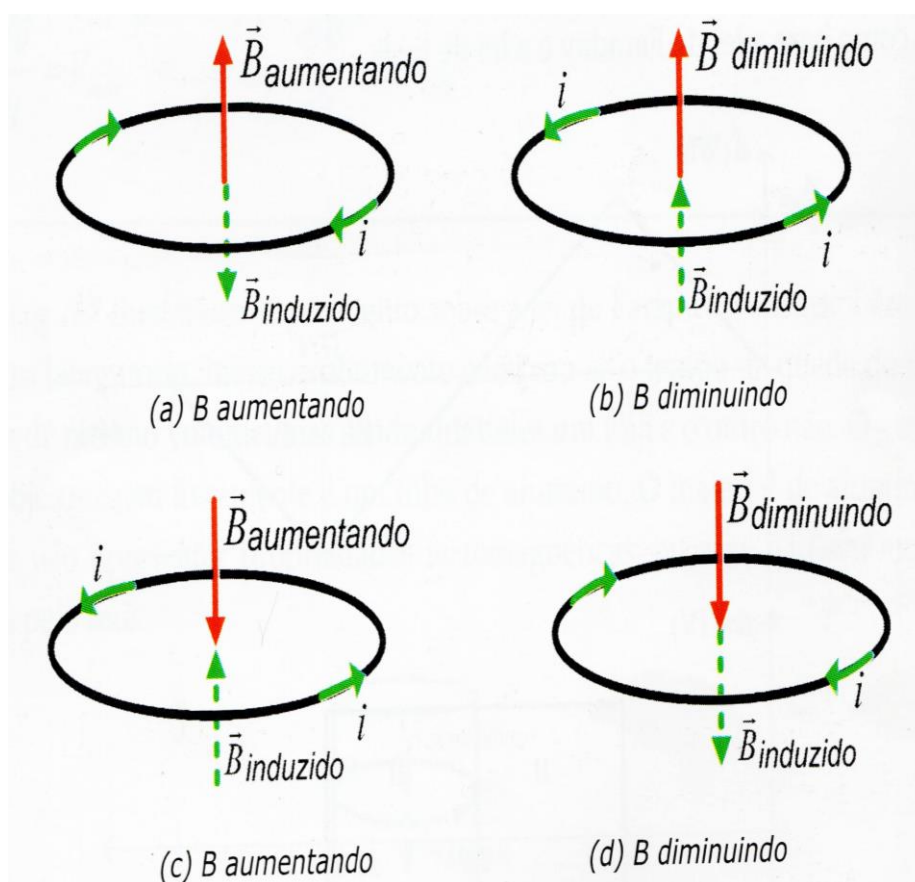


Figura 4.7: Corrente induzida em uma espira condutora.

A Tabela 4.1 informa a direção, o sentido do fluxo (indutor e induzido) e da corrente elétrica, conforme indica a Figura 4.7:

Figura 4.7	Fluxo original (indutor)	Fluxo induzido	Sentido da corrente induzida
(a)	Vertical, está aumentando e tem o sentido de baixo para cima	Vertical, sentido para baixo	Horário
(b)	Vertical, está diminuindo e tem o sentido de baixo para cima	Vertical, sentido para cima	Anti-horário
(c)	Vertical, está aumentando e tem o sentido de cima para baixo	Vertical, sentido para cima	Anti-horário
(d)	Vertical, está diminuindo e tem o sentido de cima para baixo	Vertical, sentido para baixo	Horário

Tabela 4.1: Direção, o sentido do fluxo (indutor e induzido) e da corrente elétrica, conforme a Figura 4.7.

Fonte: Adaptado de Máximo e Alvarenga (2007, p. 377).

Através do sentido da corrente induzida mostrada na Figura 4.7, é possível identificar o sentido da força eletromotriz induzida. A figura abaixo (Figura 4.8) mostra o sentido da força eletromotriz induzida para todas as situações mostradas na Figura 4.8:

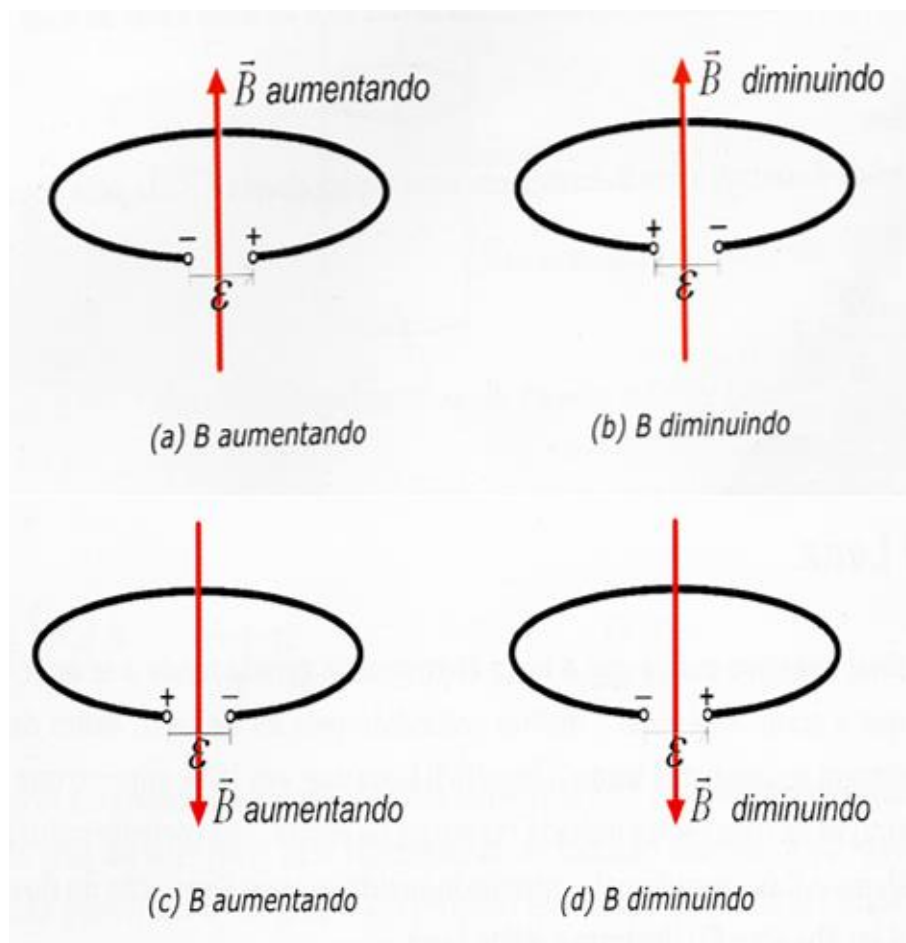


Figura 4.8: Sentido da força eletromotriz induzida em uma espira condutora.

Fonte: Lariucci (2010, p. 378).

Na Figura 4.7 (a), (b), (c) e (d), o sentido da *fem* é tal que, se a espira estivesse fechada, a corrente teria o sentido das correntes da Figura 4.8 (a), (b), (c) e (d), respectivamente.

Um experimento que é explicado pela Lei de Faraday e a Lei de Lenz (Lei de Faraday-Lenz) e muito propício para ser realizado durante as aulas sobre indução eletromagnética, é a frenagem magnética em um tubo. A figura abaixo (Figura 4.9) ilustra esse experimento. Nesse experimento, compara-se o tempo de queda de dois objetos metálicos de mesmo volume, preferencialmente com o mesmo formato, mas sendo um deles um ímã e o outro não. Os dois objetos deverão ser abandonados livremente no interior de um tubo de um material metálico que não apresenta propriedades ferromagnéticas como, por exemplo, alumínio ou cobre.

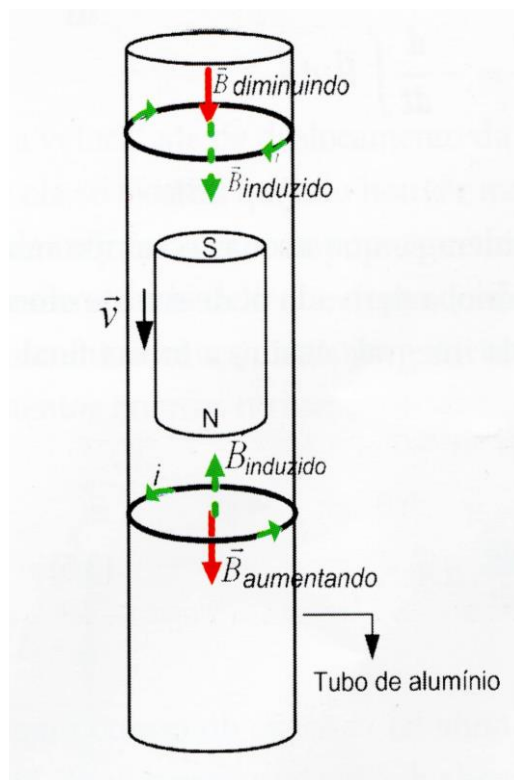


Figura 4.9: Experimento Lei de Faraday e Lei de Lenz.

Fonte: Lariucci (2010, p. 379).

Realizando esse mesmo experimento, só que utilizando um tubo de cobre, e tendo também a preocupação de desenvolver um modelo quantitativo simples que prediga a velocidade terminal do ímã que cai, os autores Silveira, Levin e Rizzato (2007), trazem a seguinte informação

O que de fato acontece quando realizamos este singelo experimento constitui-se em uma dramática demonstração da Lei da Faraday-Lenz! O magneto leva muito mais tempo para atravessar o tubo do que um objeto não-magnético de mesmo formato. Por exemplo, para atravessar um cano de cobre de 1,7 m de comprimento, um ímã de neodímio levou mais de 20 s (!) enquanto um corpo não-magnético percorreu toda a extensão do cano em cerca de 0,5 s apenas! (SILVEIRA; LEVIN; RIZZATO, 2007, p. 02).

Ao experimento da Figura 4.9, pode-se acrescentar o seguinte comentário:

Foi observado que o tempo de queda do objeto não ferromagnético é muito menor que o tempo de queda do ímã. As leis de Faraday e Lenz explicam o fenômeno: desprezando a resistência do ar, o material não ferromagnético desce em queda livre, sem qualquer resistência. No entanto, o ímã em movimento vertical, para baixo, induz uma corrente no tubo de alumínio; a corrente induzida cria um campo magnético contrário à variação do campo do ímã. A Figura 4.9 destaca dois anéis condutores, um na região acima do ímã e outro na região inferior.

O campo magnético é vertical para baixo tanto na região superior quanto na região inferior. No entanto, na região superior o campo magnético está diminuindo devido ao afastamento do ímã, enquanto que na região inferior o campo magnético está aumentando com a aproximação do ímã. A corrente induzida no anel superior tem, portanto, um sentido tal (sentido horário) que cria um campo induzido na mesma direção do campo indutor, ou seja, vertical para baixo. A corrente no anel inferior tem o sentido tal (sentido anti-horário) que o campo induzido é oposto ao campo indutor.

Analisando cada anel como um pequeno eletroímã verifica-se que no anel superior o polo norte está na parte inferior do anel, enquanto no anel inferior o polo norte está na parte superior do anel. Assim, o eletroímã formado pelos anéis superiores atrai o ímã, enquanto que o eletroímã formado pelos anéis inferiores repele o ímã. O resultado é uma força vertical para cima, oposta ao movimento descendente do ímã, fazendo com que o tempo de queda seja muito maior (LARIUCCI, 2010, p. 379).

Ademais, é importante observar que o movimento de queda do ímã é contínuo e sem interrupções. Se parasse de cair, não haveria força vertical contrária à força peso do ímã. É necessário haver movimento relativo entre o ímã e o tubo de alumínio para que haja corrente induzida (LARIUCCI, 2010, p. 379).

Capítulo 5

Aplicação do Produto Educacional – Considerações Gerais

O Produto Educacional envolve uma Sequência Didática contendo atividades experimentais, procedimentos metodológicos e questionários. Foram escolhidas três atividades experimentais relacionadas ao tema eletromagnetismo: **Experimento 1** – Circuito Elétrico Simples (Associação de Resistores); **Experimento 2** – Lei de Faraday-Lenz (frenagem eletromagnética de um ímã caindo em um tubo); **Experimento 3** – Bobina Faraday-Lenz (acendendo uma lâmpada de LED).

O produto foi desenvolvido e aplicado em uma turma da 3ª Série do Ensino Médio do Colégio Estadual Gilberto Arruda Falcão, situado no Distrito de Santo Antônio do Rio Verde, Município de Catalão, GO, no último bimestre do ano letivo de 2021. O produto educacional foi desenvolvido com a turma de forma presencial, porém em uma situação atípica. Sabe-se que, devido a pandemia de Coronavírus (COVID-19), as aulas presenciais foram suspensas por um longo período, mas, os trabalhos e estudos continuaram na modalidade de ensino remoto. Quando os trabalhos foram desenvolvidos na turma, esta havia retornado recentemente do ensino remoto para o presencial, porém, em uma situação delicada, onde havia alguns protocolos de segurança a serem seguidos.

O primeiro passo foi providenciar os elementos necessários como, por exemplo, adquirir materiais para atividades experimentais, construção dos aparatos, elaboração e impressão dos questionários etc. O segundo passo foi dirigir até à escola para uma conversa com a Coordenação Pedagógica e com o professor que ministrava a disciplina de Física. O objetivo dessa conversa era fazer um breve relato do trabalho de pesquisa e pedir permissão para que esse trabalho fosse desenvolvido na escola, especificamente na 3ª Série do Ensino Médio. Tanto o Coordenador Pedagógico como o professor da disciplina foram cordiais e prestativos, concordando e permitindo a intervenção pedagógica, inclusive se prontificando a conversar com professores de outras disciplinas que eventualmente poderiam ter uma aula ou outra envolvida no trabalho. Nesse primeiro contato com o Coordenador e o Professor de Física da escola, já ficaram estabelecidas as datas e horários para a realização dos trabalhos.

Na turma alvo dos trabalhos, as atividades propostas foram executadas nas datas previstas, com poucas exceções. Alguns imprevistos aconteceram, o que já era de se

esperar em um trabalho que envolve pesquisa e intervenção pedagógica. Os relatos e análises dos resultados obtidos a partir da aplicação do Produto Educacional serão apresentados posteriormente.

Antes de analisar e avaliar os resultados das atividades realizadas com a turma, é importante retomar o que se foi proposto, com antecedência, em termos de planejamento. A proposta foi planejada de acordo com o seguinte cronograma: Atividades relacionadas com o **Experimento 1**: três aulas de cinquenta minutos; Atividades relacionadas com o **Experimento 2**: duas aulas de cinquenta minutos; Atividades relacionadas com o **Experimento 3**: duas aulas de cinquenta minutos.

Conforme foi mencionado acima, a proposta foi idealizada para ser desenvolvida em sete aulas de cinquenta minutos, distribuídas em três dias. As atividades relacionadas ao Experimento 1 deveriam ser desenvolvidas no primeiro dia, fazendo uso de três aulas. As atividades relacionadas ao Experimento 2 seriam desenvolvidas no segundo dia de intervenção (duas aulas) e as relacionadas ao Experimento 3 seriam desenvolvidas no terceiro e último dia dos trabalhos (duas aulas). É importante frisar que a configuração apresentada anteriormente pode ser flexibilizada de acordo com as possibilidades do professor e a realidade da escola. No caso específico deste trabalho, a proposta foi executada de acordo com o que se havia previsto.

5.1 Desenvolvimento das atividades: Experimento 1 – Circuito Elétrico Simples

No que tange ao planejamento, para o desenvolvimento das atividades relacionadas ao Experimento 1, estava previsto: i) Uma conversa inicial com a turma; ii) Aplicação de questionário fazendo uso da técnica pré-teste e pós-teste e realização da atividade experimental. O tempo destinado ao desenvolvimento da atividade experimental seria dividido em dois momentos. No primeiro, o professor, diante da turma, realizaria todas as montagens previstas. No segundo, os alunos teriam liberdade de participar efetivamente da atividade. Veja abaixo o que estava proposto para ser trabalhado nas três aulas do primeiro dia: i) **Diálogo inicial**: apresentação, pedido de colaboração e participação nas atividades, questionamentos, etc.; ii) **Recursos didáticos**: aula expositiva e uso do quadro. **Tempo estimado**: 15 minutos; iii) **Aplicação do questionário sobre circuito elétrico simples / associação de resistores¹ (pré-teste)**. Esse mesmo questionário deverá ser aplicado novamente, logo após a realização da

atividade experimental. **Tempo estimado:** 25 minutos; iv) **Realização da atividade experimental² envolvendo circuito elétrico simples / associação de resistores de acordo com a sequência proposta no artigo³ (Primeiro Momento).** Na execução dessa atividade, a sequência das montagens deverá ser seguida rigorosamente. Os alunos observarão as experiências sendo realizadas e poderão fazer perguntas assim que tiverem alguma dúvida. **Recursos didáticos:** aula expositiva, atividade experimental, apresentação de slides, apresentação de vídeos etc. **Tempo estimado:** 45 minutos; v) **Realização da atividade experimental utilizando outras montagens com participação efetiva dos alunos e de acordo com suas curiosidades (Segundo Momento).** **Tempo estimado:** 40 minutos; vi) **Aplicação do questionário sobre circuito elétrico simples (pós-teste).** **Tempo estimado:** 25 minutos.

Considerando as estratégias e atentando aos procedimentos apresentados, os trabalhos referentes ao Experimento 1 foram desenvolvidos na turma com algumas alterações em relação ao número de dias (quatro dias em vez de três) e quanto a forma de realizar a atividade experimental. Essas mudanças serão enfatizadas no próximo capítulo. As estratégias e procedimentos também estão disponíveis no Produto Educacional (Apêndice I) de forma mais abrangente e com mais riqueza de detalhes. As figuras abaixo (Figuras 5.1 e 5.2) mostram o circuito elétrico utilizado na atividade experimental “**Experimento 1**” e os diversos materiais utilizados nas montagens.



Figura 5.1: Montagem de um circuito elétrico.

Fonte: Acervo do autor (2022).

² Em 1989, Silveira, Moreira e Axt elaboraram e validaram um teste para verificar se o respondente possuía ou não concepções científicas sobre corrente elétrica em circuito simples. O teste (questionário) é constituído de 14 itens, com três alternativas cada, sendo: uma coerente com concepções científicas sobre corrente elétrica, enquanto as outras duas coerentes com concepções espontâneas.

³ SILVA, M.C. Quais lâmpadas acendem? Entendendo o funcionamento dos circuitos elétricos.



Figura 5.2: Lâmpadas, fios e bocais.

Fonte: Acervo do autor (2022).

As figuras abaixo (Figuras 5.3-5.10) mostram a sequência das montagens realizadas no primeiro momento.

5.1.1. Primeira montagem

Nesta montagem foram utilizadas uma lâmpada de 7 W, uma de 15 W e uma de 60 W.

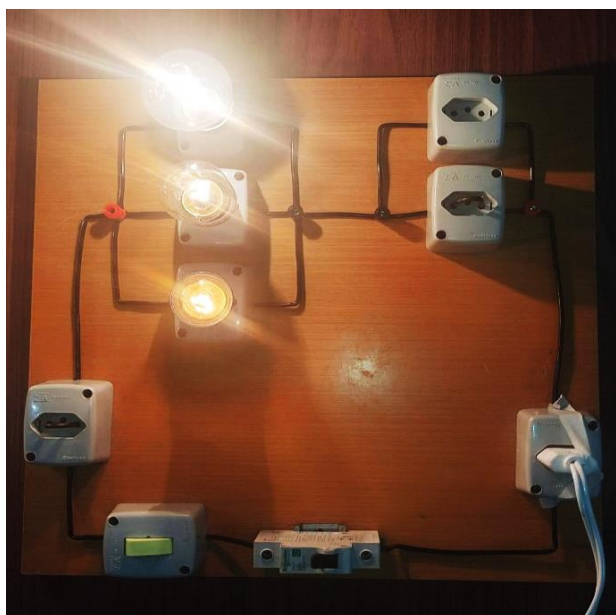


Figura 5.3: Ligação em paralelo feita com lâmpadas de potências diferentes.

Fonte: Acervo do autor (2022).

5.1.2. Segunda montagem

Nesta montagem foram utilizadas uma lâmpada de 7 W, uma de 15 W e uma de 60 W.

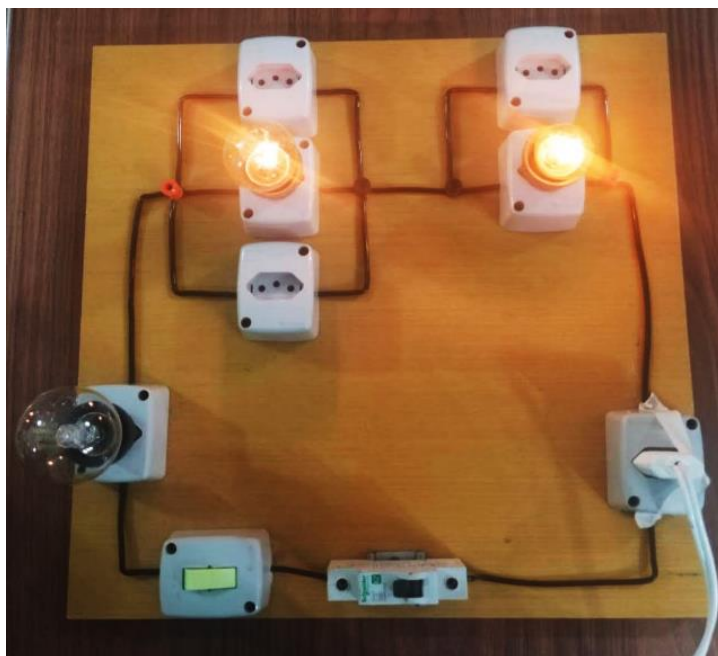


Figura 5.4: Ligação em série feita com lâmpada de potências diferentes.

Fonte: Acervo do autor (2022).

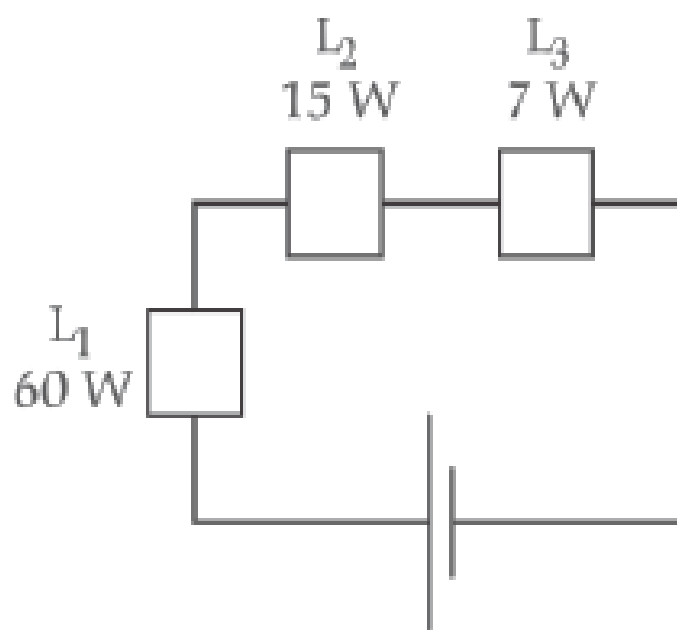


Figura 5.5: Circuito série referente à Figura 5.4.

Fonte: SILVA (2011, p. 17).

5.1.3. Terceira montagem

Nesta montagem foram utilizadas uma lâmpada de 7 W, três de 15 W e uma de 60 W.

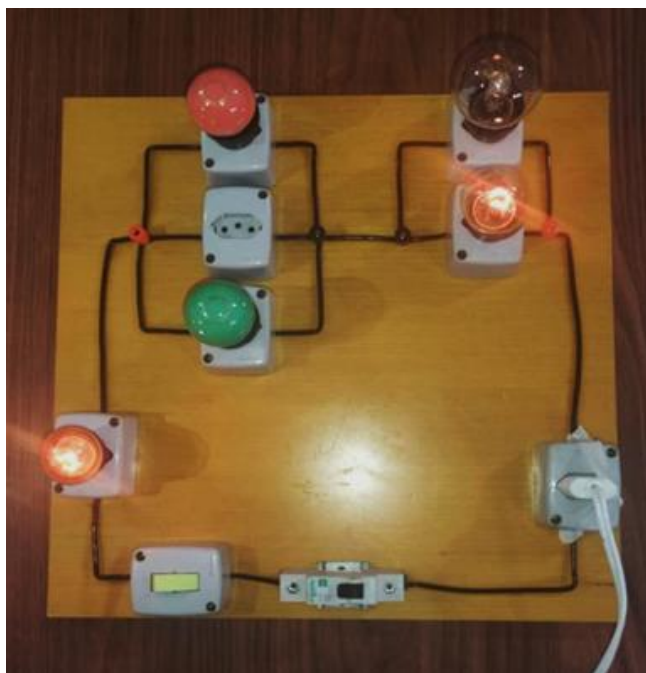


Figura 5.6: Ligação mista feita com lâmpadas com potências diferentes

Fonte: Acervo do autor (2022).

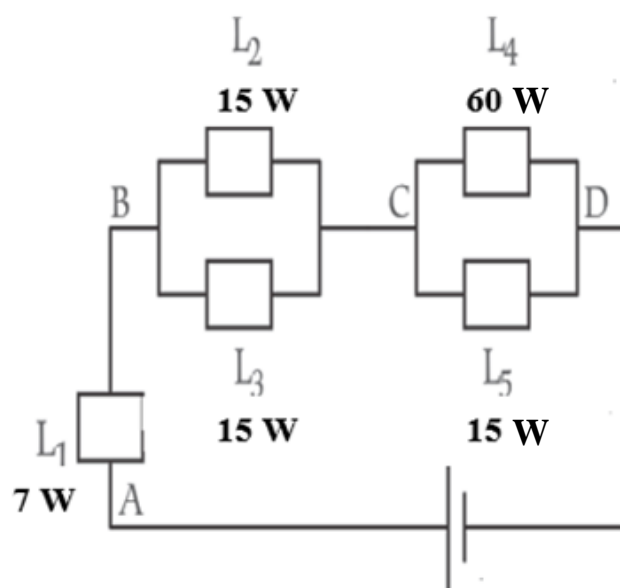


Figura 5.7: Circuito série referente à Figura 5.6

Fonte: SILVA (2011, p. 18).

5.1.4. Quarta montagem

Nesta montagem foram utilizadas uma lâmpada de 7 W, três de 15 W e uma de 60 W.

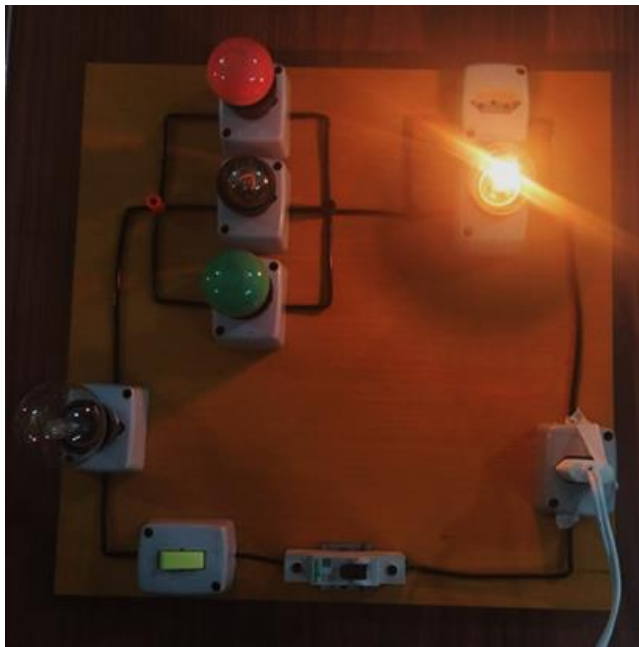


Figura 5.8: Outra ligação mista feita com lâmpadas com potências diferentes

Fonte: Acervo do autor (2022).

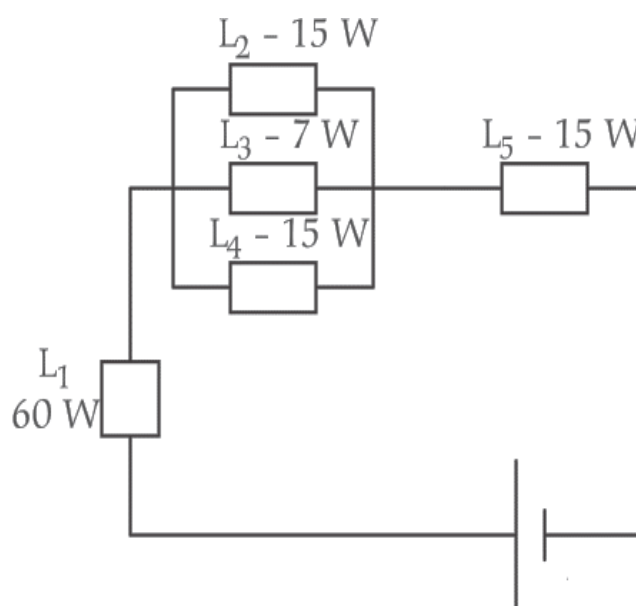


Figura 5.9: Circuito série referente à Figura 5.8

Fonte: SILVA (2011, p. 18).

Para o segundo momento da atividade experimental, é importante que outras lâmpadas sejam disponibilizadas aos alunos, inclusive algumas de mesma potência nominal. A figura abaixo (Figura 5.10) mostra outras lâmpadas que foram utilizadas no segundo momento.



Figura 5.10: Outras lâmpadas.

Fonte: Acervo do autor (2022).

Observação: É imprescindível que o professor acompanhe de perto a realização dessa atividade, não somente interagindo e esclarecendo as dúvidas dos alunos, mas também orientando quanto alguns cuidados necessários para evitar acidentes. Para o bom desenvolvimento da atividade se faz necessário providenciar alguns pares de luvas de tecido ou algumas toalhinhas para evitar queimaduras nos alunos quando tocarem nas lâmpadas.

5.2 Desenvolvimento das atividades: Experimento 2 – Lei de Faraday-Lenz

Nas duas aulas do segundo dia estavam previstos: i) Realizar, juntamente com os alunos, o **Experimento 2** – Lei de Faraday-Lenz (frenagem eletromagnética de um ímã caindo em um tubo), seguindo os passos sugeridos no Produto Educacional (Apêndice I – Produto Educacional). **Recursos didáticos:** aula expositiva, atividade experimental, apresentação de slides, apresentação de vídeos. **Tempo estimado:** 80 minutos; ii) Aplicar os questionários 1 e 2 referentes ao Experimento 2 (tubo). **Tempo estimado:** 20 minutos.

As Figuras 5.11-5.13 mostram os materiais (aparato) utilizados na atividade experimental “Experimento 2”.

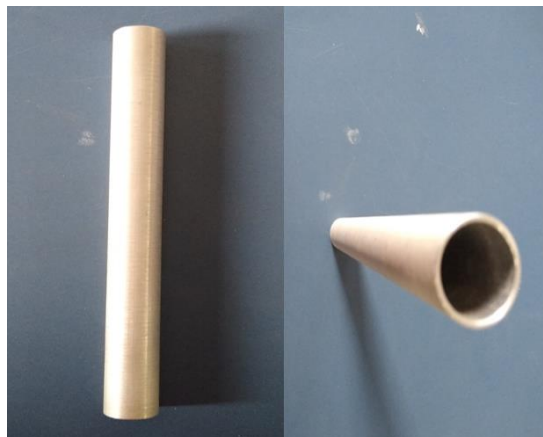


Figura 5.11: Tubo de alumínio em diferentes ângulos

Fonte: Acervo do autor (2022).



Figura 5.12: Imã de Neodímio formato de cilindro

Fonte: Acervo do autor (2022).



Figura 5.13: Peça de ferro em formato de cilindro

Fonte: Acervo do autor (2022).

5.3 Desenvolvimento das atividades: Experimento 3 – Bobina Faraday-Lenz

Nas duas aulas do terceiro dia estavam previstos: i) Realizar, juntamente com os alunos, o **Experimento 3** – Bobina Faraday-Lenz (acendendo uma lâmpada de LED), seguindo as estratégias sugeridas no Produto Educacional (Apêndice I). **Recursos didáticos:** aula expositiva, atividade experimental, apresentação de slides, apresentação de vídeos. **Tempo estimado:** 80 minutos; ii) Aplicar o questionário referente ao Experimento 3 (Led). **Tempo estimado:** 10 minutos; iii) Aplicar o questionário geral referente aos Experimentos 2 e 3. **Tempo estimado:** 10 minutos.

A Figura 5.14 mostra os materiais (aparato) utilizados na atividade experimental “Experimento 3”.

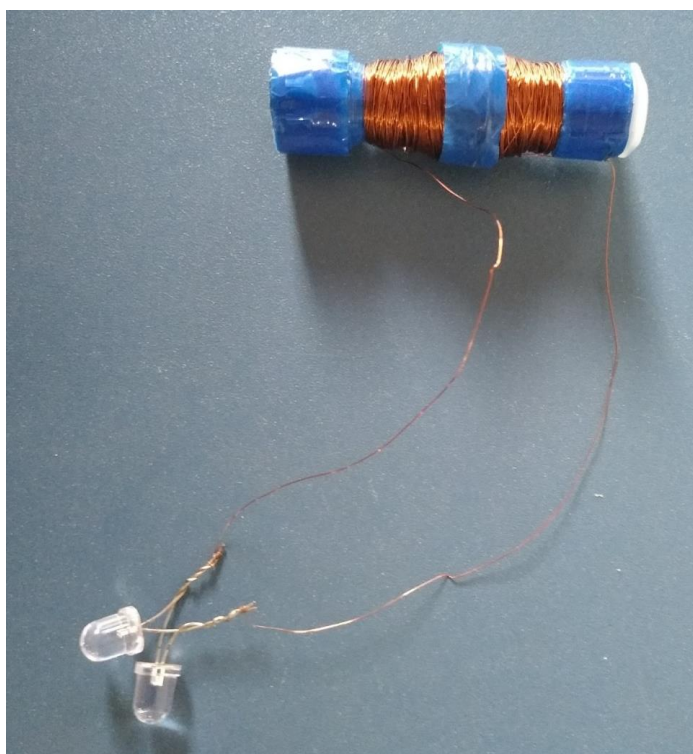


Figura 5.14: Materiais (aparato) utilizados na atividade experimental 3.

Fonte: Acervo do autor (2022).

Capítulo 6

Aplicação do Produto Educacional – Resultados e Análise

Como já foi mencionado anteriormente, no início do Capítulo 5, quando os trabalhos foram desenvolvidos com a turma, a situação era bastante atípica, pois a mesma havia retornado, há poucos dias, do ensino remoto para o presencial. A Coordenação Pedagógica da escola permitiu a realização dos trabalhos, mas, com algumas ressalvas concernentes aos protocolos de segurança adotados pela escola devido à pandemia, como, por exemplo, o uso obrigatório de máscaras e o distanciamento social. A turma contava com 26 alunos que deveriam permanecer enfileirados e mapeados, inclusive, com marcas no piso da sala de aula, delimitando o lugar de cada carteira. Então, foi necessário fazer algumas modificações e adequações no planejamento das atividades.

De acordo com o cronograma planejado, os trabalhos referentes ao Experimento 1 (Circuito Elétrico Simples - Associação de Resistores) deveriam ser desenvolvidos em três aulas, em um único dia. Porém, o próprio professor de Física da turma sugeriu que o trabalho fosse desenvolvido em dois dias, utilizando uma aula no primeiro dia e duas no segundo. O professor alertou que era necessário fazer um trabalho de conscientização com a turma antes do desenvolvimento das atividades, pois, segundo o próprio professor, a turma estava totalmente desmotivada e descompromissada com qualquer atividade escolar e que só havia frequência dos alunos naquele momento porque era semana das avaliações finais e não fora permitido aos alunos a realização de provas online.

A sugestão do professor da turma foi acatada e os trabalhos relacionados ao Experimento 1 foram desenvolvidos utilizando uma aula no primeiro dia e duas aulas no dia seguinte. Os trabalhos referentes aos Experimentos 2 e 3 foram desenvolvidos com a turma no terceiro e no quarto dia, respectivamente. O professor da turma foi convidado a acompanhar os trabalhos, mas, ele achou por bem se ausentar durante as aulas dedicadas ao desenvolvimento das atividades.

Uma informação importante a respeito do professor que lecionava a disciplina de Física na turma é que ele tinha formação em Física, ou seja, não estava atuando fora de área. Porém, é do conhecimento de muitos que uma boa parte dos professores que ministram a disciplina de Física nas escolas públicas atuam fora de sua área de formação, dentre estes, a maioria tem formação em Matemática.

A primeira aula ocorreu na data prevista. De início, foi apresentada aos alunos a proposta do trabalho de pesquisa e, também, foi feito um pedido de colaboração e participação deles no desenvolvimento das atividades planejadas. Nesse diálogo inicial, foram feitas as seguintes perguntas: 1ª) Vocês estão dispostos a cooperar e participar das aulas relacionadas aos trabalhos da aplicação do Produto Educacional?; 2ª) Vocês gostam da disciplina de Física?; 3ª) Qual o conteúdo de Física vocês estão estudando?; 4ª) O professor de Física costuma realizar atividades experimentais com a turma de vocês?; 5ª) Vocês já estudaram os conteúdos carga elétrica, diferença de potencial, corrente elétrica, resistência elétrica, Lei de Ohm, potência elétrica, circuito elétrico simples e associação de resistores?; 6ª) Vocês acharam difícil o estudo sobre circuito elétrico e associação de resistores?

Diante da primeira pergunta, todos os alunos demonstraram concordância em colaborar e participar das atividades. Uma das alunas chegou a dizer: ***“acho muito interessante as atividades experimentais”***. Mas, um outro aluno alertou: ***“não confie não professor, essa turma está muito desinteressada”***.

Já as respostas dadas à segunda pergunta, foram, de certa forma, decepcionantes. Dos 26 alunos presentes, apenas quatro disseram que gostavam da disciplina de Física. E desses quatro, três disseram que gostavam de Física porque gostavam de Matemática e não tinham dificuldades para fazer cálculos. Apenas uma aluna afirmou que gostava de Física porque a disciplina explica vários fenômenos presentes no cotidiano das pessoas. Dentre os alunos que afirmaram não gostar de Física, as justificativas foram variadas, como por exemplo, a disciplina é chata, a disciplina é muito difícil, não gosto de fazer cálculos, tenho dificuldade com a matemática etc.

Em relação à terceira pergunta, alguns alunos responderam que estavam estudando magnetismo. Um outro afirmou: ***“nesse semestre já estudamos eletricidade e agora estamos estudando magnetismo”***. Esse aluno foi questionado de qual seria o ramo da Física responsável pela junção de eletricidade com magnetismo, mas não conseguiu responder. Porém, um outro aluno já adiantou a resposta dizendo: ***“é o eletromagnetismo”***. Em relação à quarta pergunta, os alunos responderam que o professor já tinha realizado atividades experimentais com a turma mais de uma vez. Porém, ainda não havia realizado nenhum experimento dentro da área de eletromagnetismo. Para a quinta pergunta, os alunos responderam “sim”, que o professor de Física já havia trabalhado todos esses conteúdos com a turma. E, em relação a última pergunta, a maioria dos alunos respondeu que não teve muitas dificuldades com os

conteúdos em questão. Uma aluna chegou a dizer: ***“achei associação de resistores um dos conteúdos mais fáceis dentre os que estudamos esse ano em Física”***.

Ainda na primeira aula, foi aplicado o questionário sobre circuito elétrico simples - associação de resistores (pré-teste). Houve uma orientação para que cada aluno colocasse seu nome completo no cartão resposta do questionário, mas, com a garantia de que nenhum dos nomes seriam divulgados no trabalho de pesquisa. Essa orientação para que cada aluno registrasse seu nome, permitiu uma análise comparativa mais abrangente dos resultados.

Durante a execução da primeira aula, ficou nítido que alguma estratégia, não pensada antes, precisaria ser utilizada para a continuidade dos trabalhos nas próximas aulas, pois uma parcela significativa da turma não estava colaborando. Alguns alunos responderam ao questionário rapidamente, dois deles sequer respondeu. Alguns não obedeciam às normas referentes aos protocolos de segurança, levantavam-se e iam na carteira do colega, mas, o principal problema era o uso do celular em sala de aula. Diante dos muitos apelos e pedidos de atenção, os alunos desinteressados não retrucavam, mas também não mudavam suas posturas. Foi aí que surgiu a ideia de estar sorteando alguns brindes com os alunos ao final dos trabalhos. Porém, para participar dos sorteios, os alunos precisariam prestar atenção no que estava sendo apresentado, participar das atividades experimentais e responder com afinco e dedicação aos questionários.

No segundo dia de trabalho, no início das aulas, os alunos foram informados do sorteio, os brindes foram apresentados à turma e os requisitos para participar dos sorteios foram estabelecidos. Houve, aparentemente, uma maior disposição por parte dos alunos e muitos gostaram da ideia do sorteio. Assim que as informações acerca do sorteio foram passadas, iniciou-se as atividades planejadas para as aulas. O próprio contato visual que os alunos tiveram do aparato experimental já foi suficiente para despertar a atenção de vários deles. Uma mesa foi posta em frente ao quadro, centralizada, e sobre essa mesa foi colocado o aparato do Experimento 1 (Circuito Elétrico). Antes, o aparato foi apresentado aos alunos e foi feito um breve relato dos materiais utilizados em sua fabricação. Em uma outra mesa, colocada ao lado da primeira, foram colocados os materiais que seriam utilizados nas várias montagens.

Todas as montagens previstas foram feitas diante da turma. Como, devido aos protocolos de segurança, os alunos deveriam permanecer em seus respectivos lugares, alguns tiveram a visão prejudicada, ou por causa de outro colega, ou devido à distância que se encontravam da mesa com o aparato. A ideia inicial era colocar as mesas com o

aparato no centro da sala de aula com os alunos se organizando em forma de círculo em torno delas.

Observou-se que os alunos que estavam mais próximos das mesas envolveram de forma mais acentuada com a atividade, trocando ideias com outros colegas e/ou tirando dúvidas com o professor. Muitas foram as demonstrações de surpresa diante das montagens e da recorrente pergunta: quais lâmpadas acenderão e com que brilho? Alguns alunos até sugeriram outras montagens, com lâmpadas com outras potências nominais, e foram avisados que tal atividade estava prevista, porém, seria muito difícil de realizá-la com os alunos mapeados em sala como estavam. Além das montagens previstas para o primeiro momento, foram feitas algumas poucas montagens (série e paralela) utilizando lâmpadas com a mesma potência nominal.

O segundo momento, onde os próprios alunos teriam a oportunidade de “colocar a mão na massa”, fazendo montagens de acordo com suas preferências e conveniências, não pôde ser realizado e foi substituído pela apresentação de dois vídeos, baixados do Youtube, que também retratavam um circuito elétrico simples com lâmpadas fazendo o papel de resistores. Nos dois vídeos, foram trabalhadas as associações em série, paralela e mista, mas, utilizando lâmpadas com a mesma potência nominal.

As atividades tiveram uma participação até razoável dos alunos. Os que não participavam ativamente, também, não prejudicavam o andamento da aula e o desenvolvimento das atividades, pois permaneciam quietos em seus cantos, apenas mexiam no celular, utilizando fones de ouvido.

Os vídeos apresentados no segundo momento foram criteriosamente selecionados: apresentavam curta duração, demonstrações claras e precisas e explicações bem fundamentadas. Os alunos que estavam interagindo mais com as atividades desenvolvidas, assistiram aos vídeos com mais atenção.

Assim que o segundo vídeo encerrou, o questionário aplicado na primeira aula foi reaplicado. Alguns alunos ficaram surpresos e perguntaram: “É o mesmo questionário que respondemos anteriormente?”. A eles foi explicado que a utilização do mesmo questionário em dois momentos distintos tratava-se de uma metodologia bastante usada em pesquisas envolvendo ensino e aprendizagem, que é a técnica do pré-teste e pós-teste. No caso específico, o pré-teste tinha como objetivo averiguar o conhecimento do aluno sobre o assunto em questão e o pós-teste, analisar se, com as atividades desenvolvidas com a turma, houve uma melhor compreensão dos mesmos conteúdos, ou seja, o pós-

teste serviria para verificar se houve uma evolução na assimilação dos conceitos relacionados ao funcionamento dos circuitos elétricos.

6.1 Resultados do questionário relacionado ao Experimento 1 (pré-teste e pós-teste)

Dos 26 alunos que compunham a turma, apenas 24 responderam ao questionário. Os alunos serão denominados como: A1, A2, A3, ..., A24. A tabela abaixo (Tabela 6.1) relaciona o número de acertos de cada um dos 24 alunos da turma no questionário envolvendo Circuito Elétrico (Pré-teste e Pós-teste).

ALUNOS (Turma B)	Nº ACERTOS (Pré-Teste)	Nº ACERTOS (Pós-Teste)
A1	8	8
A2	4	4
A3	4	9
A4	4	5
A5	7	11
A6	8	8
A7	7	7
A8	5	10
A9	3	7
A10	5	8
A11	6	8
A12	5	4
A13	5	7
A14	7	7
A15	5	6
A16	5	7
A17	6	4
A18	3	3
A19	4	5
A20	4	6
A21	6	7
A22	3	8
A23	6	4
A24	2	5

Tabela 6.1: Número de acertos dos alunos no questionário sobre circuito elétrico (pré-teste e pós-teste).

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Os resultados obtidos na turma, em relação ao questionário aplicado, também podem ser expressos relacionando o número de acertos com cada questão. As 14 questões do questionário serão representadas por Q1, Q2, Q3, ..., Q14. A tabela abaixo (Tabela 6.2), mostra a relação do número de acertos por questão, no pré-teste e no pós-teste.

QUESTÕES	Nº ACERTOS (Pré-Teste)	Nº ACERTOS (Pós-Teste)
Q1	15	23
Q2	8	11
Q3	18	11
Q4	5	5
Q5	4	8
Q6	7	2
Q7	11	14
Q8	10	4
Q9	10	21
Q10	9	11
Q11	2	9
Q12	5	13
Q13	8	11
Q14	12	10

Tabela 6.2: Número de acertos dos alunos por questão (pré-teste e pós-teste).

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

6.1.2 Análise dos resultados obtidos a partir da aplicação do questionário referente a atividade experimental 1 (Experimento 1)

O gráfico abaixo (Figura 6.1) mostra o desempenho dos alunos da turma no questionário envolvendo circuito elétrico (Experimento 1), aplicado fazendo uso da técnica de pré-teste e pós teste, relacionando cada um dos 24 alunos que participaram das atividades e responderam ao questionário, com seus respectivos acertos.

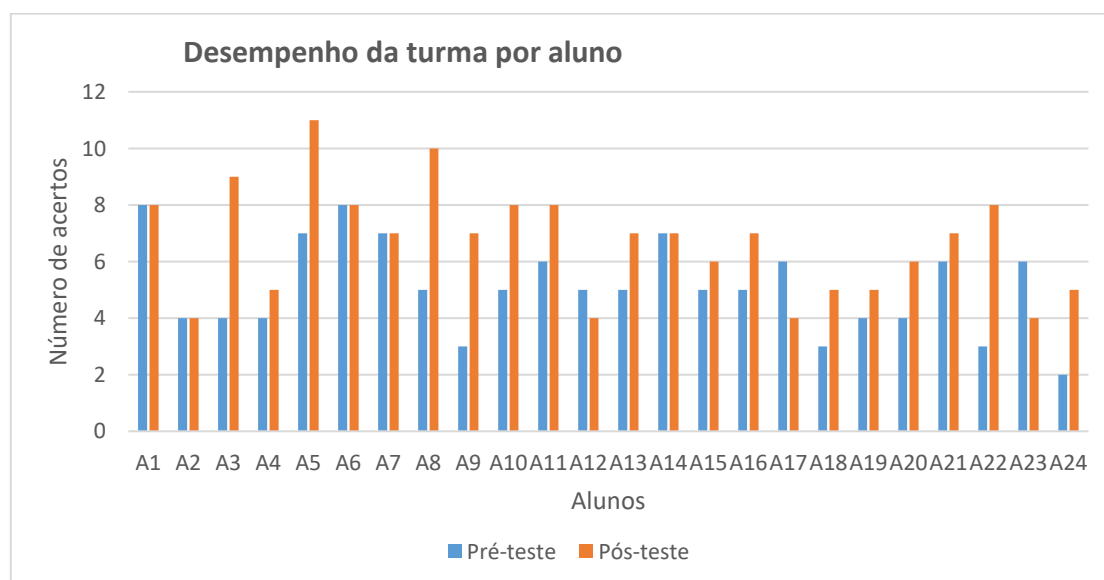


Figura 6.1: Desempenho dos alunos no questionário envolvendo circuito elétrico (Experimento 1).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados evidenciados pelo gráfico acima (Figura 6.1) mostram, de modo geral, que houve uma evolução no desempenho dos alunos no pós-teste. Dezesseis alunos (66,6 %) tiveram um melhor desempenho, cinco alunos (20,8 %) mantiveram o mesmo desempenho e apenas três alunos (12,6 %) tiveram um pior desempenho no pós-teste.

Durante a execução das atividades propostas para a turma, não foi difícil observar que alguns alunos ainda permaneciam com algumas concepções espontâneas em relação aos fenômenos que envolvem o funcionamento de um circuito elétrico simples. Mesmo depois de já terem estudado por um bom tempo todos os principais conteúdos envolvendo um circuito elétrico simples, alguns alunos da turma também apresentavam ideias conceituais muito equivocadas em relação a alguns fenômenos. Dentre essas ideias equivocadas, podem-se destacar: a de que a corrente elétrica se estabelece sem um circuito fechado, a de que a corrente é uma forma de fluido produzido pela fonte (algo como o movimento do escoar da água por uma mangueira), a de que conforme a corrente vai “passando” pelos “obstáculos” (resistores, lâmpadas etc.) ela vai se “dissipando” e se tornando mais fraca podendo até ser extinta etc.

As concepções espontâneas entranhadas nas mentes dos alunos os levaram a fazerem previsões equivocadas durante as montagens com diferentes tipos de ligações (série, paralelas ou mistas). Alguns alunos já tinham a noção, por exemplo, de que a associação de resistores em série não é conveniente para aparelhos elétricos em uma residência, o que foi reforçado através da atividade experimental. Porém, esses alunos ficaram bastante confusos e demoraram perceber que quando as resistências são diferentes, o resistor de menor resistência é o que é percorrido por maior intensidade de corrente e, portanto, é o que dissipa maior potência.

Voltando aos resultados mostrados pelo gráfico (Figura 6.1), o que poderia explicar, por exemplo, o fato de 33,4 % dos alunos não melhorarem o desempenho no pós-teste? Isso poderia indicar que as atividades desenvolvidas nas aulas com a turma não foram capazes de interferir positivamente nas concepções espontâneas desses alunos e promoverem mudanças conceituais na estrutura cognitiva deles? A proposta gerou uma certa confusão nos alunos, em vez de aprendizagem? A resposta mais provável para essas duas perguntas é não. Primeiramente, porque a maioria dos alunos melhorou o desempenho, mesmo que de forma não intensa. Em segundo lugar, porque há alguns fatores intrínsecos à turma que podem ter contribuído para a ocorrência de tal insucesso.

Certamente, as mudanças ocorridas no planejamento e no desenvolvimento das atividades previstas para o segundo momento (alunos fazendo as montagens de acordo

com suas preferências e curiosidades) contribuíram para que alguns alunos (tanto dos que melhoram o desempenho quanto dos que não melhoraram) não compreendessem satisfatoriamente alguns conceitos e fenômenos trabalhados. Contudo, a explicação mais plausível para o percentual de alunos que não melhoraram o desempenho e, também, pela evolução tímida de alguns que melhoraram, seja pela falta de atenção e desinteresse por parte de alguns alunos em relação a participação nas atividades e, também, pela dificuldade de aprendizagem de alguns. Por exemplo, os alunos A3, A5, A8, A9 e A22, que melhoraram satisfatoriamente seus desempenhos no pós-teste, todos eles demonstraram um maior interesse durante as aulas.

É importante, também, analisar o desempenho dos alunos por questão do questionário. O gráfico abaixo (Figura 6.2) mostra a relação entre o número de acertos por questão, tanto no pré-teste como no pós-teste.

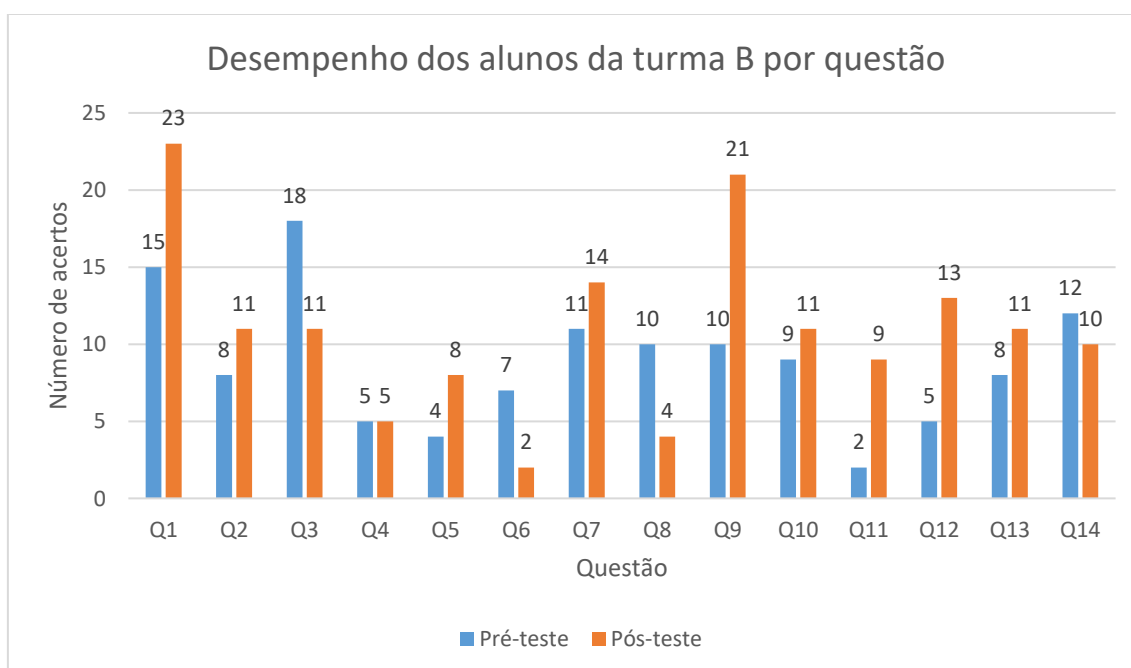


Figura 6.2: Relação entre o número de acertos por questão (pré-teste e pós-teste).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observando o gráfico acima (Figura 6.2), também é possível identificar algumas discrepâncias ocorridas no desempenho dos alunos em relação a algumas questões. Por exemplo, as questões Q3, Q6, Q8 e Q14 tiveram menos acertos no pós-teste comparando com o pré-teste. Novamente, a explicação mais crível para essa disparidade é: a persistência de algumas concepções espontâneas, a pouca participação (alguns alunos podem ter respondido o cartão resposta do questionário apenas “chutando”, sem sequer

terem lido os enunciados das questões) e, também, a dificuldade de aprendizagem de alguns alunos.

A ideia aqui não é fazer uma análise e discussão dos resultados de questão por questão, mas, destacar as principais concepções espontâneas apresentadas pelos alunos e, também, fazer algumas considerações sobre algumas discrepâncias perceptíveis nos resultados mostrados pelo gráfico.

Nos resultados apresentados nas Figuras 6.1 e 6.2, pode-se também observar que algumas concepções espontâneas apresentadas pelos alunos foram modificadas, possibilitando uma melhor compreensão científica de alguns fenômenos. Por exemplo, nove alunos erraram a questão 1 (Q1), uma das questões mais simples do questionário, no pré-teste. A alternativa correta para a Q1 é a letra **c**. Todos os nove alunos que erraram essa questão optaram pela alternativa **a** (essa informação não consta no gráfico, porém estava presente no conjunto de dados colhidos na pesquisa). Isso mostra que esses alunos interpretaram corretamente o sentido convencional da corrente elétrica, isto é, do polo positivo para o polo negativo do gerador. Porém, ao escolherem a alternativa **a**, demonstraram acreditar que a corrente elétrica se “desgasta” ou se “consome” ao passar por um elemento, como, por exemplo, no filamento de uma lâmpada ou em um resistor, ou seja, esses alunos entendiam que a corrente elétrica diminui a intensidade quando vai de uma lâmpada para outra. Mas, no pós-teste, apenas um aluno errou a Q1, o que indica que houve uma modificação na concepção espontânea dos alunos rumo ao que é cientificamente aceito.

Mas, na questão 2 (Q2), embora ocorra uma melhora no desempenho dos alunos no pós-teste, a mesma concepção espontânea manifestou-se novamente, desta vez pelo fato dos alunos não conseguirem atentar para um simples detalhe: lâmpadas incandescentes se comportam como resistores em um circuito elétrico simples. O resultado foi de certa forma surpreendente, pois esse detalhe foi muito bem divulgado e trabalhado com a turma durante as aulas, mas ela (a turma) não conseguiu de forma satisfatória assimilar a Q2 com a Q1. Dos 24 alunos da turma, 13 persistiram no erro. Em relação a persistência da concepção espontânea, isso não é novidade. Várias pesquisas já mostraram que algumas concepções espontâneas são mesmo persistentes e de difícil superação.

Não poderia deixar de ponderar sobre a discrepância ocorrida na questão 3 (Q3): 18 alunos a acertaram no pré-teste e esse número de acertos caiu para 11 no pós-teste. A alternativa correta para a Q3 é a letra **b**. Dentre os alunos que erraram essa questão no

pós-teste, a maioria esmagadora optou pela alternativa **a**. Alguns desses alunos podem terem feito confusão na relação que fizeram com algumas das montagens feitas na atividade experimental. É importante destacar que as questões Q2 e Q3 têm objetivos similares: investigar a compreensão do conceito da conservação espacial da corrente e do raciocínio sequencial. Ao que tudo indica, os alunos que optaram pela alternativa **a** interpretaram que a corrente parte do polo positivo, divide-se em partes iguais e que só vai diminuir depois que passar pela lâmpada L1, pois uma parte será consumida pela resistência. Mas, é importante também destacar que a alternativa correta para a Q3 pode esconder a concepção espontânea do consumo da corrente, ou seja, o aluno pode optar pela alternativa correta (**b**) não por causa do aumento da resistência do ramo em paralelo, mas, pelo raciocínio equivocado de que a corrente sai do polo negativo, divide em partes iguais e, ao passar pela resistência, uma parte é dissipada e assim a lâmpada L1 brilha menos.

Na questão 4 (Q4), os alunos tiveram um baixo desempenho no pré-teste e no pós-teste. E esse desempenho foi exatamente o mesmo, com apenas cinco acertos. A maioria dos alunos que errou a Q4 optou pela alternativa **b**, ou seja, que o brilho da lâmpada 1 permanece o mesmo quando o interruptor é fechado. Provavelmente, esses alunos entendiam que a intensidade da corrente elétrica não pode ser influenciada por um elemento onde ainda não passou. Em outras palavras, esses alunos possuem uma concepção espontânea que os levam a acreditar que a corrente elétrica é uma propriedade exclusiva da fonte, isto é, não depende de todo o circuito. Assim, uma mudança em um ponto do circuito não afeta o comportamento do circuito nos pontos anteriores.

Outra questão que apresentou uma acentuada discrepância foi a questão 6 (Q6): sete alunos a acertaram no pré-teste e apenas dois no pós-teste. Esse tipo de resposta envolve uma concepção espontânea (a mesma apresentada na Q4) e uma dificuldade em reconhecer o estado de curto-circuito. Dentre os alunos que erraram a Q6, a maioria optou pela alternativa **c.**, porém, alguns optaram pela alternativa **a**. Esses alunos que optaram pela alternativa **a**, certamente não faziam ideia do que seria um curto-circuito. Já os que optaram pela alternativa **c**, tudo indica, associavam uma resistência ao interruptor, que “extraía” parte do brilho da lâmpada, isto é, ao fechar o interruptor a corrente seria dividida e essa divisão causaria uma “dissipação” de parte da sua intensidade. Evidentemente, faltou a compreensão e o entendimento de que a corrente elétrica, apesar de poder ser dividida, se conserva, sem, entretanto, nunca se “consumir” ou “dissipar”.

Houve também uma grande discrepância na questão 8 (Q8). No pré-teste ocorreram 10 acertos e no pós-teste apenas 4. Como a Q8 se refere a um circuito RC, um tema pouco aprofundado no Ensino Médio e que também não foi abordado nas diversas montagens (Experimento 1) e nos vídeos apresentados nas aulas em que o produto foi aplicado, provavelmente, uma parcela dos alunos que acertaram no pré-teste, também optaram de forma aleatória no pós-teste, ou seja, alguns alunos simplesmente “chutaram” uma alternativa.

Outro resultado que merece uma ponderação foi em relação à questão 9 (Q9). Dez acertos no pré-teste e vinte e um acertos no pós-teste; uma melhora significativa, pois apenas três alunos erraram a Q9 no pós-teste. Tal desempenho foi diferente de outras questões que também tinham o objetivo de investigar se o aluno usa corretamente o conceito da conservação espacial de corrente. O desempenho na Q9 indica que boa parte dos alunos não só usou corretamente o conceito de conservação de corrente como também interpretou corretamente o sentido da corrente, isto é, do polo positivo para o polo negativo.

Para finalizar as reflexões sobre o desempenho dos alunos da turma por questão, também, é importante fazer algumas considerações a respeito da última questão do questionário, a questão 14 (Q14). Doze alunos acertaram essa questão no pré-teste e apenas dez no pós-teste, portanto, houve também uma disparidade. A Q14 mostra uma situação em que duas lâmpadas intermediárias deixam de brilhar, enquanto outras lâmpadas continuam brilhando, inclusive as duas que estão na extremidade. Os alunos tiveram contato com situações similares durante o desenvolvimento da atividade experimental. Em um momento da atividade, os alunos foram alertados de que, em algumas situações, a ausência de brilho de uma ou mais lâmpada em um circuito não pode ser interpretada como inexistência de corrente. Porém, mais uma vez a maioria dos alunos não levou em consideração o fato de que a corrente elétrica se conserva, mas pode se dividir. Por isso, a maioria optou pela alternativa **b**, enquanto a correta é a letra **c**. Todavia, também é importante considerar que a Q14 é bem mais complexa que as demais questões do questionário.

Diante de todas as análises que foram feitas em cima dos resultados obtidos com a turma, em relação aos trabalhos referentes à atividade experimental 1, pode-se concluir que algumas concepções espontâneas foram recorrentes; no geral, faltou consistência nas respostas de alunos ao questionário e essa inconsistência gerou algumas contradições e discrepâncias; as mudanças ocorridas no planejamento das atividades, juntamente com

uma certa apatia da turma, também contribuíram para um desempenho um pouco abaixo do esperado.

6.2 Resultados e Análise referentes aos Experimentos 2 e 3

Para a aplicação do Produto Educacional na turma foram abrangidas sete aulas, distribuídas em quatro dias de uma mesma semana. Nos dois primeiros dias, foram ministradas as aulas destinadas aos trabalhos envolvendo a atividade experimental 1 e, no terceiro e quarto dia, as aulas destinadas aos trabalhos envolvendo as atividades experimentais 2 e 3, respectivamente.

Os resultados e análises relacionados ao Experimento 2 serão feitos juntamente aos relacionados ao Experimento 3. Embora sejam dois experimentos distintos, trata-se de um mesmo fenômeno, explicado pela Lei de Faraday-Lenz ou Lei da Indução Eletromagnética.

Como estava proposto, o ideal seria que as atividades envolvendo os Experimentos 2 e 3 fossem desenvolvidas com a turma após ela (turma) já ter estudado, mesmo que de forma não aprofundada, o conteúdo “Indução Eletromagnética”. Porém, mesmo o produto sendo aplicado no final do ano letivo, o professor de Física não havia conseguido sequer introduzir o assunto com a turma. Na verdade, o conteúdo não ia ser trabalhado com a turma pelo professor, porque os alunos já estavam fazendo as avaliações finais. Esse é um problema recorrente, principalmente nas escolas públicas. Devido ao reduzido número de aulas semanais de Física, somado a outros fatores, dificilmente o professor consegue trabalhar esse tão importante assunto com a turma.

Além disso, os alunos da turma nunca estudaram o assunto “Indução Eletromagnética” antes, devido ao problema relacionado com a pandemia, já mencionado anteriormente. Então, foram necessárias algumas adaptações no planejamento e na execução das atividades. As atividades experimentais foram realizadas seguindo os passos e roteiros previstos. Foram utilizados alguns vídeos e slides para apresentar e explicar os conteúdos “a Experiência de Oersted”, “fluxo do campo magnético”, “Lei de Faraday” e “Lei de Lenz”, para somente depois fazer uma relação mais aprofundada entre esses conteúdos com as atividades experimentais desenvolvidas.

Embora as duas atividades experimentais (Experimentos 2 e 3) sejam conhecidas por uma grande parte dos professores de Física e até por alguns alunos do Ensino Médio,

no caso específico da turma, nenhum dos 26 alunos presentes conheciam qualquer uma delas.

Em relação especificamente ao **Experimento 2** (freio magnético), assim que foi feita a demonstração do fenômeno sob o olhar dos estudantes e sem nenhum tipo de comentário sobre o material ou o fenômeno em si, foi aplicado o “Questionário 1 - Experimento 2 (freio magnético)”, composto por seis questões discursivas. Os alunos haviam observado que o tempo de queda de uma das peças cilíndricas foi muito maior do que o tempo de queda da outra.

As respostas dadas pelos alunos foram diversas, mas nenhum deles conseguiu relacionar o fenômeno observado com algum conteúdo específico de Física, o que já era esperado. Apenas um respondeu que o fenômeno estava relacionado com a área da Física denominada Magnetismo. Esse estudante, que enxergou magnetismo no fenômeno demonstrado, na pergunta sobre o material do tubo, respondeu que achava que era um “metal imantado”. Nenhum dos alunos apresentou qualquer entendimento sobre o fato de que uma das peças era um ímã. Como não conseguiram estabelecer a relação com a Indução Eletromagnética, as respostas convergiram mais para conteúdos tais como aceleração da gravidade, movimento de queda livre, resistência do ar etc. Há de se destacar que nas respostas da maioria dos alunos manifestaram-se algumas concepções espontâneas que podem ter sido adquiridas fora do âmbito escolar, por exemplo: “a primeira peça atravessou o tubo mais rapidamente porque é mais pesada”.

Um fato curioso foi que três alunos responderam que a primeira peça atravessava o tubo mais rapidamente porque tinha formato de esfera. É difícil entender de onde tiraram essa conclusão, pois eles viram que as peças tinham o mesmo formato e em uma questão do questionário já afirmava que ambas eram cilíndricas.

Em seguida, os alunos foram informados sobre o material do tubo e das peças cilíndricas e a eles foi explicado que o tubo não era feito de um material ferromagnético. Foi necessário explicar o que seria um material ferromagnético e mostrar, utilizando o tubo de alumínio e o ímã, que não havia nenhuma atração entre estes materiais. Também foi destacado que as peças cilíndricas possuíam as mesmas dimensões e, praticamente, as mesmas massas.

Após as informações sobre os materiais utilizados, passou-se à aplicação do segundo questionário, relativo ao Experimento 2, composto por apenas duas questões discursivas, a saber: 1ª) “Por que você acha que o ímã cai devagar no interior do tubo de alumínio, enquanto a peça de aço cai rapidamente?”; 2ª) “Você acha que se o tubo fosse

de madeira ou de PVC, o ímã cairia lentamente ou rapidamente? Por quê?”. Assim que os alunos responderam ao questionário “Questionário 2 – Experimento 2 (Tubo)”, o Experimento 2 foi realizado novamente, agora utilizando também um tubo de PVC.

Ainda que tenha sido dito mais de uma vez, fazendo a demonstração sob o olhar atento dos alunos, que o tubo era de alumínio e não atraía o ímã e vice-versa, alguns alunos ainda fizeram confusão e responderam ao questionário como se o tubo fosse de ferro. Por exemplo, um aluno respondeu assim a primeira pergunta: “Porque o ímã vai encostando na lateral do tubo, já a peça de aço não encosta e por isso desce mais rapidamente”. Os conceitos de queda livre dos corpos e resistência do ar surgiram de forma equivocada mais uma vez. Alguns alunos ainda insistiram em dizer que a peça de aço cai mais rapidamente porque é mais “pesada”. Um aluno deu a seguinte resposta para a primeira pergunta: “porque há uma maior resistência do ar para o ímã”. Conseqüentemente, esse mesmo aluno respondeu assim a segunda pergunta: “Lentamente, pois a velocidade do ímã não está relacionada com o tipo de material do tubo, mas sim com a resistência do ar”. Porém, as respostas de um aluno chamaram a atenção, pois destoou das demais respostas, como se pode observar na imagem abaixo.

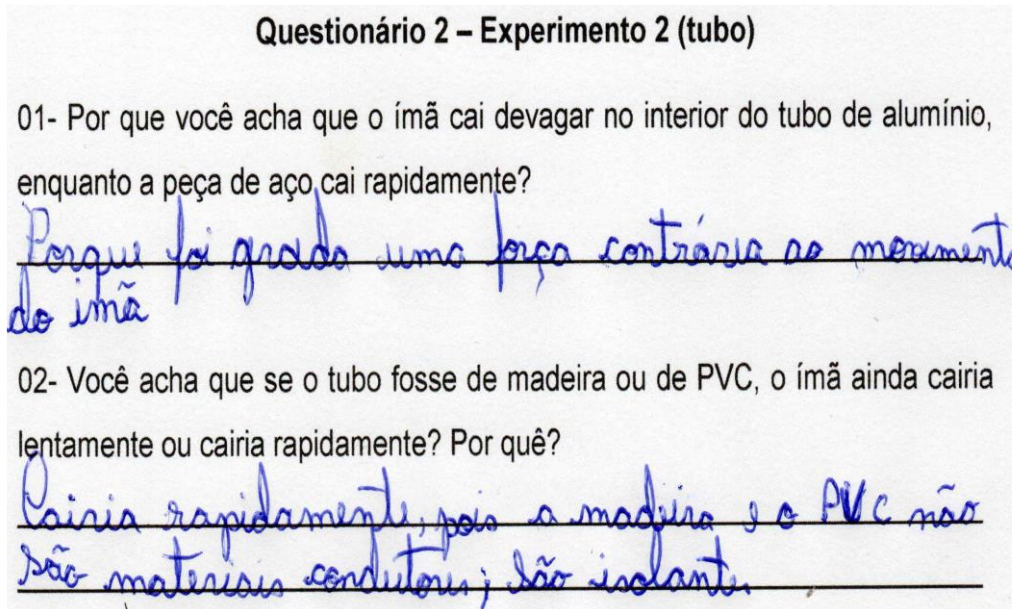


Figura 6.3: Respostas para as questões 1 e 2 do Questionário 2

Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim, pegando um gancho com os conteúdos envolvendo Eletromagnetismo que os alunos já haviam estudado, foi dada uma aula expositiva sobre as Leis de Faraday e Lenz, abordando alguns conceitos importantes, relacionados com estas leis. O aluno,

cujas respostas destoaram das respostas dos demais alunos, estava intrigado e muito interessado em saber o que realmente acontecia na queda do ímã e como surgia a força contrária ao seu movimento. E, considerando as respostas dadas pelo aluno, foi esclarecido que a força que ele imaginou que fosse gerada com o movimento do ímã, trata-se de uma força magnética para cima. Mas, para que se chegasse a esta conclusão, foi necessário trazer à lembrança dos alunos o conceito de campo magnético e falar sobre força eletromotriz e corrente elétrica induzida, enunciando assim, as Leis de Faraday e Lenz, que explicam o fenômeno demonstrado. Como metodologia para a aula ministrada, além da atividade experimental, foram utilizados: quadro e pincel, slides e animações.

Em relação especificamente ao **Experimento 3**, assim que foi comentado sobre os materiais utilizados na construção do aparato e feita a demonstração do fenômeno várias vezes, sob a observação dos alunos, foi aplicado o questionário “Questionário - Experimento 3 (Led)”, composto de quatro questões discursivas. Mais uma vez, devido à pandemia e aos protocolos adotados pela escola, não foi possível permitir que os próprios alunos manuseassem o aparato e demonstrassem o fenômeno.

Desta vez, a maioria dos alunos acertou a pergunta sobre a área da Física a qual o Experimento 3 está relacionado. A maioria também soube dizer que os fenômenos observados no Experimento 3 são explicados e comprovados pelas Leis de Faraday e Lenz, o que era de se esperar, uma vez que uma aula sobre estes conteúdos já havia sido ministrada. Porém, não conseguiram utilizar as Leis de Faraday e Lenz para explicar corretamente o fenômeno. A maioria dos alunos demonstrou saber que a lâmpada acendia com energia gerada pelo movimento do ímã, mas não soube dizer como isso acontecia.

Capítulo 7

Considerações Finais

Diante de tudo que foi exposto nos capítulos anteriores, pode-se considerar que a idealização desta proposta e a metodologia utilizada em sua execução foram capazes de promover e apontar algumas situações de aprendizagens coerentes com o que se espera de um trabalho que faz uso de um Produto Educacional (Apêndice A).

Apesar de algumas situações desfavoráveis, devido à pandemia e a desmotivação e apatia da turma alvo da intervenção, as atividades planejadas foram desenvolvidas dentro do tempo previsto, que foi de sete aulas de cinquenta minutos. Foi necessário fazer algumas adaptações no planejamento e na execução das atividades. Essas adaptações e mudanças certamente influenciaram negativamente os resultados dos trabalhos com a turma, mas não impediram que pontos positivos também se manifestassem, por exemplo, notou-se que alguns alunos, que de início demonstraram total desinteresse, acabaram participando das aulas com bastante empolgação. Observou-se também que, no geral, mesmo que de forma um pouco tímida, muitos alunos passaram a ter uma melhor compreensão dos conteúdos abordados nas aulas.

Quanto a escolha do tema deste trabalho e da Teoria da Aprendizagem Significativa para fundamentação teórica, as expectativas foram superadas, pois, a partir das atividades desenvolvidas com os alunos, ficou nítido que a referida teoria da aprendizagem é muito apropriada para trabalhar atividades experimentais com foco nas concepções espontâneas apresentadas pelos estudantes. É de suma importância o professor fazer um levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos. Como este é um dos caminhos viáveis para a aproximação do conhecimento científico, já que quando são manifestados conceitos contraditórios, colocando em conflitos as ideias, permite-se a reestruturação destas ideias. Além disso, estabelecendo relações do que se conhece com os conceitos desconhecido até então, estes se tornam mais significativos.

O tema escolhido também proporcionou aos alunos da turma na qual o produto foi aplicado a oportunidade de conhecerem e estudarem o fenômeno da indução eletromagnética, pois o professor regente da turma não teve tempo de trabalhar este conteúdo. Se não fosse o desenvolvimento desta proposta, os alunos da turma sairiam do Ensino Médio sem nunca terem sequer ouvido falar sobre as Leis de Faraday e Lenz. Sendo assim, foi possível ao professor desenvolvedor da proposta trabalhar estes

conceitos com os alunos, destacando suas importantes aplicações tecnológicas e a relação desses conteúdos com o cotidiano dos alunos.

As atividades experimentais escolhidas demonstraram ser potencialmente significativas, pois, além de despertar o interesse e a atenção da maioria dos alunos, certamente foram capazes de provocar, na estrutura cognitiva deles, um conflito entre os seus conhecimentos prévios e as novas informações apresentadas. E, de acordo com o que foi discutido anteriormente (Seções 2.1-2.3, Capítulo 2), essa interação entre conhecimentos prévios e novos conhecimentos é que possibilita a aprendizagem significativa, pois o aluno vai adquirindo novos e mais enriquecidos significados em relação aos conteúdos estudados.

Durante o desenvolvimento das atividades experimentais foram trabalhados alguns questionários. A ideia de intercalar os questionários com as atividades experimentais demonstrou ser muito importante para o desenvolvimento da proposta, pois permitiu não somente fazer uma análise comparativa dos resultados (pré-teste e pós-teste); as respostas dadas aos questionários abriram caminhos para uma discussão mais proveitosa sobre os fenômenos abordados.

Outra questão que ficou perceptível foi que o Produto Educacional, se desenvolvido pelo próprio professor da turma, poderá ter resultados mais satisfatórios. Primeiro, porque o professor regente poderá ampliar o tempo de execução, utilizando mais aulas. Segundo, porque o professor poderá propor a construção dos aparatos juntamente com os alunos. Por meio de mais aulas, o professor terá a oportunidade de explorar mais os questionários e até elaborar outros. Em relação ao artigo “Quais lâmpadas acendem? Entendendo o funcionamento dos circuitos elétricos” (Anexo II), o professor terá tempo para resolver com os alunos os cálculos apresentados, fazendo as adaptações necessárias, por exemplo, em caso da tensão da rede elétrica na região for 220 V.

Os textos sobre os conteúdos de Física relacionados com as atividades experimentais escolhidas fazem uso de uma linguagem acessível e procuram abordar algumas lacunas deixadas pelos livros didáticos. O professor que porventura desejar desenvolver com seus alunos a proposta apresentada por este trabalho, certamente encontrará nestes textos, e nas estratégias metodológicas sugeridas, todo suporte necessário para sua aplicação em sala de aula.

Por fim, diante das constatações feitas, o que mais se pôde contar como fator positivo foi a mudança que houve por parte dos alunos em relação a um primeiro

momento, quando o professor se deparou com a turma pela primeira vez para fazer a apresentação da proposta e a maioria dos alunos se mostrou indisposta e apática. Em um segundo momento, a turma já estava mais participativa e interessada, e essa participação foi só aumentando. Ao encerrar os trabalhos, alguns alunos fizeram questão de dizer que acharam as aulas muito interessantes e que se tivessem mais atividades semelhantes durante o ano letivo, muitos deixariam de “odiar” a disciplina de Física.

Referências Bibliográficas

ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. Atividades experimentais no ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 176–194, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/PLkjm3N5KjnXKgDsXw5Dy4R/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 26 dez. 2022.

AUSUBEL, D. P. *Educational Psychology: a cognitive View*. Nova York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.

AUSUBEL, D. P. *Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva*. Lisboa: Paralelo, 2003.

ASTH, R. Circuito Elétrico: o que é, elementos e tipos. *Toda Matéria*, 2022. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/circuito-eletrico/> Acesso em: 26 dez. 2022.

BRASIL. *Parâmetros Curriculares Nacionais - Ensino Médio, Parte III Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Ministério da Educação, Brasília/DF, 2000. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf> Acesso em: 26 dez. 2022.

BUCUSSI, A. A. Introdução ao conceito de energia. *Textos de Apoio ao Professor de Física*. Porto Alegre: UFRGS, v. 17, n. 3, p. 17-19, 2007. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/tapf/v17n3_Bucussi.pdf Acesso em: 26 dez. 2022.

CACHAPUZ, A. F., PRAIA, J.; JORGE, M. *Ciência, Educação em Ciência e Ensino de Ciências*. Lisboa: Ministério da Educação, 2002.

CAN STOCK PHOTO. *Resistor fabricado comercialmente*. 2022. Disponível em: <https://www.canstockphoto.com.br/ilustracao/resistor.html> Acesso em: 26 dez. 2022.

CARVALHO, A. M. P.; BARROS, M. A.; GONÇALVES, M. E. R.; REY, R. C.; VANUCCHI, A. I. *Ciências no Ensino Fundamental: o conhecimento físico*. São Paulo: Scipione, 1998.

CARVALHO, A.M.P. et al. *Termodinâmica: um ensino por investigação*. São Paulo: FEUSP; CAPES, 1999.

CHAVES, A.; SAMPAIO, J. F. *Física Básica: Eletromagnetismo*, Rio de Janeiro: LTC, 2007.

COVOLAN, S. C. T. *O conceito de entropia num curso destinado ao Ensino Médio a partir das concepções prévias dos estudantes e da História da ciência*. 2004. 112 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas,

Campinas/SP, 2004. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000316911&opt=4> Acesso em: 26 dez. 2022.

DAMÁSIO, A. A. 1º *Experimento 1ª Parte: Resistores e Código de Cores*. 2015. Disponível em: <https://docplayer.com.br/2599056-1o-experimento-1a-parte-resistores-e-codigo-de-cores.html> Acesso em: 26 dez. 2022.

FARIA, W. de. *Aprendizagem e planejamento de ensino*. São Paulo, Ática, 1989.

GOUVEIA, R. Leis de Ohm. *Toda Matéria*, 222. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/leis-de-ohm/> Acesso em: 26 dez. 2022.

GRAÇA, C. *Corrente Elétrica (Eletrodinâmica)*. Física Geral e Experimental III. Universidade Federal de Santa Maria, n.d. Disponível em: http://coral.ufsm.br/cograca/graca5_1.pdf Acesso em: 26 dez. 2022.

GRAVINA, M. H.; BUCHWEITZ, B. Mudanças nas Concepções Alternativas de Estudantes Relacionadas com Eletricidade. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 16, n. 1-4, p. 110-119, 1994. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/vol16a11.pdf> Acesso em: 26 dez. 2022.

GUIMARÃES, C. C.; DORN, R. C. Efeito Estufa Usando Material Alternativo. *Química - Nova Escola*, São Paulo, v. 37, p. 153-157, 2015. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc37_2/12-EEQ-167-12.pdf Acesso em: 26 dez. 2022.

HELERBROCK, R. Associação de Resistores. *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilescuela.uol.com.br/fisica/associacao-resistores.htm> Acesso em: 27 de dez. 2022.

LARIUCCI, C. (Cord.). *Curso de Licenciatura em física: didática no ensino superior de física: metodologia e prática do ensino de física I e II, ondas, luz e eletricidade*. Goiânia: Funape, 2010.

MALDANER, O. A. (Org.). *Situação de estudo: uma organização do ensino que extrapola a formação disciplinar em Ciências*. Ijuí: Unijuí, 2007.

MÁXIMO, A; ALVARENGA, B. *Curso de física*. Volume 3. 3. ed. São Paulo: Scipione, 2007.

MELO, P. R. Resistividade elétrica. *Mundo Educação*, 2022. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/resistividade.htm> Acesso em: 26 dez. 2022.

MORAES, J. U. P. *As TIC como facilitadoras da aprendizagem significativa no ensino de física*. 2012. 188f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão - SE, 2012. Disponível em: <https://ri.ufs.br/handle/riufs/5202> Acesso em: 26 dez. 2022.

MOREIRA, M.A.; MASINI, E.F.S. *Aprendizagem significativa: a teoria de aprendizagem de David Ausubel*. São Paulo: Moraes, 1982.

MOREIRA, M. A. *Aprendizagem significativa*. Brasília: Universidade de Brasília, 1999.

MOREIRA, M. A. *O que é afinal Aprendizagem Significativa?* Aula Inaugural - Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais, Universidade Federal do Mato Grosso - UFMT, Cuiabá, MT, 2010. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/oqueeafinal.pdf> Acesso em: 26 dez. 2022.

NAGWA. *Lesson Explainer: Analyzing Combination Circuits*. 2022. Disponível em: <https://www.nagwa.com/en/explainers/516173197568/> Acesso em: 26 dez. 2022.

PAULA, R. C. O. *O uso de experimentos históricos no Ensino de Física: Integrando as dimensões Histórica e Empírica da Ciência na sala de Aula*. 2006. 140f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências), - Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação Em ensino de Ciências, Brasília/DF, 2006. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/3096/1/2006_Ronaldo%20C%a9sar%20de%20Oliveira%20Paula.pdf Acesso em: 26 dez. 2022.

PERUZZO, J. *Experimentos de física básica: Mecânica*. São Paulo: Livraria da Física, 2012.

PIETROCOLA, M. *Construção e Realidade: o Papel do Conhecimento Físico no Entendimento do Mundo*. In: PIETROCOLA, M. (org.). *Ensino de Física: Conteúdo, Metodologia e Epistemologia numa Abordagem Integradora*. Florianópolis: UFSC, 2001.

QUEVEDO, Z. A.; STRIEDER, D. M. *ÓPTICA: das concepções dos alunos ao desenvolvimento dos conceitos científicos*. *Cadernos PDE - O Professor PDE e os Desafios da Escola Pública Paranaense*, Secretaria de Educação/PR, v. 1, p. 02-24, 2008. Disponível em: http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes_pde/2008_unioeste_cien_artigo_zelair_amorim_quevedo.pdf. Acesso em: 26 dez. 2022.

RODRIGUES, J. J. V. *Experimentação no ensino e aprendizagem de Física*. *Educação Pública*, 2018. Disponível em: <https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/18/9/experimentao-no-ensino-e-aprendizagem-de-fsica> Acesso em: 26 dez. 2022.

SANT'ANNA, B. et al. *Conexões com a Física*. São Paulo: Moderna, 2010.

SANTOS, M. A. S. *Quais são os instrumentos elétricos de medida?* *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/quais-sao-os-instrumentos-eletricos-medida.htm>. Acesso em: 27 dez. 2022.

SARAIVA EDUCAÇÃO. *Saiba tudo sobre aprendizagem significativa e como aplicar em sua IES!* 2022. Disponível em: <https://blog.saraivaeducacao.com.br/aprendizagem-significativa/#:~:text=Ausubel%20tra%C3%A7ou%20sua%20Teoria%20de,Marco%20Ant%C3%B4nio%20Moreira%2C%20no%20Brasil>. Acesso em: 26 dez. 2022.

SERWAY, R. A.; JEWETT JUNIOR, J. W. *Princípios de Física*. Volume 3 Eletromagnetismo, Ed. Thomson São Paulo, 2006.

SILVA, D. C. M. Código de cores para resistores. *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilestola.uol.com.br/fisica/codigo-cores-para-resistores.htm>. Acesso em: 26 dez. 2022.

SILVA, M.C. Quais lâmpadas acendem? Entendendo o funcionamento dos circuitos elétricos. *Física na Escola*, v. 12, n. 1, 2011. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol12/Num1/circuitos.pdf> Acesso em: 27 dez. 2022.

SILVEIRA, F. L., MOREIRA, M. A.; AXT, R. Validação de um teste para verificar se o aluno possui concepções científicas sobre corrente elétrica em circuitos simples. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 41, n. 11, p. 1129-1133, 1989. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/Teste_corrente_eletrica.pdf Acesso em: 27 dez. 2022.

SILVEIRA, F. L. A Filosofia da Ciência e o Ensino de Ciências. *Em Aberto*, v. 11, n. 55, p. 36-41, 1992. Disponível em: <http://emaberto.inep.gov.br/ojs3/index.php/emaberto/article/view/2158> Acesso em: 26 dez. 2022.

SILVEIRA, F. L.; LEVIN, Y.; RIZZATO, F. B. A frenagem eletromagnética de um ímã que cai. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 24, n. 3, p. 295-318, 2007. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/Queda_freada_magneto.pdf Acesso em: 26 dez. 2022.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. *Física para Cientistas e Engenheiros*. Volume 2 - Eletricidade e Magnetismo. Rio de Janeiro: Óptica, 2009.

TUDO SOBRE FUSÍVEIS. Fusíveis – Proteção contra elevações de corrente elétrica. *Blogspot*. 2014. Disponível em: <http://tudosobrefusiveis.blogspot.com/2014/08/fusiveis-protECAo-contrA-elevACOes-de.html> Acesso em: 26 dez. 2022.

VILLATORRE, A. P.; HIGA, I.; TYCHANOWICZ, S. D., *Didática e Avaliação em Física*. São Paulo: Saraiva, 2009. 166p.

WIKIPÉDIA. *Imagens – Circuitos Elétricos*. 2022. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Circuito_el%C3%A9trico Acesso em: 26 dez. 2022.

ZYLBERSZTAJN, A. Concepções espontâneas em física: exemplos em dinâmica e implicações para o ensino. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 5, n. 2, p. 03-16, 1983. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/vol05a09.pdf> Acesso em: 26 dez. 2022.

APÊNDICES**Apêndice A**
Produto
Educacional

Material para uso do professor

1. Apresentação

A idealização deste trabalho está ancorada em dois suportes que são muito importantes no processo de ensino e aprendizagem da disciplina de Física. O primeiro, diz respeito à importância da utilização de experimentos durante as aulas. Parte do pressuposto de que a ausência de um laboratório de Ciências na escola não pode impedir o professor de realizar atividades experimentais com seus alunos. O segundo, fundamenta-se no entendimento de que é praticamente impossível o professor alcançar resultados satisfatórios, em relação aprendizagem dos alunos, sem investir consideravelmente nas concepções espontâneas apresentadas por eles.

Nesse sentido, este Produto Educacional (PE) propõe uma alternativa para o professor de Física no Ensino Médio, preferencialmente na Terceira Série, “atacar” algumas das principais concepções espontâneas apresentadas pelos alunos. E a proposta é que este “ataque” ocorra através, principalmente, da utilização de experimentos com materiais alternativos. Não obstante, tal alternativa não constitui um projeto fechado e inflexível, mas sim um material de apoio. Sendo assim, o professor poderá ampliá-lo ou reformulá-lo de acordo com a realidade de sua escola e de seus alunos.

Para o desenvolvimento da proposta, foram escolhidos alguns experimentos simples, envolvendo materiais de baixo custo:

- **Experimento 1** – Circuito Elétrico Simples (Associação de Resistores);
- **Experimento 2** – Lei de Faraday-Lenz (frenagem eletromagnética de um ímã caindo em um tubo);
- **Experimento 3** – Bobina Faraday-Lenz (acendendo uma lâmpada de LED).

A atividade experimental envolvendo circuito elétrico está relacionada, principalmente, com associação de resistores, um conteúdo que a maioria dos alunos gosta e não apresenta muitas dificuldades nas resoluções dos exercícios propostos nos livros didáticos, pois esses costumam exigir quase que somente a aplicação de fórmulas e equações matemáticas de fácil memorização e resolução. Contudo, alguns conceitos importantes não são analisados e, conseqüentemente, não são compreendidos corretamente.

Já os experimentos relacionados com a Lei de Faraday-Lenz consistem em demonstrações simples do fenômeno da indução eletromagnética, fenômeno esse que possui aplicações tecnológicas importantíssimas e muito utilizadas no cotidiano das

pessoas. É um fato lamentável que este tão importante conteúdo tem sido muito pouco trabalhado em sala de aula no Ensino Médio, principalmente nas escolas públicas.

Concomitantemente aos experimentos, devem e podem ser aplicados alguns questionários envolvendo os conteúdos relacionados com cada atividade. Para a atividade experimental sobre circuito elétrico foi escolhido um questionário (Anexo I) com 14 (catorze) questões de múltipla escolha, de autoria de Silveira, Moreira e Axt (1989). Esse questionário poderá ser aplicado antes (pré-teste) e depois (pós-teste) da realização do experimento com os alunos. Esta metodologia utilizada permite uma análise comparativa, ou seja, se a execução da atividade experimental resulta em uma melhora no desempenho dos alunos em termos de assimilação dos conceitos abordados.

Conforme já foi mencionado, a proposta engloba 2 (dois) experimentos relacionados ao conteúdo Indução Eletromagnética (Lei de Faraday-Lenz). Juntamente com estas atividades experimentais, deverão ser aplicados 2 (dois) questionários relacionados, especificamente, ao experimento 2 (tubo); 1 (um) questionário relacionado, especificamente, ao experimento 2 (LED) e 1 (um) questionário geral, abrangendo os experimentos 2 e 3. Esses questionários abordam questões discursivas e estão anexados a este trabalho.

Considerando as orientações e diretrizes provenientes do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), no enfoque dos conteúdos relacionados às atividades experimentais desenvolvidas neste trabalho, utilizou-se do Cálculo Diferencial e/ou Integral ao apresentar algumas equações, tais como, intensidade da corrente elétrica, densidade de corrente, fluxo magnético e a Lei de Faraday.

Assim sendo, apresentamos abaixo algumas das equações relacionadas com os conteúdos mencionados no parágrafo anterior. Contudo, para informações mais detalhadas acerca de todo o conhecimento envolvido nos experimentos, tanto do ponto de vista físico quanto matemático, consulte os Capítulos 3 e 4 desta dissertação.

Intensidade da corrente elétrica

Considere um condutor metálico sendo percorrido por uma corrente elétrica. Suponha que determinada quantidade de carga elétrica (ΔQ) passe através da secção transversal deste condutor em determinado intervalo de tempo (Δt). Assim, a intensidade da corrente elétrica i , que atravessa a secção transversal do condutor, é definida como:

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

A unidade de medida para a quantidade de carga é o Coulomb e para o intervalo de tempo o segundo; a unidade de medida da intensidade da corrente elétrica é C/s, que recebe o nome de Ampère (A), em homenagem ao físico francês André-Marie Ampère (1775-1836).

A quantidade de carga ΔQ é dada pelo produto do número n de elétrons pela carga do elétron, onde $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$ e n é um número inteiro, isto é:

$$\Delta Q = ne$$

Densidade da corrente elétrica

A densidade de corrente elétrica (J) é uma grandeza vetorial que permite a análise pontual da corrente elétrica ao longo da secção transversal de um condutor. A densidade de corrente pode ser definida como a razão entre a intensidade da corrente elétrica i que atravessa a secção do condutor e a área A desta secção. Esta densidade de corrente é definida como:

$$J = \frac{i}{A}$$

A unidade de densidade de corrente, no SI, é o Ampère por metro quadrado (A/m^2).

Fluxo do campo Magnético

Para entender o fenômeno da indução eletromagnética, torna-se necessário compreender o conceito de fluxo magnético. Trata-se de um conceito relacionado ao número de linhas de campo magnético que atravessam determinada superfície.

O fluxo do campo magnético (Φ) através de uma superfície \mathbf{A} pode ser definido como:

$$\Phi = \mathbf{B} \cdot \mathbf{A} \cdot \cos \theta$$

onde \mathbf{B} é o módulo do vetor campo magnético, \mathbf{A} a área da superfície atravessada pelas linhas de campo e θ o ângulo entre o segmento normal e \mathbf{B} . A unidade de fluxo magnético no SI é o $\text{T} \cdot \text{m}^2$, que recebe o nome de Weber (Wb), em homenagem ao físico alemão Wilhelm Weber (1804-1891).

Lei de Faraday

A Lei da Indução Eletromagnética ou Lei de Faraday pode ser enunciada da seguinte forma: a força eletromotriz (\mathcal{E}) induzida em uma espira é diretamente proporcional à variação do fluxo magnético ($\Delta \Phi$) que a atravessa e inversamente

proporcional ao intervalo de tempo (Δt) em que essa variação ocorre. Matematicamente, a Lei de Faraday pode ser escrita como:

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

O sinal negativo aparece para indicar o sentido em que a força eletromotriz induzida atua, determinando o sentido da corrente elétrica induzida. Esse sentido resulta de outra lei, que a de Faraday, formulado pelo físico russo Heinrich Lenz (1804-1865). Se, ao invés de uma espira, houver N espiras idênticas, a Lei de Faraday pode ser expressa da seguinte forma:

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

2. Justificativa

Muitas pesquisas têm comprovado a eficácia da utilização de experimentos no processo ensino-aprendizagem da disciplina de Física. Além de ser uma experiência prazerosa, o trabalho com atividades experimentais confronta os saberes espontâneos dos estudantes, podendo garantir aos mesmos uma aprendizagem mais significativa.

A implementação desta estratégia ou Produto Educacional, no planejamento do professor, tem potencial para proporcionar resultados bastante satisfatórios, inclusive despertar o interesse de alguns alunos que se encontram desmotivados, pois enxergam a disciplina de Física como chata, difícil e desconexa da realidade.

Dentre os vários critérios utilizados para a escolha dos experimentos abordados neste trabalho, destacam-se: i) Facilidade de acesso aos materiais; ii) Relacionam os conteúdos de Física com equipamentos do cotidiano, propiciando um aprendizado mais significativo à vida do aluno; iii) Além de um instrumento a mais de motivação para o aluno, podem ser usados também como uma metodologia que propicia a construção e aprendizagem de conceitos e modelos científicos; iv) Mesmo que não promovam uma mudança conceitual de forma radical, podem ser capazes de enriquecer as concepções espontâneas de forma que gradualmente o estudante adquira condições de diferenciar melhor os significados.

Trabalhar as concepções espontâneas através de atividades experimentais não trará uma solução “mágica” para o problema, mas, certamente, contribuirá satisfatoriamente para a evolução conceitual do estudante, aproximando-o do conhecimento que é cientificamente aceito. De acordo Covolan (2003), o trabalho com atividades experimentais, além de seu potencial motivador, aproxima o processo educativo do cotidiano do estudante. Além disso, esse tipo de atividade permite resgatar os conhecimentos prévios dos estudantes, promovendo a colaboração e socialização do conhecimento construído coletivamente.

Peruzzo (2013), com base nos resultados apresentados por algumas pesquisas sobre o ensino de física, salienta que o ensino centrado nos conceitos teóricos, sem incluir situações reais, torna a disciplina desmotivante e chata para o aluno. Nesse sentido, a atividade experimental se torna uma ferramenta pedagógica indispensável, pois é apropriada para despertar o interesse dos alunos, cativá-los para os temas propostos pelos professores e capaz de favorecer satisfatoriamente o processo ensino-aprendizagem.

Ainda sobre a importância e necessidade de o professor de física inserir atividades experimentais em seu planejamento, Peruzzo (2013) destaca:

Não aceitar a importância no ensino das aulas experimentais significa destituir o conhecimento físico de seu contexto, reduzindo esta ciência a um sistema abstrato de definições, leis e fórmulas matemáticas. A física é muito mais do que isso. É uma atividade intelectual extremamente viva e interessante” (PERUZZO, 2013, p. 13).

Vale ressaltar que os resultados positivos a serem alcançados, através desta metodologia, estão subordinados a um acompanhamento rigoroso do professor durante a realização dos trabalhos. As atividades experimentais devem ser minuciosamente explicadas e o professor precisa esclarecer a relação dos fenômenos observados com os conteúdos envolvidos, destacando que conceitos e princípios abordados podem contribuir para a compreensão do funcionamento de uma série de equipamentos tecnológicos presentes no cotidiano.

Espera-se que este material (Produto Educacional) seja utilizado e disseminado por outros professores que, apesar das angústias e dissabores inerentes à profissão, não se acomodam, mas procuram sempre, com entusiasmo, aperfeiçoarem suas práticas pedagógicas. Por consequência, espera-se também que esta metodologia alcance o maior número possível de alunos, desenvolvendo nestes uma diferente visão em relação à Física e uma melhor compreensão dos conceitos e modelos abordados.

3. Atividade Experimental 1 - Circuito Elétrico

A atividade experimental envolvendo circuito elétrico simples (Associação de Resistores) será desenvolvida seguindo a proposta de um artigo escrito pelo professor Mauro Costa da Silva (Departamento de Física, Colégio Pedro II, Niterói, RJ, Brasil), cujo título é “Quais lâmpadas acendem? Entendendo o funcionamento dos circuitos elétricos”. Esse artigo foi publicado na revista Física na Escola (v. 12, n. 1, 2011) e propõe uma série de atividades experimentais envolvendo ligação de lâmpadas incandescentes em circuitos paralelo, série ou misto. Segundo o artigo,

[...] o objetivo dessa atividade é dar aos estudantes alguma percepção concreta, embora indireta, dos conceitos físicos sobre eletricidade, tais como: corrente; potencial; e resistência. Utilizando os conteúdos previamente estudados sobre circuitos elétricos, os estudantes poderão prever o funcionamento de uma determinada ligação de lâmpadas. Após os devidos cálculos, será possível determinar quais lâmpadas acenderão, bem como estimar a intensidade luminosa que emita em cada lâmpada. Esta intensidade luminosa dará uma percepção visual da potência dissipada nos resistores, substituídos nesta atividade pelas lâmpadas. Esta prática permite aos alunos prever, testar e comprovar seu aprendizado teórico através de experimentos desafiadores (SILVA, 2011, p. 16).

Portanto, nessa atividade, as lâmpadas incandescentes farão o papel de resistores e a intensidade de luz emitida dará a percepção visual da potência dissipada em cada lâmpada. A atividade funciona como um jogo, através do qual o professor propõe aos alunos preverem quais lâmpadas acenderão numa determinada ligação elétrica e com que intensidade luminosa. Vencerá o jogo o aluno que fizer o maior número de previsões corretas. Para a realização da atividade, se faz necessário a construção de um circuito utilizando materiais de baixo custo, facilmente encontrados em qualquer loja de materiais elétricos. A montagem deverá possibilitar a demonstração das ligações em série, em paralelo e mista.

3.1 Construção do Aparato

3.1.1. Lista de materiais

- Placa de MDF - 40 cm x 40 cm;
- 3 lâmpadas incandescentes de 15 W;

- 7 tomadas externas;
- 1 lâmpada incandescente de 7 W;
- 1 interruptor externo;
- 3 m de fio paralelo de 2,5 mm²;
- 1 disjuntor 30 A;
- 2 tomadas macho;
- Fio 2,5 mm²;
- 5 bocais com tomada macho;
- 1 lâmpada incandescente de 60 W.

As figuras abaixo (Figuras 3.1-3.2) apresentam, respectivamente, a montagem do circuito que será utilizado para as ligações elétricas propostas e as lâmpadas e fios que serão utilizados nas diversas ligações.

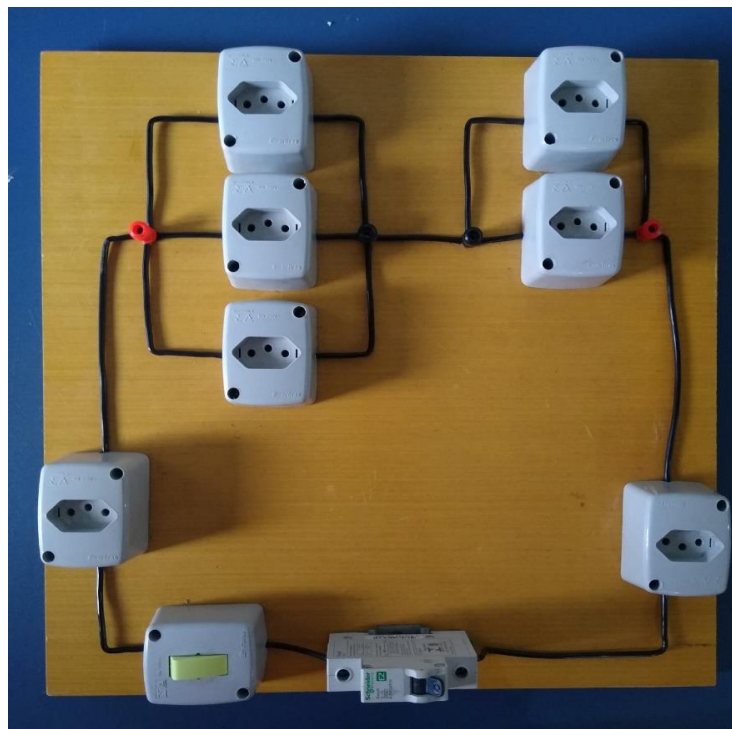


Figura 3.1: Montagem de um circuito elétrico.

Fonte: Acervo do autor (2022).



Figura 3.2: Lâmpadas, fios e bocais.

Fonte: Acervo do autor (2022).

3.1.2. Estratégias para os trabalhos relacionados com a atividade Experimental 1 – Circuito elétrico.

O ideal é que o professor aplique este procedimento depois de ter trabalhado corrente elétrica, circuito elétrico e associação de resistores. O questionário poderá ser aplicado utilizando a técnica de aplicação de Questionários Pré-teste e Pós-teste, conforme os passos abaixo:

1º Passo: aplicar o questionário “Circuito elétrico simples”, em anexo (Silveira, Moreira e Axt, 1989), com o objetivo de verificar se o aluno possui concepções cientificamente aceitas sobre o conceito de corrente elétrica em circuitos simples. As alternativas consistentes com as concepções científicas sobre corrente elétrica no teste são as seguintes: 1 - c; 2 - a; 3 - b; 4 - a; 5 - b; 6 - b; 7 - c; 8 - c; 9 - a; 10 - c; 11 - b; 12 - b; 13 - b; 14 - c;

2º Passo: analisar as respostas dos alunos no teste e destacar as concepções espontâneas apresentadas;

3º Passo: trabalhar o Experimento 1 (circuito simples) em sala de aula, com a participação dos alunos, explorando todas as ligações sugeridas na proposta, esclarecendo as dúvidas dos estudantes em relação aos fenômenos observados;

Observação: As montagens elencadas neste trabalho são apenas sugestões. O professor pode explorar a atividade da forma que achar necessário, por exemplo, fazendo diferentes combinações com as lâmpadas e/ou escolhendo lâmpadas de diferentes potências.

4º Passo: reaplicar o mesmo questionário (pós-teste);

5º Passo: analisar e comparar as respostas com a primeira aplicação. Observar se, com a utilização da atividade experimental e com as instruções dadas pelo professor, houve uma evolução conceitual por parte dos alunos.

3.1.3. Procedimentos / Montagens

A execução desta atividade experimental poderá ser dividida em dois momentos, a saber:

1º momento: realizar todas as ligações sugeridas pelo artigo de Silva (2011), seguindo o cronograma proposto. Tomar o cuidado de sempre destacar o tipo de ligação que está sendo realizada e os materiais utilizados;

2º momento: permitir aos alunos que “coloquem a mão na massa”, ou seja, que, diante do material disponível, faça outras ligações de acordo com suas preferências e curiosidades. O professor pode propor aos alunos realizar as montagens, feitas no primeiro momento, utilizando lâmpadas com a mesma potência nominal.

Observação: O professor precisa, também, acompanhar de perto esse momento, sempre alertando os estudantes sobre os cuidados necessários para manusear os materiais, evitando assim quaisquer danos, tais como, queimaduras, choques elétricos etc. Se a proposta for trabalhada pelo próprio professor regente da turma, certamente disponibilizará de mais tempo e poderá desenvolver com os alunos todos os cálculos apresentados pelo artigo de Silva (2011), fazendo as mudanças necessárias caso a tensão elétrica em sua região for 220 V.

3.1.3.1. Montagem 1

A primeira montagem deverá ser uma ligação com os resistores (lâmpadas) associados em paralelo, “pois ajuda os alunos a compreender a teoria dos circuitos elétricos a partir dos seus conhecimentos empíricos” (Silva, 2011.). Para essa ligação,

serão utilizadas lâmpadas com potencias nominais diferentes (7 W, 15 W e 60 W), conforme Figura 3.3, a fim de que os alunos percebam que lâmpadas de maior potência nominal fornecem maior intensidade luminosa. Permitir ao aluno observar, também, que ao desligar uma das lâmpadas as demais continuam funcionando sem nenhuma alteração. Enfatizar que esse é o tipo de ligação utilizado nas instalações elétricas residenciais.

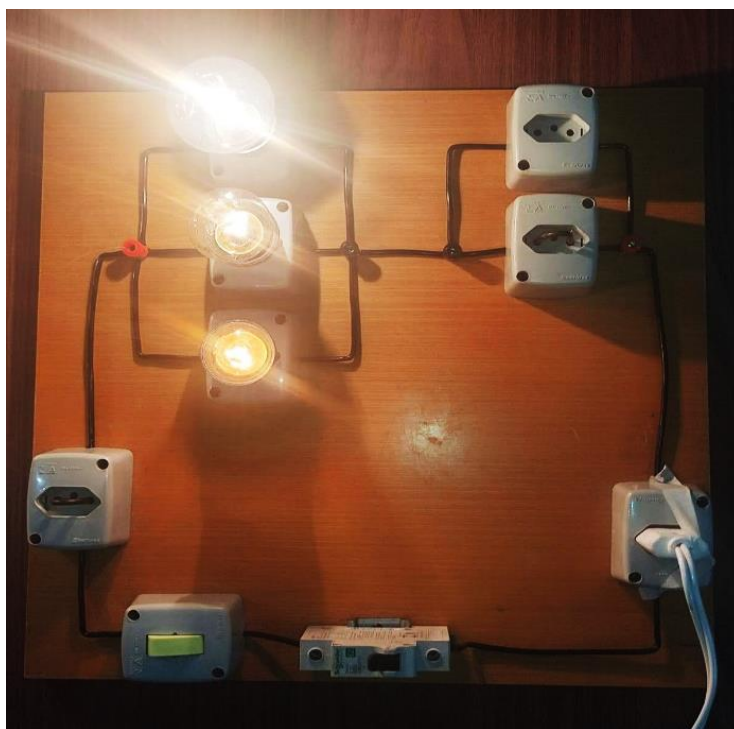


Figura 3.3: Ligação em paralelo feita com lâmpadas de potências diferentes.

Fonte: Acervo do autor (2022).

3.1.3.2. Montagem 2

Nesta segunda montagem, as lâmpadas devem ser associadas em série. Como um dos principais objetivos desta atividade experimental é levar o aluno a fazer comparações entre uma ligação e outra, é importante que as lâmpadas utilizadas para esta montagem sejam as mesmas utilizadas na Montagem 1 (7 W, 15 W e 60 W). Antes de ligar o interruptor do circuito, sugere-se fazer a pergunta: quais lâmpadas acenderão? O resultado dessa ligação trará surpresa e um certo desconforto nos alunos, pois a intensidade luminosa nas lâmpadas de maior potência nominal será menor. Além disso, eventualmente, uma ou mais lâmpadas poderão não acender devido à baixa potência dissipada nelas, conforme ilustra a Figura 3.4.

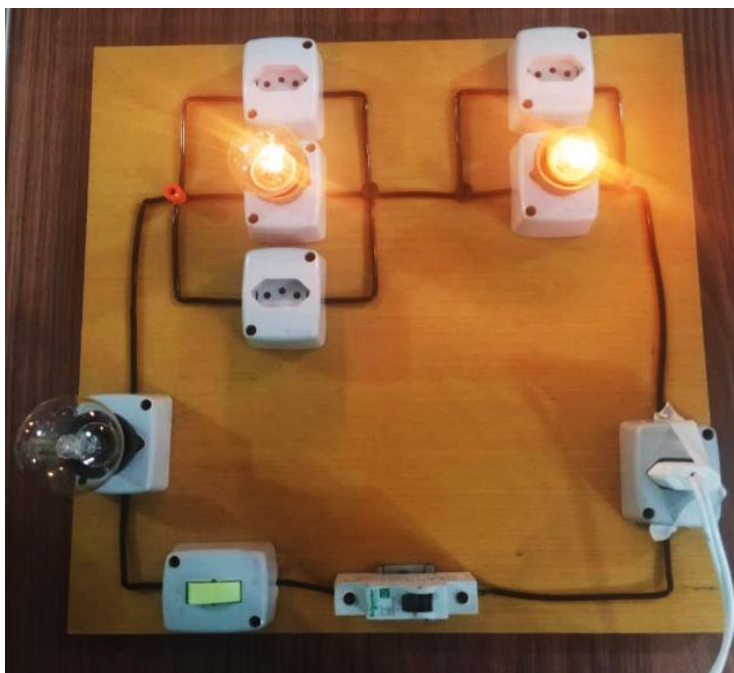


Figura 3.4: Ligação em série feita com lâmpada de potências diferentes.

Fonte: Acervo do autor (2022).

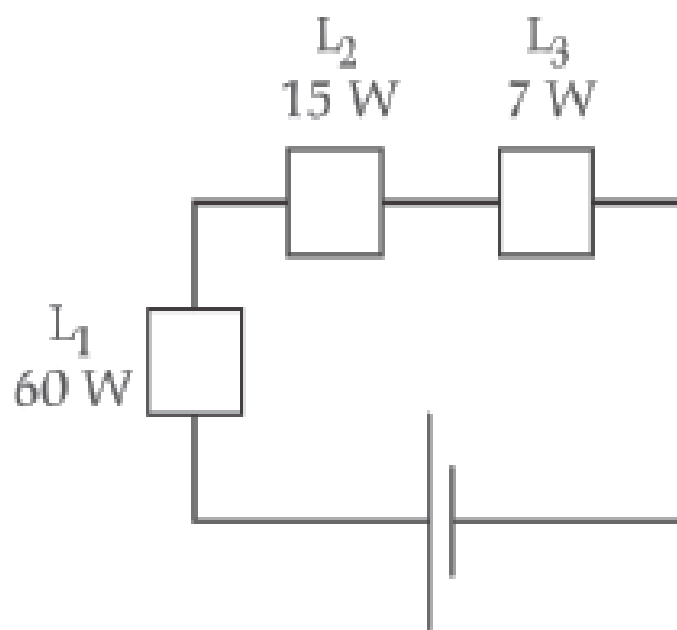


Figura 3.5: Circuito série referente à Figura 3.4

Fonte: Silva (2011, p. 17).

A seguir, serão apresentadas duas ligações mistas para mostrar que, mesmo utilizando as mesmas lâmpadas, a emissão de luz pode mudar completamente se forem alteradas suas posições no circuito.

3.1.3.3. Montagem 3

A primeira montagem com a ligação mista deverá ser feita conforme a Figura 3.6. Serão utilizadas uma lâmpada de 7 W, três de 15 W e uma de 60 W. Nesta montagem o aluno descobrirá que para fazer uma previsão mais razoável de quais lâmpadas acenderão, é preciso aplicar a teoria dos circuitos elétricos. Para isso, basta determinar a potência dissipada em cada uma delas e compará-la ao seu valor nominal.

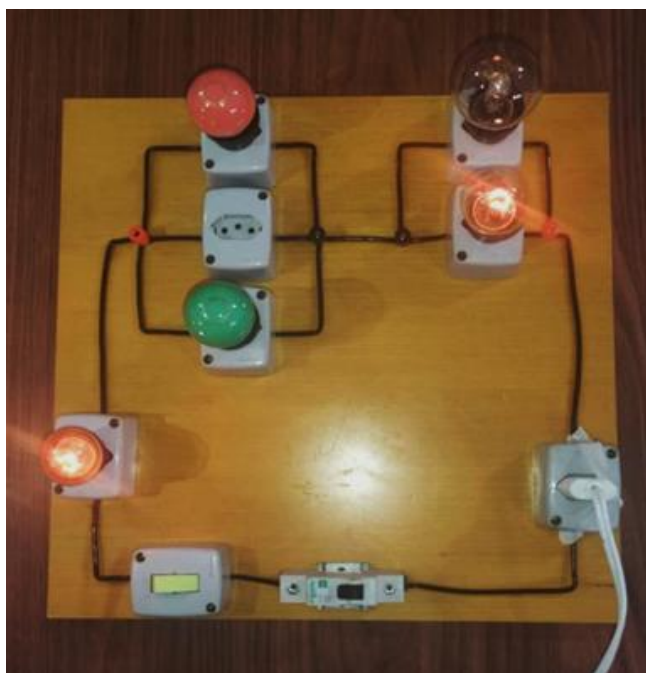


Figura 3.6: Ligação mista feita com lâmpadas com potências diferentes.

Fonte: Acervo do autor (2022).

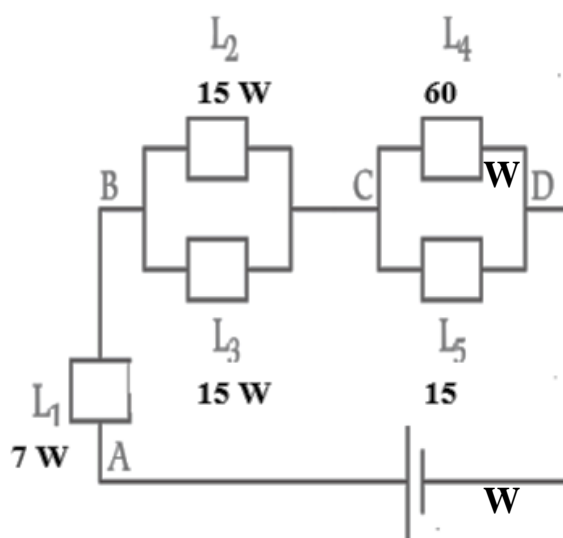


Figura 3.7: Circuito série referente à Figura 3.6.

Fonte: Silva (2011, p. 18).

3.1.3.4. Montagem 4

Nesta segunda montagem com ligação mista (Figura 3.8) serão utilizadas as mesmas lâmpadas da montagem anterior (Figura 3.6 - Montagem 3) para evidenciar que, mesmo utilizando as mesmas lâmpadas, a emissão de luz pode mudar completamente se forem alteradas suas posições no circuito. Para explicar o brilho (ou não brilho) das lâmpadas, basta determinar a potência dissipada em cada uma delas e compará-la ao seu valor nominal. Estes e outros cálculos sobre os resultados das montagens estão disponíveis no artigo de Silva (2011).

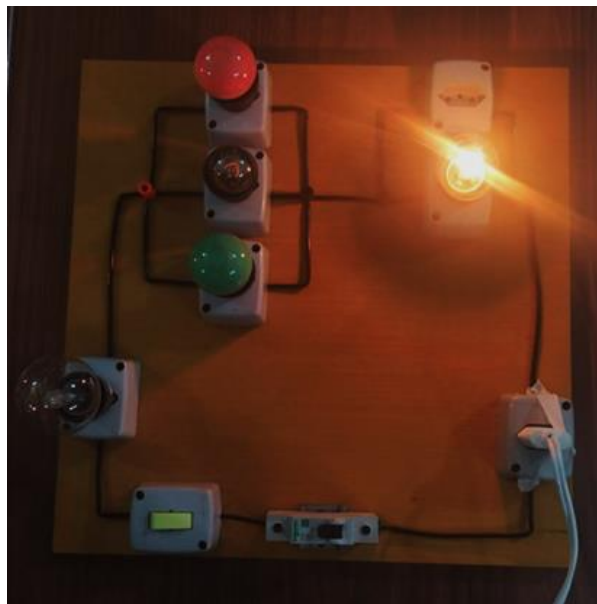


Figura 3.8: Outra ligação mista feita com lâmpadas com potências diferentes.

Fonte: Acervo do autor (2022).

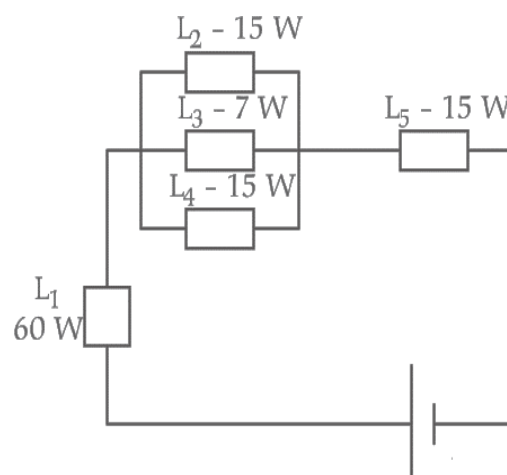


Figura 3.9: Circuito série referente à Figura 3.8.

Fonte: Silva (2011, p. 18).

4. Atividade Experimental 2: Lei De Faraday – Lenz (Freio Magnético)

Esta atividade experimental possibilita ao aluno constatar a geração de correntes induzidas durante a queda de um ímã no interior de um tubo metálico não ferromagnético, fenômeno explicado pelas leis de Faraday e Lenz. De acordo com Silveira, “o que de fato acontece quando realizamos este singelo experimento constitui-se em uma dramática demonstração da Lei da Faraday-Lenz! O magneto leva muito mais tempo para atravessar o tubo do que um objeto não-magnético de mesmo formato” (SILVEIRA, 2007).

4.1 Construção do Aparato

4.1.1. Lista de materiais

- 1 Tubo de metal não magnético, de 30 cm a 60 cm de comprimento, aproximadamente. O tubo pode ser de cobre, zinco ou alumínio. Para esta atividade, foi utilizado um tubo de alumínio (Figura 4.1).

Observação: Tubos desses materiais podem ser encontrados em vários objetos utilizados no cotidiano como, por exemplo, nas antenas de televisão etc. Também podem ser comprados, por preços acessíveis, em casas de materiais de construção, materiais hidráulicos ou elétricos e, também, pela internet.



Figura 4.1: Tubo de alumínio em diferentes ângulos.

Fonte: Acervo do autor (2022).

- 1 (um) imã, preferencialmente, com formato cilíndrico e cujo diâmetro seja um pouco menor do que o diâmetro da parte oca do tubo, como o da Figura 4.2.

Observação: Para uma melhor visualização do fenômeno, o ideal é que esse imã seja forte, ou seja, um super imã. Imãs dessa natureza são encontrados no interior de HDs e leitores de DVDs usados. Com os imãs retirados de algum HD ou leitor de DVD já se pode visualizar o fenômeno. Mas, esses imãs não possuem o formato ideal. Imãs cilíndricos, e de vários outros formatos, são vendidos na internet por um baixo preço.



Figura 4.2: Imã de Neodímio formato de cilindro.

Fonte: Acervo do autor (2022).

- 1 (uma) peça, preferencialmente cilíndrica, de material ferromagnético e cujo diâmetro seja menor do que o diâmetro da parte oca do tubo, como o da Figura 4.3.



Figura 4.3: Peça de ferro em formato de cilindro.

Fonte: Acervo do autor (2022).

- 1 (um) tubo PVC (Figura 4.4) ou acrílico semelhante ao tubo de metal não magnético.



Figura 4.4: Tubo PVC.

Fonte: Acervo do autor (2022).

4.2 Estratégias para os trabalhos relacionados com a Atividade Experimental 2 – Freio Magnético

Como sugestão, realizar este experimento quando os alunos já tiverem noção de corrente elétrica e campo magnético e, mesmo sem profundidade, noção de indução eletromagnética. Sugestão de tempo previsto: 2 (duas) aulas de cinquenta minutos cada. Para isso:

1º Passo. Levar o aparato para a sala de aula: tubo de metal não magnético, peça de ferro cilíndrica e ímã cilíndrico (preferencialmente com o mesmo formato da peça de ferro). Apresentar o material aos alunos, sem entrar em detalhes em relação à natureza deles. (5 minutos);

2º Passo. Fazer a demonstração do fenômeno, na presença dos alunos, sem fazer nenhum tipo de comentário, nem sobre o material, nem sobre o fenômeno em si. Em seguida, aplicar o “Questionário 1 - Experimento 2 (freio magnético)”, que se encontra anexo neste trabalho. Recolher o Questionário 1. (15 minutos);

3º Passo. Comentar sobre o material das peças cilíndricas e mostrar que o tubo não é ferromagnético etc. Pedir aos alunos que examinem o material e realizem o experimento. Ficar atento e anotar todas as dúvidas e questionamentos dos alunos. (15 minutos);

4º Passo. Aplicar o “Questionário 2 - Experimento 2 (freio magnético)”, que se encontra anexo neste trabalho. Recolher o Questionário 2. (15 minutos);

5º Passo. Utilizando-se da aula expositiva, dar uma explicação mais detalhada a respeito do fenômeno ocorrido no experimento, procurando responder e esclarecer as dúvidas e questionamentos dos alunos. O ideal é que, para esse momento, sejam utilizados outros recursos como apresentação de slides, animações ou vídeos. (35 minutos);

6º Passo. Avaliar os resultados da aplicação da Atividade Experimental 2, destacando o envolvimento, participação e interesse dos alunos; analisar se houve uma melhor compreensão dos conteúdos abordados; observar se algumas concepções espontâneas apresentadas pelos alunos foram superadas etc. (15 minutos).

Observação: A sugestão de 15 minutos, neste momento da aula, é somente para algumas anotações rápidas, ainda na presença dos alunos. Os resultados e dados coletados através dos questionários aplicados e das indagações surgidas no momento da realização do experimento deverão ser analisados criteriosamente e divulgados pelo professor em outro momento.

5. Atividade Experimental 3: Lei de Faraday – Lenz (Bobina e Led)

Esta é mais uma atividade experimental cujo fenômeno observado é explicado pela Lei de Faraday-Lenz. Trata-se de um experimento simples e de fácil realização. A atividade visa abordar experimentalmente a Lei de Faraday, utilizando a força eletromotriz induzida para acender os LEDs conectados aos terminais da bobina. Para variar o fluxo magnético que atravessa a bobina basta segurar com os dedos as extremidades da seringa e fazer um movimento de vai e vem com a mesma.

5.1 Construção do Aparato

5.1.1. Lista de materiais

- 1 (um) imã, preferencialmente, no formato cilíndrico (Figura 5.1).



Figura 5.1: Imã de Ferrite e imã de Neodímio.

Fonte: Acervo do autor (2022).

Observação: Para obter um melhor resultado, utilizar um super imã, por exemplo, de Neodímio.

- 1 (uma) seringa pequena ou média, sem o êmbolo, como, por exemplo, a da Figura 5.2. O tamanho da seringa é de acordo com o tamanho e diâmetro do imã. Lembrando que o imã deve movimentar livremente pelo interior da seringa.



Figura 5.2: Seringa 10 ml.

Fonte: Acervo do autor (2022).

- 1 (uma) fita adesiva.

Observação: Onde comprar? Armazéns, papelarias, casa de materiais elétricos etc.

- 2 (duas) lâmpadas de LED.

Observação: Os LEDs podem ser retirados de lanternas que não são mais utilizadas ou comprados em lojas de materiais elétricos ou eletrônicos.

- Aproximadamente 20 metros de fio de cobre esmaltado.

Observação: O fio de cobre pode ser encontrado no interior de qualquer motor elétrico, por exemplo: liquidificadores, secadores de cabelo, máquina de lavar etc. Algumas lojas que trabalham com manutenção de motores elétricos costumam nem cobrar por uma pequena quantidade. Vários sites vendem o produto pela internet, com baixo custo.

5.1.2 Construção do Aparato

De acordo com a Figura 5.3:

1º Passo. Enrolar um pouco de fita adesiva, próximo as extremidades da seringa, para facilitar a realização do 2º passo;

2º Passo. Envolver a seringa com o fio de cobre formando uma espécie de bobina, deixando uma ponta de aproximadamente 20 cm em cada uma das extremidades;

3º Passo. Prender uma extremidade.

A polarização que permite a emissão de luz pelo LED é o terminal anodo no positivo e o catodo no negativo. Para identificar qual dos terminais é o ânodo e qual é o

catodo, basta observar o tamanho dos terminais. A “perninha” maior do LED é o ânodo, e a menor é o catodo.

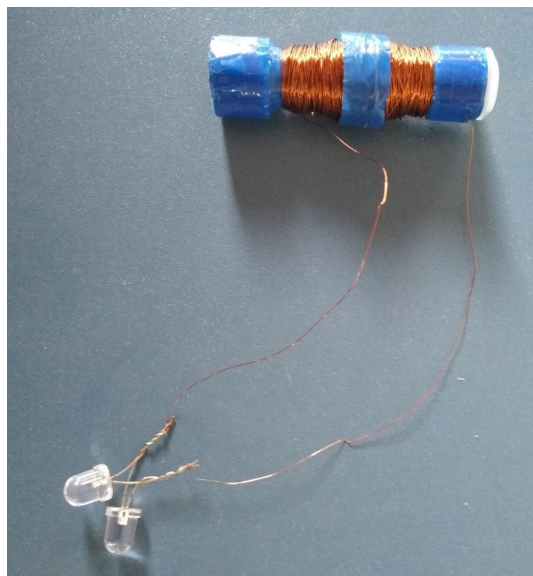


Figura 5.3: Materiais (aparato) utilizados na atividade experimental.

Fonte: Acervo do autor (2022).

5.2 Procedimentos metodológicos para os trabalhos relacionados com a Atividade Experimental 3 – Bobina e LED

Como sugestão, realizar esta atividade após os trabalhos com a Atividade Experimental 2 (tubo). Sugestão de tempo previsto: 2 (duas) aulas de cinquenta minutos cada, conforme os passos abaixo:

1º Passo. Levar o aparato até a sala de aula, colocando-o sobre uma mesa em uma posição que todos os alunos possam ver e acompanhar. Comentar brevemente sobre o material utilizado na construção do aparato. (5 minutos);

2º Passo. Na presença de todos os alunos, fazer a demonstração do fenômeno, repetindo o processo algumas vezes. Para uma visualização mais satisfatória do fenômeno, quanto menos luz tiver no ambiente, na hora da demonstração, melhor será. (5 minutos);

3º Passo. Pedir que os próprios alunos manuseiem o aparato e, também, demonstrem o fenômeno. (10 minutos);

4º Passo. Aplicar o “Questionário – Experimento 3 (Led)” e, em seguida, o “Questionário Geral - Experimentos 2 e 3”. Recolher os dois questionários. (20 minutos);

5º Passo. Avaliar os resultados da aplicação da Atividade Experimental 2, destacando o envolvimento, participação e interesse dos alunos; analisar se houve uma melhor compreensão dos conteúdos abordados; observar se algumas concepções espontâneas apresentadas pelos alunos foram superadas etc. (10 minutos).

Observação: A sugestão de 10 minutos, neste momento da aula, é somente para algumas anotações rápidas, ainda na presença dos alunos. Os resultados e dados coletados através dos questionários aplicados e das observações e indagações surgidas no momento da realização do experimento deverão ser analisados criteriosamente e divulgados pelo professor em outro momento;

6º Passo. Em outro momento (aula), após analisar as respostas dadas pelos alunos aos três questionários e fazer um levantamento das concepções espontâneas apresentadas, realizar novamente os experimentos, com a participação dos alunos. Através da aula expositiva e das observações experimentais, esclarecer o conceito de fluxo e sua relação com a indução eletromagnética. Discorrer sobre as Leis da Indução Eletromagnética (Faraday-Lenz). Explicar a relação entre os dois experimentos e destacar algumas aplicações dos fenômenos observados, no cotidiano. O ideal é que, para esse momento, sejam também utilizados outros recursos tais como apresentação de slides, animações ou vídeos. (50 minutos).

6. Considerações Finais

Diante do que foi proposto neste Produto Educacional, acredita-se que a ferramenta possa ser de fato um objeto de aprendizagem que desperte e melhore o interesse dos alunos pelas aulas de Física e, conseqüentemente, possibilite aos mesmos uma melhor compreensão dos conteúdos abordados.

Os experimentos escolhidos são atrativos e potencialmente eficientes no que se propõe a ensinar, porém, para que o resultado seja satisfatório em relação à aprendizagem dos alunos, é preciso que haja empenho e dedicação por parte do professor e envolvimento e interesse por parte dos alunos. Os materiais utilizados na construção dos aparatos são de baixo custo e fáceis de serem encontrados.

A metodologia proposta não é de difícil aplicação e pode ser readaptada de acordo com a realidade escolar, por exemplo, caso o professor tenha disponibilidade, poderá utilizar um maior número de aulas para desenvolver as atividades. A ideia de inserir alguns questionários durante a aplicação do Produto Educacional pode favorecer uma maior interação do professor com os alunos e, conseqüentemente, uma maior participação dos mesmos nas atividades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COVOLAN, S. C. T. *O conceito de entropia num curso destinado ao Ensino Médio a partir das concepções prévias dos estudantes e da História da ciência*. 2004. 112 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP, 2003. Disponível em:

<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000316911&opt=4>

Acesso em: 26 dez. 2022.

PERUZZO, J. *Experimentos de física básica: Eletromagnetismo, Física Moderna e Ciências Espaciais*. São Paulo: Livraria da Física, 2013.

SILVA, M.C. Quais lâmpadas acendem? Entendendo o funcionamento dos circuitos elétricos. *Física na Escola*, v. 12, n. 1, 2011. Disponível em:

<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol12/Num1/circuitos.pdf> Acesso em: 27 dez. 2022.

SILVEIRA, F. L., MOREIRA, M. A.; AXT, R. Validação de um teste para verificar se o aluno possui concepções científicas sobre corrente elétrica em circuitos simples.

Ciência e Cultura, São Paulo, v. 41, n. 11, p. 1129-1133, 1989. Disponível em:

http://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/Teste_corrente_eletrica.pdf Acesso em: 27 dez.

2022.

SILVEIRA, F. L.; LEVIN, Y.; RIZZATO, F. B. A frenagem eletromagnética de um ímã que cai. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 24, n. 3, p. 295-318, 2007. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/Queda_freada_magneto.pdf

Acesso em: 26 dez. 2022.

APÊNDICE B**Questionário 1 - Experimento 2 (tubo)**

01- Os fenômenos observados na demonstração do experimento estão relacionados a que área da Física?

02- Os fenômenos observados são explicados e comprovados por qual(is) conteúdo(s) específico(s) da Física?

03- De que material você acha que é feito o tubo?

04- De que material você acha que é feita cada uma das duas peças cilíndricas?

05- Qual a peça que, ao cair no interior do tubo, o atravessa mais rapidamente?

06- Por que uma das peças cai rapidamente e a outra não?

APÊNDICE C**Questionário 2 - Experimento 2 (tubo)**

01- Por que você acha que o ímã cai devagar no interior do tubo de alumínio, enquanto a peça de aço cai rapidamente?

02- Você acha que se o tubo fosse de madeira ou de PVC, o ímã ainda cairia lentamente ou cairia rapidamente? Por quê?

APÊNDICE D**Questionário 3 - Experimento 2 (LED)**

01- Os fenômenos observados na demonstração do Experimento 3 (Led) estão relacionados a que área da Física?

02- Os fenômenos observados são explicados e comprovados por qual(is) conteúdo(s) específico(s) da Física?

03- Por que você acha que o Led acende quando oscilamos o ímã no interior do tubo?

04- Por que você acha que o Led acende apenas em um sentido de movimentação do ímã, mas no outro sentido ele não acende?

APÊNDICE E**Questionário Geral – Experimentos 2 e 3**

01- Você já tinha visto antes a demonstração do Experimento 2 (tubo)? E do Experimento 3 (Led)?

02- Você acredita haver alguma relação entre os últimos dois Experimentos (2 e 3), o do tubo de alumínio e o do led? Em caso afirmativo, saberia dizer qual?

03- O fenômeno que está ocorrendo com este ímã ou com este led está presente, de alguma forma, em nosso cotidiano? Em caso afirmativo, saberia dizer de que forma?

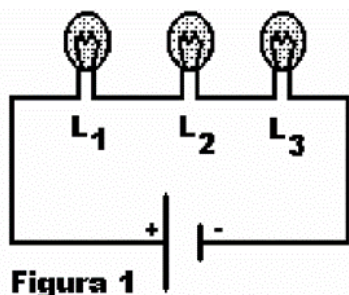
ANEXO I Questionário – Circuito Elétrico Simples

Teste sobre corrente elétrica em circuitos simples

Observação: O teste foi retirado do documento: SILVEIRA, F. L., MOREIRA, M. A. e AXT, R. Validação de um teste para verificar se o aluno possui concepções científicas sobre corrente elétrica em circuitos simples. *Ciência e Cultura*, São Paulo, 41(11): 1129-1133, nov. 1989. Foram realizados apenas ajustes de caráter estético, a fim de facilitar a compreensão das figuras e questões.

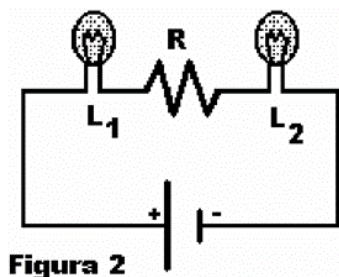
Em todas as questões deste teste, admite-se que as lâmpadas sejam iguais. Os brilhos das lâmpadas crescem quando a intensidade da corrente elétrica aumenta. A bateria representada tem resistência elétrica desprezível.

1) **No circuito da figura 1 pode-se afirmar que:**



- a) L1 brilha mais do que L2 e esta mais do que L3.
- b) L3 brilha mais do que L2 e esta mais do que L1.
- c) as três lâmpadas têm o mesmo brilho.

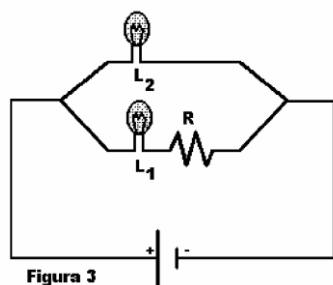
2) **No circuito da figura 2, R é um resistor. Neste circuito:**



- a) L1 e L2 têm o mesmo brilho.
- b) L1 brilha mais do que L2.

c) L2 brilha mais do que L1.

3) No circuito da figura 3, R é um resistor. Neste circuito:

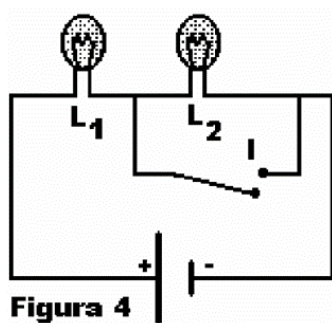


a) L1 tem o mesmo brilho de L2.

b) L2 brilha mais do que L1.

c) L1 brilha mais do que L2.

4) No circuito da Figura 4, I é um interruptor aberto. Ao fechá-lo:

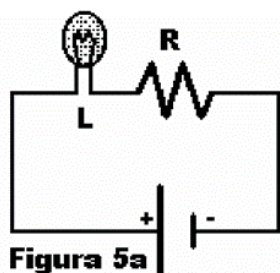


a) aumenta o brilho de L1.

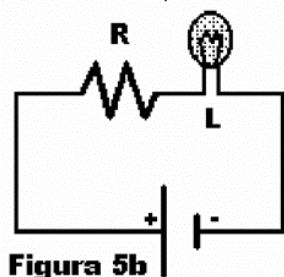
b) o brilho de L1 permanece o mesmo.

c) diminui o brilho de L1.

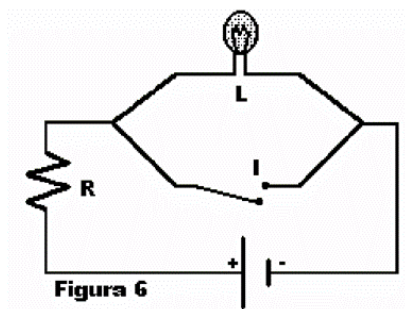
5) Nos circuitos 5a e 5b a lâmpada L , o resistor R e a bateria são exatamente os mesmos. Nestas situações:



- a) L brilha mais no circuito 5a.
 b) L brilha igual em ambos os circuitos.
 c) L brilha mais no circuito 5b.

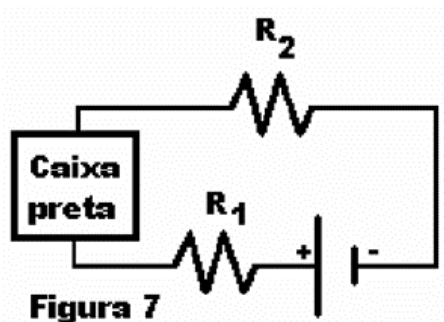


6) No circuito da figura 6, R é um resistor e I é um interruptor que está aberto. Ao fechar o interruptor:



- a) L continua brilhando como antes.
 b) L deixa de brilhar.
 c) L diminui seu brilho, mas não apaga.

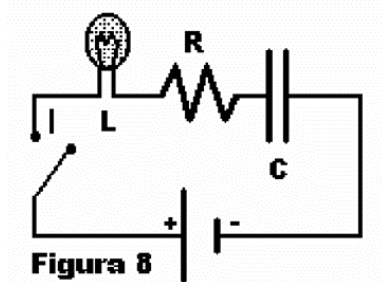
7) No circuito da figura 7 R_1 e R_2 são dois resistores. A caixa preta pode conter resistores, baterias ou combinações de ambos. Para que a intensidade da corrente em R_1 fosse igual à intensidade da corrente em R_2 a caixa preta:



- a) deveria conter somente resistores.

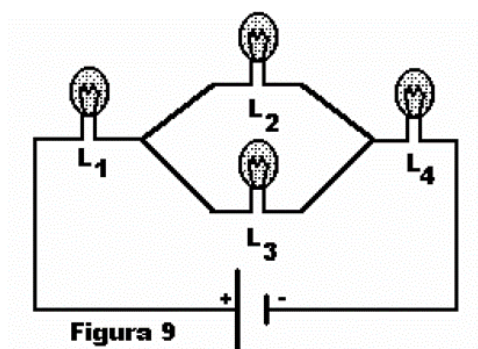
- b) deveria conter no mínimo uma bateria.
 c) poderia conter qualquer associação de resistores e baterias.

8) No circuito da figura 8, L é uma lâmpada, R um resistor, C um capacitor descarregado e I um interruptor aberto. Ao fechar o interruptor:



- a) L começa a brilhar e continua brilhando enquanto o interruptor estiver fechado.
 b) L não brilhará enquanto o capacitor não estiver carregado.
 c) L poderá brilhar durante parte do processo de carga do capacitor.

As questões 9 e 10 se referem ao circuito da figura 9.



9) No circuito da figura 9 o brilho de $L1$ é:

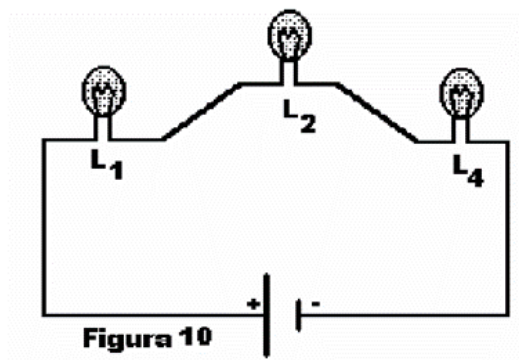
- a) igual ao de $L4$.
 b) maior do que o de $L4$.
 c) menor do que o de $L4$.

10) No circuito da figura 9 o brilho de $L2$ é:

- a) igual ao de $L4$.

- b) maior do que o de L4.
c) menor do que o de L4.

O circuito da figura 9 foi modificado pois se tirou a lâmpada L3. O novo circuito é, então, o da figura 10.



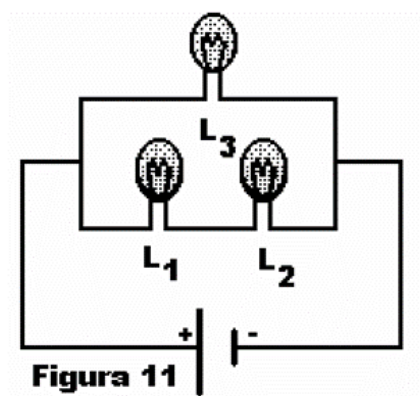
11) Quando se compara o brilho de L1 nos circuitos 9 e 10 ele é:

- a) maior no circuito 10.
B) menor no circuito 10.
C) o mesmo nos dois.

12) quando se compara o brilho de L4 nos circuitos 9 e 10 ele é:

- a) maior no circuito 10.
B) menor no circuito 10.
C) o mesmo nos dois.

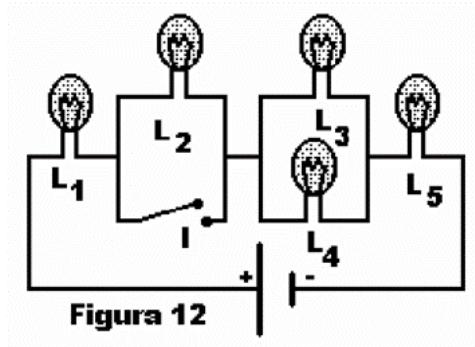
13) No circuito da figura 11:



- a) L1 e L2 têm o mesmo brilho que é menor do que o de L3.

- b) L1 brilha mais do que L2 e do que L3.
 c) L1, L2 e L3 brilham igualmente.

14) No circuito da figura 12, quando o interruptor é aberto, as lâmpadas L3 e L4 deixam de brilhar, embora L2 brilhe. O que acontece com as lâmpadas L1 e L5?



- a) nem L1, nem L5 brilham.
 b) L1 brilha e L5 não brilha.
 c) L1 e L5 brilham.

Importante: não faça marcas nas folhas de questões. Responda apenas nesta folha de respostas.

NOME: _____

Em cada questão do teste marque apenas uma das três alternativas (a, b, c) que, na sua opinião, melhor completa o enunciado.

Questão	Alternativa		
1	a	b	c
2	a	b	c
3	a	b	c
4	a	b	c
5	a	b	c
6	a	b	c
7	a	b	c
8	a	b	c
9	a	b	c
10	a	b	c
11	a	b	c
12	a	b	c
13	a	b	c
14	a	b	c

ANEXO II Texto – Quais Lâmpadas Acendem? Entendendo o funcionamento dos circuitos elétricos.



.....
Mauro Costa da Silva
 Departamento de Física, Colégio Pedro
 II, Niterói, RJ, Brasil
 E-mail: maurocostasilva@ig.com.br

O estudo da eletricidade é repleto de conceitos abstratos e de difícil compreensão, tais como: campo elétrico, diferença de potencial, corrente elétrica, entre outros. Um longo caminho é trilhado até que os estudantes tenham conhecimento suficiente para entender o funcionamento dos circuitos elétricos básicos, compostos de resistores associados em série, paralelo ou em associação mista.

O conteúdo é extenso e seu estudo é árduo, provocando desinteresse de muitos alunos. Esse quadro pode ser, em parte, revertido com atividades experimentais lúdicas e desafiadoras para os alunos. Essas atividades consistem em o professor propor aos alunos preverem

quais lâmpadas acenderão numa determinada ligação elétrica e com que intensidade luminosa.¹ Funciona como um jogo onde ganha quem acertar a previsão.

A prática cotidiana estabelece que uma lâmpada acende quando o interruptor é ligado. É também amplamente sabido que uma lâmpada incandescente de 100 W ilumina mais um ambiente que uma lâmpada de 40 W, ou seja, lâmpadas de maior potência nominal² emitem maior intensidade de luz. Essa lógica, bem conhecida, está em perfeito acordo com o estudo da eletricidade, em particular, dos circuitos elétricos. Entretanto, cabe ao professor destacar, e aos alunos compreender, que esse comportamento das lâmpadas é consequência do tipo de ligação a que estão sujeitas nas residências, escolas, e demais estabelecimentos. Mudando a ligação entre as lâmpadas, altera-se seu funcionamento. Desta forma, pode-se afirmar que o comportamento das lâmpadas nas instalações domésticas e comerciais é apenas

um caso particular dos tipos de ligações elétricas possíveis que são estudadas em eletricidade.

Lâmpadas incandescentes comportam-se como os resistores elétricos estudados na teoria dos circuitos. Nas atividades experimentais que serão propostas, as lâmpadas incandescentes farão o papel dos resistores, e a intensidade de luz emitida dará a percepção visual da potência

dissipada em cada lâmpada. Com isso, será possível rever e comprovar os conteúdos previamente ensinados.

Durante as atividades experimentais, o aluno perceberá que ele só terá êxito nas suas previsões sobre quais lâmpadas acenderão se utilizar cor-

retamente os conceitos estudados em sala de aula, em particular, no caso da ligação mista.

Metodologia

O método consiste em inicialmente apresentar aos alunos os conteúdos teóricos sobre eletrodinâmica, entre eles: d.d.p., corrente elétrica, resistência elétrica, lei de Ohm, assim como as associações de resistores, destacando as principais características de cada uma dessas associações. Após todos os conteúdos estudados, é proposta uma série de demonstrações experimentais com objetivo de aplicação, fixação e compreensão do funcionamento dos circuitos elétricos.³

Atividades experimentais

Para a realização das atividades experimentais, é utilizada uma montagem com material facilmente encontrado em qualquer loja de material elétrico. A montagem deverá possibilitar a demonstração

Este artigo propõe uma série de atividades experimentais envolvendo ligação de lâmpadas incandescentes em circuitos paralelo, série, ou misto. O objetivo dessa atividade é dar aos estudantes alguma percepção concreta, embora indireta, dos conceitos físicos sobre eletricidade, tais como: corrente; potencial; e resistência. Utilizando os conteúdos previamente estudados sobre circuitos elétricos, os estudantes poderão prever o funcionamento de uma determinada ligação de lâmpadas. Após os devidos cálculos, será possível determinar quais lâmpadas acenderão, bem como estimar a intensidade luminosa emitida em cada lâmpada. Esta intensidade luminosa dará uma percepção visual da potência dissipada nos resistores, substituídos nesta atividade pelas lâmpadas. Esta prática permite aos alunos prever, testar e comprovar seu aprendizado teórico através de experimentos desafiadores.

das ligações série, paralela e mista.

Lista de material

- Folha de Eucatex - 40 cm x 40 cm
- 3 lâmpadas incandescentes de 15 W
- 7 tomadas externas
- 1 lâmpada incandescente de 7 W
- 1 interruptor externo
- 3 m de fio paralelo de 2,5 mm²
- 1 disjuntor 30 A
- 2 tomadas macho
- Fio 2,5 mm²
- 5 bocais com tomada macho
- 1 lâmpada incandescente de 60 W

A Fig. 1 apresenta a montagem do circuito que será utilizado para as ligações elétricas propostas, e a Fig. 2 mostra as lâmpadas e fios que serão utilizados nas diversas ligações.

Procedimento

A primeira demonstração deve ser a associação paralela, pois ajuda os alunos a compreender a teoria dos circuitos elétricos a partir dos seus conhecimentos empíricos. Após apresentada a ligação paralela, deve-se apresentar a ligação série. Nesta, pode-se mostrar que o funcionamento das lâmpadas ocorre em clara oposição à ligação paralela. Em ambas as ligações apresentadas, é possível tirar conclusões gerais sobre a potência nominal das lâmpadas e o respectivo brilho forne-

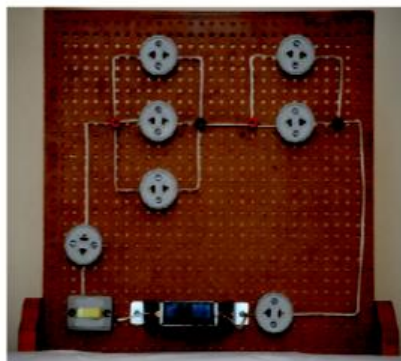


Figura 1 - Montagem de um circuito elétrico.



Figura 2 - Lâmpadas, fios e bocais.

cido por elas quando ligadas em série ou paralelo. A ligação mista, entretanto, não permite qualquer previsibilidade sobre o funcionamento das lâmpadas, a menos que se utilize a teoria dos circuitos elétricos. Por isso, a ligação se torna mais desafiadora. Esse é o foco central dos experimentos: motivar os alunos para que, de forma lúdica, semelhante a um jogo, eles utilizem seus conhecimentos teóricos para determinarem, antecipadamente, quais lâmpadas acenderão numa determinada ligação mista.

Ligação paralela

A ligação paralela deve ser montada utilizando lâmpadas de potências nominais diferentes,⁴ a fim de que os alunos percebam que lâmpadas de maior potência nominal fornecem maior intensidade luminosa. Pode-se mostrar ainda que, ao se desligar uma lâmpada, o funcionamento das demais é inalterado. Essas observações experimentais se verificam no cotidiano do aluno. Desligar a lâmpada de um ambiente não implica desligar obrigatoriamente as lâmpadas dos demais ambientes. A partir dessas observações, é possível concluir que a ligação residencial é uma associação paralela.

A ligação paralela é apresentada na Fig. 3.

Ligação série

Para efeito de comparação, devem-se utilizar as mesmas lâmpadas empregadas na ligação paralela para montar a ligação série, conforme a Fig. 4. Quais lâmpadas acenderão?

Ao ligar o interruptor, o desconforto dos alunos é evidente. As lâmpadas de maior potência nominal emitem menos luz. Eventualmente, uma ou mais lâmpadas não acenderão em função da baixa potência dissipada nelas. É justamente o caso apresentado na Fig. 4. O entendimento técnico desse circuito é apresentado na Fig. 5:⁵

Determinação da resistência das lâmpadas: $P = V^2/R$.

Lâmpada de 7 W:

$$R_{7W} = 110^2/7 \approx 1700 \Omega$$

Lâmpada de 15 W:

$$R_{15W} = 110^2/15 \approx 800 \Omega$$

Lâmpada de 60 W:

$$R_{60W} = 110^2/60 \approx 200 \Omega$$

Resistência equivalente do circuito série:

$$R_{eq} = 200 + 800 + 1700 = 2700 \Omega$$

Corrente elétrica do circuito série:

$$i = 110/2700 \approx 40 \text{ mA}$$

Potência dissipada em cada lâmpada:

$$L_1 (60 \text{ W}):$$

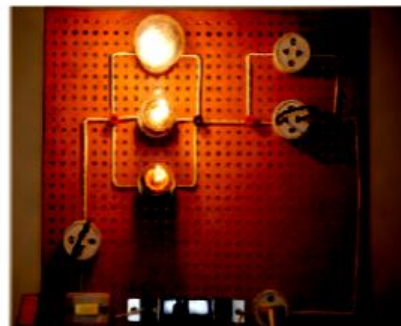


Figura 3 - Ligação paralela feita com lâmpadas de potências diferentes.

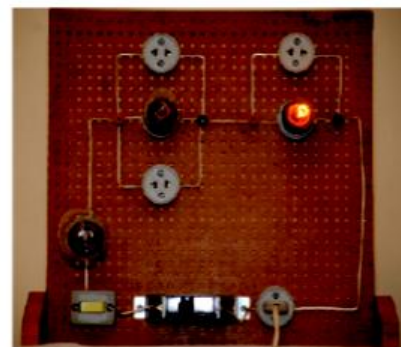


Figura 4 - Ligação série feita com lâmpadas de potências diferentes.

$$P = r \cdot i^2 = 200 \cdot (40 \text{ mA})^2 \approx 0,3 \text{ W}$$

$$L_2 (15 \text{ W}):$$

$$P = r \cdot i^2 = 800 \cdot (40 \text{ mA})^2 \approx 1,3 \text{ W}$$

$$L_3 (7 \text{ W}):$$

$$P = r \cdot i^2 = 1700 \cdot (40 \text{ mA})^2 \approx 2,7 \text{ W}$$

A potência dissipada na lâmpada de 60 W é praticamente nula, o que explica ela permanecer "apagada" na Fig. 4. A lâmpada de 7 W dissipa a maior potência entre as lâmpadas, emitindo maior intensidade luminosa. A potência dissipada prevista na lâmpada de 15 W é cerca de 10% da sua potência nominal. Por isso, apenas o seu filamento fica enrufescido, sem emissão significativa de luz.

Após as observações experimentais, podem-se tirar conclusões gerais. Lâmpadas de menor potência nominal têm maior resistência elétrica ($R = V^2/P$). Em um circuito série, a corrente elétrica é igual

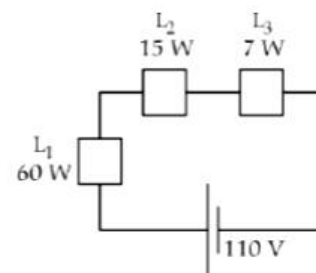


Figura 5 - Circuito série referente à Fig. 4.

para todos os resistores. Como $P = R \cdot i^2$, quanto maior a resistência, maior a potência e, conseqüentemente, maior a intensidade luminosa emitida pela lâmpada. É o oposto do que acontece na ligação paralela, onde lâmpadas de maior potência nominal emitem mais intensidade luminosa.

Tendo visto as ligações paralela e série, os alunos percebem que, mudando a forma de ligação das lâmpadas, a luz emitida por elas também muda. Mesmo com o estranhamento, os alunos concluem que, em uma ligação série, lâmpadas de maior potência nominal emitirão menor intensidade de luz. É um comportamento geral e válido para qualquer circuito série. Há, portanto, um comportamento previsível nas ligações paralela e série. O melhor está por vir.

Ligação mista

Na montagem da ligação mista, as lâmpadas devem ser encaixadas nas tomadas de modo aleatório, de preferência com a participação dos alunos. Com as lâmpadas conectadas, fica a expectativa: quais lâmpadas acenderão? Ao fechar o interruptor, verifica-se que nem todas acendem. É interessante trocá-las de posição algumas vezes para que os alunos percebam que não é possível fazer qualquer previsão confiável sobre quais delas acenderão. Em seguida, escolhe-se uma associação qualquer de lâmpadas sem ligar o interruptor. Diante da incerteza quanto ao funcionamento da nova associação, pode-se demonstrar que, aplicando a teoria dos circuitos elétricos à ligação escolhida, obtém-se uma previsão bastante razoável sobre quais lâmpadas acenderão. Para isso, basta determinar a potência dissipada em cada uma delas e compará-la ao seu valor nominal.

A seguir, serão apresentadas duas ligações mistas para evidenciar que, mesmo utilizando as mesmas lâmpadas, a emissão de luz pode mudar completamente se forem alteradas suas posições no circuito.

Primeira montagem com ligação mista

A primeira montagem com a ligação mista será feita conforme a Fig. 6.

O esquema elétrico da Fig. 6 é apresentado abaixo na Fig. 7 e deve ser mostrado aos alunos para a devida comparação entre o aparato experimental e a sua representação.

Resistência equivalente da ligação paralela das lâmpadas L_2 e L_3

$$R_{eq2,3} = 400 \Omega$$

Resistência equivalente da ligação paralela das lâmpadas L_4 e L_5

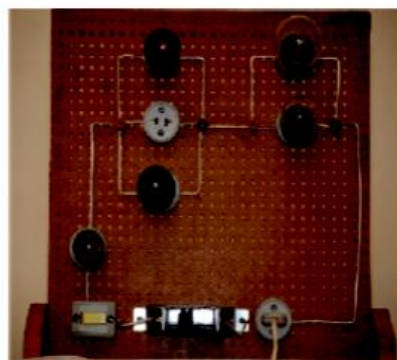


Figura 6 - Primeira montagem com ligação mista.

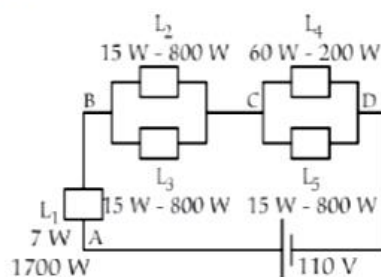


Figura 7 - Circuito misto referente à Fig. 6.

$$R_{eq4,5} = \frac{200 \times 800}{200 + 800} = 160 \Omega$$

A resistência equivalente total do circuito será dada pela ligação série formada pela lâmpada L_1 , $R_{eq2,3}$ e $R_{eq4,5}$

$$R_{eq} = 1700 + 400 + 160 = 2260 \Omega$$

Determinação da corrente elétrica na lâmpada L_1 .

$$i = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{110}{2260} \approx 49 \text{ mA}$$

Determinação da d.d.p. entre os pontos B e C

$$V_{BC} = R \cdot i = 400 \times 0,049 = 19,6 \text{ V}$$

Determinação da d.d.p. entre os pontos C e D

$$V_{CD} = R \cdot i = 160 \times 0,049 = 7,8 \text{ V}$$

Determinação da potência nas lâmpadas:

$$L_1: P = r \cdot i^2 = 1700 \times (0,049)^2 = 4 \text{ W}$$

$$L_2 = L_3: P = V^2/R = 19,6^2/800 = 0,48 \text{ W}$$

$$L_4: P = V^2/R = 7,8^2/200 \approx 0,3 \text{ W}$$

$$L_5: P = V^2/R = 7,8^2/800 \approx 0,08 \text{ W}$$

Análise dos resultados e previsão das lâmpadas que acenderão

As lâmpadas L_2 , L_3 , L_4 e L_5 têm potências dissipadas previstas menores que 0,5 W. Este valor, comparado às potências nominais das referidas lâmpadas, é praticamente zero. Por isso, essas lâmpadas não acenderão. A lâmpada L_1 , de acordo com os cálculos, deverá dissipar uma potência de 4 W, cerca de 60% da potência nominal, portanto esta lâmpada acenderá. A comprovação das previsões é feita ao se ligar o circuito. Com o interruptor ligado, o resultado pode ser observado na Fig. 8.

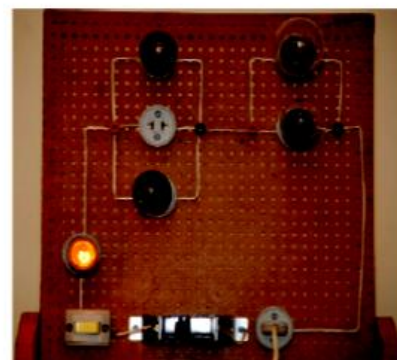


Figura 8 - Resultado para primeira montagem com ligação mista.

Segunda montagem com ligação mista

A segunda montagem é apresentada na Fig. 9. O esquema elétrico é mostrado na Fig. 10.

Determinação da resistência equivalente: a resistência equivalente da ligação paralela é

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{800} + \frac{1}{1700} + \frac{1}{800} \quad R_{eq2,3,4} = 320 \Omega$$

A resistência equivalente total do circuito será dada pela ligação série formada pela lâmpada L_1 , $R_{eq2,3,4}$ e L_5 .

$$R_{eq} = 200 + 320 + 800 = 1320 \Omega$$

Determinação da corrente elétrica nas lâmpadas L_1 e L_5 (que é a própria corrente no gerador)

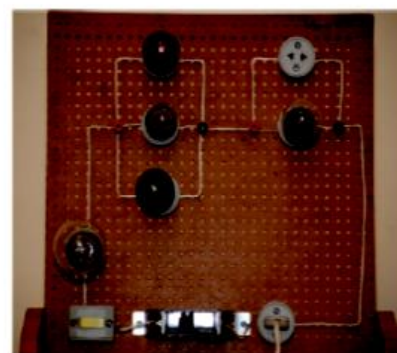


Figura 9 - Segunda montagem com ligação mista.

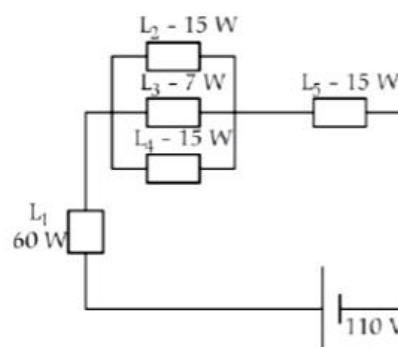


Figura 10 - Circuito elétrico referente à Fig. 9.

$$i = 110/1320 \approx 83 \text{ mA}$$

Determinação da d.d.p. entre os pontos B e C

$$V_{BC} = r \cdot i = 320 \cdot 0,083 = 26,6 \text{ V}$$

Potência dissipada nas lâmpadas

$$L_1: P_{60W} = r \cdot i^2 = 200 \cdot 0,083^2 = 1,4 \text{ W}$$

$$L_2 \text{ e } L_4: P_{15W} = V^2/R = 26,6^2/800 \approx 0,9 \text{ W}$$

$$L_3: P_{7W} = V^2/R = 26,6^2/1700 \approx 0,4 \text{ W}$$

$$L_5: P_{15W} = r \cdot i^2 = 800 \cdot 0,083^2 = 5,5 \text{ W}$$

Análise dos resultados e previsão das lâmpadas que acenderão

A lâmpada L_1 não acenderá. A potência prevista para ser dissipada nessa lâmpada é cerca de 2% da sua potência nominal. As lâmpadas L_2 , L_3 e L_4 têm potência prevista de cerca de 6% da sua potência nominal. Este valor deixa dúvida sobre a lâmpada não acender ou ser possível perceber apenas o filamento enrubescido. Essa margem de erro não compromete o experimento, cria inclusive uma expectativa saudável na turma sobre o resultado do mesmo. A lâmpada L_5 certamente acenderá, pois a potência dissipada prevista é cerca de 35% da sua potência nominal. O resultado é apresentado na Fig. 11.

Avaliação, desafios e diversão

Como forma de avaliação da aula, é



Figura 11 - Resultado para segunda montagem com ligação mista.

possível trocar as lâmpadas de posição e pedir aos alunos que determinem quais delas acenderão. Quando os alunos terminarem os cálculos, o professor pode fazer uma consulta prévia à turma sobre suas expectativas de funcionamento antes de ligar o interruptor. Havendo qualquer discrepância entre o resultado teórico e o experimental, o professor poderá analisar e discutir com os alunos eventuais falhas cometidas nos cálculos.

Considerações finais

A montagem inicial com o circuito paralelo serve para o aluno confirmar seu conceito sobre potência dos resistores, comparando à intensidade da luz emitida. No circuito série a lógica se inverte: a lâmpada de maior potência nominal emite menor intensidade de luz. É o momento de o professor lembrar que as lâmpadas incandescentes vendidas no comércio foram projetadas para dissiparem a potência nominal quando submetidas a d.d.p. especificada (110 V ou 220 V) no bulbo da lâmpada. Na ligação série, a d.d.p. aplicada a um resistor depende da resistência equivalente do circuito e da corrente elétrica. Por isso, a intensidade de luz emitida por uma lâmpada ligada em série depende das demais lâmpadas do circuito.

A ligação mista é completamente imprevisível, o que torna a atividade experimental um verdadeiro desafio: descobrir quais lâmpadas acenderão. Esse desafio será vencido por aqueles que dominarem os conteúdos de eletricidade.

Não há margens estabelecidas sobre o percentual do valor nominal da lâmpada para determinar se ela acenderá ou não. A incerteza faz parte da previsão e deve ser discutida com os alunos, até porque o modelo teórico utilizado desconsidera algumas variáveis, como: a variação da resistência elétrica das lâmpadas com a

temperatura, a correspondente variação da d.d.p. aplicada às lâmpadas e a consequente variação da intensidade luminosa emitida. Esses fatores podem provocar pequenas discrepâncias entre a previsão teórica e o resultado experimental.

Notas

¹A previsão da intensidade luminosa restringir-se-á à comparação entre a luminosidade emitida pelas lâmpadas, estabelecendo qual(ais) acende(m) mais forte, mais fraco e, eventualmente, qual(ais) não acende(m).

²Potência nominal é a potência estabelecida pelo fabricante e apresentada no bulbo da lâmpada.

³Uma alternativa é apresentar, durante as aulas teóricas sobre cada uma das associações de resistores, a respectiva atividade experimental com a correspondente ligação das lâmpadas. Sugiro, neste caso, a sequência de aulas sobre: associação paralela, associação série e associação mista. A justificativa para essa sequência é apresentada ao logo do texto.

⁴No experimento, lâmpadas de 60 W, 15 W e 7 W.

⁵Os cálculos apresentados considerarão a tensão na tomada de 110 V. Não será considerada a variação da resistência elétrica das lâmpadas incandescentes com a temperatura.

Para saber mais

- D. Gonçalves, *Física: Eletricidade, Eletromagnetismo e Corrente Alternada* (Ao Livro Técnico, Rio de Janeiro, 1978) 3ª ed.
 B. Alvarenga e A. Máximo, *Curso de Física* (Editora Scipione, São Paulo, 1997), 4ª ed.
 D. Halliday, R. Resnick and J. Walker, *Fundamentals of Physics Extended* (John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997), 5th ed.

Perguntas do Editor

- Queremos determinar a pressão dentro de uma bola de futebol usando apenas uma balança sensível e uma régua. Como fazê-lo?
- Você tem dois pêndulos, e conhece o período de oscilação de um deles. Qual a maneira mais simples de descobrir o período do outro pêndulo?
- Como você pode, em um dia de sol, descobrir a altura de uma árvore usando apenas uma régua? Obviamente não vale subir na árvore...