

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**SÍLVIO LIMA DIAS**

**EXPERIMENTOS PROJETADOS PARA CONSTRUÇÃO E  
MUDANÇA DE MODELOS MENTAIS NO ENSINO DE  
ELETROMAGNETISMO**

**ALFENAS-MG**

**2018**

**SÍLVIO LIMA DIAS**

**EXPERIMENTOS PROJETADOS PARA CONSTRUÇÃO E  
MUDANÇA DE MODELOS MENTAIS NO ENSINO DE  
ELETROMAGNETISMO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação (UNIFAL-MG), Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Frederico Augusto Toti.

**ALFENAS-MG**

**2018**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas  
Biblioteca Central - Sede

D541e Dias, Silvio Lima.  
Experimentos projetados para construção e mudança de modelo mentais no ensino de eletromagnetismo / Silvio Lima Dias. – Alfenas/MG, 2018.  
103 f.: il. -

Orientador: Frederico Augusto Toti.  
Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Federal de Alfenas, Federal de Alfenas, 2018.  
Bibliografia.

1. Física - Ensino. 2. Eletromagnetismo. 3. Desenvolvimento cognitivo. 4. Psicologia da aprendizagem. I. Toti, Frederico Augusto.  
II. Título.

CDD-373.0284



### ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Às 08h30 min do dia 30 de julho de 2018 foi realizada a sessão de defesa pública de dissertação do discente **Silvio Lima Dias**.

A apresentação oral do trabalho “**Experimentos projetados para construção e mudança de modelos mentais no ensino de eletromagnetismo**”, teve duração de 1 h, e 0 min.

De acordo com os requisitos legais, a comissão examinadora designada para proceder ao exame foi presidida pelo orientador **Prof. Dr. Frederico Augusto Toti** Universidade Federal de Alfenas-MG e composta pelo **Prof. Dr. Samuel Bueno Soltau** - Universidade Federal de Alfenas-MG e pelo **Prof. Dr. Eduardo Di Mauro** - Universidade Estadual de Londrina-PR.

A arguição teve duração total de 1 h e 20 min. Em reunião secreta a Comissão Examinadora fez a apreciação da dissertação e considerou o candidato:

Aprovado                      ( ) Aprovado condicionalmente                      ( ) Reprovado

**Prof. Dr. Frederico Augusto Toti** [Assinatura]  
**Prof. Dr. Samuel Bueno Soltau** [Assinatura]  
**Prof. Dr. Eduardo Di Mauro** [Assinatura]

Parecer final dos examinadores: (opcional)

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Defesa de dissertação nº 82 homologada na 16ª reunião do Colegiado do Programa de Pós-graduação Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física realizada em 01/08/2018

**Prof. Dr. Artur Justiniano Roberto Junior**  
 Coordenador do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física  
 UNIFAL-MG

Dedicatória:  
Aos nossos familiares  
Dedicamos

## AGRADECIMENTOS

A

Cássio

Francielli

Raphael

alunos de Física - Licenciatura da UNIFAL-MG, pela colaboração nas produções dos vídeos. Foram horas de gravações e edições, obrigado!

Agradecimento a Mônica Teresa Vasconcellos Leite que permitiu a utilização da oficina de seu saudoso pai para que eu pudesse confeccionar os aparatos experimentais integrantes deste trabalho. Muito obrigado!

A banca pelas valiosas sugestões.

A natureza é um enorme jogo de xadrez disputado por deuses, e que temos o privilégio de observar. As regras do jogo são o que chamamos de física fundamental, e compreender essas regras é a nossa meta”

*Richard P. Feynman*

## RESUMO

Devido ao seu conteúdo extenso que envolve conceitos abstratos de difícil compreensão, o estudo do Eletromagnetismo revela um elevado grau de desinteresse por parte da maioria dos alunos dentro da disciplina de Física. Além da natureza abstrata dos conceitos envolvidos, soma-se a essa dificuldade a estratégia utilizada no ensino desse tema, que privilegia, quase que exclusivamente, aulas expositivas no quadro, as quais se limitam a uma breve explicação teórica dos fenômenos e leis do Eletromagnetismo, seguida de resolução de exercícios. No entanto, a adoção de atividades experimentais em sala de aula pode amenizar de forma significativa os problemas acima citados, uma vez que elas possibilitam a aplicação do conteúdo em situações práticas. Dessa forma, este trabalho propõe a utilização de um material didático-pedagógico em sala de aula, que permite aos alunos investigarem os conteúdos do Eletromagnetismo de maneira interativa, dando-lhes subsídios para que tenham condições de compreender, questionar e, por fim, adquirir o conhecimento científico. Este trabalho contribui fornecendo uma sequência de experimentos confeccionados com materiais de baixo custo e fácil acesso, obedecendo a ordem com que os tópicos sobre Eletromagnetismo aparecem na história da Física além e também na sequência de algumas obras didáticas. Além disso, foi utilizado como fundamentação teórica os “Modelos Mentais de Johnson-Laird”, em função da versatilidade teórica apresentada nesta teoria para que possamos compreender uma forma de construção individual do conhecimento científico, por parte dos alunos, sujeitos do processo.

Palavras-chave: Ensino de Física. Eletromagnetismo. Modelos Mentais.



## ABSTRACT

The study of Electromagnetism, due to its extensive content that involves abstract concepts difficult to understand, reveals a high degree of disinterest on the part of the majority of the students within the discipline of Physics. In addition to the abstract nature of the concepts involved, there is added to this difficulty the strategy used in teaching this subject, which privileges, almost exclusively, lectures on the subject, which are limited to a brief theoretical explanation of the phenomena and laws of Electromagnetism, followed by resolution of exercises. However, the adoption of experimental activities in the classroom can significantly mitigate the problems mentioned above, since allow the application of the content in practical situations. In this way, this work proposes the use of didactic-pedagogical material in the classroom, which allows students to investigate the contents of Electromagnetism in an interactive way, giving them subsidies so that they are able to understand, question and, finally, acquire the scientific knowledge. This work contributes by providing a sequence of experiments made with materials of low cost and easy access, obeying the order in which the topics on Electromagnetism appear in the history of Physics as well as in the sequence of some didactic works. In addition, the "Mental Models of Johnson-Laird" was used as a theoretical basis, due to the theoretical versatility of this theory, so that we can understand a way of individual construction of scientific knowledge by the students, subjects of the process.

Key words: Teaching Physics. Electromagnetism. Mental Models.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1</b>	<b>Justificativa para o uso dos modelos mentais de Johnson-Laird .....</b>	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>SEQUÊNCIA E DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS PARA MODELOS MENTAIS .....</b>	<b>26</b>
<b>4.1</b>	<b>Descrição e análise dos experimentos e coleção .....</b>	<b>26</b>
<b>4.1.1</b>	<b><i>Experimento 1</i> .....</b>	<b>26</b>
<b>4.1.2</b>	<b><i>Experimento 2</i> .....</b>	<b>27</b>
<b>4.1.3</b>	<b><i>Experimento 3</i> .....</b>	<b>29</b>
<b>4.1.4</b>	<b><i>Experimento 4</i> .....</b>	<b>29</b>
<b>4.1.5</b>	<b><i>Experimento 5</i> .....</b>	<b>31</b>
<b>4.1.6</b>	<b><i>Experimento 6</i> .....</b>	<b>32</b>
<b>4.1.7</b>	<b><i>Experimento 7</i> .....</b>	<b>33</b>
<b>4.1.8</b>	<b><i>Experimento 8</i> .....</b>	<b>34</b>
<b>4.1.9</b>	<b><i>Experimento 9</i> .....</b>	<b>36</b>
<b>4.1.10</b>	<b><i>Experimento 10</i> .....</b>	<b>36</b>
<b>4.1.11</b>	<b><i>Experimento 11</i> .....</b>	<b>37</b>
<b>4.1.12</b>	<b><i>Experimento 12</i> .....</b>	<b>37</b>
<b>4.1.13</b>	<b><i>Experimentos 13 a 18</i> .....</b>	<b>39</b>
<b>4.1.14</b>	<b><i>Experimento 19</i> .....</b>	<b>44</b>
<b>4.1.15</b>	<b><i>Experimento 20</i> .....</b>	<b>45</b>
<b>4.1.16</b>	<b><i>Experimento 21</i> .....</b>	<b>46</b>
<b>4.1.17</b>	<b><i>Experimento 22</i> .....</b>	<b>47</b>
<b>4.1.18</b>	<b><i>Experimentos 23 a 25</i> .....</b>	<b>48</b>
<b>4.1.19</b>	<b><i>Experimento 26</i> .....</b>	<b>52</b>
<b>4.1.20</b>	<b><i>Experimento 27</i> .....</b>	<b>53</b>
<b>4.1.21</b>	<b><i>Experimento 28</i> .....</b>	<b>54</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>57</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>60</b>
	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>63</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Um elemento fascinante da Física é sua constituição como uma ciência de ampla base experimental. Não há muito tempo em que o ensino de Física, em todos os segmentos educacionais têm a possibilidade de ser orientado por resultados de pesquisa entrelaçando pesquisas fundamentais e aplicadas. Um resultado de pesquisa relevante para nosso recorte aqui trata-se de Cachapuz, et al (2011). Neste trabalho de Cachapuz, et al (2011), organizado a partir de uma ampla revisão sobre as perspectivas epistemológicas, os autores defendem a relevância de uma visão mais acertada sobre a natureza da ciência e a tecnologia para a aprendizagem de ciências, nos diversos segmentos da Educação.

Especificamente, é relevante saber que determinadas visões distorcidas sobre a natureza da ciência, tais como: visão indutivista, neutra, atórica, empiricista, dentre outras, podem gerar obstáculos ao engajamento dos sujeitos na aprendizagem, ou nas suas próprias construções sobre a ciência. Cachapuz, et al (2011) descrevem sete distorções sobre a natureza da ciência que são frequentes entre professores (de todos os segmentos), mas três compreensões em especial nos chama a atenção: representações empírico-indutivista e atórica da ciência; representações da ciência como algo rígido, algorítmico, infalível e representações exclusivamente analíticas da ciência (CACHAPUZ, et al, pp. 58-51, 2011).

Neste contexto é que se insere nossa contribuição. O objetivo principal é socializar a experiência, de anos do autor, acumuladas em uma proposta de ensino de eletromagnetismo, com uso de experimentos que podem ser construídos com materiais simples, favorecendo uma considerável transparência didática e epistemológica. Consideramos que uma característica essencial de materiais experimentais para Educação seja a possibilidade de ajudar os alunos perceber o fenômeno e a engenhosidade das construções para evidenciar tais fenômenos.

A sequência de vinte e oito experimentos visa favorecer a construção de modelos mentais mais próximos dos científicos, em etapas avançadas do ensino de eletromagnetismo no Ensino Médio e também no Ensino superior. Essa sequência busca ainda trilhar e explorar uma sequência histórica de produção de conhecimento fundamental para a Física - o Eletromagnetismo.

Para cada experimento, elaboramos um vídeo que traz uma análise, forma de uso sugerida e detalhes da construção dos experimentos. Reunimos um conjunto de problematizações organizados por sequência de experimentos e um manual com algumas expectativas de respostas sobre as problematizações. Além disso organizamos um material para aprofundamento sobre componentes utilizados e que remetem à explicações não clássicas (Física Quântica).

Ressaltamos que se trata de um material de apoio para implementação dos recursos propostos para a construção de modelos mentais, segundo o referencial teórico adotado. Este conjunto a que chamamos de quadro de problematizações deve ser adaptado pelo professor conforme são produzidos sucessivos aperfeiçoamentos de modelos mentais pelos alunos. A cada etapa, as aproximações do modelos mentais devem ser avaliadas para que novas problematizações possam ser construídas pelos alunos na interação com os experimentos e os vídeos.

Recomendamos que o leitor acesse o conteúdo proposto de modo antecipado à leitura completa, nos apêndices e no capítulo 3 dedicado à apresentação dos experimentos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

D'Ávila (1999) indica a necessidade de se fundamentar as propostas didáticas com uso de experimentação com materiais de baixo custo, já que é oferecida ao aluno a oportunidade de interagir com o seu meio, conscientizando-o e despertando-lhe o interesse pela Ciência, enfatizando assim o educando como um ser social. D'Ávila (1999) revela, mediante uma revisão de literatura, a ausência de fundamentação teórica para o emprego dos materiais de baixo custo e sua avaliação como recurso didático. A análise dos resultados obtidos por D'Ávila (1999) corrobora a proposta aqui apresentada quanto ao uso de experimentos elaborados com materiais de baixo custo, pois revela a importância da interação direta dos alunos com o seu objeto de estudo. Além disso, a proposta de trabalho está baseada numa fundamentação teórica (Modelos Mentais de Johnson-Laird) que leva em consideração as ideias pré-concebidas que os alunos têm a respeito dos fenômenos do Eletromagnetismo e, a partir dessas ideias, dar condições para que ocorra uma evolução das mesmas em direção às concepções científicas. D'Ávila (1999) adverte quanto a necessidade de se ter consciência que qualquer tentativa de inovação no Ensino Médio deve levar em conta as ideias pré-concebidas que os alunos têm a respeito do processo de construção do saber em Física, o que provoca fortes resistências a uma prática inovadora.

Bitencourt e Quaresma (2008), tendo como base pesquisa em que ficou evidenciada uma carência de aulas práticas, propõem a adoção de atividades experimentais com materiais de baixo custo e de fácil acesso, pois apesar da necessidade de aulas experimentais serem evidentes, precisa-se levar em conta a ausência de recursos que dão suporte a tais atividades. Além disso, estes autores reforçam a ideia de que a construção destes experimentos causa dentro da escola uma aproximação tanto do professor com aluno quanto do aluno com a Física, já que estes podem trabalhar juntos na aquisição e construção dos experimentos. Com isso, ainda segundo estes autores, o aluno ganha a confiança necessária para adquirir o conhecimento científico abordado nos conteúdos, os quais são de conhecimento empírico do aluno, pois ele está cotidianamente em contato com

vários conceitos e fenômenos físicos. Os resultados da pesquisa apresentados por Bitencourt e Quaresma (2008), reforçam positivamente dois aspectos importantes do trabalho que proponho, a saber: (1) a realização de atividades experimentais facilita o processo de ensino e aprendizagem, além de torná-lo mais eficiente e prazeroso. Conforme pôde ser constatado por estes autores durante as atividades experimentais que foram realizadas em sala de aula com alunos do Ensino Médio de duas escolas públicas da cidade de Macapá-AP, no período de outubro e novembro de 2008, o fato de o aluno ser o foco principal do ensino faz com que ele se sinta à vontade para expor seus conhecimentos acerca dos fenômenos físicos que ele percebe à sua volta. Além disso, o uso de materiais de baixo custo e de fácil acesso na construção dos experimentos, instiga o aluno ao hábito de desenvolver experimentos a partir dos conceitos físicos aprendidos em sala de aula; (2) o uso de materiais de baixo custo e de fácil acesso além de resolver o problema da falta de recursos que subsidiam as atividades, promove uma parceria entre professor e aluno, uma vez ambos participarão de forma ativa tanto na obtenção destes materiais quanto na construção dos aparatos experimentais.

Chaib e Assis (2006) enfatizam a importância da realização de experimentos de baixo custo dentro de sala de aula mediante a contextualização histórica desta experiência, a qual deu o primeiro impulso para a série de descobertas a respeito da unificação dos fenômenos elétricos e magnéticos. Através da reprodução dos procedimentos e observações de Oersted adaptados com a utilização de materiais de baixo custo, estes autores tornam esta experiência fundamental acessível a alunos e professores dos mais variados níveis escolares. Assim, Chaib e Assis (2006), mostram ser possível, através deste trabalho, reproduzir todas as experiências realizadas por Oersted utilizando materiais de baixo custo. Com isto, os fenômenos são apreendidos de uma maneira mais palpável e com um efeito mais duradouro. A viabilidade na realização em sala de aula da experiência de Oersted utilizando material de baixo custo, demonstrada no trabalho de Chaib e Assis (2006), reforça positivamente o trabalho que aqui proponho no que se refere à viabilidade de se utilizar materiais de baixo custo na confecção de experimentos básicos no estudo do Eletromagnetismo e na forma de explorar todas as

possibilidades do experimento (conforme os procedimentos utilizados pelo próprio Oersted) tanto no aspecto qualitativo como no aspecto quantitativo.

Kohori (2015) propõe atividades experimentais em sala de aula que exploram os conteúdos de Eletricidade, Magnetismo e Eletromagnetismo de forma interativa, adotando-se um material didático-pedagógico baseado em experimentos confeccionados com materiais de baixo custo e sucata. Os experimentos realizados por Kohori (2015) nas atividades experimentais propostas em seu trabalho foram todos aplicados na sequência didática de Física a alunos da 3ª série (período noturno) do Ensino Médio de uma Escola Pública pertencente à Secretaria de Educação do Estado de São Paulo no ano de 2015. Segundo Kohori (2015), a experimentação facilitou o processo de ensino e aprendizagem uma vez que despertou interesse entre os alunos, com a participação de todos nas atividades experimentais. Além disso, durante estas atividades foram criados problemas reais que permitiram a contextualização e o estímulo para o questionamento nas situações apresentadas. A análise dos resultados obtidos por Kohori (2015) com a aplicação do seu trabalho contribuem de maneira favorável ao trabalho que estou propondo nos seguintes aspectos: (1) os experimentos sobre Eletromagnetismo são confeccionados com materiais de baixo custo e/ou de fácil acesso e podem ser utilizados em sala de aula; (2) a cada experimento (vinte e oito ao todo) tem-se associada uma série de questões problematizadoras que visam avaliar o estágio de evolução dos modelos mentais do aluno em relação ao fenômeno envolvido no experimento realizado.

Malanos (2011) entende que o conceito de experimentação necessita ser mais difundido e melhorado, não se limitando apenas a experiências pré-elaboradas, desenvolvidas em laboratórios convencionais (que demandam investimentos significativos) com roteiros repetidos, semelhantes a “receitas de bolo”, que fazem pouco sentido para os alunos. Assim, Malanos(2011) sugere que se produzam materiais didáticos de baixo custo, para uso em laboratórios, duráveis e de boa qualidade, abrangendo conteúdos de Eletromagnetismo. Com isto, proporciona-se para as escolas de poucos recursos econômicos, uma possibilidade consistente de desenvolver um ensino de Física satisfatório. Os resultados positivos obtidos com a metodologia proposta por Malanos (2011) contribuem de maneira

significativa ao trabalho que estou propondo para o ensino do Eletromagnetismo, pois mostra que este: (1) atende às orientações de diretrizes curriculares tais como, PCNEM e BNCC, quanto ao processo de desenvolvimento das competências de Física, em particular do Eletromagnetismo, através de atividades experimentais; (2) utiliza experimentos construídos com materiais de baixo custo; (3) é compatível com o contexto econômico e social do aluno, visto que os experimentos selecionados utilizaram materiais condizentes com a realidade dos educandos; (4) pode ser aplicado na própria sala de aula, sem a necessidade de um laboratório bem equipado.

Erthal e Gaspar (2005) propõem a produção de quatro experimentos de baixo custo que abordam os conceitos básicos de eletricidade, incluindo tópicos específicos relacionados à corrente alternada, como a indução eletromagnética, a lei de Lenz e os transformadores. Duas demonstrações exploram a indução eletromagnética, enquanto as outras duas demonstrações são motores de corrente alternada montados de forma a permitir a apresentação e discussão de conceitos a eles relacionados com a corrente alternada. Os quatro experimentos são realizados em sala de aula e avaliados por meio de um questionário para verificar uma possível evolução conceitual por parte dos alunos. A análise da avaliação feita por Erthal e Gaspar (2005) é favorável ao trabalho que proponho para o ensino do Eletromagnetismo, pois: (1) mostra ser possível tornar mais simples, eficaz e agradável o processo de ensino e aprendizagem desse tema com o auxílio de atividades experimentais; (2) atende às condições impostas pelas Escolas Públicas, quanto à carência de recursos financeiros, ao utilizar material de baixo custo na confecção dos experimentos; (3) não exige um ambiente especial para a realização desses experimentos (podem ser utilizados em sala de aula).

Paz (2007) sugere um modelo de ensino e aprendizagem baseado na aplicação de uma sequência didática de atividades experimentais alicerçadas num contexto histórico do desenvolvimento dos conceitos e fortalecida por atividades simuladas complementares às mesmas, contemplando as aplicações tecnológicas e as relações cotidianas vivenciais dos alunos de Ensino Médio. Valendo-se dos “Modelos Mentais de Johnson-Laird” para verificar a evolução dos modelos mentais do aluno em direção às concepções científicas, Paz (2007) verificou que, a partir do



conhecimento preliminar do fenômeno eletromagnético através de uma atividade experimental, a posterior elaboração do desenho bidimensional, foi possível, ao aluno, entender e conceber mentalmente a forma espacial representada na figura plana do livro didático por ele utilizado. Na prática pode-se dizer que, para interpretar um desenho ilustrativo tridimensional, foi necessário enxergar o que não é visível e ter a capacidade de entender uma forma espacial a partir de uma figura plana.

Os resultados positivos obtidos por Paz (2007), na aplicação da sua proposta de ensino a três turmas de 3º ano do Ensino Médio de uma Escola Pública Federal de Florianópolis-SC, em 2005, no que se refere às atividades experimentais, contribuem de forma significativa à proposta que apresento para o ensino e aprendizagem do Eletromagnetismo, devido aos seguintes aspectos que ambas as propostas apresentam em comum: (1) a criação de um ambiente didático que privilegie os experimentos de Eletromagnetismo integrantes nas atividades experimentais, a fim de potencializar a compreensão das gravuras e ou esquemas relativas à este tema, que são encontradas nos livros didáticos; (2) o uso de uma sequência didática experimental, em que o professor introduz, de forma qualitativa, o estudo dos fenômenos eletromagnéticos a partir de experimentos reais, os quais possibilitam a visualização dos elementos (dispositivos) envolvidos, de forma a facilitar a associação das variáveis eletromagnéticas a cada elemento (com a respectiva distribuição espacial) e a discussão da interação entre as mesmas; (3) a utilização de uma metodologia de ensino, na qual são estimuladas perguntas e comentários, que visam promover o desencadeamento de idéias novas nos alunos e proporcionar um clima dinâmico em sala de aula.

Apesar dos aspectos em comum apontados anteriormente entre ambas as propostas, enquanto a proposta de Paz (2007) envolve uma sequência didática experimental que se desenvolve ao longo de todo o curso de Eletromagnetismo fazendo uso de três experimentos, em sua maioria de custo significativo, a proposta que apresento compreende a realização de vinte e oito experimentos, todos confeccionados a partir materiais de baixo custo e ou materiais de fácil acesso. Essa diferença em relação ao número de experimentos não está relacionada à quantidade de conceitos trabalhados no estudo do Eletromagnetismo, mas a

metodologia de ensino e aprendizagem adotada na execução de ambas as propostas de trabalho, que têm por objetivo proporcionar ao aluno condições para a evolução de seus modelos mentais em direção ao modelo científico.

Pretendo com essa quantidade adicional de experimentos, em comparação com a proposta apresentada por Paz (2007), mostrar ao aluno a variedade de experimentos que se pode criar utilizando-se o mesmo princípio físico de funcionamento. Com isso, a descrição de cada experimento e as tentativas de explicação de como funciona, propiciam ao aluno revisões sucessivas de seus modelos mentais anteriores, até que o modelo científico seja alcançado.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste trabalho, será considerado como fundamentação teórica os “Modelos Mentais de Johnson-Laird” (1983), cuja ideia foi atribuída pela primeira vez a Craik (1943). De acordo com Moreira (2009, p.192), Craik afirma que “o ser humano raciocina com modelos” (CRAIK, 1943). Afirma também que o processo do raciocínio “simula” modelos que somente existem na mente do indivíduo, obtendo resultados semelhantes ao mundo real (físico) e, com alguns dispositivos mecânicos do modelo consegue-se representar o processo físico que se deseja prever – esta simulação torna-se tanto mais útil quanto mais precisa ela for em comparação com o fenômeno físico que representa. Assim, um modelo mental na concepção de Craik corresponde a uma representação dinâmica ou uma simulação do mundo. Craik, todavia, não se preocupou, inicialmente, em explicar como essa representação se processa e tão pouco como pode ser alterada. Já, Johnson-Laird (1983) procurou dar sustentação ao conceito de modelos mentais, utilizando-se dos recursos computacionais existentes, na época, para afirmar que o modelo da mente humana é computável – este modelo de pensamento computável, ou “paralelo da realidade” (CRAIK, 1943), pode realizar mentalmente simulações e/ou previsões, considerando várias alternativas e optando pela melhor – reagindo a situações “futuras inesperadas”, mas previsíveis – associando eventos passados em benefício do entendimento do presente e do futuro, reagindo de modo seguro e mais competente às circunstâncias que devem ser enfrentadas.

A teoria de Johnson-Laird sugere a existência três construtos representacionais: *modelos mentais*, *imagens* e *proposições*. De acordo com Moreira (2011, p. 192):

Ele considerava que os modelos mentais e as imagens são representações de alto nível, essenciais para compreender a cognição humana. Embora em última análise, o processo mental seja feito por meio de algum código proposicional, inclusive para imagens e modelos mentais, para entender a cognição humana é importante estudar como as pessoas usam estas representações de alto nível.

Por sua vez, as representações proposicionais correspondem a um tipo de linguagem utilizada pelo cérebro (linguagem mental ou pensamento) conhecida na Psicologia Cognitiva como “mentalês”. Apesar de ser uma linguagem, o “mentalês” não apresenta relação alguma com qualquer tipo de escrita. De acordo com Moreira (2011, p. 194), as proposições, para Johnson-Laird, “são representações mentais verbalmente exprimíveis de objetos, eventos e estados de coisas”. Dessa forma, tais representações mentais carecem de sentido lógico devido ao caráter indeterminado que assumem. Como consequência dessa indeterminação, vários estados possíveis de uma determinada situação podem ser descritos pelas proposições.

De acordo com a teoria de Johnson-Laird, as imagens, por sua vez, correspondem a uma forma de se visualizar os modelos mentais, que depende de cada indivíduo. Um exemplo que mostra a diferença entre imagens e modelos mentais pode ser encontrado em Moreira (2011, p. 195):

Podemos ter um modelo mental de quadro, mas não conseguimos imaginar um quadro em geral, sempre formamos a imagem do quadro específico. Podemos construir infinitas imagens de quadros, mas nunca um quadro em geral, pois o que temos construído é um modelo mental de quadro.

Pode-se, portanto, comparar um modelo mental a um simulador que é utilizado pelo cérebro humano a fim de processar simulações de eventos que ocorrem no mundo físico. Por esta razão, diferentes observadores, que se deparam com situações semelhantes, podem elaborar modelos mentais distintos. De acordo com Borges (1997, p. 24), isto vai depender “de como ele percebe a novidade, de seu conhecimento prévio e de memórias de experiências com situações que ele julga parecidas com a situação presente”.

Em vez de se preocupar em definir modelo mental, Johnson-Laird se propôs a indicar princípios que se destinam à facilitação na identificação e caracterização de um modelo mental. Um resumo desses princípios, relacionados abaixo, podem ser encontrados em Moreira (2011, p. 197 a 199):

1. *Princípio da Computabilidade*: Modelos mentais são computáveis. Ou seja, podem ser rodados como um programa de computador pelo cérebro.
2. *Princípio da Finitude*: Partindo da premissa de que o cérebro é um organismo finito, os modelos criados por ele são finitos em tamanho e não podem representar um domínio infinito.
3. *Princípio do Construtivismo*: Nosso cérebro deve criar modelos de um número infinito de situações. Porém, sendo este finito, ele deve criar seus modelos a partir de elementos básicos.
4. *Princípio da Economia*: Devido à finitude do cérebro, um modelo mental pode representar um número quase infinito de estados de coisas. Ainda que estas representações estejam incompletas ou indeterminadas a descrição feita pelo modelo pode passar por tantas adaptações e reformulações que se fizerem necessárias para representar os estados de coisas em questão.
5. *Princípio da Não Indeterminação*: Os modelos mentais podem representar indeterminações diretamente somente se esse uso não for computacionalmente intratável ou se não existir um acréscimo exponencial de complexidade.
6. *Princípio da Predicabilidade*: Havendo compatibilidade entre os alcances de aplicação entre dois predicados, estes podem ser aplicados a todos os termos de alcance comuns entre eles. Este princípio nos permite identificar se um termo é artificial ou não natural em um modelo mental.
7. *Princípio do Inatismo*: Todos os primitivos conceituais e procedimentais são inatos. Os conceituais decorrem da nossa capacidade de representar o mundo. Os procedimentais são acionados automaticamente ao se construir um modelo mental.
8. *Princípio do Número Finito de Primitivos Conceituais*: Um conjunto de campos semânticos [conjuntos de palavras unidas pelo sentido] é gerado por um número finito de primitivos conceituais que lhe são correspondentes. E um conjunto finito de conceitos, também chamados de operadores semânticos, que servem para construir conceitos mais elaborados.

9. *Princípio da Identidade Estrutural*: A estrutura/organização dos modelos mentais são idênticas às das coisas que representam, como por exemplo, um modelo mental que representa o caminho de ir para casa, a pessoa logo se lembrará de imagens, percursos, etc.

É importante destacar que os modelos mentais são de natureza limitada e não são imutáveis. Isso se deve à nossa capacidade de representar o mundo de forma dinâmica, já que tal representação é consequência de experiências que acumulamos ao longo da vida e da nossa capacidade intelectual. Nas palavras de Pozo e Crespo (2009, p. 22):

Nossa memória permanente nunca é uma reprodução fiel do mundo, nossas recordações não são cópias do passado, mas reconstruções desse passado a partir do presente. Assim, a recuperação do que aprendemos tem um caráter dinâmico e construtivo: diferentemente de um computador, somos muito limitados na recuperação de informação literal, mas muito dotados para a interpretação dessa informação.

Convém também ressaltar que um modelo mental tem como característica principal a funcionalidade. Greca (2011, p.394) diz que:

Dada uma situação, o sujeito cria em sua mente uma simulação em si (o modelo mental), que faz “rodar” essa situação e com isso consegue prever ou explicar aquilo que estaria acontecendo na situação real ou imaginária para a qual foi necessária a construção do modelo mental. Os modelos mentais, gerados para resolver uma situação particular (muitas vezes nova), caracterizam-se por serem estruturas dinâmicas, incompletas, recursivamente modificáveis ou atualizadas, na medida em que o sujeito detecta uma falha de correspondência entre as previsões geradas pelo modelo e os eventos externos, ou precisa incorporar novas informações ao seu modelo, dependendo do uso que queira dar ao mesmo.

Considerando o papel da experimentação na construção de modelos mentais no Ensino de Física, é importante destacar ainda (Axt e Guimarães, 1985) que é comum encontrar entre os alunos do Ensino Médio, àqueles que ainda estão na fase das operações concretas (período de 7 a 12 anos de idade), isto é, conforme na definição de Piaget, alunos que ainda não são capazes de abstrações imprescindíveis ao entendimento dos conceitos mais abstratos da Física que lhes é ensinada na escola. Citam-se como exemplo, os conceitos de campo magnético e fluxo magnético, os quais requerem um nível de abstração que, em geral, os alunos do Ensino Médio ainda não possuem.

Dessa forma, a realização de atividades experimentais possibilita aproximar esses alunos da Física de maneira mais concreta. Mesmo para aqueles alunos que já atingiram a fase das operações formais, as atividades experimentais se mostram como oportunidade de complementação dos assuntos tratados na Física.

Apesar da atividade experimental, desatrelada de um plano de ensino amplo e adequado, não ser suficiente para produzir o desenvolvimento intelectual do aluno, contribui de forma relevante, pois possibilita a manipulação de dispositivos e aparelhos ao mesmo tempo em que incentiva a prática da observação crítica de fenômenos. É importante que se transmita ao aluno a ideia de que a experimentação é o momento no qual se pretende resolver uma ou mais questões e não simplesmente reproduzir fenômenos “torcendo” para que o resultado esteja de acordo com aquele apresentado no “guia de laboratório”.

Nas últimas décadas, vários autores, dentre eles Ferreira (1979) e Violin (1979), sugerem que o professor procure desenvolver atividades experimentais utilizando material de baixo custo e reciclado como alternativa à ausência de laboratórios bem equipados. De uma forma geral, o uso de aparatos construídos a partir desses materiais possibilita a realização de experimentos físicos sem a necessidade de ambientes especiais, podendo, inclusive, serem executados em sala de aula. Soma-se a essa vantagem, o fato de os fenômenos envolvidos na realização do experimento não ficarem escondidos pela “caixa-preta” de componentes, os quais o aluno não tem ciência de seu funcionamento: os componentes e a simplicidade de confecção dos aparatos construídos com material

de baixo custo e ou reciclado permitem uma maior transparência nos processos envolvidos no fenômeno observado.

Convém salientar que a proposta de se trabalhar com material de baixo custo e ou reciclado, não reside somente no fato de ser barato ou de fácil acesso, porém de permitir que o aluno tenha uma interação maior durante o processo de aprendizagem, interação essa proporcionada pela transparência oferecida pela simplicidade dos aparatos bem como pela possibilidade de construção dos mesmos pelos alunos usando recursos próprios. Isso faz com que o aluno se aproxime do conhecimento científico, pois mostra que a ciência estudada na escola de forma criativa se aplica ao seu cotidiano. Além disso, o fato de não haver necessidade de um ambiente especial para o uso desses aparatos torna possível ao professor realizar as atividades experimentais na própria sala de aula. Tal conveniência facilita tanto o planejamento como a execução das atividades por parte do professor.

### **3.1 Justificativa para o uso dos modelos mentais de Johnson-Laird**

O critério de escolha para a fundamentação teórica deste trabalho se baseou na experiência acadêmica e profissional que adquiri durante os anos de 1980. Nessa época, ao mesmo tempo em que cursava Licenciatura em Física, desenvolvia atividades experimentais nos laboratórios do IFUSP (denominados “prateleira de demonstrações”), onde eram confeccionados, em grande parte, aparatos experimentais com materiais de baixo custo e materiais de fácil acesso. Além disso, esses aparatos se destacavam pela simplicidade de construção e pelos tipos variados, os quais se valiam do mesmo princípio físico para o seu funcionamento. O propósito desses aparatos era o de proporcionar ao estudante do Ensino Médio uma visão dos fenômenos físicos, por ele estudados durante as suas aulas, privilegiando os aspectos qualitativos desses fenômenos.

A experiência que adquiri com essa atividade experimental nos últimos anos do curso de graduação, contribuiu para que eu fosse contratado por uma escola particular onde passei a ministrar as aulas de laboratório de Física. Essas aulas consistiram em orientar os estudantes na realização de experiências, cujos aparatos



experimentais pertenciam à escola, bem como discutir e avaliar os resultados por eles obtidos e apresentados a mim em forma de relatório escrito. Além disso, como atividades extras (e sempre que possível), algumas aulas eram dedicadas a demonstrações de experiências que utilizavam os aparatos que eu trazia da “prateleira de demonstrações” do IFUSP. A realização dessas atividades extras, além de mostrar aos estudantes a variedade de experimentos que poderiam ser criados utilizando o mesmo fenômeno físico daqueles apresentados nas atividades regulares, era também a de fornecer-lhes subsídios para a evolução de seus modelos mentais, a fim de que tivessem condições de projetar seus próprios aparatos experimentais. As atividades extras, além de seu caráter subjetivo, serviam também como forma de avaliação quantitativa, uma vez que os estudantes tinham como tarefa a entrega de um relatório onde procuravam descrever os experimentos e explicar o seu funcionamento. Além disso, ao final de cada semestre, os estudantes (divididos em grupos de três) tinham que apresentar um projeto de experimento confeccionado com material de baixo custo e/ou material de fácil acesso.

Durante esse tempo em que trabalhei nessa escola como professor de laboratório de Física pude testemunhar a evolução desses estudantes no que se refere à forma de elaboração, execução e explicação dos experimentos por eles apresentados. Além disso, era visível o interesse e empenho da grande maioria nas aulas de laboratório. O resultado concreto desse interesse e empenho podia ser visto nas feiras de ciências que aconteciam todos os anos no mês de outubro. Envolvimento semelhante por parte dos alunos nas aulas experimentais pôde ser por mim verificado em outras escolas que tive a oportunidade de trabalhar.

Com o passar dos anos, todavia, foi possível constatar certa falta de interesse por parte das escolas em que trabalhei na manutenção das aulas de laboratório. Apesar disso, procurei planejar as aulas teóricas de modo a continuar usando os aparatos experimentais da “prateleira de demonstrações” como forma de enriquecer o conteúdo trabalhado. Convém destacar que o tema que mais despertava interesse (e dificuldade) nos estudantes era o Eletromagnetismo. Não

era por acaso que a maior parte dos aparatos experimentais da “prateleira de demonstrações” do IFUSP consistia de experimentos sobre Eletromagnetismo.

Passados mais de trinta anos do meu último trabalho como professor de laboratório de Física, eu continuo criando e, sempre possível, utilizando aparatos experimentais voltados principalmente ao estudo do Eletromagnetismo, motivado pela grande dificuldade que os estudantes demonstram não só em relação à Matemática envolvida, mas principalmente ao caráter tridimensional do fenômeno. Percebo, agora, que a estratégia usada nas minhas aulas experimentais do passado, no que se refere às atividades extras, pode ser explicada pela teoria dos modelos mentais. A partir dessa constatação e após uma análise bibliográfica, fui conduzido a ter por fundamentação teórica deste trabalho “Os Modelos Mentais de Johnson-Laird”.

## **4 SEQUÊNCIA E DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS PARA MODELOS MENTAIS**

### **4.1 Descrição e análise dos experimentos e coleção**

Os vinte e oito experimentos que constam dessa proposta didática para o ensino do Eletromagnetismo foram elaborados obedecendo a cronologia histórica do Eletromagnetismo bem como a ordem em que os tópicos, relativos a essa disciplina, aparecem nos livros textos adotados no Ensino Médio, podendo-se citar: Os Fundamentos da Física - Autores: Ramalho, Nicolau e Toledo; Física para o Ensino Médio - Autores: Kazuhito & Fuke; Física - Autor: Guimarães Piqueira Carron; Física - Autores: Sampaio e Calçada; Física - Autores: Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga.

De uma forma geral, foram poucas as dificuldades encontradas na realização dos experimentos aqui descritos. Isso se deve à simplicidade de construção e ao número reduzido de componentes utilizados. Porém, devido a detalhes (não facilmente perceptíveis) na construção e/ou funcionamento dos aparatos, encontram-se ao final da descrição de cada experimento, soluções de problemas que surgiram ao longo do processo de realização desses aparatos, além de observações, sugestões e advertências que visam enriquecer o experimento e zelar pelo bom funcionamento do aparato experimental.

#### **4.1.1 *Experimento 1***

Este experimento possibilita mapear, mediante o uso de um conjunto de bússolas, o campo magnético que envolve um ímã em forma de barra. A configuração das agulhas sugere que o campo magnético pode ser representado por um conjunto de linhas fechadas ligando os polos do ímã, além de possibilitar a determinação da polaridade deste.

Problema – Devido a irregularidades da membrana líquida (na região de contato com a tampa) causadas pela existência de saliências internas (rosca da

tampa) e a forma convexa de sua superfície, houve, inicialmente, dificuldades para a estabilização da agulha na região central da tampa.

Solução – A solução para esse problema foi a colocação no interior da tampa de um pedaço de cano PVC (3/4 pol) com 1,5 cm de altura, eliminando assim as irregularidades na citada região de contato. Já a forma convexa da superfície líquida foi alterada para a forma côncava, retirando-se (de forma lenta) uma pequena quantidade de água do interior da tampa com uma seringa. Esse procedimento faz com que a superfície da água adquira forma côncava. Com isso, a agulha é forçada a ocupar a região central da tampa.

#### 4.1.2 Experimento 2

Este experimento apresenta uma versão daquele realizado por H. C. Oersted (1777–1851) em 1820, cujos resultados obtidos revelaram a existência de uma relação direta entre a eletricidade e o magnetismo. As observações extraídas deste experimento possibilitam uma análise qualitativa bem como quantitativa do fenômeno envolvido.

Conforme pode ser observado durante a execução desse experimento, na ausência de corrente elétrica através do fio rígido horizontal as agulhas do conjunto de bússolas encontram-se alinhadas com a direção N-S do campo magnético terrestre bem como ao fio rígido horizontal. Ao ser ligada a corrente, as agulhas situadas *sob* o fio sofrem deflexão num sentido, enquanto àquelas situadas *sobre* o fio sofrem deflexão em sentido contrário. Além disso, a deflexão sofrida pelas agulhas as colocam numa direção quase perpendicular ao fio rígido. A perpendicularidade só não ocorre devido ao campo magnético terrestre que age sobre as agulhas tentando alinhá-las à direção N-S magnética. Tal ação pode ser facilmente percebida afastando-se as bússolas do fio e/ou reduzindo a corrente: as agulhas têm suas deflexões reduzidas o que faz com que se aproximem da direção N-S magnética. Este resultado permite constatar o que está expresso na equação:

$$B = \frac{\mu_0 i}{2 \pi d},$$

ou seja, que o campo magnético em torno do fio diminui de valor com a redução da corrente  $i$  bem como com o aumento da distância  $d$  ao fio.

Invertendo-se agora o sentido da corrente, observa-se também uma inversão na orientação das agulhas em relação à situação apresentada anteriormente.

As observações feitas neste experimento permitem constatar que os efeitos magnéticos produzidos pela corrente ocorrem em planos perpendiculares ao fio condutor, o que revela o caráter tridimensional do campo magnético assim criado e torna conveniente a utilização da “Regra da Mão Direita” como forma prática de se determinar a orientação espacial do campo magnético.

Além dos resultados qualitativos extraídos desse experimento, é possível calcular o valor do campo magnético  $B$  a uma distância  $d$  do fio através de procedimentos experimentais simples e fazendo uso da equação matemática citada anteriormente.

Advertência – Para se obter o efeito desejado na execução do experimento, certifique-se de que o fio horizontal está alinhado com as agulhas das bússolas, isto é, na direção N-S magnética da Terra, antes do aparato ser ligado.

Sugestão – Caso se deseje uma corrente elétrica de maior intensidade, associe duas ou mais pilhas em paralelo. Isso fará com que a resistência da associação de pilhas diminua, aumentando assim a corrente no circuito.

#### Procedimento Experimental

Com o circuito desligado e utilizando uma única bússola graduada posicionada a uma distância  $d$  sobre o fio rígido, alinha-se este com a agulha da bússola, que, por sua vez, deve estar orientada na direção norte-sul magnética terrestre. Liga-se, então, a corrente e com o auxílio de um potenciômetro, associado em série ao circuito fio rígido-bateria-amperímetro, eleva-se lentamente o valor da corrente até que a agulha da bússola forme um ângulo de  $45^\circ$  com a direção inicial e, a seguir, registra-se o valor da corrente indicado na escala do amperímetro. Nesta posição particular da agulha, o campo magnético  $B$  criado pela corrente tem o mesmo valor do campo magnético terrestre (aproximadamente  $30\mu T$  na região equatorial). A partir dos valores medidos de  $d$  e  $i$ , e fazendo uso da equação:

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi d},$$

sendo  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} Tm A^{-1}$ , é possível calcular  $B$ , cujo valor esperado é  $30\mu T$ .

#### **4.1.3 Experimento 3**

Este experimento reproduz àquele realizado por François J. D. Arago (1786–1853) em 1820 e tem por objetivo determinar a forma, através de um conjunto de bússolas convenientemente distribuídas, do campo magnético criado por um fio rígido vertical ao ser percorrido por uma corrente elétrica contínua.

Diferentemente do experimento 2, as bússolas estão dispostas numa configuração circular sobre um plano perpendicular ao fio rígido. Assim, é possível observar o sentido da deflexão das agulhas ao redor do fio e a forma da linha de indução do campo magnético (uma circunferência com centro no fio vertical) quando a corrente é ligada. Igualmente ao que ocorre no experimento 2, a inversão da corrente causa uma inversão no sentido de deflexão das agulhas magnéticas.

Independente do sentido da corrente, o conjunto de agulhas adquire uma configuração *quase* circular, tendo por centro o fio rígido vertical. Aqui também é possível constatar a ação do campo magnético terrestre que tende a alinhar as agulhas na direção N-S magnética. Assim como no experimento 2, constata-se o caráter tridimensional do campo magnético e faz-se conveniente a utilização da “Regra da Mão Direita” como forma prática de se determinar a orientação espacial do campo magnético.

Advertência – Devido à disposição das bússolas (sobre uma circunferência com centro no fio vertical) e do fato delas não estarem apoiadas a um eixo de rotação, deve-se tomar o cuidado de não colocá-las muito próximas umas das outras para que não interajam magneticamente entre si.

Sugestão – Sendo a resistência elétrica do aparato experimental + fios de ligação menor que a resistência elétrica de uma pilha, associe duas ou mais pilhas em paralelo, caso haja necessidade de uma corrente elétrica de maior intensidade.

#### **4.1.4 Experimento 4**

Este experimento permite verificar como a configuração das linhas de indução magnética é alterada quando o fio condutor tem sua forma geométrica

modificada. Além da análise qualitativa que pode ser feita a partir de observações diretas, este experimento fornece também dados que podem ser utilizados para um estudo quantitativo do fenômeno envolvido.

Neste experimento, um fio rígido em forma de espira circular é percorrido por uma corrente contínua. Um conjunto de bússolas distribuídas de forma conveniente sobre o plano de apoio da espira mostra que as linhas de indução do campo magnético se assemelham àsquelas do campo magnético de um ímã permanente em forma de barra. Além disso, ao se inverter o sentido da corrente, observa-se também uma inversão na orientação das agulhas magnéticas, o que indica uma inversão na polaridade do campo magnético criado pela espira. Igualmente ao que foi feito nos experimentos anteriores, a “Regra da Mão Direita” pode ser utilizada como uma forma prática de se determinar a orientação espacial do campo magnético a partir do sentido da corrente que percorre a espira.

Os dados experimentais aqui obtidos permitem calcular o campo magnético  $B$  no centro da espira utilizando-se a equação:

$$B = \frac{\mu_0 i}{D},$$

sendo  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} TmA^{-1}$  a permeabilidade magnética do vácuo,  $D$  o diâmetro da espira e  $i$  o valor da corrente que a percorre. Lembrando que os valores de  $D$  e  $i$  são obtidos por medição direta.

Advertências – (a) Para que não haja interferência no campo magnético produzido pela espira, tanto os terminais do aparato quanto as conexões sob a base de madeira devem estar no mesmo plano da espira; (b) Para se obter o efeito desejado na execução do experimento, certifique-se de que o plano da espira esteja disposto paralelamente às agulhas das bússolas, isto é, na direção N-S magnética da Terra, antes do aparato ser ligado.

#### Procedimento Experimental

Com o circuito desligado e utilizando uma única bússola graduada posicionada no centro da espira, alinha-se o plano desta com a agulha da bússola, que, por sua vez, deve estar orientada na direção norte-sul magnética terrestre. Liga-se, então, a corrente e com o auxílio de um potenciômetro, associado em série ao circuito espira-bateria-amperímetro, eleva-se lentamente o valor da corrente até

que a agulha da bússola forme um ângulo de  $45^\circ$  com a direção inicial e, a seguir, registra-se o valor da corrente indicado na escala do amperímetro. Nesta posição particular da agulha, o campo magnético  $B$  criado pela corrente tem o mesmo valor do campo magnético terrestre (aproximadamente  $30\mu T$  na região equatorial). A partir dos valores medidos de  $D$  e  $i$ , e fazendo uso da equação:

$$B = \frac{\mu_0 i}{D},$$

sendo  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} Tm A^{-1}$ , é possível calcular  $B$ , cujo valor esperado é  $30\mu T$ .

#### 4.1.5 Experimento 5

Este experimento possibilita comprovar que espiras circulares associadas em série (solenóide) intensifica o campo magnético na região envolvida por essa associação e, também, reconhecer a semelhança entre esse campo e aquele criado por um ímã permanente em forma de barra. Além disso, este experimento fornece dados que podem ser utilizados para um estudo quantitativo do fenômeno envolvido.

O aumento da intensidade do campo magnético gerado pelo solenóide pode ser observado comparando-se os tempos de resposta das agulhas magnéticas deste experimento com aqueles do experimento 4 quando a corrente é ligada. Para que essa comparação seja feita em iguais condições, as espiras em ambos os aparatos são idênticas e a corrente utilizada é a mesma. Dessa forma, a rapidez com que as agulhas sofrem deflexão se deve exclusivamente à intensidade do campo magnético gerado. Como pode ser facilmente observado, ao ser ligada a corrente as agulhas das bússolas do experimento 5 respondem mais rapidamente a ação do campo magnético quando comparadas às aquelas do experimento 4.

Igualmente ao que pode ser observado no experimento 4, a passagem de corrente pelo solenóide criou um campo magnético que se assemelha àquele criado por um ímã permanente em forma de barra, conforme pode ser observado na configuração do conjunto de bússolas. Além disso, nota-se também uma inversão na polaridade do campo magnético gerado pelo solenóide quando a corrente que o atravessa tem seu sentido alterado.



Além do estudo qualitativo, este experimento possibilita coletar dados que permitem o cálculo do campo magnético  $B$  na região central do solenóide, medindo a corrente  $i$  que o atravessa e fazendo uso da equação:

$$B = \mu_0 n i ,$$

sendo  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} TmA^{-1}$  a permeabilidade magnética do vácuo e  $n$  o número de espiras por unidade de comprimento.

Advertência – A fim de se obter o resultado desejado na realização do experimento, certifique-se de que o eixo de simetria longitudinal do solenóide esteja disposto perpendicularmente às agulhas das bússolas antes do aparato ser ligado.

Observação – Nesse aparato a disposição dos terminais e das conexões sob a base de madeira não afeta, de modo significativo, o campo magnético produzido pelo solenóide.

Justificativa matemática para o menor tempo de resposta das agulhas neste experimento em relação ao experimento 4:

$$\text{maior } B \Rightarrow \text{maior } F \Rightarrow \text{maior } \tau \Rightarrow \text{maior } \Delta\omega$$

$B$  é o módulo do campo magnético onde está localizada a bússola

$F$  é o módulo da força aplicada pelo campo sobre a agulha da bússola

$\tau$  é o módulo do torque aplicado pela força sobre a agulha da bússola

$\Delta\omega$  é o módulo da variação da velocidade angular sofrida agulha da bússola

Procedimento Experimental

A execução desse experimento segue, praticamente, os mesmos passos do experimento 4 a não ser pelo posicionamento da bússola e pela equação matemática a ser utilizada para o cálculo de  $B$ , a saber:

1. a bússola graduada de ser colocada na espira central do solenóide e
2. a equação matemática deve ser  $B = \mu_0 n i$ , sendo  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} TmA^{-1}$ ,  $n$  o número de espiras por unidade de comprimento e  $i$  a corrente.

#### 4.1.6 Experimento 6

Este experimento possibilita estudar de forma qualitativa a interação magnética entre dois fios retilíneos paralelos percorridos por corrente elétrica contínua.

Observando essa interação, nota-se que ao serem percorridos por correntes de mesmo sentido os fios se atraem e ao serem percorridos por correntes de sentidos contrários, se repelem. Além disso, é possível estabelecer de maneira empírica a dependência da força de interação magnética entre os fios com a intensidade da corrente que os percorre bem como com a distância que os separa, a saber: a força aumenta com o aumento da corrente e diminui com o aumento da distância. Comprova-se, assim, de forma qualitativa, a relação de dependência que existe entre essas grandezas e vem expressa pela equação:

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 i_1 i_2}{2 \pi d},$$

sendo  $\frac{F}{l}$  o módulo da força magnética por unidade de comprimento do fio,  $\mu_0$  a permeabilidade magnética do vácuo,  $i_1$  e  $i_2$  as correntes em cada fio e  $d$  a distância entre os fios. Finalizando o experimento, é possível verificar a validade das regras da mão direita e da mão esquerda (ou regra dos três dedos ortogonais) a fim de se determinar as orientações dos campos magnéticos gerados pelos fios e da força de interação magnética entre eles, respectivamente.

**Problema** – Na sua primeira versão a parte móvel do aparato não continha o trecho de fio (contrapeso) localizado acima do eixo de rotação. Essa ausência de contrapeso exigia uma maior força de interação magnética entre os fios para se produzir uma deflexão significativa da parte móvel. Devido à baixa corrente utilizada no experimento, não era possível obter uma força magnética de intensidade suficiente para causar uma deflexão significativa da parte móvel.

**Solução** – A solução encontrada, levando-se em conta a baixa corrente, foi a confecção de uma parte móvel com um contrapeso de fio situado acima do eixo de rotação, cujo comprimento é ligeiramente menor que a parte localizada abaixo desse eixo.

#### **4.1.7 Experimento 7**

Este experimento visa mostrar os efeitos decorrentes da introdução de diferentes materiais (núcleos) no interior de um solenóide quando percorrido por uma corrente elétrica contínua. Os núcleos aqui utilizados são: ferro, latão, alumínio, madeira e plástico.

Uma bússola (posicionada sobre a reta que contém o eixo longitudinal do solenóide) detecta o surgimento do campo magnético criado pelo solenóide assim que a corrente o atravessa.

Para cada um dos núcleos utilizados, observa-se a deflexão da agulha da bússola causada pela passagem da corrente elétrica pelo solenóide. Constata-se que, dos cinco núcleos aqui usados, apenas o de ferro é capaz de aumentar a deflexão da agulha em relação àquela produzida pelo solenóide sem o núcleo.

Essa propriedade apresentada pelo ferro de intensificar o campo magnético é a característica básica dos elementos químicos (como o níquel, o cobalto e as ligas formadas por esses elementos) que formam o grupo dos materiais ditos *ferromagnéticos*.

Sugestão – Para facilitar o enrolamento do solenóide e manter a sua forma, utilize fio rígido encapado de secção transversal mínima igual a  $1,0 \text{ mm}^2$  e máxima igual a  $2,5 \text{ mm}^2$ .

#### **4.1.8 Experimento 8**

O aparato aqui apresentado é uma aplicação do efeito magnético produzido por uma corrente elétrica contínua ao atravessar uma bobina que possui em seu interior um núcleo ferromagnético.

Os eletroímãs são dispositivos elétricos presentes nos mais variados dispositivos eletromecânicos, tais como as campainhas elétricas residenciais, máquinas de lavar roupa, geladeiras, liquidificadores, alarmes, brinquedos e relés usados nos carros e em outros sistemas. O seu funcionamento está vinculado ao campo magnético produzido pela passagem da corrente elétrica em um material condutor.

O eletroímã pode ser confeccionado com um único fio enrolado em forma de bobina. Inserindo no centro da bobina um material ferromagnético, o “poder” do eletroímã aumentará em razão da concentração das linhas de indução magnética no núcleo metálico. Pode-se mostrar também que o campo magnético produzido por um eletroímã em forma de solenóide é intensificado com o aumento da corrente que o atravessa e com o aumento do número de espiras que compõem a bobina.

Uma característica importante do eletroímã é a desempenhar as mesmas funções do ímã permanente com a vantagem de ser possível desativá-lo no momento desejado.

Advertências – (a) O fio a ser enrolado em torno do prego deve ser encapado; (b) O eletroímã não deve ser ligado diretamente à rede elétrica (127/220 V). Utilizando-se uma tensão contínua entre 3,0 V e 6,0 V, os resultados obtidos são satisfatórios.

#### **4.1.9 Experimento 9**

Este aparato tem por objetivo mostrar o princípio de funcionamento de uma campainha “cigarra”, que se baseia nas propriedades de um eletroímã ao ser acionado de forma intermitente.

Inicialmente, estando a lâmina metálica (metal ferromagnético) encostada no terminal superior (fio rígido de cobre), o circuito apresenta-se fechado, porém sem passagem de corrente, já que a bateria ainda não foi conectada aos terminais da campainha. No instante em que a bateria é conectada, a corrente percorre o circuito acionando o eletroímã por um curtíssimo intervalo de tempo, o qual, por sua vez, atrai a lâmina metálica. Devido a essa atração, a lâmina perde momentaneamente o contato com o terminal superior ocasionando abertura do circuito e, conseqüentemente, o desligamento do eletroímã. Assim, a lâmina retorna à sua posição inicial (encostada no terminal superior) fazendo com que o processo se repita durante o tempo em que a bateria estiver conectada à campainha.

Problema – O ajuste da folga entre a extremidade livre da lâmina e o contato superior do eletroímã corresponde à etapa crítica na conclusão desse aparato. Isso porque essa folga depende do comprimento da lâmina metálica, da rigidez do material que a compõe, das características do eletroímã e da corrente que percorre o circuito. Devido a essa complexa dependência, a folga não pode ser determinada previamente.

Solução – A maneira prática encontrada para a obtenção da folga ideal foi através do ajuste da altura do condutor vertical localizado na região central da

lâmina. Com o circuito ligado e variando-se lentamente a altura desse condutor vertical, é possível encontrar a folga que possibilita o acionamento da campainha.

#### **4.1.10 Experimento 10**

O instrumento aqui apresentado consiste em mais uma aplicação do efeito magnético produzido por uma corrente elétrica contínua ao atravessar uma bobina, a qual abriga, em sua região interna, um pequeno ímã (em forma de pastilha) acoplado a um pedaço de fio de cobre (ponteiro).

O galvanômetro é um instrumento eletromecânico que é, basicamente, um medidor de corrente elétrica de pequena intensidade. Seu princípio de funcionamento se baseia na interação entre a corrente elétrica que circula em bobina fixa e um ímã móvel acoplado (de forma conveniente) a um ponteiro.

O resultado desta interação é um torque que atua no ímã produzindo uma deflexão no ponteiro.

O funcionamento do galvanômetro é explicado da seguinte maneira: quando a corrente a ser medida circula na bobina, um campo magnético é gerado em seu interior e exterior. Este campo magnético aplica um torque no ímã móvel que o faz girar no interior da bobina onde se encontra inserido. Acoplado a este ímã móvel, existe um ponteiro que gira na frente de uma escala graduada que permite registrar a intensidade e o sentido de circulação da corrente.

Vale ressaltar que o galvanômetro pode ser usado como amperímetro ou multímetro, bastando, apenas, algumas adaptações.

Sugestões – (a) Para a fixação do ponteiro ao ímã envolva este, inicialmente, com uma camada de fita adesiva. Dobre o fio, que servirá de ponteiro, ao longo de um dos diâmetros do ímã e, em seguida, torça-o de modo a ficar preso firmemente ao ímã e adquirir um comprimento que, no momento da fixação no eixo, possa contrabalançar (em parte) o peso do ímã; (b) Utilize uma pilha de 1,5 V conectada aos terminais do galvanômetro para determinar a sua polaridade.

#### **4.1.11 Experimento 11**

O aparato experimental aqui utilizado reproduz uma das versões do experimento criado por Michael Faraday (1791-1867) em setembro de 1821, que foi capaz de produzir um movimento contínuo devido à ação de um campo magnético sobre uma corrente elétrica, caracterizando assim, o primeiro motor elétrico contínuo construído.

Ao fechar o circuito, uma corrente elétrica fluirá de um polo para outro da bateria passando antes pelo anel, pelo fio retilíneo e pelo suporte vertical. Devido ao campo magnético do ímã posicionado na região central do anel, as cargas elétricas que constituem a corrente ficam sujeitas a ação de uma força magnética perpendicular ao plano criado entre o campo magnético e o fio. A orientação dessa força é tal que as cargas elétricas impelem o fio retilíneo a descrever um movimento contínuo em torno do anel.

Neste experimento, assim como nos anteriores, a inversão da corrente ou da polaridade do ímã implica na inversão do sentido de rotação do fio em torno do anel.

Sugestão – Caso seja de interesse aumentar a rotação do fio em torno do anel, acrescente mais ímãs ao conjunto e/ou aumente a intensidade de corrente associando duas ou mais pilhas em paralelo.

#### **4.1.12 Experimento 12**

Este experimento tem por objetivo mostrar que o campo magnético é capaz de interagir não apenas com agulhas imantadas, mas também com condutores percorridos por correntes elétricas. Além disso, é possível extrair informações que permitem relacionar de forma qualitativa as grandezas físicas envolvidas no experimento.

A montagem experimental aqui utilizada permite que se faça um conjunto de variações com a finalidade de comprovar a dependência existente entre as grandezas físicas, expressa na equação:

$$F = B i l \sin\theta ,$$

sendo  $F$  o módulo da força aplicada ao fio pelo campo magnético,  $i$  a corrente que percorre o fio,  $l$  o comprimento do trecho horizontal do fio e  $\theta$  o ângulo formado entre as direções do fio e do vetor campo magnético.

As relações de dependência entre as grandezas físicas envolvidas nesse experimento podem ser obtidas através dos seguintes procedimentos experimentais:

#### I. Dependência de $F$ com $B$ .

Utilizando-se apenas um dos fios em forma de pêndulo, pode-se verificar como  $F$  varia com  $B$ . Para tal, afasta-se lentamente o ímã do trecho horizontal do pêndulo (de comprimento  $l$ ). Dessa forma, menos linhas do campo magnético do ímã estão cortando o trecho horizontal do pêndulo e, conseqüentemente, menor é o valor de  $F$ .

#### II. Dependência de $F$ com $i$ .

Variando-se a corrente que atravessa o pêndulo com o auxílio de um potenciômetro associado em série com a bateria que alimenta o circuito, nota-se que quanto maior é o valor da corrente  $i$  maior é a deflexão experimentada pelo pêndulo, logo maior o valor de  $F$ .

#### III. Dependência de $F$ com $l$ .

O aparato usado nesse experimento fornece dois pêndulos que diferem apenas pelo comprimento do trecho horizontal (valores de  $l$  diferentes). Para um mesmo posicionamento do ímã e corrente de mesma intensidade, observa-se que o pêndulo com  $l$  maior sofre uma deflexão maior, o que indica um maior valor de  $F$ .

#### IV. Dependência de $F$ com $\theta$ .

O ímã em forma de “U” aqui utilizado está montado em um suporte que lhe permite dar uma volta completa em torno de seu eixo. Com os polos do ímã colocados de forma conveniente próximos do trecho horizontal do pêndulo, é possível variar o ângulo, formado entre as linhas do campo magnético e o trecho horizontal do pêndulo, de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ . Percebe-se, claramente, que a deflexão do pêndulo é cada vez maior conforme o valor de  $\theta$  se aproxima de  $90^\circ$ . Assim, no

intervalo considerado, quanto maior é o valor de  $\theta$ , maior é o valor de  $\text{sen}\theta$  e, portanto, maior é o valor de  $F$ .

Além das variações citadas acima, que permitem estabelecer as relações de dependência entre as grandezas envolvidas no experimento, explora-se também àquelas relacionadas aos efeitos causados pela inversão da corrente que atravessa o pêndulo bem como a inversão da polaridade do ímã. Observa-se que, tanto a inversão da corrente quanto a inversão da polaridade do ímã causa uma inversão no sentido de deflexão do pêndulo. Tal fato indica que a força magnética que age no pêndulo teve sua orientação também invertida.

Em todas as situações relacionando as orientações da força, da corrente e do campo magnético, a validade da “Regra da Mão Esquerda” pode ser verificada.

Problema – De acordo com a equação  $F = B i l \text{sen}\theta$ , a força magnética exercida sobre o trecho horizontal do pêndulo é diretamente proporcional ao seu comprimento. Espera-se, portanto, que o pêndulo com maior comprimento do trecho horizontal apresente uma maior deflexão. Porém, não é isto que se observa ao se realizar o experimento posicionando o ímã de frente a cada um dos pêndulos. Constata-se que o pêndulo de maior comprimento horizontal sofre menor deflexão. Isso se deve ao fato de boa parte do trecho horizontal desse pêndulo se encontrar fora da região central do ímã, o que causa uma redução da força magnética e, conseqüentemente, uma menor deflexão.

Solução – Uma forma de se contornar esse problema é posicionar o ímã de modo que os trechos horizontais dos pêndulos fiquem “mergulhados” num campo magnético com a mesma densidade de linhas. Para tal, em vez de se colocar o ímã de frente ao pêndulo, coloca-se de lado. Com isso, ambos os pêndulos ficarão sujeitos às mesmas condições experimentais e, assim, o resultado esperado (maior deflexão para o pêndulo de maior comprimento horizontal) será observado.

#### **4.1.13 Experimentos 13 a 18**

Os aparatos apresentados nesses sete experimentos mostram algumas aplicações dos efeitos da interação entre a corrente elétrica e o campo magnético capazes de realizar movimento. Além disso, as montagens experimentais desses



aparatos revelam uma variedade de configurações que podem ser feitas de modo a se obter o mesmo resultado (movimento das partes móveis). Em todos esses experimentos as regras das mãos esquerda e/ou direita podem ser comprovadas.

No experimento 13 uma bobina (rotor) feita de fio de cobre esmaltado gira quando percorrida por uma corrente contínua e submetida a um campo magnético constante criado por um ímã de neodímio cilíndrico (estator). Para que a bobina gire continuamente ao ser ligada, uma de suas extremidades deve estar totalmente raspada enquanto a outra, apenas parcialmente. Este detalhe técnico permite que a extremidade da bobina totalmente raspada fique em contato elétrico constante com um dos polos da bateria enquanto a outra extremidade fique em contato elétrico com o outro polo somente quando a parte raspada está apoiada em seu suporte. Tal alternância faz com que a bobina seja percorrida ora sim ora não pela corrente elétrica. Durante o tempo em que a bobina encontra-se percorrida pela corrente, o campo magnético devido ao ímã interage com as cargas em movimento. A força magnética resultante dessa interação produz um torque na bobina que a faz girar. Assim que a corrente cessa, a força magnética desaparece e a bobina continua a girar por inércia. Invertendo-se a corrente ou a polaridade do ímã constata-se a inversão da rotação da bobina.

Pode-se comparar a ação dessa força magnética intermitente com aquela que é exercida sobre uma criança que brinca num balanço. Aplicada no momento certo, a força sobre a criança a mantém continuamente em movimento oscilatório.

Outra forma de entender o movimento de rotação da bobina é considerando-a um dipolo magnético durante o tempo em que se encontra percorrida pela corrente elétrica. Uma vez que um dipolo magnético tende a se alinhar a um campo magnético externo, a bobina (dotada de polos norte e sul) tende a se alinhar com o campo magnético criado pelo ímã, já que ela é a parte móvel do aparato. Esse alinhamento somente não ocorre devido ao fato do campo magnético criado pela bobina ser intermitente. Dessa forma, o movimento de rotação da bobina continua buscando em vão esse alinhamento.

Advertência – O eixo de rotação da bobina não deve ser feito de um único fio. Utilize dois pedaços de fio esmaltado enrolando um ao outro, de modo a não haver

contato elétrico entre ambos. Passe o eixo através da bobina ao longo de um de seus diâmetros e, em seguida, solde cada ponta solta da bobina à extremidade correspondente do eixo de rotação. Cuide para que as partes a serem soldadas estejam sem a camada de esmalte, permitindo assim um eficiente contato elétrico entre as mesmas.

No experimento 14 um fio de cobre (isolado ou não) enrolado em forma de espiral (rotor) gira quando percorrido por uma corrente contínua e submetido a um campo magnético constante criado por um ímã de neodímio cilíndrico (estator). Nesta montagem experimental, as extremidades da espiral estão em contato elétrico direto com os polos da pilha. O ímã de neodímio preso à base da pilha cria ao seu redor um campo magnético constante.

Devido ao contato elétrico com os polos da pilha, as cargas elétricas que percorrem a espiral ficam sujeitas à força magnética aplicada pelo campo magnético do ímã. A ação dessa força produz o movimento de rotação da espiral, cujo sentido é determinado pela orientação da corrente elétrica ao atravessar a espiral e pela polaridade do ímã.

Advertências – (a) A folga existente entre a extremidade inferior da espiral (de formato circular) e o conjunto de ímãs não deve ser nem muito grande nem muito pequena. (b) Mantenha sempre limpo o contato entre a extremidade inferior da espiral e o conjunto de ímãs (use esponja de aço ou lixa d'água).

O experimento 15 tem por base a montagem utilizada no experimento 13. Aqui, o rotor é o ímã de neodímio e o estator, a bobina de fio de cobre esmaltado. Da mesma forma que foi feito no experimento 13, o eixo de cobre esmaltado, que sustenta o ímã, tem as suas extremidades raspadas: uma completamente e a outra parcialmente. O conjunto pilha-rotor-estator encontra-se ligado em série. Conforme o ímã gira o circuito é percorrido de forma intermitente por uma corrente elétrica, pois o contato elétrico da extremidade parcialmente raspada do eixo do rotor depende da maneira como esta se encontra apoiada sobre o suporte, ou seja, o eixo do rotor funciona como um interruptor temporizador. Esse comportamento intermitente da corrente faz com que a bobina crie um campo magnético também intermitente. A partir desse ponto, tudo se passa de forma análoga ao que foi

descrito no experimento 13 no que se refere ao alinhamento dos campos magnéticos, a não ser pelo fato de que a parte móvel (rotor) agora é o ímã.

Sugestões – (a) Para que o rotor inicie o seu movimento sem a necessidade de se dar partida com a mão, apoie primeiramente o rotor nos mancais e, em seguida, raspe uma das extremidades do eixo no ponto de contato com o mancal. A outra extremidade do eixo, por sua vez, deve ser totalmente raspada; (b) Para o par de ímãs e corrente utilizados, uma bobina com um número de voltas em torno de 30 produz resultados satisfatórios na realização do experimento.

No experimento 16 um ímã de neodímio cilíndrico está suspenso, pela ação da força magnética que exerce, a dois pregos de forma a poder girar livremente. Encostado na lateral do ímã tem-se um pedaço de fio de cobre desfiado (escova) que permite o contato elétrico entre o ímã e um dos polos da bateria que alimenta o circuito. Um dos pregos que sustenta o ímã está fixo a um suporte condutor que permite o contato elétrico com o outro polo da bateria.

Assim que a bateria é conectada ao circuito, uma corrente elétrica flui pelo ímã entre os pontos de contato que correspondem ao fio de cobre desfiado e a cabeça do prego que o sustenta. Devido à ação do campo magnético criado pelo ímã, as cargas elétricas que compõem a corrente ficam sujeitas a uma força magnética que as obrigam descrever um movimento curvilíneo num mesmo sentido. Como essas cargas estão vinculadas ao ímã, a consequência desse movimento conjunto é a rotação do ímã em torno de seu eixo vertical. Invertendo-se a corrente ou a polaridade do ímã, observa-se a inversão no sentido de rotação do ímã.

Advertência – Certifique-se de que o contato entre o pedaço de fio de cobre desfiado (escova) e o ímã está limpo e se dá de maneira sutil, isto é, a escova deve tocar o ímã de forma a desviá-lo ligeiramente de sua posição vertical.

No experimento 17 um disco de papel alumínio gira em torno de um eixo fixo numa pilha (1,5V) apoiado em ímãs de neodímio grudados (com seus polos de nomes contrários) aos terminais da pilha.

O disco de papel alumínio possui diâmetro um pouco maior que o comprimento do conjunto (ímã-pilha).

Quando apoiado sobre a pilha, o disco estabelece um contato elétrico com os polos desta através dos ímãs, os quais possuem diâmetro ligeiramente maior que o diâmetro da pilha. Este contato elétrico, por sua vez, dá origem a uma corrente que flui pelo papel alumínio entre seus pontos de contato com os ímãs. A ação do campo magnético devido aos ímãs faz com que as cargas elétricas que compõem a corrente fiquem sujeitas a uma força magnética que as obrigam descrever um movimento curvilíneo num mesmo sentido. Como essas cargas estão vinculadas ao disco, o efeito desse movimento de cargas é a rotação do disco em torno de seu eixo vertical. Grudando-se, agora, os ímãs à pilha com seus polos invertidos em relação à situação anterior, observa-se a inversão no sentido de rotação do disco.

Advertência – Verifique se os ímãs acoplados nas extremidades da pilha estão dispostos de acordo com a sequência NS–NS ou SN–SN. Qualquer uma dessas sequências irá permitir o movimento do disco, diferindo apenas no sentido de rotação.

O experimento 18 apresenta um dispositivo composto por ímãs de neodímio grudados (com seus polos de mesmo nome) às extremidades de uma pilha (1,5 V) e um solenóide (2,5 mm de diâmetro) construído com fio de cobre, que serve de trilho para o conjunto (ímã-pilha) se deslocar.

Os ímãs acoplados à pilha são revestidos por um material condutor de forma que ao entrarem em contato com o interior do solenóide estabelecem o fechamento do circuito elétrico que corresponde à região do solenóide compreendida pelo conjunto (ímã-pilha). O movimento da pilha no interior do solenóide é uma consequência direta da interação do campo dos ímãs com o campo gerado pela passagem da corrente elétrica na citada região do solenóide. Quando o conjunto (ímã-pilha) é colocado no interior do solenóide, uma extremidade da pilha é repelida e a outra é atraída pelas regiões do solenóide mais próximas dessas extremidades. Isso ocorre devido à incompatibilidade e compatibilidade, respectivamente, dos polos dos ímãs grudados na pilha e os polos gerados nas extremidades do solenóide compreendido pelo conjunto (ímã-pilha). Invertendo-se a orientação conjunto (ímã-pilha) no interior do solenóide ou a polaridade dos ímãs, observa-se a inversão no sentido de movimento do conjunto.

Advertências – (a) Não estique demasiadamente a mola (solenóide) para que os ímãs não percam o contato com a mesma enquanto deslizam por ela; (b) Verifique se os ímãs acoplados nas extremidades da pilha estão dispostos de acordo com a sequência NS–SN ou SN–NS. Qualquer uma dessas sequências irá permitir o movimento do conjunto (ímã-pilha) no interior da mola, diferindo apenas no sentido do deslocamento.

#### **4.1.14 Experimento 19**

Este experimento reproduz àquele criado por Michael Faraday (1791-1867) em 1831, onde, sob certas condições, um campo magnético é capaz de criar corrente elétrica.

O fenômeno envolvido nesse experimento foi por ele denominado de Indução Eletromagnética.

Neste experimento um ímã realiza um movimento de vai e vem próximo a uma espira condutora conectada a um galvanômetro. O movimento do ímã causa uma variação de fluxo magnético através da espira, e o ponteiro do galvanômetro deflete, demonstrando a existência de corrente elétrica através da espira. O fluxo do campo magnético corresponde ao número de linhas de campo magnético que atravessam uma superfície. Quanto maior for o número de linhas que atravessam uma superfície, maior será a o fluxo magnético através da mesma e vice-versa.

Devido ao fato do suporte permitir que a bobina execute um movimento pendular, quando o ímã é dela aproximado, observa-se o recuo da bobina indicando uma repulsão. Por outro lado, ao se afastar o ímã da bobina, nota-se o efeito contrário indicando uma atração entre ambos. A partir dessas observações, é possível concluir que a corrente elétrica induzida na espira, devido ao movimento do ímã, faz surgir na face da bobina voltada para o ímã uma polaridade magnética que se opõe a esse movimento relativo. Conhecendo-se, portanto, a polaridade do ímã é possível determinar a polaridade da bobina em ambas às situações descritas acima. Caso não se conheça a polaridade do ímã, é possível também determinar a polaridade adquirida pela bobina (durante a aproximação ou afastamento do ímã)

observando o sentido de deflexão do ponteiro do galvanômetro e fazendo uso da “Regra da Mão Direita”.

Outra constatação que pode ser feita através do aparato usado nesse experimento diz respeito à intensidade da corrente que percorre o circuito durante o movimento relativo entre o ímã e a bobina. Nota-se claramente que a amplitude de deflexão do ponteiro do galvanômetro é tanto maior quanto mais rápido for o movimento de vai e vem do ímã. Colocando este resultado em termos de fluxo magnético, pode-se dizer que quanto maior é a velocidade relativa do ímã, maior é a variação no tempo do fluxo magnético através da bobina. Dessa forma, é possível relacionar diretamente a corrente elétrica que percorre o circuito com a variação do fluxo magnético através da bobina.

A partir dos resultados obtidos, é possível estabelecer de forma qualitativa a dependência entre as grandezas físicas envolvidas no fenômeno da indução eletromagnética e que se relacionam matematicamente através da equação:

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

sendo  $\varepsilon$  a fem induzida na espira (responsável diretamente pela corrente no circuito),  $\Delta\Phi$  a variação do fluxo magnético através da espira e  $\Delta t$  o intervalo de tempo em que ocorre essa variação. O sinal negativo, que representa a essência da Lei de Lenz, está relacionado diretamente com o efeito de oposição que é observado quando o ímã se aproxima ou se afasta da bobina.

Advertência – Mantenha os dois aparatos utilizados nesse experimento suficientemente afastados para que o ímã móvel (usado para induzir corrente na bobina) não interaja com o ímã localizado no interior do galvanômetro.

#### **4.1.15 Experimento 20**

Este experimento trata do fenômeno da indução eletromagnética onde se utiliza um aparato experimental semelhante àquele apresentado no experimento 19. Nesta montagem, porém, o galvanômetro foi substituído pela bobina móvel (B2) e esta, pela bobina fixa (B1). Agora, B2 colocada com uma de suas faces próxima a um ímã fixo (I2) desempenha o papel de detector de corrente no circuito. Enquanto isso, B1 experimenta as variações produzidas no fluxo magnético pelo movimento de vai e vem de um ímã móvel (I1).

Aproximando-se I1 de B1, por exemplo, nota-se que B2 é repelida ou atraída por I2, dependendo do polo de I2 que está voltado para a face de B2. Repete-se, agora, esse mesmo procedimento, porém invertendo-se a polaridade de I2.

Efetuada-se todas as variações possíveis tanto no que se refere às inversões de polaridade de I1 e I2 quanto no sentido de movimento de I1 (afastando ou aproximando de B1), consegue-se montar o seguinte quadro.

Quadro 1 - Análise de resultados do experimento 19 (indução eletromagnética).

Movimento Relativo entre I1 e B1	Tipo de Interação entre I2 e B2	
	Polo Sul de I2 voltado para B2	Polo Norte de I2 voltado para B2
Aproximação do polo Norte de I1	<i>Repulsão</i>	<i>Atração</i>
Afastamento do polo Norte de I1	<i>Atração</i>	<i>Repulsão</i>
Aproximação do polo Sul de I1	<i>Atração</i>	<i>Repulsão</i>
Afastamento do polo Sul de I1	<i>Repulsão</i>	<i>Atração</i>

Fonte: Do autor

Os resultados apresentados nesse quadro permitem determinar a polaridade magnética de B2 para os oito tipos de interação entre I2 e B2. Além disso, este aparato experimental possibilita a confirmação desses resultados a partir das constatações feitas no experimento 19, da polaridade adquirida pela bobina conforme o terminal de entrada da corrente e através da aplicação da “Regra da Mão Direita”.

Observação – Pode-se obter maior deflexão da bobina móvel, aumentando-se o número de voltas e/ou o diâmetro de ambas as bobinas (nos aparatos usados neste experimento as bobinas têm 30 voltas de fio e 3 cm de diâmetro). Além disso, o uso de ímãs mais “potentes” irá contribuir para um aumento da corrente induzida na bobina fixa, o que acarretará numa maior deflexão da bobina móvel.

#### 4.1.16 *Experimento 21*

Este experimento tem por objetivo mostrar o princípio de funcionamento do gerador de corrente alternada utilizando um aparato semelhante àquele usado no experimento 12. Neste caso a bateria foi substituída por um galvanômetro.

Ao girar a bobina móvel (rotor) com a mão, é possível observar o movimento oscilatório do ponteiro do galvanômetro em torno da posição central da escala (o “zero” da escala), indicando assim uma variação na intensidade e sentido da corrente. Tal fato se justifica devido à variação do fluxo magnético através da bobina, variação essa causada pelo seu movimento de rotação. Nesse caso, o campo magnético criado pelo ímã (estator) permanece constante enquanto a área da bobina atravessada pelo fluxo magnético varia com o tempo. Apesar do aparato não possibilitar a coleta de dados numéricos relativos à corrente, consegue-se perceber de forma qualitativa o comportamento senoidal da corrente alternada, já que, como se sabe, a intensidade  $i$  da corrente alternada varia com o tempo  $t$  de acordo com a equação:

$$i = i_m \text{sen}(\omega t - \varphi)$$

sendo  $i_m$  a intensidade máxima da corrente,  $\omega$  a frequência angular de rotação da bobina e  $\varphi$  a constante de fase, cujo valor depende da posição inicial da bobina.

Observações – (a) Substituindo-se o conjunto de ímãs em forma de ferradura por um único ímã colocado sob a bobina (rotor), constata-se a redução da corrente nela induzida através da diminuição da amplitude de oscilação do ponteiro do galvanômetro; (b) Outro efeito interessante que pode ser observado, relacionado com a lei de Lenz, é a frenagem da bobina (inicialmente em movimento) quando os seus terminais são colocados em curto circuito.

#### **4.1.17 Experimento 22**

O dispositivo aqui apresentado, conhecido como “Lanterna de Led”, consiste numa aplicação do fenômeno da indução eletromagnética em que energia mecânica é convertida em energia elétrica.

Ao se chacoalhar o tubo de um lado para outro, o ímã localizado em seu interior executa um movimento de vai e vem. Isso faz com que haja uma variação do fluxo magnético devido ao ímã através da bobina que envolve parte do tubo. Nesse caso, a variação do fluxo magnético se deve à variação do número de linhas do campo magnético que atravessam a área delimitada pela bobina. Surge assim,



de acordo com a lei da indução de Faraday, uma força eletromotriz induzida  $\varepsilon$  de módulo:

$$|\varepsilon| = \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right|,$$

em que  $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  é a taxa de variação no tempo do fluxo magnético através da bobina. Essa força eletromotriz induzida, que é alternada devido ao movimento de vai e vem do ímã, provoca o aparecimento de uma corrente alternada no circuito formado pela bobina e os leds. Uma vez que os leds permitem apenas passagem da corrente em um sentido, o terminal positivo de um deles está conectado ao terminal negativo do outro e vice-versa. Dessa forma é possível manter a lanterna acesa enquanto o tubo estiver sendo chacoalhado.

**Problema** – A primeira versão do aparato utilizado neste experimento utilizava um único led conectado aos terminais da bobina. Devido ao fato da corrente gerada pelo movimento de vai e vem do ímã no interior do tubo ser alternada, o led se apresentava ora aceso ora apagado.

**Solução** – A forma encontrada para eliminar a alternância no fornecimento de luz foi associar um segundo led ao primeiro, de modo à “perna” positiva de um estar ligada à “perna” negativa do outro e vice versa. Com isso, o fornecimento de luz tornou-se constante.

**Observação** – Em princípio, não existe um número determinado para a quantidade de voltas da bobina que envolve o tubo de PVC. Isso pode ser feito na prática enrolando-se o fio em torno do cano e ir testando o aparato até se obter o acendimento dos leds.

#### **4.1.18 Experimentos 23 a 25**

Os aparatos utilizados nesses três experimentos têm por objetivo mostrar como reagem os elétrons livres existentes em corpos metálicos não ferromagnéticos (neste caso peças de alumínio) em resposta à atuação de um campo magnético variável criado por um ímã. O efeito magnético resultante dessa interação recebe a denominação de “Freio Magnético”, pois uma força magnética atua de modo a se opor ao movimento relativo entre o ímã e a peça de alumínio. A origem dessa força magnética pode ser explicada a partir do fenômeno da indução eletromagnética.

O movimento relativo entre o ímã e a peça de alumínio provoca nesta um fluxo magnético variável dando origem a uma força eletromotriz induzida de acordo com a Lei de Indução de Faraday. Essa força eletromotriz induzida provoca, por sua vez, o movimento das cargas livres presentes na peça de alumínio, originando assim uma corrente elétrica induzida que descreve um circuito fechado. O sentido dessa corrente induzida obedece à Lei de Lenz, isto é, o campo magnético por ela criado na peça de alumínio se opõe ao movimento de aproximação ou afastamento do ímã.

Os resultados obtidos a partir das interações entre os ímãs e as peças de alumínio nesses três experimentos, no que se refere às orientações das correntes e campos magnéticos induzidos, podem ser comprovados pela aplicação das regras da mão esquerda e/ou da mão direita.

No experimento 23 um ímã de neodímio é posto a oscilar sobre uma pequena placa de alumínio (placa 1). Observa-se, entretanto, que após ser abandonado a partir de um ponto acima de sua posição de equilíbrio, o ímã é freado parando logo em seguida.

Repete-se o procedimento acima utilizando outra placa de alumínio (placa 2) de mesmas dimensões que a anterior, porém em forma de pente. Nota-se agora que o ímã oscila durante um tempo maior. Isso se deve ao fato das correntes induzidas na placa 2 terem intensidades muito menores quando comparadas com aquelas originadas na placa 1.

Em ambos os procedimentos, especialmente no primeiro, constata-se a existência de uma força (de natureza magnética conforme explicação geral) responsável pelo amortecimento do movimento pendular do ímã. Devido à disposição espacial da placa de alumínio e do ímã, e da maneira com que o experimento é executado, a componente vertical da força de repulsão entre a placa de alumínio e o ímã não tem seus efeitos percebidos tão claramente quanto a sua componente horizontal (força de arrasto). Isto pode ser facilmente comprovado observando o arrasto sofrido pela placa de alumínio quando da passagem do ímã sobre ela.

Comparando os resultados obtidos nos dois procedimentos, pode-se atribuir o fato da intensidade da força amortecedora no segundo procedimento ser bem menor devido à dificuldade de movimentação dos elétrons livres causada pelas falhas existentes entre os dentes da placa 2. Com isso, ocorre uma redução considerável da corrente induzida nesta placa e, conseqüentemente, uma diminuição significativa na intensidade da força magnética responsável pela interação ímã-placa.

Advertência – Não use materiais ferromagnéticos na montagem desse aparato, pois eles poderão interagir com o ímã e interferir na realização do experimento.

Sugestão – Com o pêndulo em repouso na posição de equilíbrio e a placa de alumínio (não dentada) sob ele, observe o que ocorre ao se deslizar rapidamente (com um piparote) a placa sobre a base de madeira. Repita o procedimento anterior utilizando, agora, a placa dentada. Comprove com isto que a interação entre o ímã e as placas de alumínio depende do movimento relativo entre eles.

No experimento 24 um ímã de neodímio é abandonado (de uma altura de 60 cm) entre duas réguas paralelas de alumínio dispostas perpendicularmente ao solo. Assim que o ímã começa a cair, sua velocidade vai sendo reduzida até atingir um valor terminal (velocidade constante não nula). Uma vez que o ímã se encontra sob a ação da força gravitacional, é necessário que exista uma força (de natureza magnética, conforme explicação geral dada no início das descrições), de sentido contrário atuando sobre ele. Pelas mesmas razões apresentadas no experimento 23, a componente da força magnética paralela ao movimento do ímã (força de arrasto) tem seus efeitos mais facilmente percebidos.

Caso esse aparato permitisse reduzir a distância entre as réguas, seria possível observar uma redução na velocidade terminal do ímã e vice-versa.

Os resultados obtidos neste experimento permitem estabelecer uma semelhança entre a queda do ímã e a queda de um corpo próximo à superfície da Terra sujeito às forças gravitacional e de resistência do ar. Contudo, como se sabe de estudos quantitativos, a força magnética não varia com o quadrado da velocidade de queda.

Advertência – Não use materiais ferromagnéticos na montagem desse aparato, pois eles poderão interagir com o ímã e interferir na realização do experimento.

Sugestão – Incline ligeiramente o aparato e deixe o ímã deslizar pela superfície externa de uma das réguas de alumínio. Esta forma de utilizar o aparato é uma das várias maneiras de se verificar o efeito do “freio magnético” causado por correntes induzidas geradas pelo movimento relativo de um ímã e metais não ferromagnéticos.

No experimento 25 um disco de alumínio é posto a girar em torno de um eixo vertical tendo apoiado sobre sua superfície um ímã, o qual se encontra preso à extremidade de uma haste. Observa-se que conforme a velocidade angular do disco aumenta, o ímã se afasta verticalmente do disco de forma lenta até estabilizar. Esse fato mostra que a força de repulsão (de natureza magnética conforme explicação geral) que atua sobre o ímã diminui conforme este se afasta da superfície do disco. Este afastamento ocorre até que a força magnética equilibre a força gravitacional, quando então o ímã cessa o seu movimento. Uma vez que a corrente induzida no disco afeta diretamente a intensidade da força magnética aplicada ao ímã, o resultado acima obtido indica que o aumento da velocidade angular do disco implica num aumento da corrente nele induzida.

Diferentemente dos experimentos 23 e 24, a montagem experimental aqui utilizada permite observar, de forma didática, os efeitos que podem ser atribuídos às componentes vertical e horizontal da força magnética. A componente vertical é a responsável pela repulsão entre o disco e o ímã enquanto que a componente horizontal (que pode melhor ser percebida aproximando o ímã do disco com o dedo) é a responsável pela força de arrasto, a qual tende a frear o disco.

Mantendo-se essa mesma montagem experimental, porém utilizando um ímã “mais potente” e um motor com maior torque, consegue-se gerar intensas correntes de Foucault no disco sob rotação máxima. Essas correntes produzem aquecimento na massa do disco à custa da perda de sua energia cinética.

Advertência – Não use materiais ferromagnéticos na montagem desse aparato, pois eles poderão interagir com o ímã e interferir na realização do experimento.

Sugestão – Com o disco de alumínio em movimento e o ímã “flutuando” sobre ele, force levemente o ímã contra o disco sem que haja contato entre ambos. Perceba o efeito do “freio magnético” através da redução da velocidade de rotação do disco.

#### **4.1.19 Experimento 26**

Este experimento reproduz àquele criado por Michael Faraday (1791-1867) em 1831, no estudo na Indução Eletromagnética. Devido ao “enlaçamento” magnético das duas bobinas causado pela variação do fluxo magnético que uma produz na outra sob certas condições, o fenômeno envolvido nesse experimento foi denominado de *Indução Mútua*.

Ao conectar a bateria aos terminais da base onde se encontra a bobina primária, uma corrente elétrica passa a fluir no circuito. Essa corrente, graças à presença do transistor, varia rapidamente com o tempo dando origem a um campo magnético também variável.

Aproximando-se lentamente a bobina secundária da primária, observa-se que o led conectado à bobina secundária aumenta progressivamente o seu brilho, indicando, assim, um aumento da corrente que o atravessa. De acordo a lei de indução de Faraday, esse fato é decorrente do surgimento de uma força eletromotriz (fem) induzida na bobina secundária causada pelo fluxo magnético variável (criado pela bobina primária) que a atravessa (indução mútua). Essa fem induzida, por sua vez, dá origem a uma corrente induzida contínua que percorre o led fazendo com que ele se acenda.

Variando-se aleatoriamente a posição da bobina secundária, nota-se que o led apresenta seu maior brilho quando as bobinas estão bem próximas e com seus eixos longitudinais alinhados.

Este experimento mostra, portanto, que o fenômeno da indução mútua possibilita a transmissão de energia eletromagnética à distância sem a necessidade

de fios condutores. Além disso, é possível constatar que essa transmissão não é bloqueada ao se interpor materiais isolantes entre as duas bobinas.

Advertência – Certifique-se de que o aparato está ligado à bateria conforme as especificações registradas na base de madeira. Tensões aplicadas acima da especificação poderão queimar o transistor.

Sugestão – Intercale entre as duas bobinas placas de diferentes materiais (metálicos e não metálicos) com dimensões maiores que o diâmetro das bobinas. Esse procedimento permite verificar se é possível bloquear a transmissão de energia eletromagnética de uma bobina para outra e, em caso afirmativo, quais são os materiais que podem causar esse bloqueio.

#### **4.1.20 Experimento 27**

O aparato utilizado neste experimento reproduz (em escala bem reduzida) a Bobina de Tesla desenvolvida no ano de 1890 por Nikola Tesla (1856-1943), que em 1899, utilizando uma bobina capaz de gerar 12 milhões de volts produziu descargas elétricas com 38 metros de extensão, entre dois eletrodos colocados a uma altura de 61 metros do solo. Este dispositivo é, na verdade, um transformador, que se utiliza do fenômeno da indução mútua para produzir tensões elevadas sob altas frequências.

Ao conectar a bateria aos terminais do aparato, uma corrente elétrica passa a fluir pela bobina primária (fio vermelho que envolve o tubo de PVC). Devido à presença do transistor no circuito, essa corrente varia rapidamente com o tempo, originando assim um campo magnético também variável. Este campo magnético variável, por sua vez, induz uma fem na bobina secundária (fio fino esmaltado que envolve o tubo de PVC). Como o número de espiras na bobina secundária é bem maior, a fem nela induzida provoca em seus terminais uma tensão elevada capaz de ionizar o ar ao seu redor. Ao aproximar uma pequena lâmpada fluorescente do terminal da bobina secundária, observa-se que ela se acende.

Convém destacar que os efeitos produzidos pelas altas voltagens geradas pela Bobina de Tesla de grande porte representam as mais espetaculares ilustrações que se pode realizar em Física ou em Engenharia Elétrica e ainda

permite a exploração de conceitos como a quebra da rigidez dielétrica do ar/ionização de gases (relâmpagos artificiais, plasmas), circuitos ressonantes e transmissão e recepção de energia pelo ar através de ondas eletromagnéticas, ilustrando os princípios da radiodifusão.

Advertência – Certifique-se de que o aparato está ligado à bateria conforme as especificações registradas na base de madeira. Tensões aplicadas acima da especificação poderão queimar o transistor.

Observação – A bobina de Tesla é essencialmente um transmissor de rádio sem a antena, embora esteja mais relacionada à transmissão de energia elétrica do que à comunicação. Em funcionamento, é capaz de produzir interferência nos rádios.

#### **4.1.21 Experimento 28**

O aparato utilizado neste experimento reproduz uma das várias versões do *Rádio de Galena*, cujo princípio de funcionamento se baseia nos fenômenos da *Indução Eletromagnética* e da *Ressonância* em Circuitos Elétricos.

A *indução eletromagnética* é o fenômeno que possibilita a *captação* pela antena do rádio das ondas eletromagnéticas produzidas pelas estações de rádio em diversas frequências. Ao incidirem sobre a antena de quadro do aparato, as ondas eletromagnéticas na faixa de ondas de rádio, (ondas de radiofrequência), induzem correntes alternadas no circuito formado pela bobina indutora (que faz também o papel de antena) e o capacitor variável. Devido à configuração do circuito elétrico que constitui o rádio desse experimento, apenas as ondas com frequências compreendidas na faixa de 500 kHz a 1500 kHz (denominadas de *ondas médias*), podem ser sintonizadas.

A *ressonância*, que se estabelece entre a bobina indutora e o capacitor variável, é o fenômeno responsável pela *sintonia* de uma frequência específica na faixa correspondente às ondas médias. Essa sintonia é obtida através do ajuste da área sobreposta das placas do capacitor variável, ou seja, para cada valor da combinação indutância-capacitância, o circuito indutor-capacitor "ressoa" apenas para uma pequena faixa de frequências da onda eletromagnética. Assim, no circuito

de sintonia, a corrente elétrica é alternada e tem frequência igual a da onda eletromagnética selecionada. Esta, por sua vez, consiste na superposição de duas ondas: a *onda portadora* ou *onda de radiofrequência* (que identifica a emissora de rádio) e a *onda moduladora* ou *onda de audiofrequência* (onde se encontra “gravada” a mensagem de áudio). A onda resultante dessa superposição é denominada *onda modulada (OM)*. No aparato aqui utilizado a *onda modulada* é do tipo *AM (amplitude modulada)*, isto é, a *amplitude* da onda de radiofrequência é modulada pela onda de audiofrequência.

Finalmente, para que a mensagem (onda de audiofrequência) transportada pela onda modulada possa ser reproduzida através de um fone de ouvido de alta impedância (ou caixas de som com amplificação), é necessário que a corrente elétrica produzida no circuito ressonante indutor-capacitor seja retificada, isto é, transformada de alternada em contínua. Esta retificação é feita pelo diodo, que tem por característica básica permitir a passagem da corrente em um único sentido. Assim, chega ao fone de ouvido as ondas de radiofrequência e audiofrequência com metade de suas amplitudes. Uma vez que o ouvido humano é capaz de perceber sons na faixa de frequência entre 20 Hz e 20.000 Hz, as ondas de radiofrequência não são ouvidas, já que estão compreendidas entre 500 KHz e 1500 KHz. Por outro lado, as ondas de audiofrequência são ouvidas, pois estão compreendidas entre 20 Hz e 20.000 Hz.

Além de demonstrar a aplicabilidade de dois importantes fenômenos físicos (Indução Eletromagnética e Ressonância), o Rádio de Galena ocupa uma posição de destaque entre os experimentos de eletromagnetismo devido à sua quantidade reduzida de componentes, à facilidade de construção e à ausência de baterias, já que a energia para o seu funcionamento é fornecida pela onda eletromagnética emitida pela rádio emissora sintonizada.

Advertência – No caso de se usar fio desencapado para a construção da antena, certifique-se de que não haja contato entre cada espira. Mantenha uma distância mínima entre 2,0 mm e 3,0 mm.

Observações – (a) Apesar de parecer lógico supor que o aumento do número de espiras na antena poderia contribuir para uma maior eficiência do rádio, isso não ocorre, pois esse aumento altera a configuração do circuito ressonante



(indutor-capacitor) que passa a operar numa faixa de radiofrequência diferente daquela de nosso interesse (entre 500 KHz e 1500 KHz). Uma melhora na eficiência do rádio (sem alterar o comprimento do fio) pode ser obtida aumentando-se o tamanho do quadro da antena. (b) Por se tratar de uma antena multidirecional, a sintonia das estações de rádio deve ser feita (além do ajuste do capacitor variável) através do posicionamento correto da antena. Para tal, basta girar a antena até obter o máximo de intensidade sonora.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O consenso em relação à importância de atividades experimentais no estudo das ciências, verificado a partir de uma revisão de literatura, as vantagens e conveniências fornecidas pelo uso de experimentos de baixo custo e os trinta e cinco anos de experiência profissional que adquiri serviram de base e motivação para a elaboração do trabalho aqui apresentado, cuja estratégia escolhida tem por objetivo possibilitar a experimentação em Eletromagnetismo, com um conjunto de experimentos históricos e a partir da exploração desses experimentos e das questões propostas de uso, instrumentalizar o professor de Física no ensino do Eletromagnetismo.

O Principal critério de escolha dos experimentos propostos (e suas decorrentes questões problematizadoras) neste trabalho se baseou na cronologia histórica da evolução dos conceitos do Eletromagnetismo, onde se destacam alguns problemas encontrados pela comunidade científica, podendo-se citar: a quebra de simetria entre a corrente elétrica e o campo magnético por ela gerado e a aparente violação da Terceira Lei de Newton, revelados na famosa experiência de Oersted.

Outro critério de escolha dos experimentos propostos neste trabalho se baseou no conteúdo de Eletromagnetismo presente nos livros adotados no Ensino Médio, levando em consideração a cronologia histórica desses experimentos. A classificação dos experimentos em *básicos* e *complementares* utilizada neste trabalho foi feita considerando como *básicos* os experimentos citados nos livros didáticos e/ou de relevância histórica e *complementares* os experimentos elaborados com diferentes componentes físicos e/ou diferentes configurações geométricas, porém que envolvem os mesmos fenômenos observados nos experimentos básicos.

A adição dos experimentos *complementares* visa explorar mais e aprofundar a visualização dos componentes envolvidos e a influência que a configuração geométrica destes componentes causam na orientação espacial dos vetores

representativos das grandezas eletromagnéticas envolvidas bem como na associação entre mesmas. Pretende-se, portanto, com o conjunto de experimentos propostos neste trabalho, possibilitar ao aluno condições de superar as dificuldades encontradas ao tentar analisar um fenômeno eletromagnético através da visualização de um experimento representado por uma figura plana, geralmente imprecisa e/ou irreal, exposta em seu livro didático.

Integrando a estratégia aqui adotada, escolheu-se como referencial teórico para fundamentar de forma conveniente este trabalho a “Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird”, cuja proposta é a de instrumentalizar os professores para que eles utilizem esses experimentos a fim de favorecer a construção e a mudança de modelos mentais dos alunos nas suas atividades didáticas. Tendo em mente que a simples observação do experimento não garante a compreensão do fenômeno por parte dos alunos, mas os deixam intrigados a ponto de arriscarem uma explicação, uma série de questões propostas para cada experimento fornece ao professor subsídios para que ele possa estabelecer uma troca de informações com os alunos promovendo, assim, o desencadeamento de novas ideias e, a partir delas, avaliar a evolução dos modelos mentais dos alunos.

Apesar do propósito deste trabalho dar ênfase ao aspecto qualitativo dos fenômenos, os experimentos 2, 4 e 5, aqui classificados como *básicos*, permitem a coleta de dados, conforme apresentado em suas descrições. Em posse destes dados, torna-se possível fazer a confrontação com os resultados previstos pela teoria.

A facilidade de acesso aos materiais e simplicidade de construção dos aparatos experimentais aqui apresentados bem como a não exigência de um ambiente especial para a execução dos experimentos, mostram que a introdução deste recurso em sala de aula não apresenta tantas dificuldades como normalmente se imagina. Isso dá ao professor condições de se sentir seguro e de ter autonomia quanto à utilização de atividades experimentais, já que pode construir seu próprio aparato experimental (sem precisar recorrer a equipamentos sofisticados e caros), efetuar modificações de acordo com a necessidade e conveniência, projetar novos

aparatos e imaginar alternativas de uso dos mesmos ao longo do curso. Além disso a integralidade do trabalho docente envolve não só as atividades de aula, mas a construção, testagem de materiais e métodos didáticos diversificados. Contrapartidas devem ser promovidas pelas instituições de ensino para resgatar essa componente do trabalho docente e assim torná-lo integral.

Além das facilidades acima mencionadas e aproveitando-se do entusiasmo causado pelos fenômenos eletromagnéticos (observáveis), o professor, com o auxílio desses experimentos, tem condições de despertar a curiosidade de seus alunos e não só desafiá-los a buscar explicações para o funcionamento dos experimentos, mas também tentar construí-los. Com isso, o professor contribui para a criação de um ambiente escolar que proporciona uma maior interação entre ele e seus alunos a fim de facilitar o processo de ensino pelo professor. O fortalecimento dessa interação gera um clima de confiança mútua que contribui para que o aluno consiga, uma vez tendo dominado as relações de caráter tridimensional das grandezas eletromagnéticas, reduzir consideravelmente as dificuldades impostas pelo tratamento matemático dado a essas relações.

Para finalizar, convém acrescentar que a proposta aqui apresentada não se limita apenas ao terceiro ano do Ensino Médio. É possível aplicá-la, através de adequações feitas às questões propostas para cada experimento, ao curso de Ciências ministrado no último ano do Ensino Fundamental e a cursos de capacitação ou formação continuada de professores de Ciências. Além disso, essa proposta pode ser estendida a outros temas do ensino de Física (Mecânica, Termologia, etc.), visto que é grande a oferta de experimentos de baixo custo relacionados a esses temas que podem ser encontrados em trabalhos acadêmicos e até mesmo na internet.

## REFERÊNCIAS

AXT, R; GUIMARÃES, V. H. **O ensino experimental de Física em escolas de nível médio: um tentativa de viabilizá-lo.** Ciência e Cultura, v. 37, n. 1. p. 39-45, 1985.

BITENCOURT, André Pires ; QUARESMA, Fábio Sardinha. **O uso de experimentos de baixo custo como forma alternativa no ensino de Física.** 2008. 50f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura Plena em Física) - Faculdade de Física, Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2008.

BORGES, A. T. Um estudo de modelos mentais. **Investigações em Ensino em Ciências**, Porto Alegre, v. 2, n. 3, 1997. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol2/n3/borges.htm>>. Acesso em: 24 set. 2017.

CACHAPUZ, Antônio et al. Superação das visões deformadas da ciência e da tecnologia: um requisito essencial para a renovação da educação científica. In: CACHAPUZ, Antônio. **A necessária renovação do ensino das ciências.** 3. ed. São Paulo: Cortez, 2011. p.37-66.

CHAIB, J. P. M. C. ; ASSIS, A. K. T. **Experiência de Oersted em sala de aula.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 1, p. 41-51, 2007.

D'ÀVILA, ANA RITA LOURENÇO. **Utilização de materiais de baixo custo no Ensino de Física.** 1999. Monografia de Conclusão de Curso (Especialista em Ensino de Ciências e Matemática) - Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 1999.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. **Circuitos com diodo.** Disponível em: <<http://www.feis.unesp.br/>>. Acesso em: 20 fev. 2017.

ELETRÔNICA PT. **Eletrônica do diodo.** Disponível em: <<https://www.electronica-pt.com/>>. Acesso em: 20 fev. 2017.

ELETRÔNICA PT. **O transistor como chave eletrônica.** Disponível em: <<https://www.electronica-pt.com/>>. Acesso em: 20 fev. 2017.

ERTHAL, JOÃO. P. C. ; GASPAR, ALBERTO. **Construção de atividades experimentais com material de baixo custo para ensino de tópicos relacionados à corrente alternada ao nível do Ensino Médio.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 16, 2005, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Centro Federal de Educação Tecnológica, 2005. p. 345-359.

GRECA, I. M. Algumas metodologias para o estudo dos modelos mentais. In: SANTOS, F. M. T. dos ; GRECA, I. M. (Org.) **A Pesquisa em ensino de ciências no Brasil e suas metodologias.** 2. ed. Ijuí: Editora Unijuí, 2011. 437 p.

KOHORI, RODOLFO KASUYOSHI. **Estratégias experimentais de ensino visando contribuir com o ensino de Física de modo significativo: Atividades de Eletricidade, Magnetismo e Eletromagnetismo.** 2015. 70f. Dissertação de Mestrado (Mestrado Profissional de Ensino de Física) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2015.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. **LABELETRO – Experimento 6,** Disponível em: <<http://sites.ifi.unicamp.br/>>. Acesso em: 20 fev. 2017.

MALANOS, MICHEL JUNIOR. **A Física experimental no Ensino Médio para alunos das redes públicas municipais e estaduais – Eletricidade e Magnetismo.** 2011. 65f. Trabalho de Iniciação Científica (Licenciatura Plena em Física) - Faculdade de Física, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2011.

MATIAS, J. V. C. **O que são diodos?** Disponível em: <<https://www.josematias.pt/>>. Acesso em: 20 fev. 2017.

MELLO, H. A. ; INTRATOR, E. **Dispositivos semicondutores**. 4. ed. [s. l.: s. n.], 1980. Disponível em: <<https://www.estantevirtual.com.br/>>. Acesso em: 20 fev. 2017.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa crítica**. Porto Alegre: EPU, 2009.

MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. 2. ed. ampl. São Paulo: EPU, 2011.

OFICINA DA NET. **Diodos: (quase) tudo o que você precisa saber sobre**.

Disponível em: <<https://www.oficinadanet.com.br/>>. Acesso em: 20 fev. 2017.

PAZ, ALFREDO MÜLLEN DA. **Atividades experimentais e informatizadas: Contribuições para o ensino de eletromagnetismo**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

POZO, J. I. ; CRESPO, M. A. G. **A aprendizagem e o ensino de Ciências – do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 296 p.

AGUIAR, MANOEL L. **Circuitos eletrônicos 1 - Notas de aula** . Disponível em: <<https://edisciplinas.usp.br/>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

SANTOS, E. I.; PIASSI, L. P. C.; FERREIRA, N. C. **Atividades experimentais de baixo custo como estratégia de construção da autonomia de professores de Física: uma experiência em formação continuada**. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 9., 2004, Jaboticatubas. **Anais...** Minas Gerais, 2004. p. 1-18.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL (SENAI). **Apostila completa sobre eletrônica e eletricidade básica**. Disponível em: <<https://www.te1.com.br/>>. Acesso em: 20 fev. 2017.

## APÊNDICES

**Dissertação:** Experimentos Projetados Para Construção E Mudança De Modelos Mentais No Ensino De Eletromagnetismo

**Silvio Lima Dias**

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF)/SBF

**Polo:** Universidade Federal de Alfenas - MG (UNIFAL-MG).

### **Apresentação**

O presente material didático-pedagógico é constituído de vinte e oito experimentos de eletromagnetismo (confeccionados com materiais de baixo custo e/ou fácil acesso) e suas respectivas questões problematizadoras.

Os experimentos foram elaborados obedecendo a uma cronologia histórica, que permite ao professor desenvolver o estudo do Eletromagnetismo a partir das mesmas dificuldades encontradas pelos pesquisadores da época. Além disso, os componentes utilizados e a simplicidade na confecção dos experimentos permitem uma maior transparência dos processos envolvidos no fenômeno observado.

Tendo como motivação principal a necessidade de reverter a difícil situação imposta pelo elevado grau de desinteresse da maioria dos alunos pelo estudo do Eletromagnetismo (desinteresse esse devido, principalmente, à grande quantidade de conceitos abstratos), procurei elaborar o presente material de modo a ser utilizado pelo professor em sala de aula. Com isso, o professor proporciona a criação de um ambiente que permite aos alunos investigarem os conteúdos do Eletromagnetismo de maneira interativa, dando-lhes subsídios para que tenham condições de compreender, questionar e, por fim, adquirir o conhecimento científico desejado.



Os experimentos aqui apresentados dão ênfase ao aspecto qualitativo dos fenômenos observados, porém alguns dos experimentos, conforme podem ser identificados a partir de suas descrições, permitem a coleta de dados e, conseqüentemente, uma confrontação com os resultados previstos pela teoria.

Outro aspecto positivo do presente material, além da sua simplicidade de construção e transparência de seus componentes, consiste no fato de que os experimentos podem ser confeccionados pelos próprios alunos. Tal atividade (a confecção dos experimentos pelos alunos) pode também ser utilizada pelo professor como forma de avaliar o envolvimento e o desempenho dos alunos no grupo durante a realização da atividade proposta.

Acompanham os experimentos, questões problematizadoras que permitem ao professor explorar aspectos conceituais e técnicos que auxiliam o aluno numa compreensão mais aprofundada dos fenômenos observados.

As réplicas dos experimentos produzidos foram doados pelo autor para o laboratório de Ensino de Física do Curso de Física - Licenciatura da UNIFAL-MG. O autor oferecerá oficinas de construção e utilização desses e outros experimentos da Física, para finalidades didática, construídos com os mesmos princípios de transparência didática e epistemológica, mediante demandas de professores, escolas e universidades.

## **APÊNDICE A - Vídeos dos Experimentos Modelos Mentais**

Para cada um dos vinte e oito experimentos integrantes da coleção, elaboramos um vídeo que traz uma análise com diagramas, forma de uso sugerida e detalhes da construção. Em alguns minutos o professor pode ter uma visão geral de um determinado experimento. Além disso esse material constitui-se material para uso na aula e como elemento das análises, pelo aluno, durante o processo de construção dos modelos mentais. Abaixo o link para acesso aos vídeos. Em caso de problemas de acesso, por favor entre em contato com o autor ou secretaria do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF).

Além dos vídeos o apêndice B reúne um quadro de problematizações organizados por sequência de experimentos e um manual com algumas expectativas de respostas sobre as problematizações.

### **[Acesso a coleção dos vídeos](#)**

**[https://drive.google.com/folderview?id=1Tz\\_rTSOLY3aDdDHSheB4lp3ouNkt\\_ICA](https://drive.google.com/folderview?id=1Tz_rTSOLY3aDdDHSheB4lp3ouNkt_ICA)**

Alternativamente os vídeos com os imagens de construção podem ser obtidos no site do MNPEF do polo UNIFAL-MG

**<http://www.unifal-mg.edu.br/mnpef/node/20>**

## APÊNDICE B - Sequências de Problematizações e Experimentos

Produzimos um conjunto de problematizações organizados por sequência de experimentos e um manual com algumas expectativas de respostas sobre as problematizações. Ressaltamos que se trata de um material de apoio para implementação dos recursos propostos para a construção de modelos mentais, segundo o referencial adotado. Este conjunto a que chamamos de quadro de problematizações deve ser adaptado pelo professor conforme são produzidos sucessivos aperfeiçoamentos de modelos mentais pelos alunos. A cada etapa, as aproximações do modelos mentais devem ser avaliadas para que novas problematizações possam ser construídas pelos alunos na interação com os experimentos e os vídeos.

### Quadros de Sequências e Problematizações

#### Parte I - Geração de um Campo Magnético a partir de uma Corrente Elétrica

##### Experimentos Básicos:

- Nº 01 - Linhas do campo magnético de um ímã em forma de barra.
- Nº 02 - Experiência de Oersted.
- Nº 03 - Experiência de Arago.
- Nº 04 - Campo magnético de uma espira circular.
- Nº 05 - Campo magnético de um solenoide cilíndrico.
- Nº 06 - Balança de Ampère.

##### Experimentos Complementares:

- Nº 07 - Campo magnético de um solenoide cilíndrico com núcleos diversos.
- Nº 08 - Eletroímã.
- Nº 09 - Campainha “cigarra”.
- Nº 10 - Galvanômetro.

A realização dos experimentos possibilitam:

- a) Caracterizar o campo magnético de um ímã permanente em forma de barra.
- b) Relacionar a eletricidade com o magnetismo.

c) Revelar o caráter tridimensional do campo magnético.

d) Caracterizar o campo magnético em torno de um fio condutor retilíneo, de uma espira circular e de um solenoide cilíndrico percorridos por uma corrente elétrica contínua.

e) Utilizar a regra da mão direita como forma prática de se determinar a orientação espacial do campo magnético a partir da orientação da corrente elétrica.

f) Identificar as semelhanças entre as configurações do campo magnético de um solenoide e de um ímã permanente em forma de barra.

g) Estabelecer relações qualitativas entre as grandezas envolvidas na interação entre os campos de indução magnética gerados por correntes elétricas que percorrem fios retilíneos paralelos entre si.

h) Constatar que apenas a introdução de um objeto (núcleo) ferromagnético no interior de um solenoide é capaz de intensificar, de forma considerável, a intensidade do campo magnético por este criado.

i) Reconhecer que, para fins práticos, a utilização do solenoide é mais apropriada, que a de um ímã permanente.

j) Verificar algumas aplicações (eletroímã e galvanômetro) dos efeitos produzidos pela passagem de uma corrente elétrica contínua por uma bobina de fio.

Grandezas físicas envolvidas nos experimentos:

$B$  = Campo de indução magnética

$i$  = Corrente elétrica

$d$  = Distância ao condutor retilíneo

$R$  = Raio da espira

$n$  = número de espiras por unidade de comprimento

Questões problematizadoras relacionadas aos experimentos:

1. Como proceder experimentalmente a fim de descartar as possibilidades do desvio da agulha da bússola no experimento 2 ter sido causado pela imantação ou eletrização do fio devido à passagem da corrente elétrica?

2. Como justificar, com base na mecânica newtoniana, o desvio da agulha da bússola no experimento 2 ter ocorrido num plano perpendicular ao plano do condutor?

3. O experimento 2 mostra que, quando as bússolas são dispostas perpendicularmente ao fio (na ausência de corrente) assim que a corrente é ligada, elas podem permanecer imóveis ou sofrer uma deflexão de  $180^\circ$  em relação à posição inicial, sendo que, as bússolas situadas acima do fio têm comportamento oposto às situadas abaixo. Como pode ser explicado, com base nas linhas de indução do campo magnético gerado pelo fio, o comportamento dessas bússolas?

4. Ainda em relação ao experimento 2, também é possível constatar que as bússolas colocadas paralelamente ao fio no seu plano horizontal, na ausência de corrente, são defletidas verticalmente assim que a corrente é ligada, sendo que, bússolas em lados opostos, em relação ao fio, sofrem deflexões opostas. Como se justifica tal fato?

5. Como se pode experimentalmente inverter a polaridade da espira no experimento 4 e do solenoide no experimento 5?

6. A partir da comparação entre as configurações do campo magnético da espira e do solenoide, o que se pode supor com relação ao campo externo ao solenoide no experimento 5, caso este seja muito longo?

7. Seriam observados os mesmos resultados no experimento 6, caso fosse utilizada corrente alternada em substituição à corrente contínua?

8. O experimento 6 é uma versão simplificada da Balança de Corrente de Ampère. A partir dos resultados obtidos em seu experimento, ele explicou a deflexão da agulha da bússola na experiência de Oersted como consequência da interação entre o campo magnético criado pelo fio e a corrente induzida por este campo magnético na agulha da bússola. Que procedimento experimental pode ser utilizado para descartar a explicação dada por Ampère?

9. A forma geométrica da parte móvel do experimento 6 tem caráter funcional ou meramente estético?

10. Existem outros materiais, além do ferro, capazes de intensificar o campo magnético criado pelo solenoide do experimento 7? Cite alguns.

11. Com base no modelo microscópico de um material ferromagnético, como se explica o aumento na intensidade do campo magnético do solenoide no experimento 8, quando é introduzido um núcleo de ferro em seu interior?

12. Existe alguma razão para que o fio de cobre que envolve o prego no experimento 8 seja envernizado? Poder-se-ia usar outro tipo de material? Qual?

13. O que aconteceria se o número de voltas do fio de cobre em torno do prego no experimento 8 fosse aumentado?

14. O eletroímã usado no experimento 9 poderia ser substituído por um ímã permanente? Por quê?

15. Seria possível aumentar o som da campainha no experimento 9? Como isso poderia ser feito?

16. As campainhas residenciais, por exemplo, funcionam com tensão alternada. No experimento 9 foi utilizada corrente contínua fornecida pelas pilhas. Esta campainha funcionaria com tensão alternada? Justifique.

17. Cite duas maneiras de se aumentar a sensibilidade do galvanômetro no experimento 10.

18. A colocação do ímã no interior da bobina no experimento 10 pode ser feita de maneira aleatória? Justifique.

## Parte II - Ação de um Campo Magnético sobre uma Corrente Elétrica

### Experimentos Básicos:

Nº 11 - Força magnética sobre fio retilíneo (Experiência de Faraday).

Nº 12 - Força magnética sobre fio retilíneo (Versões 1 e 2).

### Experimentos Complementares:

Nº 13 - Motor homopolar de bobina circular móvel.

Nº 14 - Motor homopolar espiral.

Nº 15 - Motor homopolar de ímã móvel.

Nº 16 - Motor homopolar de ímã suspenso.

Nº 17 - Motor homopolar de disco de alumínio giratório.

Nº 18 - Trem eletromagnético.

A realização dos experimentos possibilitam:

a) Verificar os efeitos do campo magnético produzidos por ímãs permanentes sobre cargas elétricas em movimento.

b) Ressaltar o caráter tridimensional do campo magnético produzido por ímãs permanentes explorando algumas variações na disposição e na forma geométrica do elemento condutor da corrente elétrica.

c) Utilizar a regra da mão esquerda como forma prática de se determinar a orientação espacial da força magnética.

d) Mostrar que a força magnética que atua sobre cargas em movimento é capaz de realizar trabalho mecânico.

Grandezas físicas envolvidas nos experimentos:

$B$  = Campo de indução magnética

$i$  = Corrente elétrica

$F$  = Força magnética

$l$  = Comprimento do fio retilíneo

$\theta$  = Ângulo entre as direções do condutor retilíneo e do vetor campo magnético

Questões problematizadoras relacionadas aos experimentos:

1. Com base na configuração espacial das linhas do campo magnético de um ímã em forma de barra e utilizando-se da regra da mão esquerda, é possível determinar o sentido de rotação do fio móvel no experimento 11?

2. Quais os procedimentos experimentais que podem ser tomados para se inverter o sentido de rotação do fio móvel no experimento 11?

3. Seria possível aumentar a velocidade de rotação do fio móvel no experimento 11? Em caso afirmativo, como isso poderia ser feito?

4. Como proceder experimentalmente no experimento 12 a fim de se inverter a orientação da força magnética sobre o pêndulo?

5. Seria possível determinar no experimento 12 a polaridade do ímã, caso não fosse conhecida, a partir do sentido de deslocamento do pêndulo e da orientação da corrente elétrica que o atravessa?

6. Qual é a explicação para o fato de não haver deflexão do pêndulo no experimento 12, quando o ímã está colocado na posição “N”.

7. O que ocorrerá com a intensidade da força magnética sobre o pêndulo no experimento 12, caso se utilize outro metal em sua confecção, sem alterar os demais parâmetros?

8. Numa observação cuidadosa, é possível verificar que um dos lados do eixo da bobina no experimento 13 está parcialmente raspado. Existe alguma razão para isto, ou foi descuido de quem a construiu, deixando de raspá-lo completamente?

9. Quais princípios da mecânica newtoniana regem a rotação da bobina no experimento 13?

10. Tomando como base a configuração espacial das linhas do campo magnético de um ímã em forma de barra, pode-se afirmar que o sentido de rotação da bobina no experimento 13 será sempre o mesmo, independente da posição do ímã sob ela, desde que o ímã não tenha a sua polaridade invertida?

11. Os aparatos utilizados nos experimentos de 14 a 17 correspondem a algumas versões das várias existentes do experimento 13. Apesar dessas versões, aqui apresentadas, variarem de configuração e até mesmo de componentes (como é o caso do experimento 17), o princípio físico de funcionamento de cada um deles é o mesmo que explica o funcionamento do experimento 13. Descreva como age o campo magnético sobre a corrente que percorre a parte móvel de cada aparato (dos experimentos 13 ao 17), de modo a causar a rotação das mesmas.

12. O funcionamento do trem eletromagnético no experimento 18 depende essencialmente da forma como são colocados os ímãs nos polos da pilha. Explique a forma correta de como esses ímãs devem ser colocados e como o conjunto ímãs-pilha se movimenta no interior do solenoide.

### Parte III - Corrente Elétrica Induzida por um Campo Magnético Variável

#### Experimentos Básicos:

Nº 19 - Experiência de Faraday da indução eletromagnética (Versão 1).

Nº 23 - Freio magnético (Versão 1).



Nº 26 - Transmissor de energia sem fio.

Experimentos Complementares:

Nº 20 - Experiência de Faraday da indução eletromagnética (Versão 2).

Nº 21 - Gerador de corrente alternada (Versão 1).

Nº 22 - Gerador de corrente alternada (Versão 2).

Nº 24 - Freio magnético (Versão 2).

Nº 25 - Levitador magnético.

Nº 27 - Mini bobina de Tesla.

Nº 28 - Rádio Galena de antena de quadro.

A realização dos experimentos possibilitam:

a) Relacionar a variação do fluxo do campo magnético à geração de uma força eletromotriz.

b) Ressaltar o aspecto tridimensional do campo magnético a partir da variação do número de linhas que atravessam uma superfície delimitada por uma bobina circular.

c) Determinar a polaridade magnética de uma bobina e associá-la ao sentido da corrente induzida que a percorre.

d) Detectar corrente elétrica alternada induzida pela rotação de uma bobina no campo magnético de um ímã permanente.

e) Utilizar a corrente alternada induzida em uma bobina para acender um conjunto de leds.

f) Investigar as possibilidades de surgimento de força magnética que se opõe ao movimento relativo entre placas de metal não ferromagnético e um ímã.

g) Utilizar a regra da mão direita nos, a fim de explicar a origem da força magnética em termos de uma corrente induzida (correntes de Foucault) nas placas metálicas.

h) Fazer uso prático das correntes de Foucault de forma a produzir forças capazes de equilibrar a força gravitacional.

i) Aplicar o fenômeno da indução para transmitir energia eletromagnética à distância (sem fio), utilizando campo magnético oscilante de alta frequência.

j) Aplicar as propriedades de um circuito ressonante elementar para sintonizar ondas de rádio (entre 535 kHz e 1700 kHz) na atmosfera terrestre.

Grandezas físicas envolvidas nos experimentos:

$\varepsilon$  = Força eletromotriz (fem)

$\Phi$  = Fluxo do campo magnético

t = Tempo

Questões problematizadoras relacionadas aos experimentos:

1. É possível, sem alterar fisicamente os elementos do circuito nos experimentos 19 e 20, aumentar a corrente induzida na bobina pelo ímã móvel?

Em caso afirmativo, quais devem ser os procedimentos experimentais?

2. Como se explica o fato da deflexão do ponteiro do galvanômetro no experimento 21 alternar o seu movimento? Esse fato sugere que a corrente elétrica que percorre o circuito é alternada. Seria possível, através de um procedimento experimental simples, tornar essa corrente contínua (isto é, fazer o ponteiro do galvanômetro ficar estacionado em um dos lados da escala)?

3. Que alterações podem ser feitas em relação ao ímã e ou à bobina nos experimentos 21 e 22 para que a corrente no circuito seja intensificada?

4. Apesar do alumínio não ser um metal ferromagnético, nota-se que, quando em movimento relativo a um ímã permanente, pode ocorrer uma interação de natureza magnética entre ambos. Como pode ser explicada no experimento 23 esta possível interação com base na lei de Faraday e Lenz? Por que esta interação é significativamente enfraquecida quando a placa de alumínio utilizada é dentada?

5. Nos experimentos realizados anteriormente, observou-se que a inversão de polaridade dos ímãs permanentes produzia efeitos opostos aos originais. Tal fato também seria observado no experimento 23, isto é, o pêndulo seria acelerado?

6. Utilize a regra da mão direita nos experimentos de 23 a 25, a fim de explicar a origem da força magnética em termos de uma corrente induzida nas placas metálicas.

7. Forçando-se (com o dedo) o ímã de encontro ao disco em movimento no experimento 25, nota-se a redução da sua velocidade de rotação. A que se deve tal fato?

8. Como a distância e a orientação relativa entre as bobinas primária e secundária experimento 26 afetam a luminosidade do led?

9. Como se explica o acendimento da lâmpada de vapor de mercúrio no experimento 27, visto que não há fios de conexão entre ela e a bobina de Tesla.

10. No experimento 27, poderia ser usada uma lâmpada incandescente no lugar da lâmpada de vapor de mercúrio? Justifique.

11. O fato de uma fonte de tensão (pilha ou bateria) não fazer parte do experimento 28 sugere a existência de uma fonte externa. Que fonte é esta?

12. Qual componente do experimento 28 é o responsável pela captação da energia externa e de que forma ocorre?

13. Qual é o fenômeno físico responsável pela sintonia das ondas de rádio no experimento 28?

## Respostas às Questões dos Experimentos

### Parte I

1. Como proceder experimentalmente a fim de descartar as possibilidades do desvio da agulha da bússola no experimento 2 ter sido causado pela imantação ou eletrização do fio devido à passagem da corrente elétrica?

R. Para verificar se o fio foi imantado ao ser percorrido pela corrente, basta deslocar um pouco para a esquerda e, em seguida, um pouco para a direita, uma das bússolas situadas sob o fio.

Percebe-se que independente da agulha magnética estar à direita ou à esquerda do fio rígido, esta gira para o mesmo lado. Caso o fio estivesse imantado, a agulha magnética experimentaria uma atração de um lado, uma repulsão do outro e giraria em sentido contrário.

Para verificar se o fio foi eletrizado ao ser percorrido pela corrente, basta manter o esquema original e substituir a agulha magnética da bússola por outra agulha de material não ferromagnético (cobre, por exemplo). Ao ligar o circuito verifica-se que nada acontece, ou seja, a agulha de material não ferromagnético não sofre nenhum giro ou movimentação perceptível, tanto com o circuito ligado quanto com ele desligado, descartando assim qualquer interação eletrostática entre a agulha e o fio.

2. Como justificar, com base na mecânica newtoniana, o desvio da agulha da bússola no experimento 2 ter ocorrido num plano perpendicular ao plano do fio condutor, uma vez que, de acordo com a 3ª lei de Newton, a força deveria agir na reta que une os dois corpos (agulha magnética e fio condutor)?

R. Relatos históricos revelam que muitos cientistas contemporâneos de Oersted não acreditaram inicialmente nos seus relatos, pois contrariava a princípio os padrões newtonianos de força. Produziu-se, assim, uma falsa convicção de que a ação do fio sobre a agulha da bússola violaria a 3ª Lei de Newton. Esse falso paradoxo foi elucidado, considerando-se que as forças realmente estão na linha prevista por Newton, mas atuam na forma de um torque.

3. O experimento 2 mostra que, quando as bússolas são dispostas perpendicularmente ao fio, na ausência de corrente, assim que a corrente é ligada, elas podem permanecer imóveis ou sofrer uma deflexão de  $180^\circ$  em relação à posição inicial, sendo que, as bússolas situadas acima do fio têm comportamento oposto às situadas abaixo. Como pode ser explicado, com base nas linhas de indução do campo magnético gerado pelo fio, o comportamento dessas bússolas?

R. As linhas de indução do campo magnético gerado pela passagem da corrente através do fio são circunferências concêntricas tendo como centro o próprio fio. Assim, as agulhas das bússolas que estiverem orientadas de acordo com as linhas de indução (mesma direção e mesmo sentido do vetor campo magnético no local em que a bússola se encontra) permanecerão imóveis, enquanto aquelas orientadas em sentido oposto sofrerão uma deflexão de  $180^\circ$ , a fim de se alinharem com o campo magnético.

4. Ainda em relação ao experimento 2, também é possível constatar que as bússolas colocadas paralelamente ao fio no seu plano horizontal (na ausência de corrente) são defletidas verticalmente assim que a corrente é ligada, sendo que, bússolas em lados opostos, em relação ao fio, sofrem deflexões opostas. Como se justifica tal fato?

R. Lateralmente ao fio condutor as linhas de indução do campo magnético são perpendiculares ao plano horizontal que contém o fio. De um lado deste o vetor

indução magnética está penetrando neste plano, enquanto do outro lado do fio, saindo do plano.

5. Como se pode experimentalmente inverter a polaridade da espira no experimento 4 e do solenoide no experimento 5?

R. Em ambos os casos, basta inverter o sentido da corrente que percorre o circuito.

6. A partir da comparação entre as configurações do campo magnético da espira e do solenoide, o que se pode supor com relação ao campo externo ao solenoide no experimento 5, caso este seja muito longo?

R. A partir da comparação das configurações do campo magnético da espira e do solenoide, nota-se que as agulhas situadas externamente ao solenoide e afastadas das suas extremidades sofrem pouca influência do campo magnético gerado por este. Esta constatação sugere que se o solenoide for muito longo o campo magnético externo a ele e afastado de suas extremidades será nulo.

7. Seriam observados os mesmos resultados no experimento 6, caso fosse utilizada corrente alternada em substituição à corrente contínua?

R. Não, a corrente alternada daria origem a campos magnéticos alternados e, conseqüentemente, forças magnéticas alternando o sentido em curtíssimos intervalos de tempo. Devido à inércia dos fios a ação dessas forças não seria observada.

8. O experimento 6 é uma versão simplificada da Balança de Corrente de Ampère. A partir dos resultados obtidos em seu experimento, ele explicou a deflexão da agulha da bússola na experiência de Oersted como consequência da interação entre o campo magnético criado pelo fio e a corrente induzida por este campo magnético na agulha da bússola. Que procedimento experimental pode ser utilizado para descartar a explicação dada por Ampère?

R. A explicação dada por Ampère pode ser descartada substituindo a agulha imantada da bússola original por uma agulha de metal não ferromagnético. Caso a explicação de Ampère fosse correta a agulha não ferromagnética deveria interagir com o campo magnético criado pelo fio, já que, por ser de metal, uma corrente induzida nesta surgiria.

9. A forma geométrica da parte móvel do experimento 6 tem caráter funcional ou meramente estético?

R. Tem caráter funcional. A parte que fica acima do eixo de rotação serve de *contra-peso*. Uma vez que, por questão de segurança, a corrente utilizada no experimento apresenta baixa intensidade, a força de interação entre os fios paralelos tem também intensidade reduzida. Se a parte móvel fosse constituída apenas do segmento de fio abaixo do eixo rotação, o torque aplicado pelo peso da parte móvel seria bem maior que o torque aplicado pela força de interação magnética entre os fios. Assim, o segmento de fio acima do eixo de rotação aplica um torque em sentido contrário e de valor ligeiramente menor àquele aplicado pelo segmento de fio abaixo do eixo rotação. Como resultado desse artifício utilizado na confecção da parte móvel do experimento, consegue-se uma deflexão significativa desta mediante a ação de uma força magnética de interação entre os fios de pequena intensidade.

10. Existem outros materiais, além do ferro, capazes de intensificar o campo magnético criado pelo solenoide do experimento 7? Cite alguns.

R. Sim. Além do ferro, tem-se o cobalto, o níquel e as ligas que são formadas por essas substâncias.

11. Com base no modelo microscópico de um material ferromagnético, como se explica o aumento na intensidade do campo magnético do solenoide no experimento 8, quando é introduzido um núcleo de ferro em seu interior?

R. Os materiais ferromagnéticos apresentam uma estrutura molecular que se comporta como pequenos dipolos magnéticos. Ao serem expostos a campos magnéticos estes dipolos, a nível atômico, se alinham de acordo com as linhas de campo. Nesta situação, o próprio campo do dipolo se alinha ao campo externo, reforçando a intensidade deste.

12. Existe alguma razão para que o fio de cobre que envolve o prego no experimento 8 seja envernizado? Poder-se-ia usar outro tipo de material? Qual?

R. Sim, existe. O verniz que envolve o fio não permite o contato elétrico deste com o prego. A corrente elétrica deve circular pelo solenoide a fim de promover o surgimento do campo magnético através do prego que, por sua vez, irá

intensificá-lo, conforme explicado na questão anterior. Sem a camada de verniz isolando o fio, a corrente percorreria o prego e, conseqüentemente, não ocorreria o alinhamento dos seus pequenos dipolos magnéticos. Pode-se utilizar qualquer fio metálico desde que esteja encapado com plástico (fio de instalação elétrica residencial).

13. O que aconteceria se o número de voltas do fio de cobre em torno do prego no experimento 8 fosse aumentado?

R. O aumento no número de voltas do fio de cobre em torno do prego acarretaria num aumento da intensidade do campo magnético gerado pelo solenoide.

14. O eletroímã usado no experimento 9 poderia ser substituído por um ímã permanente? Por quê?

R. Não. Um ímã permanente no lugar do eletroímã não permitiria que a lâmina metálica vibrasse, pois ela permaneceria constantemente presa ao ímã permanente. Para que a lâmina vibre é necessário que a ação magnética desapareça assim que a corrente deixe de percorrer o circuito.

15. Seria possível aumentar o som da campainha no experimento 9? Como isso poderia ser feito?

R. Sim. Basta colocar a parte em que se encontra a lâmina dentro de, por exemplo, uma lata de refrigerante com uma de suas bases aberta. A lata irá funcionar como uma caixa acústica intensificando o som emitido pela lâmina.

16. As campainhas residenciais, por exemplo, funcionam com tensão alternada. No experimento 9 foi utilizada corrente contínua fornecida pelas pilhas. Esta campainha funcionaria com tensão alternada? Justifique.

R. Não. A forma com que os componentes da campainha do experimento 9 foram associados permite apenas que ela funcione com corrente contínua.

17. Cite duas maneiras de se aumentar a sensibilidade do galvanômetro no experimento 10.

R. A sensibilidade do galvanômetro pode ser aumentada acrescentando mais voltas à bobina que circunda o ponteiro e/ou substituindo o ímã preso à base do ponteiro por outro mais potente.

18. A colocação do ímã no interior da bobina no experimento 10 pode ser feita de maneira aleatória? Justifique.

R. Não. O ímã deve ser colocado de forma a ficar com a direção N-S de seu campo magnético perpendicular à direção do campo magnético criado pela bobina ao ser percorrida por corrente.

## Parte II

1. Com base na configuração espacial das linhas do campo magnético de um ímã em forma de barra e utilizando-se da regra da mão esquerda, é possível determinar o sentido de rotação do fio móvel no experimento 11?

R. A partir da configuração das linhas do campo magnético que pode ser observada no experimento 1, é possível se ter a noção da disposição espacial das linhas do campo magnético (criadas pelo ímã localizado no centro do anel de cobre) que “cortam” o fio móvel. Dispondo o dedo indicador da mão esquerda de acordo com a orientação aproximada de uma dessas linhas e o dedo médio, dessa mesma mão, dirigido ao longo do fio móvel no sentido da corrente, obtém-se a orientação da força sobre este através do dedo polegar. De acordo com a regra da mão esquerda, o fio irá se deslocar no sentido em que aponta o dedo polegar.

2. Quais os procedimentos experimentais que podem ser tomados para se inverter o sentido de rotação do fio móvel no experimento 11?

R. A inversão do sentido de rotação do fio móvel pode ser obtida invertendo a corrente ou a polaridades do ímã localizado no centro do anel de cobre.

3. Seria possível aumentar a velocidade de rotação do fio móvel no experimento 11? Em caso afirmativo, como isso poderia ser feito?

R. A velocidade de rotação do fio móvel pode ser aumentada através da elevação da corrente no circuito e/ou substituindo o ímã original por outro mais “potente”.

4. Como proceder experimentalmente no experimento 12 a fim de se inverter a orientação da força magnética sobre o pêndulo?

R. A inversão da orientação da força magnética sobre o pêndulo pode ser obtida invertendo-se o sentido da corrente no circuito ou a polaridade do ímã.



5. Seria possível determinar no experimento 12 a polaridade do ímã, caso não fosse conhecida, a partir do sentido de deslocamento do pêndulo e da orientação da corrente elétrica que o atravessa?

R. Sim, utilizando a regra da mão esquerda. De acordo com essa regra, o dedo polegar deve apontar no sentido da força magnética (sentido de deslocamento do pêndulo), o dedo médio deve apontar no sentido da corrente que percorre o trecho horizontal do pêndulo e o dedo indicador deve apontar no sentido do vetor campo magnético. Assim, lembrando que as linhas do campo magnético saem do polo norte e entram no polo sul, é possível determinar a polaridade do ímã.

6. Qual é a explicação para o fato de não haver deflexão do pêndulo no experimento 12, quando o ímã está colocado na posição  $\Pi$ ?

R. Aplicando-se a regra da mão esquerda é possível perceber que a força magnética sobre o trecho horizontal do pêndulo está dirigida verticalmente. Portanto, esta disposição do ímã não aplica força com componente horizontal capaz de defletir o pêndulo.

7. O que ocorrerá com a intensidade da força magnética sobre o pêndulo no experimento 12, caso se utilize outro metal em sua confecção, sem alterar os demais parâmetros?

R. De acordo com a equação de Lorentz ( $F = B i l \sin\theta$ ), a intensidade da força magnética sobre o pêndulo permanecerá inalterada, pois a corrente elétrica através do novo metal utilizado será praticamente a mesma.

8. Numa observação cuidadosa, é possível verificar que um dos lados do eixo da bobina no experimento 13 está parcialmente raspado. Existe alguma razão para isto, ou foi descuido de quem a construiu, deixando de raspá-lo completamente?

R. Não foi descuido! Um dos lados do eixo deve ser raspado parcialmente para que a corrente circule na bobina apenas quando a parte raspada estiver em contato com o mancal. Dessa forma, o campo magnético (gerado pela bobina) estará presente apenas enquanto houver o contato elétrico entre a parte raspada do eixo e o mancal. Esse campo magnético intermitente aplica força sobre a bobina de forma semelhante a uma pessoa que empurra uma criança num balanço (impulsos no momento certo). Por outro lado, quando a parte não raspada do eixo se encontra

apoiada no mancal, não há passagem de corrente pela bobina. Neste caso, seu movimento se dá por inércia.

9. Quais princípios da mecânica newtoniana regem a rotação da bobina no experimento 13?

R. O movimento de rotação da bobina pode ser explicado pelas três leis de Newton, a saber:

Durante o tempo em que a corrente circula pela bobina os campos magnéticos (gerados pela bobina e pelo ímã) interagem entre si através de forças magnéticas que produzem torque na bobina ocasionando a sua rotação (2ª e 3ª leis);

Durante o tempo em que não circula corrente pela bobina, a rotação da bobina se dá por inércia (1ª lei).

10. Tomando como base a configuração espacial das linhas do campo magnético de um ímã em forma de barra, pode-se afirmar que o sentido de rotação da bobina no experimento 13 será sempre o mesmo, independente da posição do ímã sob ela, desde que o ímã não tenha a sua polaridade invertida?

R. Não, o sentido de rotação da bobina depende do posicionamento do ímã sob ela. Devido à sua configuração, a orientação das linhas do campo magnético do ímã que atravessam a bobina pode mudar dependendo do local em que este for posicionado sob ela. Uma vez que, o sentido de rotação da bobina depende da orientação do campo magnético que a atravessa, o mesmo acontece com o seu sentido de rotação.

11. Os aparatos utilizados nos experimentos de 14 a 17 correspondem a algumas versões das várias existentes do no experimento 13. Apesar dessas versões, aqui apresentadas, variarem de configuração e até mesmo de componentes (como é o caso do experimento 17), o princípio físico de funcionamento de cada um deles é o mesmo que explica o funcionamento do experimento 13. Descreva como age o campo magnético sobre a corrente que percorre a parte móvel de cada aparato (dos experimentos 13 ao 17), de modo a causar a rotação das mesmas.

R. A resposta para esta questão pode ser encontrada no Capítulo 3.

12. O funcionamento do trem eletromagnético no experimento 18 depende essencialmente da forma como são colocados os ímãs nos polos da pilha. Explique a forma correta de como esses ímãs devem ser colocados e como o conjunto ímãs-pilha se movimenta no interior do solenoide.

R. A resposta para esta questão pode ser encontrada no Capítulo 3.

### Parte III

1. É possível no experimentos 19 e 20, sem alterar fisicamente os elementos do circuito, aumentar a corrente induzida na bobina pelo ímã móvel? Em caso afirmativo, qual(is) deve(m) ser o(s) procedimento(s) experimental(is)?

R. Sim, basta aumentar a velocidade relativa de aproximação ou afastamento entre a bobina e o ímã móvel.

2. Como se explica o fato da deflexão do ponteiro do galvanômetro no experimento 21 alternar o seu movimento? Esse fato sugere que a corrente elétrica que percorre o circuito é alternada. Seria possível, através de um procedimento experimental simples, tornar essa corrente contínua (isto é, fazer o ponteiro do galvanômetro ficar estacionado em um dos lados da escala)?

R. A alternância no sentido de deflexão do ponteiro do galvanômetro se deve ao fato da bobina móvel (rotor) alternar a face voltada para o polo do ímã localizado sob ela. Isso induz na bobina uma corrente que a percorre ora num sentido ora noutro. Para tornar essa corrente contínua, basta raspar parcialmente um extremos do eixo da bobina. Isso fará com que a corrente circule apenas quando a mesma face da bobina estiver voltada para o ímã.

3. Que alterações podem ser feitas em relação ao ímã e/ou à bobina nos experimentos 21 e 22 para que a corrente no circuito seja intensificada?

R. A corrente pode ser intensificada substituindo o ímã original por outro mais “potente” e/ou aumentando o número de voltas de fio na bobina.

4. Apesar do alumínio não ser um metal ferromagnético, nota-se que, quando em movimento relativo a um ímã permanente, pode ocorrer uma interação de natureza magnética entre ambos (exp. 23). Como pode ser explicada esta possível interação

com base na lei de Faraday e Lenz? Por que esta interação é significativamente enfraquecida quando a placa de alumínio utilizada é dentada?

R. A resposta para esta questão pode ser encontrada no Capítulo 3.

5. Nos experimentos realizados anteriormente, observou-se que a inversão de polaridade dos ímãs permanentes produzia efeitos opostos aos originais. Tal fato também seria observado no exp. 23, isto é, o pêndulo seria acelerado?

R. Não. Independentemente do polo do ímã voltado para a placa de alumínio, a corrente induzida (devido ao movimento relativo entre a placa de alumínio e o ímã) é tal que o campo magnético por ela gerado dá origem a forças de interação que sempre se opõe a esse movimento relativo.

6. Utilize a regra da mão direita nos experimentos de 23 a 25, a fim de explicar a origem da força magnética em termos de uma corrente induzida nas placas metálicas.

R. É com você!

7. Forçando-se (com o dedo) o ímã de encontro ao disco em movimento no experimento 25, nota-se a redução da sua velocidade de rotação. A que se deve tal fato?

R. Ao reduzir a distância entre o ímã e o disco, a região do disco localizada imediatamente abaixo do ímã fica sujeita a um campo magnético mais intenso. Como consequência, a corrente induzida na região citada aumenta ocasionando um aumento da força magnética que se opõe ao movimento relativo entre o disco e o ímã.

8. Como a distância e a orientação relativa entre as bobinas primária e secundária no experimento 26 afetam a luminosidade do led?

R. A maior luminosidade do led é obtida ao se colocar as bobinas encostadas e de frente uma para a outra de forma coaxial. O aumento da distância, o deslocamento lateral relativo e o não paralelismo entre as bobinas são fatores que, juntos ou separadamente, reduzem a intensidade da corrente induzida na bobina secundária e, conseqüentemente, a luminosidade do led.

9. Como se explica o acendimento da lâmpada de vapor de mercúrio no experimento 27, visto que não há fios de conexão entre ela e a bobina de Tesla.

R. A resposta para esta questão pode ser encontrada no Capítulo 3.

10. No experimento 27, poderia ser usada uma lâmpada incandescente no lugar da lâmpada de vapor de mercúrio? Justifique.

R. Não. A lâmpada apropriada deve ser constituída de vapor à baixa pressão.

11. O fato de uma fonte de tensão (pilha ou bateria) não fazer parte do experimento 28 sugere a existência de uma fonte externa. Que fonte é esta?

R. A resposta para esta questão pode ser encontrada no Capítulo 3.

12. Qual componente do experimento 28 é o responsável pela captação da energia externa e de que forma ocorre?

R. A resposta para esta questão pode ser encontrada no Capítulo 3.

13. Qual é o fenômeno físico responsável pela sintonia das ondas de rádio no experimento 28?

R. A resposta para esta questão pode ser encontrada no Capítulo 3.

## APÊNDICE C - Material para Aprofundamento no Estudo de Diodos e Transistores. Experimentos: Transmissor de energia à distância (26), Mini-bobina de Tesla (27) e Rádio de Galena (28)

Obs: Os materiais (texto 1 e texto 2) constantes do apêndice C, foram adaptações realizadas pelo autor para aprofundamento docente sobre os elementos dos circuitos que envolvem princípios de Física Moderna.

### Texto 1 - Diodo

Diodo é uma estrutura semicondutora formada a partir da junção de um cristal tipo P (lado positivo – também chamado de ânodo) com outro tipo N (lado negativo – também chamado de cátodo). É um dos mais simples componentes eletrônicos, podendo servir como um isolante ou condutor, dependendo de sua polarização. Pode ser representado esquematicamente, conforme mostra a Figura 1:



Figura 1 – Representação esquemática de um diodo.

Adaptado, disponível em < <https://www.electronica-pt.com> >

Dentro desses cristais, compostos por Silício (mais comum) ou Germânio são inseridas impurezas (prática chamada de dopagem), que nada mais são do que átomos de Boro (no lado P) e átomos de Fósforo (no lado N). A escolha pelo Boro decorre do fato de ele ser um elemento trivalente. Assim, no lado P sempre irá haver uma lacuna, ou seja, ficará faltando um elétron para completar oito elétrons e estabilizar o semicondutor. Por sua vez, a escolha do Fósforo fará com que o lado N tenha sempre um elétron a mais, já que o fósforo possui cinco elétrons na última camada, restando um após a ligação covalente.

Embora os cristais separados não apresentem propriedades especiais, quando ligados entre si algo “mágico” acontece. Ao se juntarem, as lacunas do lado P atraem os elétrons que estão sobrando no lado N, equilibrando o diodo, já que, segundo as leis da física, cargas opostas se atraem. Esse processo é denominado recombinação. No entanto, é preciso ressaltar que essa recombinação só ocorre próximo à junção dos cristais P e N, onde as forças de atração são mais fortes.

Naquela área, todos ficarão com oito elétrons na última camada, ficando estáveis quimicamente. Os mais distantes, porém, não sofrem a recombinação. Esta zona de estabilidade pode ser chamada de camada de depleção ou barreira de potencial, conforme mostra a Figura 2.

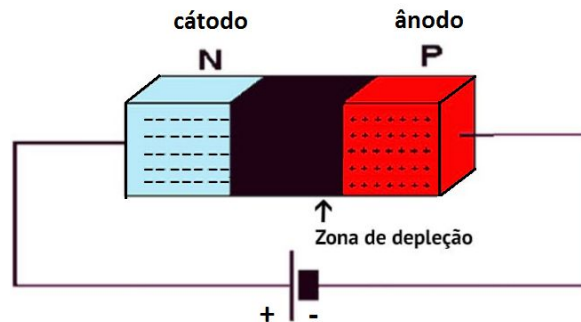


Figura 2 – Polarização do diodo e formação da Zona de depleção.

Adaptado, disponível em < <https://www.oficinadanet.com.br> >

Para ser usada, a junção pode ser polarizada reversamente, conforme mostra a Figura 3, que será quando o polo negativo da bateria estiver conectado ao cristal P (lado positivo) e o polo positivo, ao cristal N (lado negativo). Com esse método acontecerá a mesma atração de opostos vistos acima. Dessa forma as respectivas cargas irão se concentrar nos extremos do diodo, criando uma enorme camada de depleção, fazendo com que a corrente elétrica não consiga circular por ele. Por isso, um diodo polarizado reversamente não conduz corrente elétrica.

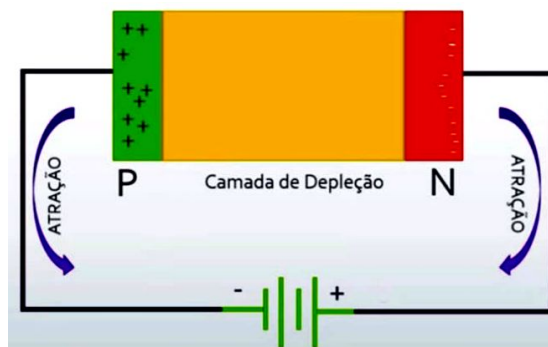


Figura 3 – Diodo polarizado reversamente.

Adaptado, disponível em < <https://www.oficinadanet.com.br> >

Outra forma em que pode ser encontrado o diodo é através da junção PN polarizada diretamente, conforme mostra a Figura 4. Ao contrário da situação anterior, o polo positivo da bateria será ligado ao lado positivo do diodo e o polo negativo da bateria ao lado negativo do diodo. Com isso, tanto as lacunas do lado P quanto os elétrons do lado N irão se afastar das extremidades, aproximando-se do

centro e diminuindo a zona de depleção. Quanto maior for a tensão aplicada aos terminais do diodo, menor será a zona de depleção. A redução da zona de depleção continuará até o momento de sua extinção, quando os elétrons estarão livres para se recombinarem (cerca de 0,7 V para diodos de silício e 0,3 V para os de germânio). Nessa condição de polarização direta o diodo permite a passagem da corrente elétrica.

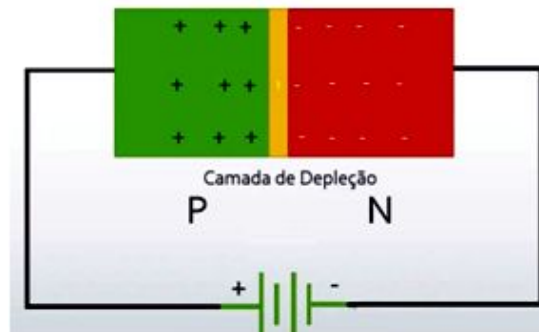


Figura 4 – Diodo polarizado diretamente.

Adaptado, disponível em < <https://www.oficinadanet.com.br> >

Considerando essa condição de polarização direta, tem-se então:

- Se o valor da tensão aplicada ao diodo ( $V$ ) é inferior ao valor da barreira de potencial ( $V_B$ ) a maior parte dos elétrons e lacunas não têm energia suficiente para atravessar a junção, conforme mostra a Figura 5.

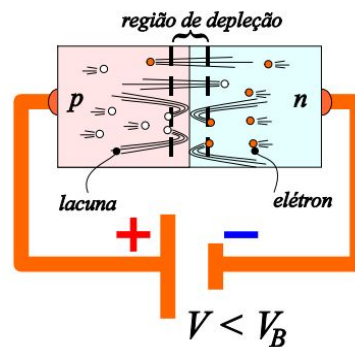


Figura 5 – A tensão aplicada ao diodo ( $V$ ) é inferior ao valor da barreira de potencial ( $V_B$ )

Adaptado, disponível em < <https://www.te1.com.br> >

Como resultado, apenas alguns elétrons e lacunas têm energia suficiente para penetrarem a barreira de potencial, produzindo uma pequena corrente elétrica através do diodo.

- Se a tensão aplicada aos terminais do diodo ( $V$ ) excede o valor da barreira de potencial ( $V_B$ ), lacunas do lado  $p$  e elétrons do lado  $n$  adquirem energia



superior àquela necessária para superar a barreira de potencial, conforme mostra a Figura 6.

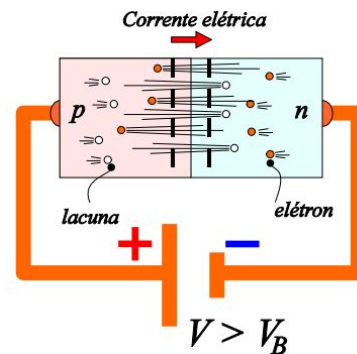


Figura 6 – A tensão aplicada ao diodo ( $V$ ) é superior ao valor da barreira de potencial ( $V_B$ )

Adaptado, disponível em < <https://www.te1.com.br> >

Como resultado, ocorre um grande aumento da corrente elétrica através do diodo. Diz-se, então, que o diodo está em condução.

Na figura 7 está representado um gráfico típico da corrente num diodo em função da tensão nos seus terminais, que resulta do comportamento físico da junção p-n.

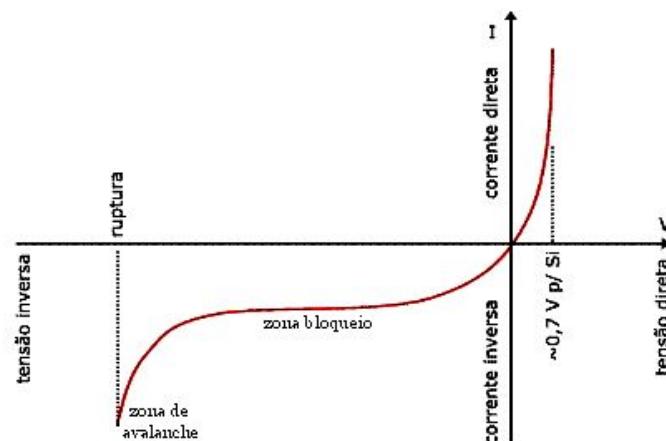


Figura 7 – Característica  $I(V)$  de um diodo de silício. Foram usadas escalas diferentes no 1º e 3º quadrantes.

Adaptado, disponível em < <https://www.electronica-pt.com> >

A tensão e a corrente são consideradas positivas quando o dispositivo se encontra diretamente polarizado. A variação da corrente no diodo semiconductor com a tensão aplicada aos seus terminais tem uma forma quase exponencial. Em boa aproximação a corrente  $I$  é dada pela equação de Ebers-Moll:

$$I = I_s \left( e^{\frac{V}{\eta V_T}} - 1 \right)$$

sendo que, para  $V > 0,1$  volt, pode ser aproximada por

$$I \approx I_s e^{\frac{V}{\eta V_T}}$$

em que  $I_s$  é uma pequena corrente, aproximadamente constante, que aparece em polarização reversa e  $\eta$  é o chamado “fator de idealidade” que depende da fabricação do diodo (tipo de material, dopagem etc.).  $V_T$  é uma constante de origem térmica dada por

$$V_T = \frac{kT}{q} = \frac{1,38 \times 10^{-23}}{1,60 \times 10^{-19}} T = \frac{1}{11600} T,$$

em que  $k$  é a constante de Boltzmann,  $q$  é a carga do elétron e  $T$  é a temperatura absoluta (kelvin). Assim, à temperatura ambiente ( $27^\circ\text{C} \approx 300\text{ K}$ ),  $V_T \approx 26\text{ mV}$ .

Esse comportamento pode ser aproximado, em certas aplicações, pelo comportamento de um diodo ideal ou pelo de um diodo com comportamento ideal (com uma tensão limiar de condução) ou ainda pelo comportamento de um diodo com curva característica linearizada, conforme mostram as Figuras 8a, 8b e 8c, respectivamente.

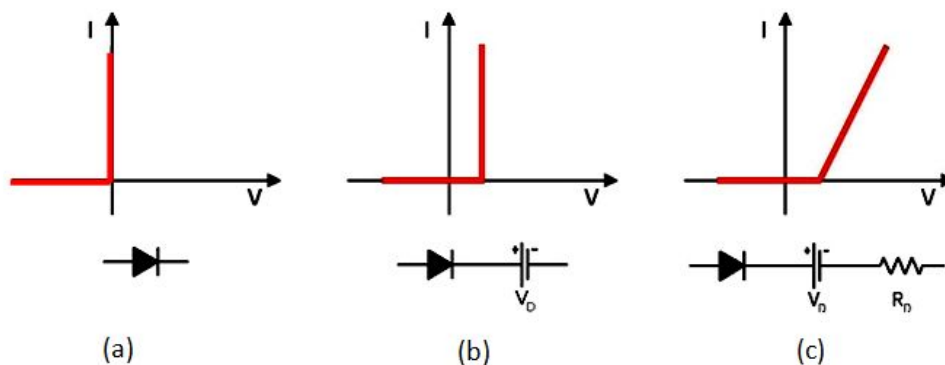


Figura 8 – Curvas características e correspondentes modelos elétricos do diodo.

( $V_D$  - tensão limiar de condução,  $R_D$  - resistência de condução direta).

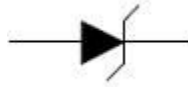
Adaptado, disponível em < <https://www.electronica-pt.com> >

Quando um diodo está sob a condição de polarização reversa, a tensão aplicada às extremidades de uma junção PN não pode ser aumentada indefinidamente. Com efeito, o aumento da diferença de potencial no sentido inverso provoca uma aceleração dos portadores minoritários. A partir de certa

tensão inversa os portadores secundários adquirem uma velocidade suficiente para arrancarem por choques os elétrons dos átomos. O fenômeno é cumulativo e provoca um rápido decréscimo da resistividade. Este efeito, denominado “Efeito Zener ou Efeito Avalanche” é utilizado em um tipo especial de diodo para regular a tensão (diodo zener).

Existem atualmente diferentes tipos de diodos que, apesar de apresentarem características elétricas semelhantes, tem-nas adaptadas à execução de determinadas funções. O símbolo introduzido anteriormente, conforme mostrado na Figura 1, representa o diodo normalmente utilizado para retificação (transformação de corrente alternada em corrente contínua) e processamento de sinal nela baseado. Pretende-se que a sua zona de avalanche esteja suficientemente afastada para nunca ser atingida, e que a sua corrente de fuga inversa seja desprezível. Dentre a grande variedade de diodos existentes, os tipos usualmente utilizados são:

- Diodo Zener



Funciona na zona de avalanche, e é utilizado como referência de tensão (a tensão varia pouco com a corrente nessa zona).

- Varistor ou Varicap



Todos os diodos apresentam uma capacidade que é variável com a tensão aplicada. Os varistores são diodos especialmente desenhados para se obter uma capacidade fortemente dependente da tensão. São usados em osciladores cuja frequência é controlada por tensão (VCO - voltage controlled oscillator).

- Fotodiodo



Quando a zona da junção recebe luz, geram-se pares de portadores de carga (elétron-lacuna) que geram uma tensão ou uma corrente no dispositivo. Existe,

assim, conversão óptico-eletrônica. Estes dispositivos são utilizados como detectores de luz, nas mais diversas aplicações.

- LED (Light Emitting Diode)



Para certos tipos de materiais semicondutores, quando é injetada uma corrente na junção do diodo, é gerada radiação eletromagnética na zona do visível ou infravermelho próximo (conversão eletro-óptica). Existem componentes em que vários LEDs estão dispostos sob a forma de traços ou pontos numa matriz, permitindo a apresentação de algarismos e letras (displays). A figura 9 mostra em detalhes a estrutura de um LED indicador.

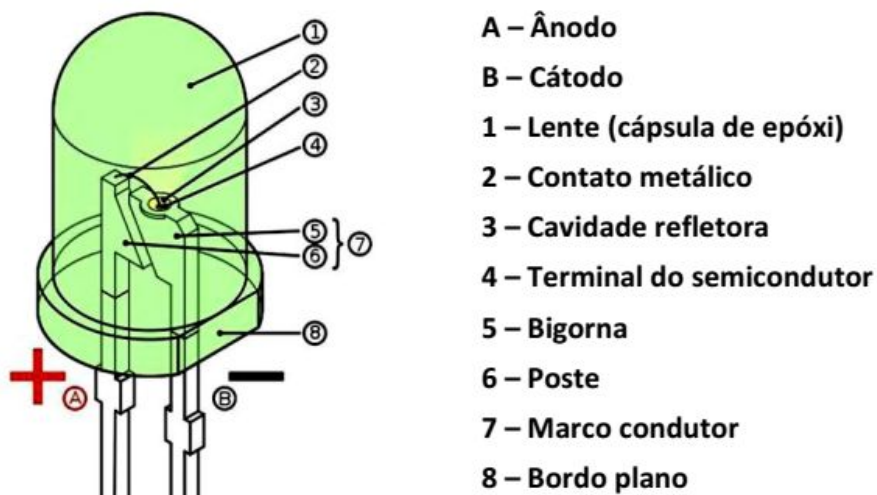


Figura 9 – Estrutura de um LED indicador.

Adaptado, disponível em < <https://www.oficinadanet.com.br> >

Como exemplo de aplicações mais frequentes de diodos, tem-se:

- Diodo utilizado como retificador

Considere que o circuito representado na Figura 10 encontra-se submetido a uma tensão senoidal de entrada  $V_i$ . Deseja-se obter a tensão de saída  $V_o$ .

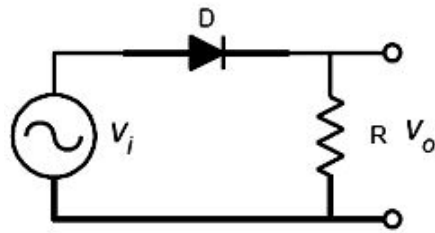


Figura 10 – Circuito retificador de meia onda.

Adaptado, disponível em < <https://www.electronica-pt.com> >

Para simplificar, considere que se trata de um diodo ideal, isto é, no trecho positivo da senóide, representado na Figura 11a, ele se comporta como um interruptor fechado, e no trecho negativo, representado na Figura 11b, como um interruptor aberto.

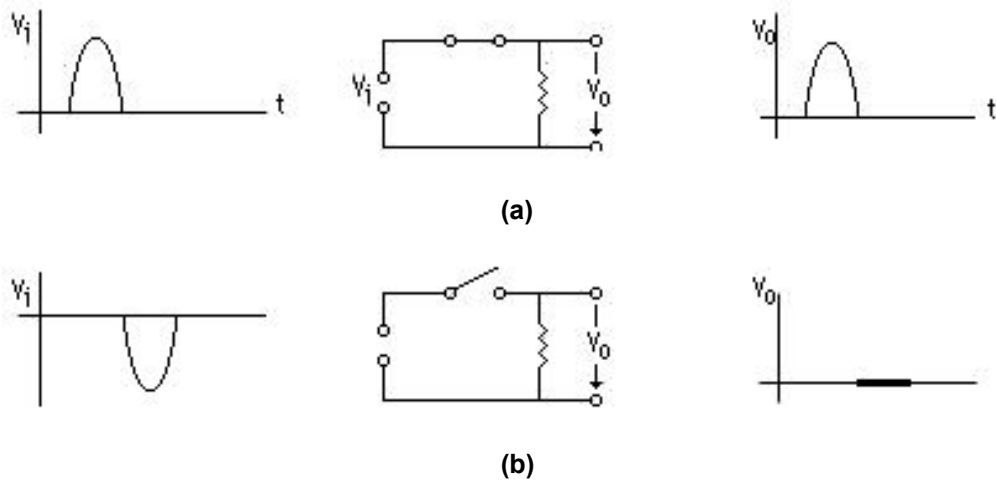


Figura 11 – Fases de retificação da meia onda.

Adaptado, disponível em < <https://www.electronica-pt.com> >

A figura 12 mostra a soma dos dois trechos retificados da onda de entrada:

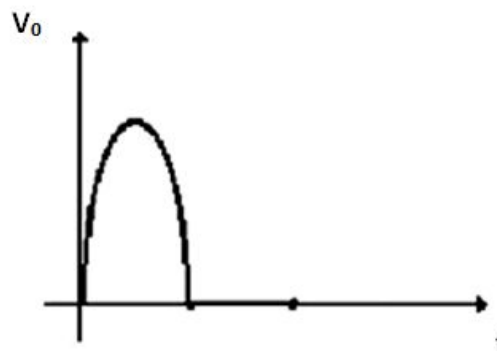


Figura 12 – Resultado da retificação da onda de entrada.

Adaptado, disponível em < <https://www.electronica-pt.com> >

Esta é a chamada retificação de meia-onda, na qual há supressão de uma alternância e aproveitamento da outra. Além disso, utilizando-se uma associação conveniente de diodos, conforme mostra a Figura 13, é possível aproveitar os dois trechos da onda de entrada. Costuma-se designar este circuito de retificador de onda completa. É fácil verificar que numa alternância há condução por parte de um par de diodos (colocados em posições diametralmente opostas do quadrado) e na outra o segundo par, de modo que a corrente através da resistência tem sempre o mesmo sentido.

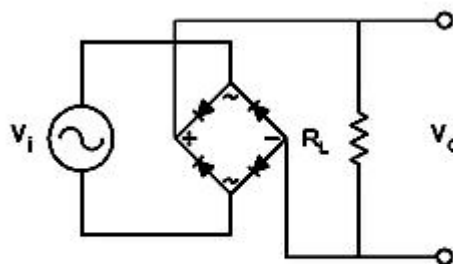


Figura 13 – Circuito retificador de onda completa.

Adaptado, disponível em < <https://www.electronica-pt.com> >

Com isso, a tensão de saída  $V_o$  tem a forma indicada, conforme mostra a Figura 14 a seguir.

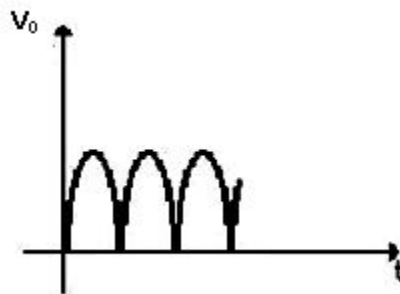


Figura 14 – Forma da tensão de saída da onda completa.

Adaptado, disponível em < <https://www.electronica-pt.com> >

No caso do circuito retificador, mostrado na Figura 13, a entrada pode ser feita por transformador, ou diretamente da rede elétrica. Existem pontes que contém já os quatro diodos ligados. Se a fonte de tensão alternada tiver um terminal ligado à massa, a carga em  $R_L$  ficará flutuante; caso contrário, isto é, se a fonte de tensão alternada estiver flutuante, podemos ligar qualquer dos terminais de  $R_L$  à massa. A fim de se evitar curto-circuito, torna-se necessário verificar em qual das duas

situações se está. Tem-se, assim, uma forma de se obter tensão contínua a partir de tensão alternada. Tal conversão corresponde a um fator essencial nas fontes de alimentação dos circuitos eletrônicos.

- Diodo semicondutor e receptor AM (Amplitude Modulada)

A Figura 15 apresenta o diagrama de um receptor de rádio AM.

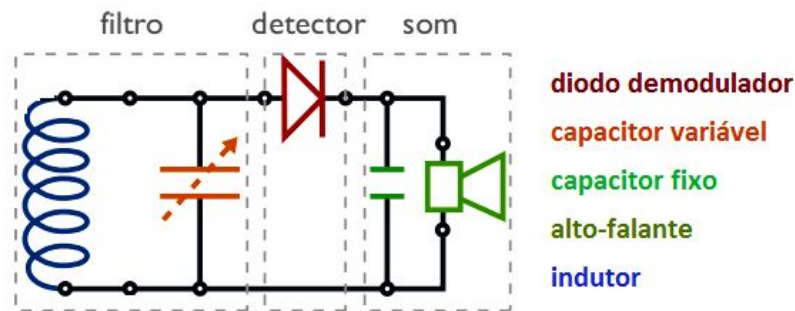


Figura 15 – Diagrama de um receptor de rádio AM (Rádio Tipo Galena de Quadro).

Adaptado, disponível em < <http://sites.ifi.unicamp.br> >

A transmissão de informação por ondas de rádio é feita através da modulação de uma onda portadora de alta frequência (onda de radiofrequência), 0.8 MHz a 1.1 MHz para AM (amplitude modulada) ou 88 MHz a 105 MHz para FM (frequência modulada), com o sinal de áudio (onda de audiofrequência) que deseja ser transmitido, tipicamente com frequência entre 20 Hz e 20000 Hz.

A Figura 16 ilustra estes dois tipos de modulação. A modulação permite que a informação seja transmitida através de uma portadora em uma frequência mais alta que a frequência do sinal. Dessa forma, obtêm-se melhores características de propagação, isto é, menor atenuação e dispersão. Em particular, as rádios AM exploram a alta refletividade da ionosfera para transmitir ondas eletromagnéticas por longas distâncias.

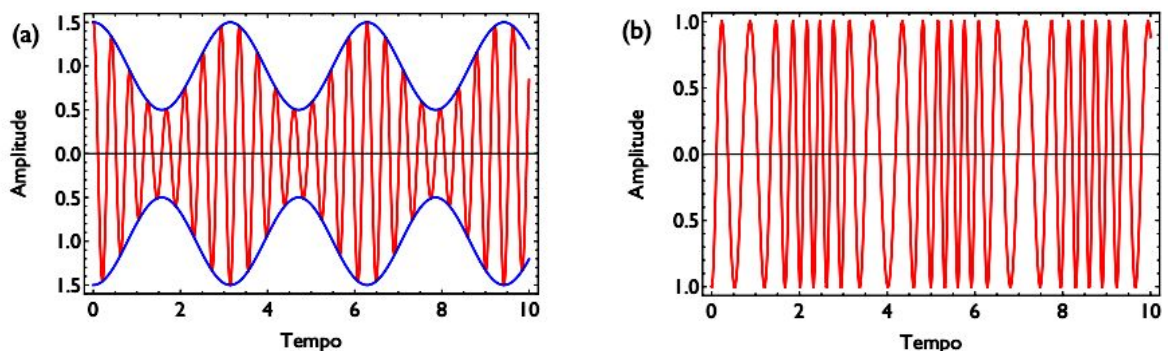


Figura 16 – Modulação de ondas. (a) Modulação AM (b) Modulação FM  
Adaptado, disponível em < <http://sites.ifi.unicamp.br> >

Desde a captação até a sua conversão em ondas sonoras audíveis, as ondas de rádio AM passam pelas seguintes etapas:

1. Recepção pela antena - Quando uma onda eletromagnética, com frequência  $f$  e comprimento de onda  $\lambda = c/f$ , incide sobre uma antena, um dipolo oscilante é nela induzido, que, por sua vez, induz uma corrente no circuito no qual ela está conectada. Para que a excitação do dipolo seja eficiente, é importante que o comprimento da antena  $L$  seja, aproximadamente, uma fração inteira do comprimento de onda ( $L = 16$  m no caso do nosso experimento).
2. Filtragem pelo circuito ressonante - Como existem diversas estações de rádio AM, é necessário também filtrar o sinal recebido pela antena. Para tanto se utiliza um circuito LC paralelo, como mostrado na Figura 15. Este filtro funciona como um “passa-banda”, selecionando a estação de rádio que se deseja ouvir.
3. Demodulação por um diodo detector - Da mesma forma que se modula a onda portadora para transmitir o sinal, é necessário demodular a onda recebida para que se possa escutá-la no alto falante. Este é o papel do diodo neste circuito: o de recuperar o sinal de áudio que foi modulado na onda portadora.

A Figura 17 ilustra as etapas descritas acima.

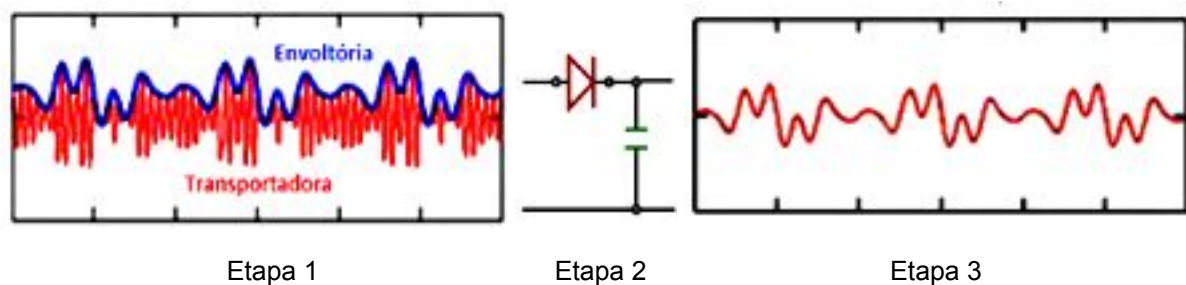


Figura 17 – Etapas de demodulação de ondas de rádio AM  
Adaptado, disponível em < <http://www.feis.unesp.br> >





menos energia. Atualmente, podem ser encontrados o transistor bipolar e o transistor unipolar, este último em diferentes formas.

O transistor bipolar (de uso mais frequente) é formado por duas junções PN ligadas entre si, que permitem a formação de duas diferentes configurações: o transistor NPN e o transistor PNP. A partir dessas junções, é possível obter três regiões de condução denominadas: Emissor (E), Base (B) e Coletor (C).

Enquanto a Base ocupa a região central do transistor, o Emissor e o Coletor se localizam nas suas extremidades e diferem entre si pelo fato do emissor possuir mais impurezas que o coletor. No que se refere ao seu aspecto externo, o transistor (NPN ou PNP) apresenta três terminais ligados internamente a cada uma das suas três regiões de condução.

A Figura 3 mostra o símbolo utilizado para representar um transistor bipolar NPN:

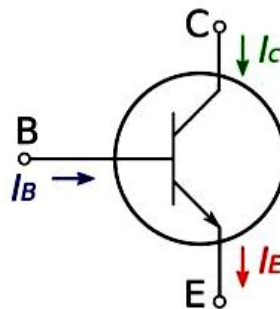


Figura 3 – Representação simbólica de um transistor NPN  
Adaptado, disponível em < <https://www.josematias.pt> >

Basicamente, o princípio de funcionamento do transistor bipolar é o seguinte: a Base B, com corrente reduzida  $I_B$  (microampères ou miliampères), permite controlar a corrente  $I_C$  (bem mais elevada, miliampères ou ampères) da carga ligada no Coletor C ou permite controlar a potência fornecida à carga ligada ao coletor; pelo Emissor E, faz-se o escoamento das correntes anteriores que somadas originam a corrente de emissor  $I_E = I_B + I_C$ . Polariza-se diretamente a junção Base-Emissor (B-E) e inversamente a junção Coletor-Base (C-B), conforme mostra a Figura 4, para que o transistor funcione na zona ativa, como amplificador de corrente, isto é, no transistor NPN, com N – Coletor, P – Base e N – Emissor,

aplica-se uma tensão positiva à Base (P), em relação ao Emissor (N) e aplica-se uma tensão positiva ao Coletor (N) em relação ao Emissor (N).

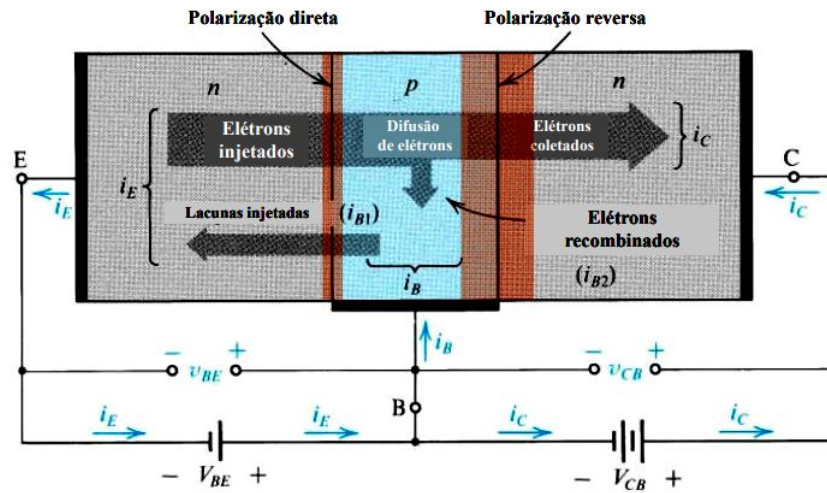


Figura 4 – Correntes no modo ativo do caso NPN.  
Adaptado, disponível em < <https://edisciplinas.usp.br> >

Por isso, se diz que o circuito da Base é o circuito de comando do transistor e o circuito do coletor é o circuito de potência do transistor. Regulando a corrente da base  $I_B$ , regula-se a corrente de coletor (e, portanto, da carga)  $I_C$ . No caso do transistor PNP trocam-se as funções de elétrons e lacunas em relação ao NPN, conforme mostra a Figura 5.

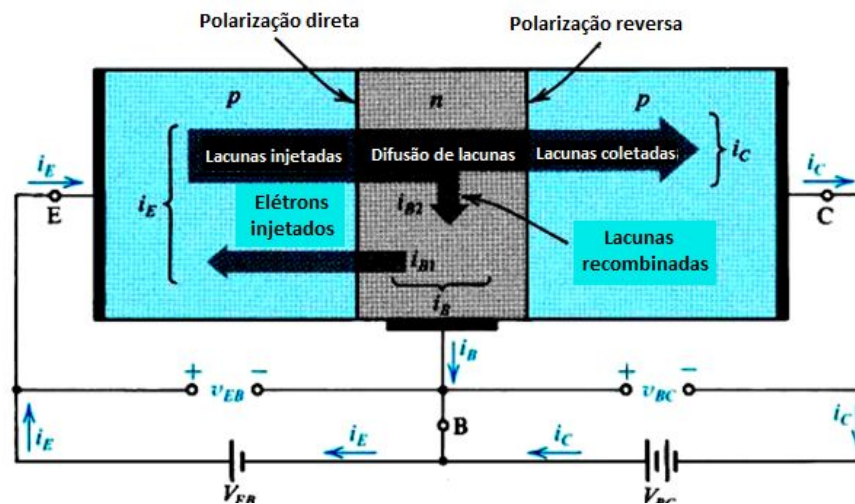


Figura 5 – Correntes no modo ativo do caso PNP.  
Adaptado, disponível em < <https://edisciplinas.usp.br> >

O símbolo do transistor bipolar de junção em circuitos usa uma seta no terminal de Emissor e esta seta aponta o sentido de corrente neste terminal. No NPN a corrente convencional sai pelo Emissor e no caso do PNP a corrente entra pelo Emissor, conforme mostram as Figuras 6a e 6b, respectivamente.

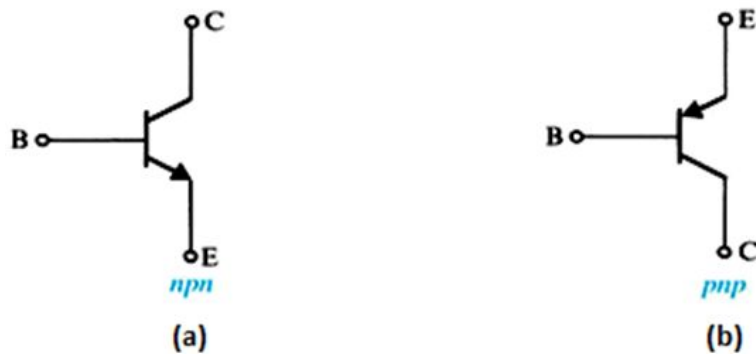


Figura 6 - Representações simbólicas de transistor bipolar.

Adaptado, disponível em < <https://edisciplinas.usp.br> >

Funcionando como regulador de corrente ou como amplificador de corrente, o transistor bipolar apresenta um ganho de corrente  $\beta$  que é calculado pela equação  $\beta = I_C/I_B$ . O ganho não tem unidades e pode variar entre 10 e 450, aproximadamente. Como amplificador de sinal ou de potência, o transistor pode ser ligado em três configurações diferentes: Emissor Comum, Coletor Comum e Base Comum.

Na configuração em Emissor Comum (EC), a mais utilizada, o transistor bipolar é ligado em série com um elemento de carga, conforme mostra a Figura 7. O termo "emissor comum" refere-se ao fato de que o terminal do emissor do transistor tem uma ligação "comum", tipicamente a referência de zero volt ou Terra. O terminal do coletor é ligado à carga da saída, e o terminal da base atua como a entrada de sinal. O circuito do emissor comum é constituído por uma resistência de carga  $R_c$  e um transistor NPN; os outros elementos do circuito são usados para a polarização do transistor e para o acoplamento do sinal. Esta configuração de transistores é utilizada em circuitos para amplificar sinais de baixa voltagem, como os sinais de rádios fracos captados por uma antena, para amplificação de um sinal de áudio ou vídeo.

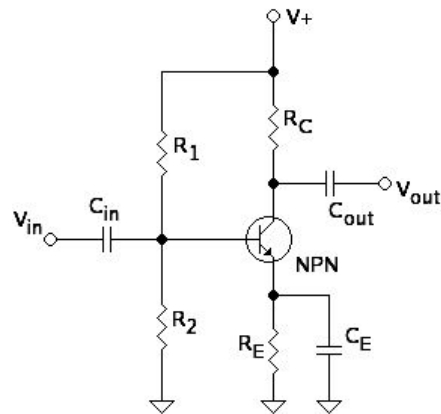


Figura 7 – Transistor bipolar ligado em configuração EC.

Adaptado, disponível em < <https://www.electronica-pt.com> >

Na configuração em Coletor Comum (CC), mostrada na Figura 8, o transistor possui um ganho de tensão muito próximo da unidade, significando que os sinais em CA que são inseridos na entrada serão replicados quase igualmente na saída, assumindo que a carga de saída não apresente dificuldades para ser controlada pelo transistor. O circuito possui um ganho de corrente típico que depende em grande parte do fator de multiplicação da corrente na base ( $h_{FE}$ ) do transistor. Uma pequena mudança na corrente de entrada resulta em uma mudança muito maior na corrente de saída enviada à carga. Deste modo, um terminal de entrada com uma fraca alimentação pode ser utilizado para alimentar uma resistência menor no terminal de saída.

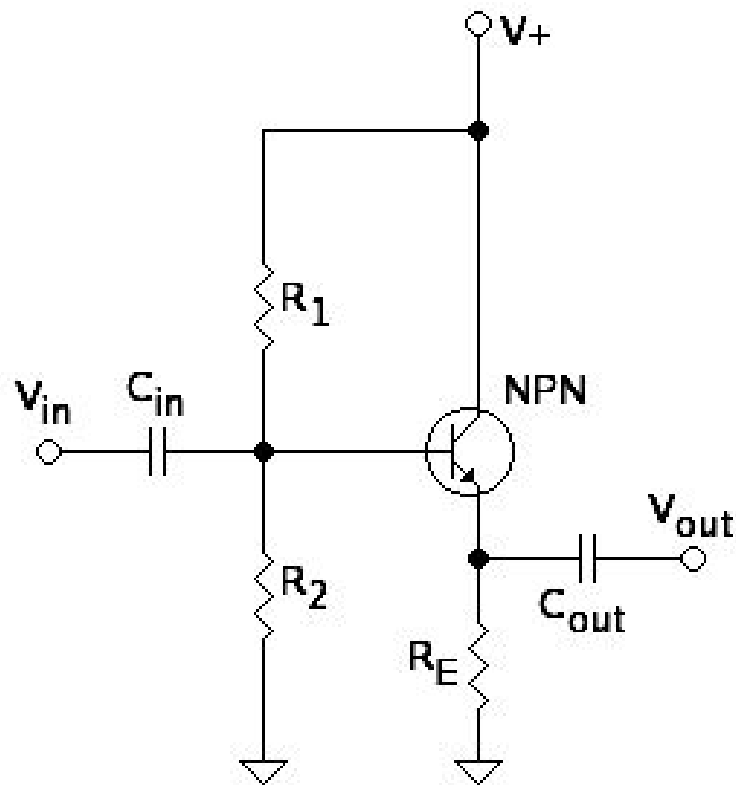


Figura 8 – Transistor bipolar ligado em configuração CC.  
Adaptado, disponível em < <https://www.electronica-pt.com> >

Na configuração em Base Comum (BC), mostrada na Figura 9, a base B do transistor é ligada ao ponto comum do circuito. Esta montagem é menos frequente do que as outras configurações em circuitos de baixa frequência. É utilizada para amplificadores que necessitam de uma impedância de entrada baixa. Como exemplo, cita-se: pré-amplificador de microfones, amplificadores VHF e UHF onde a baixa capacitância da saída à entrada é de importância crítica.

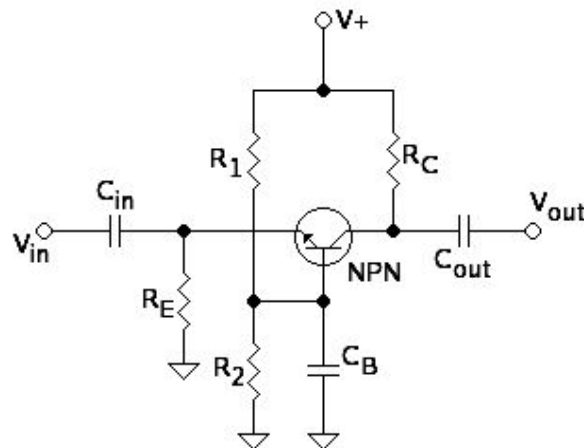


Figura 9 – Transistor bipolar ligado em configuração BC.

Adaptado, disponível em < <https://www.electronica-pt.com> >

Uma forma simples de se aumentar o ganho de corrente num circuito é através da associação de vários transistores (Transistor Darlington), conforme mostra a Figura 10. O ganho ( $h_{FE}$ ) total do “Darlington” corresponde à multiplicação dos ganhos individuais de cada um dos transistores. Além da vantagem de maior ganho de corrente, tanto o disparo quanto o bloqueio são sequenciais e a queda de tensão em saturação é constante. Entretanto, apresenta como desvantagem a utilização apenas com médias frequências e médias potências.

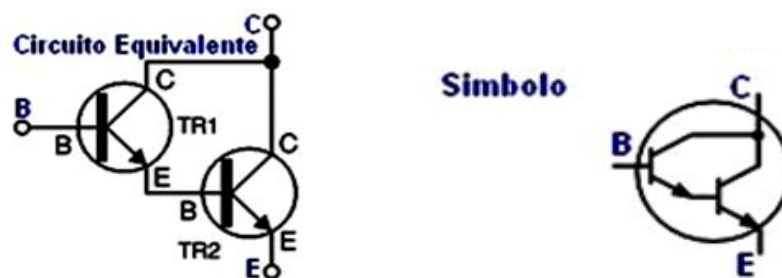


Figura 10 - Representação simbólica de um transistor Darlington.

Adaptado, disponível em < <https://www.electronica-pt.com> >

A Figura 11 mostra outro tipo de transistor de importante aplicação: o Fototransistor. Este não é mais do que um transistor bipolar em que a luz incide sobre a sua base (B). O seu funcionamento não difere do funcionamento do transistor bipolar, no entanto, a base é polarizada pela luz. Apresenta como vantagem um tempo de resposta maior e é mais sensível que o fotodiodo.

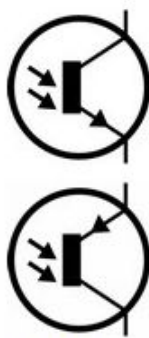


Figura 11 – Representação simbólica de um fototransistor.  
Adaptado, disponível em < <https://www.electronica-pt.com> >

O fototransistor tem uma enorme utilização nos acopladores ópticos, representados esquematicamente na Figura 12, os quais são compostos por um diodo emissor de luz (LED) e um fototransistor, e têm a função de isolar eletricamente circuitos diferentes.

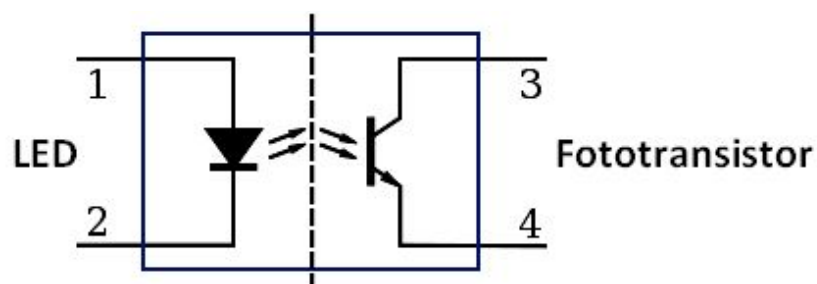


Figura 12 – Representação esquemática de um acoplador óptico.  
Adaptado, disponível em < <https://www.electronica-pt.com> >