

## **EXPERIMENTOS DEMONSTRATIVOS PARA O ESTUDO DO ELETROMAGNETISMO**

Hudson Roberto Monteiro

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

Orientadora:  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Adriana de Oliveira Delgado Silva

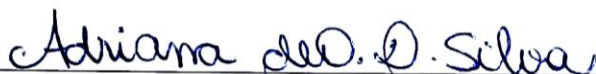
Sorocaba  
Novembro de 2018

**HUDSON ROBERTO MONTEIRO**

**EXPERIMENTOS DEMONSTRATIVOS PARA O ESTUDO DO  
ELETROMAGNETISMO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS-So) da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física no Ensino Médio. Sorocaba 14 de novembro de 2018.

Orientadora:



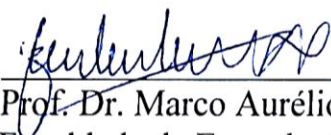
Profª. Dra. Adriana de Oliveira Delgado Silva  
Universidade Federal de São Carlos

Examinadora:



Profª. Dra. Fernanda Keila Marinho da Silva  
Universidade Federal de São Carlos

Examinador:



Prof. Dr. Marco Aurélio Euflauzino Maria  
Faculdade de Engenharia de Sorocaba

Sorocaba  
Novembro de 2018

Dedico esta dissertação a meu pai, *in memoriam*. À minha mãe, à minha esposa e à minha filha, por todo tempo de que este trabalho nos privou. Também, a todas as pessoas que contribuíram para esta vitória.

Aos professores da UFSCar: James, Tércio, Fernanda, Airton, Gebara, Sérgio, Johnny e, em especial, à minha orientadora Adriana.

*O sucesso só vem antes do trabalho no dicionário.*

*O homem erudito é um descobridor de fatos que já existem, mas o homem sábio é um criador de valores que não existem e que ele faz existir.*

*Quanto maior o conhecimento, menor o ego, e quanto maior o ego, menor o conhecimento.*

Albert Einstein

## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer a Deus por tudo que me proporcionou nesses dois anos; à minha família, que me apoiou; aos professores da UFSCar-So, pelo ensino e dedicação; aos amigos mestres que em algum momento me ajudaram.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) durante todo o período de formação e pelo apoio financeiro por meio de bolsa concedida.

# RESUMO

## EXPERIMENTOS DEMONSTRATIVOS PARA O ESTUDO DO ELETROMAGNETISMO

Hudson Roberto Monteiro

Orientadora:

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Adriana de Oliveira Delgado Silva

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

A Ciência é fundamental para nossa existência. Dentre as disciplinas nas quais a Ciência se baseia está a Física, que, além de ser de extrema importância no entendimento dos conceitos relacionados à própria existência do ser humano e às leis que regem o Universo, pode contribuir para a formação cidadã, por meio de um ensino voltado às situações cotidianas dos estudantes. Infelizmente, o ensino das ciências físicas e naturais no país vive a escassez da prática experimental, com dependência excessiva ao livro didático e ao uso do método expositivo; com número de aulas reduzido e, em geral, uma profissionalização insuficiente do professor. Diante dessa crise na educação, este trabalho foi idealizado como uma proposta para facilitar a aprendizagem, pelos alunos, do conteúdo de Física relacionado ao eletromagnetismo e às leis de Maxwell. Para tanto, desenvolveu-se um manual para realização de uma mostra de ciências, com experimentos de eletromagnetismo. O produto desenvolvido foi aplicado em 2017, a alunos do 3º ano do Ensino Médio de uma escola estadual, localizada no interior do Estado de São Paulo. Durante a aplicação, buscou-se desenvolver nos estudantes maior motivação ao estudo das ciências, atrelada à experimentação investigativa. As atividades foram realizadas durante o período de aproximadamente 18 semanas, compreendendo a preparação, elaboração, apresentação em sala de aula com discussão e apresentação final, à comunidade, dos experimentos escolhidos pelos alunos, sob orientação do professor. Paralelamente, o professor apresentou os conceitos relacionados aos experimentos investigados pelos estudantes. O aproveitamento do conteúdo das aulas desenvolvidas com a metodologia proposta que não envolve a metodologia tradicional foi analisado a partir do índice de acertos dos estudantes em uma avaliação do tipo teste. Foram

comparados resultados das turmas de 2016, denominadas turmas controle, e de 2017, quando houve aplicação do produto. As turmas de 2016 obtiveram um índice de 41,2% de aproveitamento, enquanto as turmas de 2017 obtiveram o índice de 50,9% de aproveitamento, o que sugere que a prática proporcionou melhora no desempenho dos estudantes.

Palavras-chave: *Ensino de Física, Ensino de Eletromagnetismo, Experimentação.*

# ABSTRACT

## DEMONSTRATIVE EXPERIMENTS FOR THE STUDY OF ELECTROMAGNETISM

Hudson Roberto Monteiro

Advisor:

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Adriana de Oliveira Delgado Silva

Master Thesis submitted to the Graduation Program (UFSCAR-SO) in the Physics Education Professional Master Course (MNPEF) as part of the requirements for the obtaining of the Physics Education Master Title.

Science is fundamental for our existence. Physics is among the subjects upon which science is based. Besides being of extreme importance in the understanding of concepts related to the existence of human beings and on laws that govern the universe, it can also contribute to a civic awareness education through a teaching method oriented to students' daily situations. Unfortunately, there is a shortage of experimental practice on physical and natural sciences in Brazil, with excessive dependence on course material, expository method, number of classes reduced and teachers' insufficient qualification. Given these circumstances, this thesis was idealized as a proposal to facilitate students learning concerning electromagnetism and Maxwell's laws. Therefore, a manual for the construction of electromagnetism experiments was devised and applied, in 2017, to a group of senior high school students at a public school located in the State of São Paulo. That aimed to develop students' motivation regarding science studying tied to investigative experimentation. The activities were conducted for about eighteen weeks and involved preparation, elaboration, presentation in class with discussion, and final presentation to the community of the projects selected by students with the teacher's orientation. Concurrently, the teacher presented concepts related to the experiments investigated by the students. The utilization of the class content done with the proposed method comparing to the traditional method was analyzed from the number of correct answer rates in tests. The results of the 2016 class – control group – were compared to the 2017 class – experimental group. The 2016 class had a 41,2 % of correct answers rate



whereas the 2017 class had a 50,9% which suggests the practice allowed for better students' performance.

Keywords: *Physics Education, Electromagnetism Teaching, Experimentation.*

# SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	11
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1 Teoria de aprendizagem.....	18
2.2 Metodologia de ensino.....	24
3. CONTEÚDO DE FÍSICA.....	31
3.1 Indução eletromagnética.....	31
3.2 Lei de Gauss.....	32
3.3 Lei de Faraday.....	34
3.4 Lei de Lenz.....	35
3.5 Lei de Ampère.....	36
3.6 O termo da corrente de deslocamento de Maxwell.....	38
3.7 Equações de Maxwell.....	39
3.8 Ondas eletromagnéticas.....	43
4. DESCRIÇÃO DO DESENVOLVIMENTO E DA APLICAÇÃO DO PRODUTO.....	44
4.1 Apresentação e aplicação do produto.....	44
4.2 Conteúdo e estratégias.....	45
4.2.1 Criação de organizadores prévios.....	45
4.2.2 Desenvolvimento dos projetos experimentais.....	48
4.3 Experimentos.....	50
4.4 Apresentação na Mostra de Eletromagnetismo.....	79
4.5 Resultados da avaliação dos conteúdos referentes aos testes sobre Eletromagnetismo.....	80
4.5.1 Curva de Gauss.....	89
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	92
6. REFERÊNCIAS.....	94
A1: AVALIAÇÃO APLICADA AOS ESTUDANTES.....	99
A2: PRODUTO EDUCACIONAL.....	101

## APRESENTAÇÃO

Durante mais de dez anos lecionando Física, pude observar nos alunos a falta de interesse em aprender a teoria sobre o Eletromagnetismo. A cada ano letivo, a matéria se consolidava sobretudo à base de “giz e lousa”, em que os alunos, num processo mecânico, apenas copiavam os conteúdos para obter nota sem ao mínimo compreender as interações entre os campos elétricos e magnéticos.

Em alguns casos, a partir do momento em que esse entendimento surgia, os estudantes começavam a relacionar a vida cotidiana aos aparelhos que funcionam baseados no eletromagnetismo e percebiam que esses aparelhos, como os motores, os computadores, as câmeras e, principalmente, os celulares, já estão inseridos em nossas vidas contemporâneas. Nessas ocasiões, interessavam-se em saber como funcionam tais equipamentos, quais os limites de seus campos magnéticos e outras questões relacionadas à Física.

Diante desse interesse nas aplicações da teoria, decidimos intercalar a teoria com a experimentação, propondo a realização de uma mostra de ciências com o tema eletromagnetismo. A proposta visou utilizar materiais de baixo custo e reciclados, almejando uma redução de custo ao ambiente, o acesso de todos os estudantes aos materiais necessários e tendo o propósito principal de agregar conhecimento aos alunos.

Devido ao tema escolhido, o estudo foi aplicado a turmas do 3º ano do Ensino Médio, procurando desenvolver o gosto pela Ciência atrelada à experimentação demonstrativa. No intuito de perceber os aspectos positivos da proposta a ser desenvolvida, iniciamos o projeto em 2016 para a realização de atividades com uma Turma Controle. Nessa Turma, fizemos um trabalho conceitual com desenvolvimento da matéria, explicação de exercícios e videoaulas, sempre com ênfase maior na teoria.

A aplicação do produto, conforme previa o projeto de articulação entre teoria e experimentação, ocorreu em 2017. Nessa segunda Turma, partimos de um trabalho conceitual para um trabalho experimental, com o desenvolvimento da matéria atrelado à construção de pequenos dispositivos de demonstração, quando os alunos tiveram a oportunidade de visualizar a teoria através da prática. Textos e exercícios também foram utilizados paralelamente ao processo de desenvolvimento dos dispositivos experimentais.

Em ambas as Turmas (2016 e 2017), as aulas ministradas e as atividades desenvolvidas tiveram como objetivo procurar a melhor maneira de capacitar o aluno à assimilação dos conceitos do eletromagnetismo. Na segunda Turma, porém, foram

utilizados experimentos, os quais proporcionaram aos alunos uma situação de aplicação dos conceitos de Física estudados, onde seria possível articular o conhecimento em Física ao conhecimento de outras áreas do saber científico e da vida cotidiana.

Nossa perspectiva era, desde o início, alcançar uma melhoria na prática educativa, pois educadores devem sempre procurar novas soluções para antigos problemas, tendo como objetivo principal o entendimento do aluno. Como afirma Antoni Zabala (1998), “os processos educativos são suficientemente complexos para que não seja fácil reconhecer todos os fatores que os definem”.

No intuito de apresentar os resultados obtidos com o projeto, a presente dissertação foi organizada em 5 capítulos. No Capítulo 1, a introdução ao tema, são abordados o comportamento dos alunos perante o ensino de Física, suas dificuldades no entendimento da matéria e a grande escassez de material didático de apoio ao professor, principalmente relacionada ao tema eletromagnetismo. No Capítulo 2, apresenta-se o referencial teórico a partir da teoria de aprendizagem de Ausubel e a metodologia de ensino que visa estimular a criatividade dos alunos por meio da experimentação, salientada no trabalho de Alberto Gaspar. O Capítulo 3 expõe o conteúdo de Física que descreve a indução eletromagnética, as leis de Gauss, Faraday, Lenz, Ampère e, finalmente, as equações de Maxwell, com a consequente descrição das ondas eletromagnéticas. No Capítulo 4, descrevem-se a concepção do produto e sua aplicação, com detalhamento e registro dos experimentos desenvolvidos, bem como a coleta das percepções dos estudantes sobre os projetos. Ainda nesse Capítulo, apresentam-se e discutem-se os histogramas com os resultados das avaliações dos estudantes das Turmas 2016 e 2017. Por fim, o Capítulo 5 apresenta as considerações finais do presente trabalho.

# 1. INTRODUÇÃO

---

A Ciência é fundamental para nossa existência. Descobrir e desvendar mistérios que nos rodeiam têm sido alvo de todos os nossos precursores ao longo do tempo (BRASIL, 2006). O ensino das ciências físicas e naturais no país está fortemente influenciado pela ausência da prática experimental, dependência excessiva do livro didático, método expositivo, reduzido número de aulas, currículo descontextualizado e profissionalização insuficiente do professor (DIOGO e GOBARA, 2007).

No país, especialmente na escola pública, o ensino de ciências físicas e naturais ainda é fortemente influenciado pela ausência do laboratório de ciências, pela formação docente descontextualizada, pela indisponibilidade de recursos tecnológicos e pela desvalorização da carreira docente. E isso, sem sombra de dúvida, constitui um obstáculo pedagógico à consecução do ensino e aprendizagem da Física nos diferentes níveis e modalidades da escolarização, com impacto negativo sobre o entendimento e o interesse por essa ciência (PEDRISA, 2001).

Hoje vivemos em uma sociedade de transformações e avanços tecnológicos. Para progredir frente a esse desenvolvimento, precisamos de pessoas capacitadas a atuar em todos os setores com habilidades e competências muito específicas; capacitadas, inclusive, a vislumbrar o contexto geral da área em que atuam. A cada dia cresce a necessidade de uma educação mais dinâmica e voltada à formação completa do sujeito, a fim de que o jovem seja inserido e consiga acompanhar o mundo globalizado.

Há, portanto, uma grande necessidade de se reduzir seus efeitos devastadores dentro da própria escola, principal espaço onde ocorre a educação de crianças e adultos.

Ribeiro (2018) destaca uma grande evasão escolar observada nos últimos anos e a falta de motivação e interesse da maioria dos alunos remanescentes. Verifica-se que ainda há uma busca dos docentes para que estes alunos aprendam a ser curiosos e criativos; que se familiarizem com o pensamento abstrato e questionem o conhecimento que lhes é apresentado. Em outras palavras, intenta-se que os alunos não se concentrem simplesmente na memorização dos fatos, fenômenos e conceitos, mas aprendam a relacioná-los a partir do conhecimento e desenvolvimento de critérios de observação, análise, julgamento e interpretação.

Ao lado das demais disciplinas, a Física pode contribuir com uma formação para a cidadania, com a construção de conceitos relacionados à própria existência do ser

humano e às leis que regem nosso Universo. Seria equivocado imaginar que é possível a transmissão de tantos conteúdos somente com o uso de livros didáticos. Muitos autores (RICARDO, 2005; KAWAMURA, 1996 e HOUSOUME, 2012) são enfáticos ao afirmar que a diversidade de metodologias para a abordagem de assuntos relacionados à Física pode ser muito produtiva.

Em sala de aula, a construção dos conceitos de Física a partir das observações feitas pelos alunos sobre os fatos que ocorrem na natureza é um passo importante para a compreensão de outros elementos inerentes ao dia a dia, de modo que se faz necessário, como defende Antoni Zabala, promover canais de comunicação que contemplem a participação do educando:

*Entender a educação como um processo de participação orientado, de construção conjunta, que leva a negociar e compartilhar significados, faz com que a rede comunicativa que se estabelece na aula, quer dizer o tecido de interações que estruturam as unidades didáticas, tenha uma importância crucial. Para construir essa rede, em primeiro lugar é necessário compartilhar uma linguagem comum, entender-se, estabelecer canais fluentes de comunicação e poder intervir quando esses canais não funcionem. (ZABALA, 1998, p. 10.)*

Todos esses apontamentos constituem o campo de pesquisa da área de Ensino de Física. No Brasil, essa área de pesquisa tomou um impulso considerável na década de 1960, motivada pelo desenvolvimento científico e tecnológico ocasionado pela “corrida espacial” (GASPAR, 1995 e MOREIRA, 2000). Durante o final do século XX e início do século XXI, houve uma significativa mudança na produção acadêmica acerca do tema prática do ensino de Física (MEGID e col., 2005). Isso se deve a um considerável aumento no número de pesquisadores que atuam em vários grupos e divulgam suas teses e pesquisas em revistas renomadas. Grande parte desses trabalhos concentra-se em apresentar as várias dificuldades e problemas que afetam o sistema brasileiro de ensino, e em particular o ensino de Física, que tradicionalmente é considerado pelos professores uma disciplina difícil de ser ensinada e, em consequência, difícil de ser entendida pelos alunos.

No final dos anos 1990, o Ministério da Educação passou a refletir sobre as possíveis estratégias, coordenando um grande esforço no sentido de discutir o modelo curricular em vigência e propor novas abordagens incorporando os avanços no campo da Pedagogia e Psicopedagogia das duas décadas precedentes (BRASIL, 2000). As novas propostas consistiram em um ensino contextualizado e multidisciplinar, onde as

disciplinas devem se relacionar, devendo ser desenvolvidas competências e habilidades que norteiam o raciocínio e a capacidade de entender, ou seja, devem ser empregadas estratégias metodológicas que estimulem a aprendizagem, gerando assim o conhecimento (BRASIL, 2006).

Nessa perspectiva, os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) trazem alguns pontos a serem considerados no Ensino de Física.

*Espera-se que o ensino de física, no ensino médio, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a inserção do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. (BRASIL, 2000, p. 229.)*

Os PCNEM deixam claro que é preciso aprender Física com o intuito de propiciar uma visão mais realista e uma formação mais adequada para a cidadania. Para isso, faz-se necessário, porém, que o aluno interaja com a matéria, confrontando problemas desafiadores, mas pertinentes e de possível resolução para o estágio de aprendizagem em que se encontra, de modo que tais problemas motivem sua curiosidade para a construção, teorização e busca de soluções.

Para Carneiro (2007, p.12), uma das estratégias metodológicas possíveis é a utilização do laboratório didático de Física, que deve vir como instrumento mediador do professor para melhorar o entendimento do aluno. O laboratório deve colaborar para que o aluno, através de experimentos, veja a Física como algo presente em seu cotidiano, algo que desafie sua curiosidade, promovendo o interesse em investigar e tirar conclusões. Ela não pode se restringir a uma disciplina cheia de leis, conceitos e exercícios repetitivos, sem significado, que apenas aumentam as dificuldades de se aprender e ensinar Física de modo significativo e consistente.

Essa visão de laboratório didático é proposta pelos PCNEM. Trata-se de um laboratório incentivador, que cria situações-problema e instiga a busca por soluções. Com isso, o estudante não tem apenas uma proposta de verificação de leis e teorias previamente determinadas, mas uma oportunidade de desenvolver seu raciocínio, enfrentar situações inesperadas e trabalhar em equipe.

A experimentação é um recurso de múltiplas possibilidades durante a aprendizagem significativa (GIANI, 2010, p. 12). Além de permitir a vivência prática de algumas teorias e o aprendizado do correto manuseio de instrumentos científicos,

contribui para o desenvolvimento da capacidade cognitiva e do raciocínio científico, favorecendo o trabalho cooperativo por meio da discussão, da negociação de atitudes, da divisão de tarefas e da argumentação lógica (GIANI, 2010, p. 30). Com isso, espera-se observar nos estudantes um maior progresso na elaboração de conceitos e no desenvolvimento de habilidades intelectuais, atrelado à realização de atividades experimentais.

De acordo com Araújo (2003), a utilização de atividades experimentais tem sido apontada pelos professores e alunos como uma das estratégias mais fundamentais de ensinar e aprender Física de modo significativo e consistente. Transferir conhecimento não é só teorizar a matéria, mas também proporcionar ao educando atividades experimentais que relacionem conceitos físicos à sua realidade cotidiana (BRASIL, 2001).

Tanto nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), quanto no currículo oficial do Estado de São Paulo, as Leis de Maxwell não integram o planejamento; porém, elas estão associadas diretamente às Leis de Ampère, Gauss e Faraday, que constituem as Leis de Maxwell.

A escassez de material sobre as Leis de Maxwell pode ser devida ao seu complexo conceito matemático, que só é visto no ensino superior. Porém, é perfeitamente possível trabalhar somente o conceito físico. Seria difícil imaginar a sociedade atual sem as facilidades proporcionadas por dispositivos como o rádio, a televisão, o telefone, os aparelhos de raios X, os cartões magnéticos, o controle remoto etc. O funcionamento de todos esses dispositivos tem relação com as ondas eletromagnéticas, cuja primeira conceituação foi sugerida por Maxwell, com base em suas equações (ROCHA, 2009). A indução eletromagnética, por exemplo, é o princípio fundamental sobre o qual operam transformadores, geradores, motores elétricos e a maioria das demais máquinas elétricas. A corrente elétrica gerada é diretamente proporcional à variação do fluxo magnético que atravessa o circuito por unidade de tempo.

Paz (2007) discute que as dificuldades de aprendizagem dos conteúdos de eletromagnetismo se concentram na impossibilidade de visualização dos campos magnéticos por parte dos alunos, no espaço tridimensional e na Matemática:

*Constatamos que as dificuldades de aprendizagens dos conteúdos de Eletromagnetismo se concentram no entendimento das interações e comportamento das variáveis eletromagnéticas no espaço tridimensional, bem como em seus cálculos matemáticos. (PAZ, 2007, p. 53.)*



Os professores, de modo geral, declaram que os estudantes expressam dificuldades na aprendizagem dos fenômenos, leis e conceitos que os envolvem (PAZ, 2007).

Diante das dificuldades apresentadas em relação ao ensino de Física no Brasil e, em particular, ao ensino do conteúdo de Eletromagnetismo, o projeto que desenvolvemos teve como objetivos:

- Trabalhar conteúdos de Física relacionados às Leis de Maxwell e às suas aplicações, durante a aula.
- Incentivar nos estudantes um espírito investigativo, através da pesquisa, construção e apresentação de dispositivos experimentais.
- Propiciar aos estudantes oportunidades de confronto entre a teoria e a prática.
- Desenvolver um manual para construção de experimentos sobre eletromagnetismo, dedicado ao professor de Física.

Na dissertação aqui apresentada, objetivou-se ainda:

- Descrever e apresentar a participação dos estudantes nas atividades propostas.
- Relatar as observações e percepções dos estudantes durante as atividades desenvolvidas.
- Comparar os resultados de um teste aplicado às Turmas 2016 e 2017.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

---

*Desenvolver o ensino do eletromagnetismo para alunos que desconhecem o sentido vetorial de corrente elétrica e campo magnético torna-se uma tarefa extremamente complexa. O plano cartesiano é uma estrutura essencial para a visualização vetorial e os cálculos espaciais. Sem esses conhecimentos prévios torna-se muito difícil interpretar e resolver matematicamente problemas de eletromagnetismo a partir das Leis de Maxwell. Mas será que estudantes que não possuem esses conhecimentos são capazes de compreender a essência dos conceitos envolvidos nas Leis de Maxwell?*

### 2.1 Teoria de aprendizagem

De acordo com Ricardo (2003), não se ensinam diretamente competências, mas criam-se condições para o seu desenvolvimento:

*As habilidades, que estariam mais ao alcance da escola, não deveriam ser compreendidas como um simples saber-fazer procedimental, mas talvez um saber o que fazer, ou ainda saber e fazer articulando assim competências e habilidades, pois essas são indissociáveis. (RICARDO, 2003, p. 58.)*

O processo de ensino-aprendizagem melhora com a execução de atividades pelo professor e alunos, ou seja, o professor orienta a metodologia de estudos e seus conteúdos e os alunos atingem progressivamente suas habilidades e competências (GASPAR, 2014, p. 56).

Para melhor esclarecer as questões que envolvem a aprendizagem, recorreremos à contribuição de Santos (2008), para quem:

*A aprendizagem somente ocorre se quatro condições básicas forem atendidas: a motivação, o interesse, a habilidade de compartilhar experiências e a habilidade de interagir com os diferentes contextos. (SANTOS, 2008, p. 33.)*

Santos (2008, p.73) apresenta as sete atitudes recomendadas nos ambientes de aula:

1. Dar sentido ao conteúdo: toda aprendizagem parte de um significado contextual e emocional.

2. Especificar: após a devida contextualização, o educando precisa ser levado a perceber as características específicas do que está sendo estudado.

3. Compreender: é quando se dá a construção do conceito, que garante a possibilidade de utilização do conhecimento em diversos contextos.

4. Definir: significa esclarecer um conceito. O aluno deve definir com suas palavras, de forma que o conceito lhe seja claro.

5. Argumentar: após definir, o aluno precisa relacionar logicamente vários conceitos e isso ocorre por meio do texto falado, escrito, verbal e não verbal.

6. Discutir: nesta etapa, o aluno deve formular uma cadeia de raciocínio pela argumentação.

7. Levar para a vida: o sétimo e último passo da construção do conhecimento é a transformação. O fim último da aprendizagem significativa é a intervenção na realidade. Sem esse propósito, qualquer aprendizagem é inócua (SANTOS, 2008, pp. 73-74).

O modelo tradicional de aprendizagem, segundo o qual o professor transmite o conhecimento e o aluno o recebe e tenta memorizá-lo, ainda existe. Frison admite, porém, que a aprendizagem no ambiente escolar depende de uma ligação entre professores, alunos e os conteúdos abordados, de modo que:

*Na escola o aprendizado é um resultado desejável, é o próprio objetivo do processo pedagógico privilegiando o professor, que tem o papel explícito de intervir e provocar nos alunos avanços que não ocorram espontaneamente. (FRISON, 2000, p. 129.)*

No mundo globalizado e informatizado, o professor já não é mais o detentor exclusivo do conhecimento, mas se identifica como um mediador da aprendizagem, facilitando a interação entre o aluno e o assunto abordado em aula. Com isso, o professor encontra na escola um lugar não só para ensino e aprendizagem, mas também um espaço de convívio que permite proporcionar ao aluno aprender a aprender. Nesse sentido, “o professor tem a possibilidade e a obrigação de planejar e desenvolver maneiras que tenham um intuito de melhorar cada vez mais a capacidade dos alunos” (DEL PRETTE, 2001).

Fazenda (1993) sugere que trabalhar com projetos experimentais pode ajudar no desenvolvimento interdisciplinar do estudante. Porém, ao professor cabe como papel

fundamental despertar a essência científica, estabelecendo pontes entre as diferentes disciplinas, atualizando constantemente, com muita criatividade, a teoria e a prática, sabendo agir de forma cooperativa. Ao associar a teoria à prática, altera-se a dinâmica da aula do tipo “quadro e giz”, na qual o aluno copia dado conteúdo sem compreendê-lo nem aprendê-lo, sendo incapaz de relacioná-lo futuramente aos novos conceitos apresentados.

Ausubel (2003), psiquiatra norte-americano que dedicou vinte e cinco anos à psicologia educacional, afirma que a aprendizagem ocorre quando uma nova informação ancora-se em conceitos já presentes nas experiências de aprendizados anteriores e, por isso, o fator mais importante que influencia a aprendizagem consiste no que o aluno já sabe. É a partir desse ponto de apoio que deve decorrer a aprendizagem dos novos conceitos. Ou, como resume Moreira: “a aprendizagem significativa é o processo por meio do qual novas informações adquirem significado por interação (não associação) com aspectos relevantes preexistentes na estrutura cognitiva” (MOREIRA, 2006, p. 38). É importante ressaltar que o novo conteúdo deve ser significativo e que o aluno manifeste disposição para aprender.

Na definição de aprendizagem significativa de Ausubel, a aprendizagem, do ponto de vista cognitivista, é construída pelo aluno através de conteúdos contextualizados a partir de seus conhecimentos prévios de conceitos e princípios; de suas habilidades, técnicas e atitudes mobilizadas para o desenvolvimento de novos conhecimentos, habilidades, técnicas e atitudes. Esse tipo de aprendizagem contraria aquele amparado na memorização de conteúdo sem sentido, decorado ou mecanicamente “aprendido” pelo aluno, o que não conduz as estruturas mentais a nenhuma reorganização ou modificação.

Para Moreira (1998), aprendizagem significativa é a organização e integração do material na estrutura cognitiva do sujeito:

*É a estrutura cognitiva, entendida como conteúdo total de ideias de um certo indivíduo e sua organização; ou conteúdo e organização de ideias em uma área particular de conhecimento. É o complexo resultante dos processos cognitivos, ou seja, dos processos por meio dos quais se adquire e utiliza o conhecimento. (MOREIRA, 1998, p. 153.)*

A aprendizagem significativa de Física como ciência da natureza que está presente no cotidiano, portanto, auxilia a compreensão do mundo e a interpretação de fenômenos naturais e tecnológicos, permitindo a construção do conhecimento de forma interativa e significativa, de modo que o aluno compreenda a realidade, possa nela intervir e dela participar.

Dessa forma, os conhecimentos prévios existentes na estrutura cognitiva dos estudantes se modificam substancialmente quando estão envolvidos nas aulas. A essência do processo de aprendizagem significativa é que as ideias expressas simbolicamente são encadeadas às informações previamente adquiridas através de uma relação não arbitrária e substantiva, ou seja, ligadas a algum aspecto relevante existente na estrutura cognitiva do aluno.

Em outras palavras, o sentido das ações não arbitrárias, no processo da aprendizagem significativa, emerge da relação entre o objeto a ser conhecido, as estratégias utilizadas para se conhecê-lo e os conhecimentos internalizados do próprio educando, uma vez que:

*[...] aprendizagem significativa é um processo pelo qual uma nova informação se relaciona com um aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo. Ou seja, neste processo a nova informação interage com uma estrutura de conhecimento específica, a qual Ausubel define como conceitos subsunçores ou, simplesmente, subsunçores (subsumers), existentes na estrutura cognitiva do indivíduo. A aprendizagem significativa ocorre, quando a nova informação ancora-se em conceitos relevantes preexistentes na estrutura cognitiva de quem aprende. (MOREIRA, 2006, p. 7.)*

Assim, o processo central da aprendizagem significativa é "a interação entre a estrutura cognitiva prévia do aluno e o material ou conteúdo de aprendizagem" (MOREIRA, 2011, p. 233). Para que ele ocorra,

*Ausubel [...] recomenda o uso de organizadores prévios que sirvam de âncora para a nova aprendizagem e levem ao desenvolvimento de conceitos subsunçores que facilitem a aprendizagem subsequente. [...]. Organizadores prévios são materiais introdutórios apresentados antes do próprio material a ser aprendido. Contrariamente a sumários, que são ordinariamente apresentados ao mesmo nível de abstração, generalidade e exclusividade, simplesmente destacando certos aspectos do assunto, os organizadores são apresentados num nível mais alto. Segundo o próprio Ausubel, no entanto, a principal função do organizador prévio é a de servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele deve saber, a fim de que o material possa ser aprendido de forma significativa. (MOREIRA, 2011, p. 234.)*

Portanto, a teoria ausubeliana é direcionada ao processo de ensino e de aprendizagem do qual o educando faz parte. Ausubel (2003) postula ainda que a aprendizagem significativa

*É muito importante no processo de educação por ser o mecanismo humano por excelência para a aquisição e o armazenamento da vasta quantidade de ideias e de informações representadas por qualquer área de conhecimento. (AUSUBEL, 2003, p. 81.)*

Na obra citada, todavia, o autor apresenta duas condições simultâneas para facilitar a ocorrência de aprendizagem significativa.

A primeira é que o material com as novas informações a serem apreendidas deve ser potencialmente significativo. Esse material pode ser uma imagem, gravuras, textos, história de vida, relatos de experiência e outros, de forma que seja relacionável à estrutura cognitiva do educando, isto é, que tenha uma relação com aquilo que o aluno já conhece.

Em segundo lugar, o aluno deve manifestar uma predisposição para, intencionalmente, relacionar, de forma não literal e não arbitrária, o novo material a ser aprendido com alguma ideia, alguma informação, algum conhecimento em sua estrutura cognitiva. Nota-se que o conhecimento prévio do aluno é decisivo para que a aprendizagem seja significativa. Quando o novo material de aprendizagem é incorporado, armazenado à estrutura cognitiva do educando de forma literal, arbitrária e sem significado, a aprendizagem é dita mecânica ou automática. Esse tipo de aprendizagem mecânica ocorre quando o novo conhecimento é apresentado ao educando, e ele, por diversos motivos, não o relaciona a outros conhecimentos relevantes existentes em sua estrutura cognitiva e simplesmente o incorpora em sua estrutura cognitiva de forma arbitrária, não substantiva.

Contudo, tanto a aprendizagem significativa quanto a aprendizagem mecânica não devem ser consideradas como uma ramificação, mas como um processo. Moreira (2008, p. 23) entende que “a aprendizagem não é ou significativa ou mecânica”, porque “as aprendizagens podem ser parcialmente significativas, parcialmente mecânicas, mais significativas, mais mecânicas”. O autor concebe que, diante desse processo, é possível que o novo conhecimento que foi aprendido, a princípio de forma mecânica, possa, progressivamente, ser organizado na estrutura cognitiva do aluno e avançar de uma aprendizagem mecânica para uma significativa. A aprendizagem de pares de sílabas sem sentido para os alfabetizandos e a simples memorização de conceitos e fórmulas

matemáticas são exemplos típicos de aprendizagem mecânica, onde a inserção de conteúdos na rede conceitual do educando dá-se de modo aleatório e não serve de “âncora” para uma nova informação que lhe produza significado.

É por isso que se fala de uma reorganização das estruturas cognitivas ou mentais. Isso significa que uma intervenção escolar mediada pelo professor deverá atuar diretamente sobre os conceitos já construídos pelos alunos, trazendo também novos pensamentos ou novas formas de compreender uma mesma situação.

Ausubel define conceito como sendo “objetos, acontecimentos, situações ou propriedades que possuem atributos específicos comuns e são designados pelo mesmo signo ou símbolo (AUSUBEL, 2003, p. 22).

Na formulação de conceitos, adquirem-se atributos como uma consequência da experiência direta ao longo de fases sucessivas de formulação, experimentação e generalização de hipóteses (AUSUBEL, 2003, p. 92). A assimilação significa que um conceito anterior ao conceito subsunçor existente na estrutura cognitiva do aluno, somado a um novo conceito, gera uma nova informação potencialmente significativa e cria uma nova aprendizagem.

Além das teorias de Ausubel, vale destacar a visão epistemológica de Mario Bunge, segundo a qual, nas palavras de Pietrocola (2002), “existe uma necessidade de adquirir conhecimento para poder enriquecer nossa apreensão de mundo”. Para isso, ressalta ser a conversão de sistemas físicos em imagens conceituais um método eficaz para representar a realidade de pensamento, ou seja, para chegar à realidade propriamente dita devemos idealizar elementos imaginários, construindo um modelo conceitual.

Por essa perspectiva, deve-se introduzir aos alunos conceitos e ideias figurativas que sejam persuasivas para a montagem de experimentos, que interajam com a teoria e demonstrem o conteúdo prático antes visto em sala de aula. Os materiais didáticos apresentados pelos professores aos alunos são ferramentas que potencializam o processo de aprendizagem.

Além disso, não pode ser esquecida a importância dos subsunçores, conceitos prévios trazidos pelo aluno para a sala de aula. Entretanto, como o professor pode saber se já existe no aluno um elemento subsunçor construído? Segundo Ausubel (2003), para que o professor possa dar continuidade ao processo de ensino-aprendizagem, é preciso que se encontrem os elementos subsunçores de cada aluno, já que são eles que dão base para o processo de aprender.

Ausubel orienta ao professor e aos alunos a assimilarem a estrutura da disciplina e a reorganizarem suas próprias estruturas cognitivas mediante a aquisição de novos significados que podem gerar conceitos e princípios. Nessa relação, o professor não será um mero transmissor do conhecimento, e o aluno, um receptor de conteúdo. Ao contrário, ambos são responsáveis pela construção da aprendizagem. O papel do professor será de mediador do processo, estimulando a participação, o trabalho colaborativo e a reativação dos conhecimentos prévios, além de orientar os estudantes a refletir sobre eles para desenvolver conceitos cada vez mais próximos daqueles aceitos cientificamente.

Com essa perspectiva, o professor pode adotar diferentes metodologias capazes de atuar na estruturação de uma aprendizagem significativa. Neste trabalho, a experimentação foi escolhida como metodologia devido ao grande interesse que desperta nos alunos e à possibilidade de se utilizarem as vivências cotidianas como subsunçores no processo de ensino-aprendizagem.

## **2.2 Metodologia de ensino**

As atividades experimentais fazem parte do conteúdo programático do Estado de São Paulo. Elas estão presentes, inclusive, nos cadernos distribuídos aos alunos, chamados Caderno do Aluno. Todavia, o que se observa é que essas atividades não acontecem frequentemente devido a fatores como carência de laboratórios especializados, carência de recursos e também falta de preparo dos professores que não tiveram em sua formação aulas laboratoriais. Quando ocorrem, esporadicamente, são atividades que apenas visam confirmar assuntos vistos teoricamente e não contribuem para uma aprendizagem significativa (GASPAR, 2014, p. 81).

Para Angotti e Pernambuco (2002), a importância das atividades experimentais ainda é desconhecida pela maioria das pessoas, inclusive as escolarizadas. Tal perspectiva negativa ressalta a necessidade de um ensino que possibilite aos estudantes incorporarem à sua formação a ciência como cultura. Cabe ao professor buscar a melhor maneira de diminuir a apatia e o desinteresse em relação às aulas usando estratégias, a exemplo da experimentação, como recurso didático.

Assumir a experimentação como prática pedagógica abre um caminho promissor para o aprendizado, pois aquela possibilita ao professor gerar dúvidas e problematizar o conteúdo que pretende ensinar, contribuindo para que o estudante construa suas hipóteses



a partir das observações experimentais e dos conceitos discutidos. Dessa maneira, é facilitado o processo de assimilação de novos conceitos organizando-os em sua estrutura cognitiva. Neste sentido, Gaspar enfatiza que “se o professor pretende formar alunos criativos, sua preocupação maior deve ser a de fornecer-lhes conhecimento e, quanto maior for esse conhecimento, maior será a possibilidade de que eles acrescentem a esse conhecimento seus grãos de criação individual” (GASPAR, 2014, p. 208). Para o sucesso da atividade, é indispensável que o professor perceba a importância do processo de planejamento e elaboração das atividades experimentais.

De acordo com Gaspar, Einstein (1926) cita que “conseguir observar um fenômeno ou não, depende da teoria que se usa. É a teoria que decide o que pode ser observado” (GASPAR, 2014, p. 95). Portanto, é impossível que o aluno “descubra” uma lei científica por meio da simples observação, pois ele ainda não conhece essa lei nem saberá sequer o que deve observar. Daí a importância de teoria e experimentação caminharem juntas.

Fagundes (2007) reforça essa ideia, quando procura mostrar que a experimentação pode ser uma maneira e até uma estratégia para o que se deseja aprender, mas não o fim. Isso revela a concepção errônea segundo a qual após transmitir uma informação teórica, basta ao professor propor aos seus alunos uma prática para comprovar o que foi dito.

*Para favorecer a superação de algumas das visões simplistas predominantes no ensino de ciências é necessário que as aulas de laboratório contemplem discussões teóricas que se estendam além de definições, fatos, conceitos ou generalizações, pois o ensino de ciências, a nosso ver, é uma área muito rica para se explorar diversas estratégias metodológicas, no qual a natureza e as transformações nela ocorridas estão à disposição como recursos didáticos, possibilitando a construção de conhecimentos científicos de modo significativo. (RAMOS; ANTUNES e SILVA, 2010, p. 8.)*

Outros autores como Silva e Zanon (2000), Carvalho e Gil-Pérez (2000) também corroboram as ideias de Ramos, Antunes e Silva, ao perceberem que o experimento por si só não possibilita a aprendizagem conceitual, pois há que se ter uma interação entre a matéria conceitual e a parte experimental para uma boa qualidade de ensino.

As atividades experimentais podem ser desenvolvidas de diversas maneiras; por exemplo, partindo da ilustração ou verificação de leis e teorias ou apresentando propostas que busquem estimular a criatividade dos alunos. Araújo e Abib (2003) classificam as atividades experimentais em três modalidades:

### 1. Atividades de demonstração:

As atividades de demonstração são realizadas normalmente pelo professor: é ele quem orienta a observação e dá explicações, adequando-as aos conteúdos, enquanto os alunos observam o fenômeno ocorrido. Tais atividades são recomendadas quando existem poucos recursos materiais, quando não se dispõe de espaço para que todos os alunos participem da execução ou quando há pouco tempo para a realização do experimento.

Gaspar (2014, p. 45) observa que a demonstração experimental em sala de aula não é um recurso pedagógico autossuficiente nem uma atividade autoexplicativa. Não basta apresentá-la, impressionar o aluno e colher o seu aplauso para que ele possa aprender os conceitos que motivaram a sua apresentação. É indispensável a participação ativa do professor, pois ele é o parceiro mais capaz, é quem domina o abstrato e pode extraí-lo do concreto.

### 2. Atividades de verificação:

São empregadas com a finalidade de confirmar alguma lei ou teoria. Os resultados desses experimentos são previsíveis e as explicações, conhecidas pelos alunos. Tais atividades formam no aluno a capacidade de interpretar parâmetros que determinam o comportamento dos fenômenos observados, articulando os conceitos científicos que conhecem. Elas servem também para motivar e tornar o ensino mais próximo da realidade.

### 3. Atividades de investigação:

Nas atividades investigativas, a problematização é a base do trabalho. Os alunos participam mais efetivamente e o professor orienta a atividade. Nelas se busca a superação da ilustração e da compreensão de leis e teorias. Para Azevedo, “o objetivo é levar os alunos a pensar, debater, justificar suas ideias e aplicar seus conhecimentos em situações novas” (AZEVEDO, 2009, p. 20).

Freitas e Zanon (2007, p. 94) detalham o trabalho do professor que desenvolve propostas de investigação científica, como lançar ao grupo ou dele fazer emergir uma questão problema; motivar e observar continuamente as reações dos alunos, dando orientações quando necessário; salientar aspectos que não tenham sido observados pelo grupo e que sejam importantes para o encaminhamento do problema; e produzir, juntamente com os alunos, um texto coletivo que seja fruto de negociação da comunidade de sala de aula sobre os conceitos estudados.

Cabe ao professor analisar que modalidade de experimentação usar em cada situação, adequando-a ao experimento realizado e ao nível cognitivo do aluno,

considerando sempre os conhecimentos prévios, opiniões, interesses, conclusões e sugestões dos estudantes para tornar a aula experimental um momento de aprendizagem. Cabe a ele, ainda, problematizar o conteúdo por meio de questionamentos com a finalidade de provocar dúvidas, aguçando a curiosidade dos alunos e promovendo sua reflexão. O professor deve desafiar seus alunos para que estes assimilem novos conceitos através da reflexão sobre as experiências que ele propõe.

Nesse processo, as aulas práticas podem ser realizadas em laboratório ou na própria sala de aula. Mais importante do que o espaço onde o professor realiza as atividades é a capacidade de promover a reflexão, instigar o aluno, despertar a curiosidade e realizar atividades que desenvolvam habilidades para a resolução de problemas.

Nesse viés, Vygotsky (2001) condiciona a aprendizagem de um novo conceito à existência de uma estrutura cognitiva contida na zona de desenvolvimento proximal da pessoa:

*A Zona de Desenvolvimento Proximal define aquelas funções que ainda não amadureceram, mas que estão em processo de maturação, funções que amadurecerão, mas que estão, presentemente, em estado embrionário. (VYGOTSKY, 2001, p. 97.)*

Dessa forma, é necessário persistir no processo de ensino do novo conceito, construindo a estrutura mental que possibilite sua aprendizagem, sendo, portanto, a aprendizagem que torna possível o desenvolvimento cognitivo.

Gaspar, na obra *Experimentação em Ciências*, descreve que a aprendizagem é primordialmente um processo de visualização e imitação:

*Para Vygotsky, respeitados os limites da zona de desenvolvimento imediato, a melhor estratégia pedagógica é persistir no processo de ensino do novo conceito, pois essa é a forma de construir a estrutura mental que possibilita sua aprendizagem. Portanto, não é o desenvolvimento cognitivo que viabiliza a aprendizagem, mas a aprendizagem que torna possível ou provoca o desenvolvimento cognitivo. As estruturas mentais para a aquisição de um novo conceito só começam a se formar na mente da pessoa quando esse conceito é ensinado. (GASPAR, 2014, p. 24.)*

Segundo Vygotsky (2001, p. 121), a construção de uma nova estrutura mental se inicia quando ela é exigida. O ensino formal é uma dessas ocasiões, e certamente a mais relevante em relação aos conteúdos científicos. A gênese dessa construção se inicia pela imitação: o aluno imita seu parceiro mais capacitado, quase sempre o professor, e procura

fazer como ele faz, até apropriar-se da estrutura cognitiva dele. No ser humano, a imitação é um processo cognitivo, não uma simples repetição mecânica como a fala de um papagaio. É a forma pela qual uma pessoa se apodera do saber do outro. O ser humano só imita o que pode compreender. Então, se a atividade experimental e o conhecimento proporcionado por ela estiverem ao alcance do aluno, a imitação surge como um refazer consciente dessa atividade, podendo levá-lo a compreender o experimento e as ideias a ele relacionadas.

Mas o professor precisa conscientizar-se de que o resultado de qualquer aprendizagem dificilmente é imediato. Como já foi dito por Piaget (1997), o desenvolvimento cognitivo é, em última análise, um processo fisiológico de construção de novas estruturas mentais que sempre demanda algum tempo para se completar.

Com isso, a aprendizagem resulta das interações sociais que permitem o ensino de determinado conteúdo e são capazes de estimular uma compreensão desse conteúdo. O objetivo fundante da atividade experimental torna-se, então, estabelecer uma relação entre os experimentos e a interação social, ajudando o professor na condução de suas aulas de maneira mais acessível e eficiente, fazendo com que o aluno entenda, de forma simples e eficaz, aquilo que foi transmitido.

Segundo Gaspar (2014), há três vantagens de uma atividade experimental sobre as atividades teóricas:

*A primeira está na quase certeza de que durante a atividade experimental, todos os parceiros vão discutir as mesmas ideias e tentar responder às mesmas perguntas. Para isso basta que todos os participantes entendam com clareza as questões propostas e suas soluções, o que em atividades experimentais bem planejadas e executadas, é mais facilmente conseguido graças ao próprio experimento que concretiza essas questões e soluções.*

*A segunda vantagem está na riqueza da interação social que ela desencadeia. A atividade teórica é sempre limitada pelo enunciado, o qual obrigatoriamente restringe as condições iniciais para que haja procedimentos e respostas convergentes. Num experimento não é possível desprezar fatores ambientais, como temperatura, umidade, pressão atmosférica, vento, claridade e atrito, além das intercorrências da própria montagem (ajustes, adaptações e imprevistos). Todos esses fatores podem ser objetos de questionamentos que enriquecem a interação social.*

*A terceira vantagem se refere ao maior envolvimento do aluno, pois ele dificilmente arrisca previsões quanto ao resultado de atividades teóricas, dúvidas ou contestações correm o risco de serem refutadas por argumento da autoridade, sabendo disso o aluno se abstém de*

*participar, fragilizando a interação social. Na atividade experimental isso não ocorre, os alunos interagem, participam, pois eles têm a possibilidade da observação direta e imediata da resposta, a qual envolve afetivamente o aluno. (GASPAR, 2014, p. 25.)*

Essas vantagens garantem o desencadeamento de uma interação mais rica, motivadora e, conseqüentemente, mais eficaz. Para Gaspar, toda atividade experimental é eficiente, seja ela uma atividade de demonstração realizada pelo professor, por um aluno ou por grupos de alunos para o restante da classe.

Com base no que foi discutido até aqui, podemos estabelecer quatro critérios orientadores de uma pedagogia para atividades experimentais inspirada na teoria de Vygotsky (GASPAR, 2014, p. 26):

1. Estar ao alcance da zona de desenvolvimento imediato do aluno:

Esse nível é indicativo de ciclos de desenvolvimento já completos, isto é, refere-se às funções psicológicas que a criança já construiu até determinado momento. O professor deve adequar a experiência à explicação, ou seja, utilizar um modelo físico de fácil compreensão.

2. Garantir que um parceiro mais capaz participe da atividade:

O professor deve identificar alunos mais capacitados, que saibam interagir e orientar a atividade com mais destreza, pois, de acordo com Vygotsky, não são as ações materiais diretas e individuais que possibilitam a aprendizagem, mas a conversa, a discussão verbal com quem sabe, pois a interiorização da linguagem cria as estruturas do pensamento que possibilitam a compreensão.

3. Garantir o compartilhamento das perguntas propostas e das respostas pretendidas:

É necessário que a atividade induza de forma clara quais as ações pretendidas, auxiliando a compreensão de todos.

4. Garantir o compartilhamento da linguagem utilizada:

Os alunos devem estar preparados para analisar os gráficos, conhecer os símbolos e inter-relacionar-se com a linguagem utilizada para a explicação da atividade e de seus fenômenos observáveis.

Todas essas condições demandam que o professor teste previamente a atividade, ou seja, que procure realizá-la nas mesmas condições em que pretende aplicá-la, pois não há nada mais frustrante para o aluno e para o professor do que o insucesso do experimento.

Considerando o que preconiza Gaspar (2014, p. 26), as atividades propostas neste trabalho baseiam-se nos seguintes tipos de atividade experimental:

1. Atividade experimental realizada em grupos de alunos, por toda a classe.
2. Atividade ou projeto experimental extraclasse realizada por grupos de alunos.

Essa escolha foi devida à compra de materiais pelos grupos escolhidos e também à reutilização de alguns equipamentos, como ímãs, fios de cobre, entre outros, objetivando assim a diminuição no custo com materiais.

Inicialmente foi proposto aos alunos o desenvolvimento de um projeto extraclasse, consistindo na construção de um experimento que seria posteriormente exposto em uma mostra de eletromagnetismo aberta à comunidade. Tal atividade (A2) permitiu aos estudantes procurar um lugar ideal para a montagem de seus experimentos, estabelecer roteiros e identificar possíveis falhas nos experimentos propostos. O planejamento do desenvolvimento dos projetos também previa a interação entre os alunos e o professor por meio de perguntas e dúvidas durante a apresentação dos experimentos em sala de aula, em uma etapa prévia à realização da mostra para a comunidade. A discussão prévia em sala consistiu em etapa necessária e fundamental para a construção dos roteiros de orientação das atividades.

Segundo Vygotsky (2001, p. 167), o aluno não aprende o conteúdo teórico da experiência com sua montagem, nem mesmo com a simples realização de medidas ou cálculos, mas com as interações sociais desencadeadas durante sua realização, e essas interações podem também ser originadas por questões propostas para discussão nesses roteiros. Esse processo pode ser entendido como atividade do tipo 1, na classificação de Gaspar.

Cabe ainda observar que, para o sucesso das atividades experimentais, o professor deverá interagir constantemente com os alunos, ajudando-os na montagem de dispositivos, na resolução de dúvidas pertinentes ao experimento, na localização e compra de materiais de uso comum para as experiências e na discussão das teorias que explicam os resultados experimentais.

Com a abordagem proposta, pretende-se mostrar que é possível ensinar a alunos do Ensino Médio sem uma forte base matemática os conceitos associados às Leis de Maxwell e às ondas eletromagnéticas, bem como relacionar a teoria do Eletromagnetismo aos fenômenos e às aplicações cotidianas.

### 3. CONTEÚDO DE FÍSICA

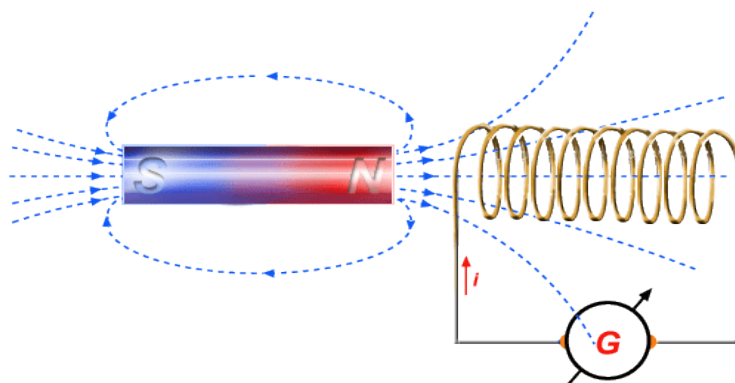
---

*Faraday e Henry revolucionaram a Física do século XVII ao descobrir que a corrente elétrica pode ser produzida em um fio simplesmente movendo-se um ímã para dentro e para fora de uma bobina.*

#### 3.1 Indução eletromagnética

Faraday e Henry descobriram que não era necessária nenhuma bateria ou outra fonte de voltagem para produzir corrente elétrica na bobina: bastava apenas o movimento de um ímã indo e voltando em relação à bobina (Figura 3.1). Ou seja, quando a barra era introduzida no solenoide, o galvanômetro acusava a passagem de corrente, e quando era removida, produzia-se uma corrente no sentido oposto (NUSSENZVEIG, 1997, p.162). Os pesquisadores identificaram que a voltagem era causada ou induzida pelo movimento relativo entre a bobina e o campo magnético do ímã, não importando quem se movia, resultando assim em uma variação do campo magnético que o atravessava. Concluíram também que quanto maior o número de espiras da bobina, maior seria a voltagem induzida.

Figura 3.1 — Demonstração do ímã aproximando-se da bobina, ocasionando uma mudança no ponteiro do galvanômetro, caracterizando a presença de corrente elétrica.



Fonte: [https://efisica.atp.usp.br/home\\_inducaoletromagnetica](https://efisica.atp.usp.br/home_inducaoletromagnetica). Acesso em: 18 de jul. 2017.

O físico dinamarquês Hans Christian Oersted, em 1819, conduziu um pequeno experimento, onde observou a deflexão da agulha de uma bússola colocada próximo a uma corrente elétrica. No entanto, era sabido que uma agulha magnética, suspensa pelo centro de gravidade, só entra em movimento quando está em um campo magnético. Dessa

forma, o deslocamento da agulha só era explicado pela formação de um campo magnético em torno do condutor percorrido por corrente elétrica. Observou-se que ao fazer circular eletricidade através de um cabo produziam-se perturbações e oscilações na agulha da bússola, mesmo sem contato físico entre os dois. Foi essa a primeira vez que se observou o aparecimento de um campo magnético juntamente com uma corrente elétrica (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2016).

Faraday afirmava que o ímã possui um “campo” de força invisível que se propaga pelo espaço circunvizinho, tanto mais forte quanto mais próximo ao ímã e mais fraco quanto mais distante. Para se determinar a forma do campo magnético, bastava espalhar um pouco de limalha de ferro sobre um papel e colocar um ímã embaixo do mesmo (MARCATO, 2009, p. 45).

### 3.2 Lei de Gauss

A Lei de Gauss introduz o conceito de fluxo total do campo elétrico através de uma superfície fechada  $A$  como sendo proporcional à carga elétrica contida no interior do volume delimitado por essa superfície. Matematicamente isso equivale a:

$$\Phi = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{int}}{\epsilon_0}$$

(Equação 3.1)

Onde:  $q_{int}$  é a carga interna à superfície, composta pela soma de cargas  $q_1 + q_2 + q_3 + \dots$ , sendo  $\vec{E}$  seu campo elétrico total, em qualquer ponto, dado pela soma vetorial dos campos produzidos por cada uma das cargas. Na Equação 3.1, consideramos o fluxo total como sendo a soma dos fluxos de cada uma das cargas e, portanto, o fluxo elétrico total através de uma superfície fechada é igual à carga elétrica total (líquida) existente no interior da superfície dividida por  $\epsilon_0$ <sup>1</sup> (OLIVEIRA, 2017, p. 3).

Outra forma de explicar como a Lei de Gauss funciona é dizer que o fluxo depende do número de linhas de campo que deixa a carga, e isso é independente da forma da superfície imaginária de Gauss que escolhermos para circundar a carga.

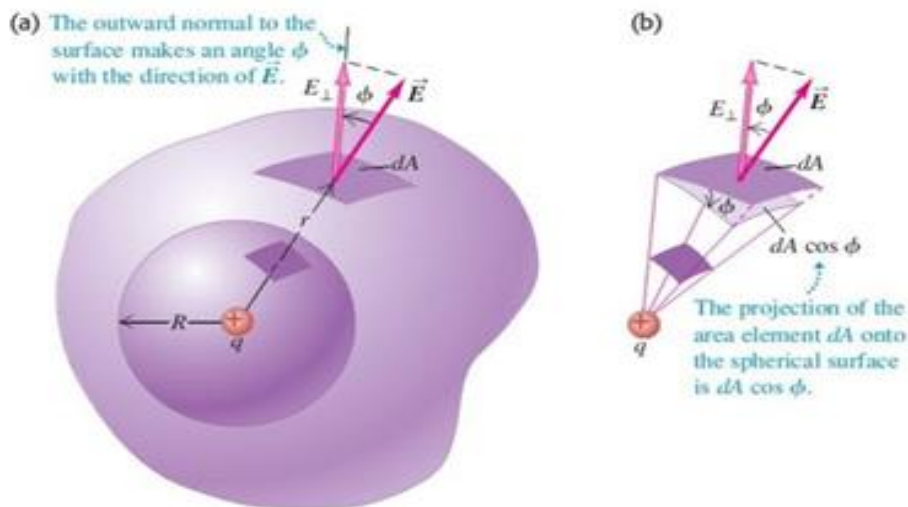
---

<sup>1</sup> Permissividade elétrica no vácuo, que tem como valor  $8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m. (HALLIDAY, 2008.)



Considere o elemento de área orientado  $dA$  sobre uma superfície qualquer, como mostrado na Figura 3.2(a). É possível mostrar que esse elemento se relaciona a um elemento de superfície de uma esfera  $S$  de raio  $R$ , através do cosseno do ângulo  $\phi$ , formado entre os vetores normais a  $dA$  e a um elemento de área da esfera  $S$ , conforme Figura 3.2(b). Podemos, então, dividir toda a superfície irregular em elementos de área  $dA$ , que se projetam sobre elementos de área na esfera  $S$ . Dessa maneira, percebe-se que o fluxo do campo elétrico através da superfície inteira  $S$  é o mesmo através da superfície irregular. Isso é uma consequência de o campo decair com o quadrado da distância, enquanto a área da superfície cresce com o quadrado da distância.

Figura 3.2 — Em (a), a normal externa à superfície faz um ângulo com a direção do campo elétrico  $\vec{E}$ ; em (b), a projeção do elemento da área na superfície esférica é  $dA \cdot \cos\Phi$ .



Fonte: SEARS e ZEMANSKY, 2009, vol. 3, p. 48.

Dessa forma, define-se a Lei de Gauss em sua forma integral (Equação 3.1) como sendo:

*O fluxo de um campo elétrico atravessando perpendicularmente uma superfície é igual à carga total englobada por essa superfície dividida por  $\epsilon_0$ . (SEARS e ZEMANSKY, 2009, p. 49.)*

Em sua forma diferencial, temos:

$$\text{div } \vec{E} = \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{1}{\epsilon_0} \rho$$

(Equação 3.2)

Na Equação 3.2:

*Se a  $q_{int} < 0$ , chamamos de sorvedouro de campo elétrico; se a  $q_{int} > 0$ , chamamos de fonte de campo elétrico, sendo que ambas são iguais à densidade de carga no interior dessa superfície. (OLIVEIRA, 2017, p. 5.)*

### 3.3 Lei de Faraday

Michael Faraday estabeleceu que a tensão elétrica induzida em uma bobina é proporcional ao produto do número de espiras pela taxa com a qual o fluxo do campo magnético deve variar no interior das espiras (HEWIIT, 2002, p. 425). Portanto, conseguimos induzir tensão elétrica movendo uma espira através do campo magnético de um ímã, movendo um ímã próximo a uma espira, e também alterando a corrente em uma espira localizada próxima. Nesses três casos, existe um campo magnético variável no interior da espira (HEWIIT, 2002, p. 426).

Quando aproximamos um ímã de uma bobina feita com material condutor, ocorre variação do fluxo no campo magnético criado pelo ímã atravessando uma seção transversal da bobina. Essa variação produz uma tensão elétrica capaz de induzir corrente elétrica no condutor. Se, da mesma maneira, fizermos a aproximação do ímã a uma bobina igual produzida com material isolante, haverá tensão elétrica induzida, porém sem corrente induzida, uma vez que não há elétrons livres no material isolante e, logo, não haverá movimento de cargas elétricas. No caso em que o ímã está próximo à bobina, porém em repouso, o fluxo magnético permanece constante e não ocorre corrente induzida.

O elemento comum em todos os efeitos da indução é a mudança do fluxo magnético através de um circuito. Pelo conceito de fluxo magnético para um elemento de área infinitesimal  $d\vec{A}$  e um campo magnético  $\vec{B}$ , o fluxo magnético  $\Phi_B$  através da área é:

$$d\phi_B = \vec{B} \cdot d\vec{A} = B_{\perp} dA = BdA \cdot \cos\phi$$

(Equação 3.3)

Onde:  $B_{\perp}$  é a componente de  $\vec{B}$  perpendicular à superfície do elemento de área, e  $\phi$  é o ângulo entre  $\vec{B}$  e  $d\vec{A}$ . O fluxo magnético total através de uma área finita é a integral dessa expressão pela área.

$$\phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} = \int B \, dA \cdot \cos\phi$$

(Equação 3.4)

Se  $\vec{B}$  é uniforme sobre uma área plana, então:

$$\phi_B = \vec{B} \cdot \vec{A} = B \cdot A \cos\phi$$

(Equação 3.5)

A Lei da Indução de Faraday estabelece o seguinte: “A força eletromotriz induzida em uma espira fechada de área  $A$  é igual ao negativo da taxa de variação do fluxo magnético dessa espira” (SERWAY, 2013, p. 181). Matematicamente, essa Lei pode ser escrita como:

$$\varepsilon = - \frac{d\phi_B}{dt}$$

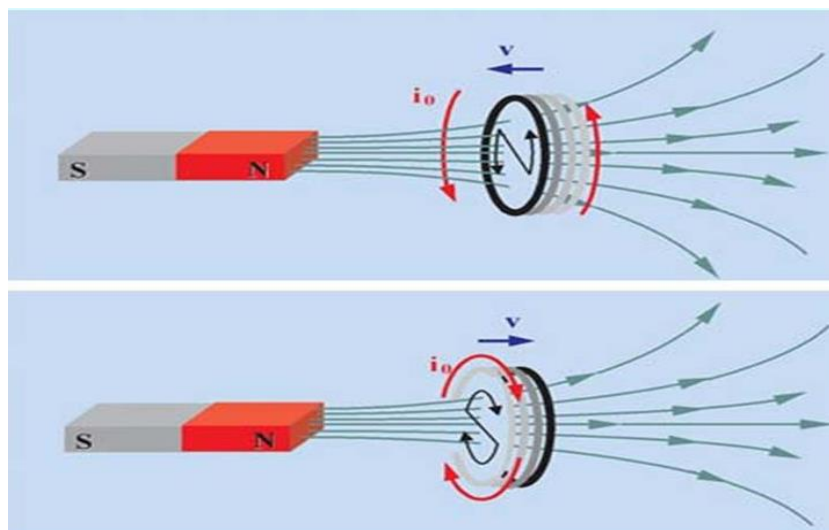
(Equação 3.6)

O fenômeno de indução descrito por Faraday é utilizado hoje em várias áreas como sistemas de segurança em geral, cartões de crédito, sinais de trânsito, motores, geradores, sistemas de computadores, usinas nucleares e outras (HEWITT, 2002, p. 428).

### 3.4 Lei de Lenz

A Lei de Lenz descreve o sentido da corrente elétrica induzida, que não era conhecido com a Lei de Faraday. O sentido da corrente elétrica induzida é tal que o campo magnético por ela produzido sempre se opõe à variação do fluxo do campo magnético que a originou (Figura 3.3). A direção de qualquer efeito da indução magnética é aquela que se opõe à causa desse efeito (SEARS e ZEMANSKY, 2009, p. 322).

Figura 3.3 — Representação de duas situações: na primeira, o fluxo magnético aumenta por causa do aumento do campo magnético e com isso a corrente elétrica induzida gera um campo magnético que diminui esse fluxo, no sentido anti-horário. Na segunda situação, o fluxo magnético diminui por causa da diminuição do campo magnético e com isso a corrente elétrica induzida gera um campo magnético no sentido de aumentar esse fluxo, por sua vez, no sentido horário.



Fonte: SEARS e ZEMANSKY, 2009, p. 325.

A Lei de Lenz estabelece uma relação entre o sentido do fluxo induzido e o sentido do fluxo indutor e, com isso, possibilita determinar o sentido da corrente induzida (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2016). A Lei de Lenz é na verdade um postulado, porque não pode ser demonstrada diretamente. Seu enunciado é:

*Quando o fluxo indutor está aumentando, o fluxo induzido tem sentido oposto; quando o fluxo indutor está diminuindo, o fluxo induzido tem o mesmo sentido que o indutor. (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2016.)*

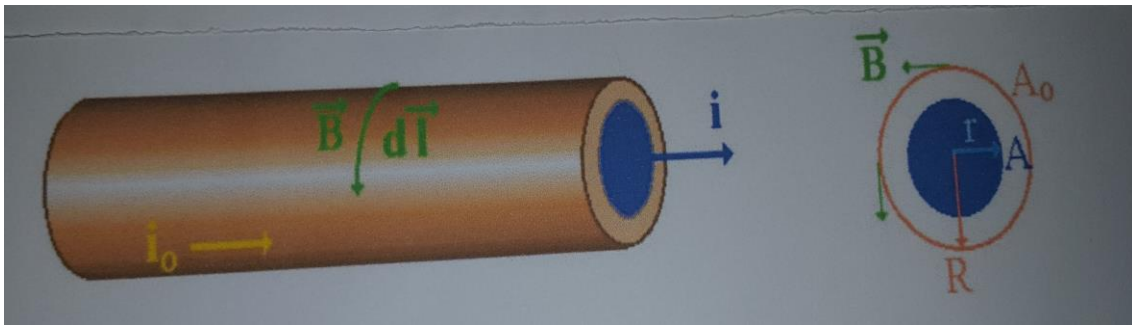
### 3.5 Lei de Ampère

A Lei de Ampère é uma das leis fundamentais do Eletromagnetismo. Ela afirma que a integral de linha sobre um caminho fechado do campo magnético  $\vec{B}$  produzido por correntes é proporcional à corrente líquida que atravessa a superfície limitada pelo caminho de integração, conforme Figura 3.4 (SERWAY, 2013, p. 160).

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} \propto i$$

(Equação 3.7)

Figura 3.4 — Campos magnéticos induzidos por correntes elétricas.



Fonte: [https://studylibpot.com/doc/377999/lei\\_de\\_ampere](https://studylibpot.com/doc/377999/lei_de_ampere) . Acesso em: 20 de nov. 2018.

A Lei de Ampère é muito semelhante à Lei de Gauss, inclusive quanto à sua aplicabilidade a problemas práticos. Comparando as expressões analíticas da Lei de Gauss ( $\epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = q$ ) e da Lei de Ampère, vê-se que a primeira envolve a integral de superfície  $\oint \vec{E} \cdot d\vec{s}$ , e a segunda, a integral de linha, ( $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l}$ ), o que limita a aplicabilidade destas leis em casos práticos. A Lei de Ampère é útil para calcular campos magnéticos criados por correntes que apresentem uma simetria suficientemente adequada para permitir uma fácil determinação da integral de linha, mas isto não quer dizer que esta lei não seja geral; apenas, que se torna difícil aplicá-la de maneira conveniente para distribuições de correntes que não tenham simetria suficiente. Ela se constitui em um instrumento de cálculo para campos magnéticos semelhante à Lei de Gauss no caso de campos elétricos (NUSSENZVEIG, 1997, p. 140).

Outra similaridade entre as duas leis consiste no fato de que o campo ( $\vec{E}$  ou  $\vec{B}$ ) que aparece na integral é o campo total na superfície (Gauss) ou na linha (Ampère) e não somente o campo devido a carga ou corrente internas, como muitas vezes se é levado a pensar. Para uma curva fechada  $C$  qualquer orientada, temos:

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i$$

(Equação 3.8)

onde  $\mu_0$  é a constante de permeabilidade magnética no vácuo que vale  $4\pi \cdot 10^{-7} \frac{N}{A^2}$ .

### 3.6 O termo da corrente de deslocamento de Maxwell

Considere um capacitor de placas paralelas sendo carregado. Pela Lei de Gauss, a carga em um determinado instante é dada por:

$$q = \epsilon_0 \Phi_E^S$$

(Equação 3.9),

onde  $\Phi_E^S$  é o fluxo do campo elétrico  $\vec{E}$  através de uma superfície S que contém  $q$ . A corrente no circuito associado é:

$$i = \frac{dq}{dt} = \epsilon_0 \frac{d\Phi_E^S}{dt}$$

(Equação 3.10)

Entretanto, entre as placas, não há movimento de cargas e não há, portanto, corrente de condução. Para impor uma “continuidade” da corrente, Maxwell propôs a ideia de uma corrente de deslocamento ( $i_d$ ) entre as placas igual à corrente de condução no circuito:

$$i_d = i = \epsilon_0 \frac{d\Phi_E^S}{dt}$$

(Equação 3.11)

O nome não era apropriado, pois não há movimento de cargas que crie corrente entre as placas. A ideia, no entanto, é que a variação temporal do fluxo elétrico faz o papel de uma corrente imaginária entre as placas. Em outras palavras, da mesma forma que no circuito existe um campo elétrico empurrando as cargas e criando a corrente de condução, entre as placas também existe um campo elétrico. Ele simplesmente não tem cargas para criar uma corrente de condução, mas a ele está associada uma corrente de deslocamento (HALLIDAY, 2007 e SERWAY, 2013).

Entre as placas do capacitor  $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$  e o fluxo da superfície S de área A do capacitor é  $\Phi_E^S = E \cdot A = \frac{\sigma A}{\epsilon_0} = \frac{q}{\epsilon_0}$ , portanto  $i_d$  fica:

$$i_d = \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E^S}{dt} = \varepsilon_0 \frac{d}{dt} \left( \frac{q}{\varepsilon_0} \right) = \frac{dq}{dt} = i$$

(Equação 3.12)

Maxwell propôs, então, que esta corrente de deslocamento (Equação 3.12) deve ser associada à corrente de condução na Lei de Ampère.

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0(i_{cond} + i_d)$$

(Equação 3.13),

ou seja,

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i_{cond} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E^S}{dt}$$

(Equação 3.14),

Equação essa que foi denominada Lei de Ampère- Maxwell.

Com a adição do termo da corrente de deslocamento se estabelece uma simetria com a Lei de Faraday: da mesma forma que a variação do fluxo magnético gera um campo elétrico, vê-se agora que a variação do fluxo elétrico gera um campo magnético (SEARS e ZEMANSKY, 2007, p. 411).

### 3.7 Equações de Maxwell

Maxwell formalizou uma maneira de escrever o que se sabia sobre a eletricidade e o magnetismo, unindo as Leis de Gauss, Faraday e Ampère em quatro equações. Essas equações descrevem como cargas e correntes dão origem a campos elétricos e magnéticos. Na forma integral, as equações são escritas da seguinte maneira (SERWAY, 2013, p. 211):

$$\Phi_E^S = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{q_{int}}{\varepsilon_0} \quad (\text{Lei de Gauss}) \quad (\text{Equação 3.15})$$

$$\Phi_B^S = \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0 \quad (\text{Lei de Gauss - Magnetismo}) \quad (\text{Equação 3.16})$$

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B^C}{dt} \quad (\text{Lei de Faraday}) \quad (\text{Equação 3.17})$$

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i_{in} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E^C}{dt} \quad (\text{Lei de Ampère-Maxwell}) \quad (\text{Equação 3.18}),$$

onde:

$S$  é uma superfície fechada;

$d\vec{S}$  é um vetor perpendicular a  $S$  ;

$C$  é uma curva fechada;

$d\vec{l}$  é um vetor paralelo (tangencial) a  $C$  ;

$\vec{E}$  é o campo elétrico;

$\vec{B}$  é o campo magnético;

$\Phi_E^S$  é o fluxo elétrico que atravessa  $S$  ;

$\Phi_B^S$  é o fluxo magnético que atravessa  $S$  ;

$q_{int}$  é a carga elétrica interna dentro de  $S$  ;

$i_{in} = \frac{dq}{dt}$  é a corrente elétrica que atravessa  $C$  ;

$\Phi_E^C$  é o fluxo elétrico na superfície aberta apoiada em  $C$  ;

$\Phi_B^C$  é o fluxo magnético na superfície aberta apoiada em  $C$  ;

$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$  é a permissividade elétrica no vácuo;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T.m/A} = 1.26 \cdot 10^{-6} \text{ T.m/A}$  é a permeabilidade magnética no vácuo.

É importante destacar que:

- A Lei de Gauss para a eletricidade: indica como cargas elétricas criam campos elétricos. Note que somente as cargas dentro da superfície gaussiana contribuem para o fluxo elétrico.

- A Lei de Gauss do magnetismo: formaliza a inexistência de monopolos magnéticos (cargas magnéticas isoladas).

- A Lei de Indução de Faraday: indica que um fluxo magnético variável pode induzir a formação de um campo elétrico circulante e, por conseguinte, uma diferença de potencial e uma corrente elétrica. O sinal negativo garante que a corrente induzida produz um campo magnético que se opõe à variação que lhe deu origem (Lei de Lenz). Caso contrário, a situação seria incompatível com conservação de energia.



- A Lei de Ampère-Maxwell descreve duas maneiras de gerar um campo magnético circulante: a) através de correntes elétricas; b) por variação temporal do fluxo elétrico.

As equações de Maxwell são comumente apresentadas na chamada forma diferencial, que permite efetuar cálculos e previsões para regiões pontuais do espaço:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (\text{Equação 3.19})$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (\text{Equação 3.20})$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (\text{Equação 3.21})$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (\text{Equação 3.22})$$

A leitura e interpretação das equações acima faz-se da seguinte maneira (MARCATO, 2009, p. 4):

- O triângulo invertido (nabla) expressa a variação dos campos elétricos e magnéticos no espaço tridimensional.
- $\vec{E}$  e  $\vec{B}$  representam os campos elétrico e magnético, respectivamente.
- Os produtos ( $\cdot$ ) e ( $\times$ ) representam operações vetoriais, capazes de descrever as variações espaciais dos campos elétrico e magnético.
- $\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$  e  $\frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$  representam a variação temporal, ou seja, o ritmo de mudança dos campos elétrico e magnético em função do tempo.
- $\vec{J}$  representa a densidade de corrente elétrica, ou seja, corrente por unidade de área da seção transversal.
- $\rho$  representa a densidade das cargas elétricas, ou seja, quantidade de cargas por unidade de volume.
- $\mu_0$  e  $\epsilon_0$  são propriedades do vácuo onde se medem  $\vec{E}$  e  $\vec{B}$ , cujos valores constantes são tabelados.

Interpretando de forma literal, podemos transcrever as equações de Maxwell como sendo (MARCATO, 2009, p. 5):

1. Expressa a maneira pela qual um campo elétrico, devido às cargas elétricas, varia em função da distância (enfraquece à medida que se afasta da carga). Por outro lado, quanto maior for a densidade da carga (maior quantidade de elétrons em um determinado espaço), mais forte será seu campo.

2. Não existem “monopolos” magnéticos, ou seja, ao cortar um ímã ao meio, não haverá um polo “norte” ou um polo “sul” isolado; cada ímã terá seus polos “norte” e “sul” respectivos.

3. Mostra como um campo magnético variável no tempo induz um campo elétrico.

4. Descreve o contrário: como um campo elétrico variável no tempo (corrente elétrica) induz um campo magnético.

Na ausência de fontes de cargas ou correntes, ou mesmo em uma região do espaço muito longe dessas fontes, essas quatro equações podem ser reescritas como:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0 \quad (\text{Equação 3.23})$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (\text{Equação 3.24})$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (\text{Equação 3.25})$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (\text{Equação 3.26})$$

Nesse formato, fica evidente a importância do termo da corrente de deslocamento de Maxwell na Equação 3.26, que é responsável pela indução de campo magnético a partir de um campo elétrico que varia no tempo.

As Equações 3.25 e 3.26 são fundamentais para a interpretação do fenômeno de propagação das ondas eletromagnéticas, uma vez que campos magnéticos variáveis no tempo geram campos elétricos, e campos elétricos variáveis no tempo geram campos magnéticos. É por isso que uma onda eletromagnética se propaga indefinidamente no vácuo, mesmo estando numa região muito longe das fontes que a emitiram.

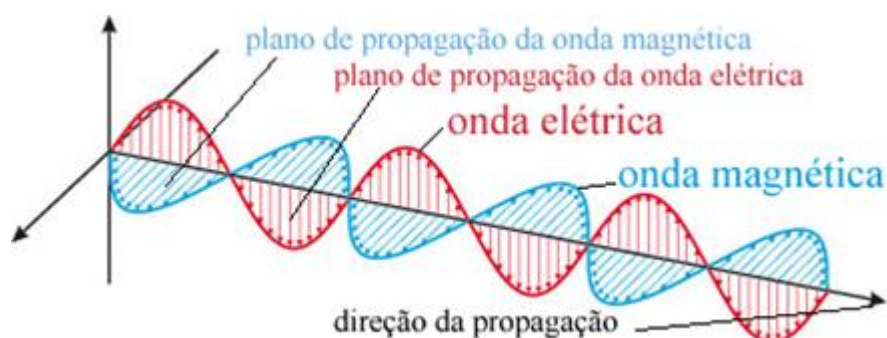
### 3.8 Ondas eletromagnéticas

Não há como imaginarmos nossa sociedade sem as facilidades proporcionadas por aparelhos que transmitam ou recebam ondas eletromagnéticas: o rádio, a televisão, o celular, o micro-ondas, aparelhos de raios X, entre outros. O funcionamento de todos esses aparelhos tem relação com o conceito de propagação de uma onda eletromagnética.

A propagação de ondas eletromagnéticas ocorre quando um campo elétrico variante no tempo produz um campo magnético também variante no tempo, que por sua vez produz um campo elétrico, e assim por diante, ocorrendo desta forma a propagação de energia (Figura 3.5). As ondas eletromagnéticas podem se propagar tanto no espaço livre quanto através de outros meios.

De acordo com a Lei de Faraday, a variação de um campo magnético ocasiona o surgimento de um campo elétrico; esse campo elétrico induzido também é variável e, de acordo com a corrente de deslocamento de Maxwell, gera um campo magnético induzido; e assim ocorre sucessivamente a geração de um campo a partir do outro, levando à conclusão de que os campos elétricos e magnéticos são interdependentes, se propagando perpendicularmente entre si e também quanto à direção de propagação. Esses campos oscilam em concordância de fase e se propagam no vácuo com a velocidade da luz.

Figura 3.5 — Representação de uma onda eletromagnética.



Fonte: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/natureza-luz.htm>. Acesso em: 22 de abr. 2017.

## **4. DESCRIÇÃO DO DESENVOLVIMENTO E DA APLICAÇÃO DO PRODUTO**

---

Durante muitos anos trabalhando como professor de Física do Ensino Médio, pudemos perceber as dificuldades encontradas pela maioria dos alunos quando o assunto se referia ao eletromagnetismo. Para explicar o campo magnético, usávamos ímãs e limalha de ferro, ocasiões em que percebíamos que a demonstração despertava nos alunos grande interesse e uma busca por efetivamente colocar a “mão na massa”, mostrando ao professor que tinham compreendido e que também poderiam passar esse conhecimento adquirido aos colegas.

Apesar do interesse nas atividades práticas, a difícil visualização de espaços tridimensionais e a Matemática aplicada durante a realização de exercícios vinculados à geração de campos e à indução eletromagnética geravam dificuldade e desânimo nos alunos, o que limitava, em muitos casos, as discussões teóricas que deveriam decorrer dos exercícios. O conteúdo associado às leis de Maxwell, que regem a propagação de ondas eletromagnéticas, era sempre visto por muitos, porém, entendido por poucos.

### **4.1. Apresentação e aplicação do produto**

Em relação ao estudo do Eletromagnetismo, como em toda Física, o que ocorre é um quase que total desinteresse dos alunos por aquilo que ela propõe a estudar e discutir. É objetivando construir práticas educacionais capazes de romper a barreira do desinteresse que os docentes se veem desafiados a desenvolver meios e técnicas que tornem a aula prazerosa e que proporcionem aos alunos uma aprendizagem significativa.

Envolver o aluno numa experimentação é proporcionar oportunidade de questionar o seu conhecimento e colocá-lo numa posição de interessado em seu processo de ensino-aprendizagem, permitindo-lhe compreender o fenômeno estudado.

Por meio desse projeto, visamos mostrar como a utilização de experimentos em aulas sobre Eletromagnetismo é importante e essencial no processo de ensino-aprendizagem em Física, pois há uma grande dificuldade por parte dos alunos em assimilar as teorias que são ensinadas pelos professores em sala de aula e, conseqüentemente, aplicá-las em exercícios relacionados ao mesmo conteúdo.

Em nosso ponto de vista, o trabalho com os conceitos de Eletromagnetismo no Ensino Médio requer uma proposta que viabilize a sua transposição didática para esse nível de ensino. Essa proposta deve ser incrementada com atividades experimentais que permitam a visualização de um determinado fenômeno e a participação efetiva dos alunos durante essas apresentações. As atividades experimentais funcionariam como elemento facilitador do processo de ensino e aprendizagem.

Para tanto, foi proposta aos alunos uma demonstração de experimentos que descrevem princípios básicos do eletromagnetismo, tais como: geração de um campo magnético a partir de uma corrente elétrica; ação de um campo magnético sobre uma corrente elétrica; geração de uma corrente elétrica induzida a partir de um campo magnético variável, usando-se materiais reciclados e de baixo custo.

O trabalho foi realizado com alunos do terceiro ano do Ensino Médio de uma escola estadual no interior de São Paulo, no primeiro semestre de 2017.

Para análise do aproveitamento dos estudantes com relação ao produto, foi aplicada uma avaliação contendo 30 questões de múltipla escolha (Apêndice 1) no mês de agosto de 2017. Esse período foi escolhido porque, após as férias de julho, seria possível melhor observar nos alunos a retenção ou não dos conteúdos estudados em aula.

Para comparação dos resultados obtidos, a mesma avaliação havia sido aplicada durante o mesmo período pós-recesso (agosto) de 2016, aos estudantes do terceiro ano do Ensino Médio da mesma escola, os quais não haviam tido contato com o produto e serão chamados de Turma Controle.

## **4.2 Conteúdo e estratégias**

### **4.2.1 Criação de organizadores prévios**

Primeiramente, procuramos trabalhar o domínio do conhecimento, ou seja, os conhecimentos prévios dos alunos, tanto com a Turma de 2016, composta por três salas (denominada Turma Controle), quanto com a turma 2017, também composta por três salas (denominada Turma de Aplicação do Produto).

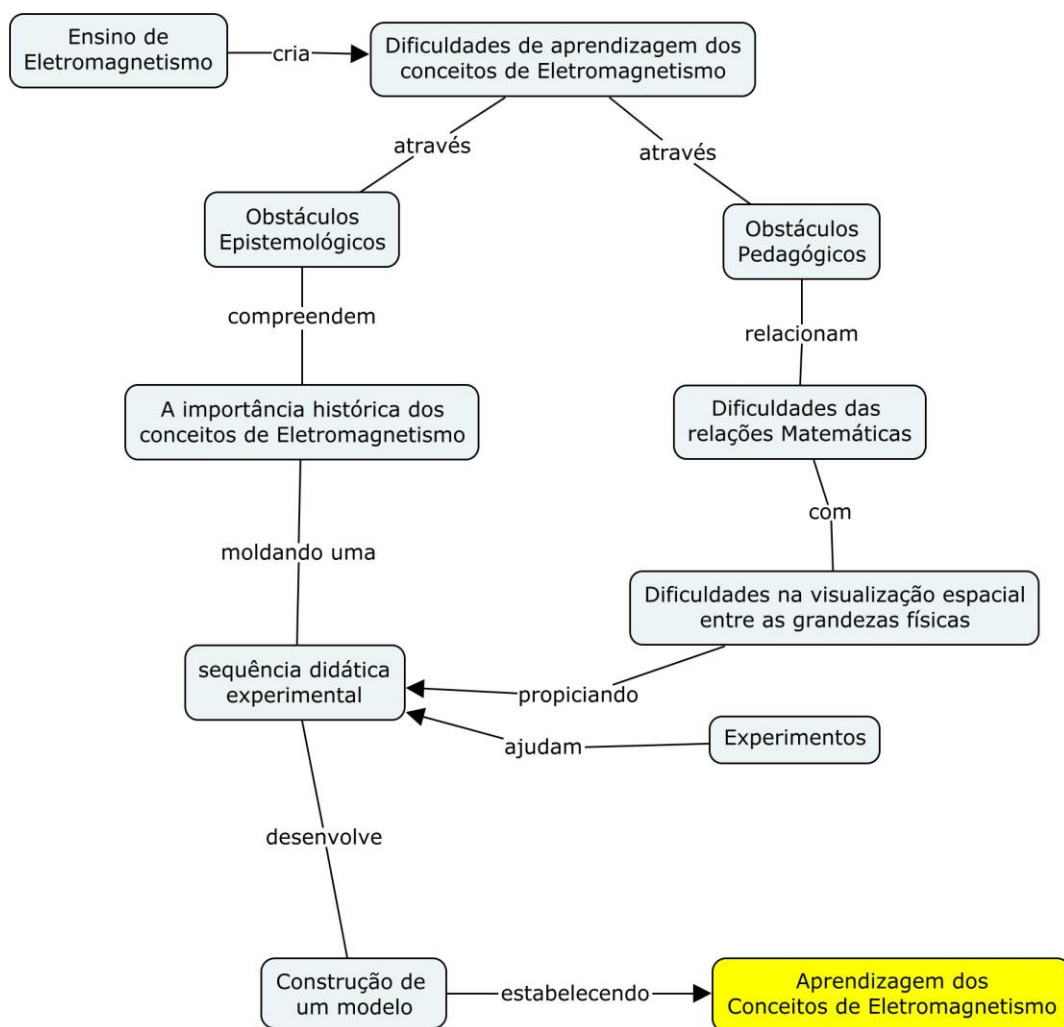
As turmas de 2016 tiveram aulas teóricas, com ajuda de audiovisuais, em que foram vistos no *site* Youtube vídeos relativos ao conteúdo abordado, além da matéria passada em lousa e utilização do livro didático *Ser Protagonista, Física, 3º Ano/Ensino Médio*, bem como do *Caderno do Aluno do Estado de São Paulo, Vol. 3*. Também foram

utilizados como recursos alguns artigos da *Revista Brasileira de Física* (ASSIS, 2007; MAGALHÃES, 2002 e FERREIRA, 2015).

As turmas de 2017 também tiveram suporte pedagógico, com o diferencial do produto proposto. O conteúdo de Eletromagnetismo (magnetismo em ímãs e bússolas, campo magnético, força magnética, indução magnética, fluxo magnético, ondas eletromagnéticas, Lei de Gauss, Lei de Ampère, Lei de Faraday e Leis de Maxwell) foi trabalhado nos meses de abril, maio e junho do primeiro semestre de 2016 e 2017.

Para a turma 2017, utilizamos como recurso adicional a história do eletromagnetismo, com utilização de um mapa conceitual (Figura 4.1), tendo como objetivo criar alguns organizadores prévios na estrutura cognitiva dos alunos, buscando proporcionar o processo da aprendizagem significativa.

Figura 4.1 — Mapa conceitual idealizado para demonstrar uma sequência didática.



Fonte: Elaboração do autor.

Baseados em Rocha (2002), elencamos, em ordem cronológica, quatro momentos importantes da descoberta e desenvolvimento do Eletromagnetismo, já que as aplicações dessas descobertas estão presentes em nossa vida diária:

1. O efeito magnético da corrente elétrica. Descoberto pelo físico dinamarquês Hans C. Oersted, em 1820. Sua importância está não só nas aplicações tecnológicas que se seguiram à sua descoberta, mas, principalmente, pelo enorme avanço conceitual que ela significou. Naquele mesmo ano, os franceses Dominique F. Arago e Joseph L. Gay-Lussac inventaram o eletroímã, que nada mais é que uma aplicação tecnológica dos resultados obtidos por Oersted e que hoje é usado em campainhas, guindastes, alto-falantes, receptores telefônicos etc. (ROCHA, 2002, p. 186).

2. O efeito da força sobre um fio condutor em meio a um campo magnético. Em 1820, foi descoberto este outro fenômeno básico relacionado ao eletromagnetismo, o qual hoje pode ser enunciado da seguinte forma: surgirá uma força sobre um condutor imerso num campo magnético, toda vez que por ele passar uma corrente elétrica. Este fenômeno é base de funcionamento do motor elétrico, inventado pelo físico inglês Michael Faraday. O motor elétrico é usado em qualquer dispositivo que transforme energia elétrica em energia mecânica, como é o caso do liquidificador, da furadeira e do galvanômetro de bobina móvel (ROCHA, 2002, p. 186).

3. A indução eletromagnética. É a produção de corrente elétrica em um circuito a partir de efeitos magnéticos, sendo outra contribuição importante para o avanço do conhecimento científico e tecnológico. O gerador mecânico de eletricidade, inventado por Faraday em 1831, é a aplicação mais conhecida deste fenômeno. Ele é usado nas usinas hidrelétricas para gerar energia, a qual é utilizada, por exemplo, no consumo doméstico. Este dispositivo transforma energia mecânica em energia elétrica (ROCHA, 2002, p. 186).

4. As ondas eletromagnéticas. Consideradas o mais significativo acontecimento da história da Física, elas foram previstas teoricamente pelo Físico escocês James C. Maxwell, por volta de 1861, e verificadas experimentalmente em 1887 pelo físico alemão Heinrich Hertz. Hoje, ondas de natureza semelhante àsquelas obtidas por Hertz são emitidas, por exemplo, pelas antenas das emissoras de televisão e são captadas pelas antenas dos aparelhos de TV em nossas casas (ROCHA, 2002, p. 186).

Entendemos que na prática educacional, dos quatro fenômenos anteriormente citados, a descoberta do primeiro, o efeito magnético da corrente elétrica, é de

fundamental importância, pois estabelece uma ruptura no conhecimento científico a respeito do Eletromagnetismo. A identificação desta ruptura, pelos alunos, poderá contribuir na superação dos obstáculos de aprendizagem no ensino de Eletromagnetismo, uma vez que eles percebiam que os descobridores e estudiosos do eletromagnetismo também desconheciam os fenômenos que estavam observando e foram capazes de identificá-los experimentalmente e, num segundo passo, construir uma teoria associada a esses novos fenômenos.

Além desse processo, de acordo com Ausubel (2003), o aluno já sabe a ideia, e utiliza esse conhecimento prévio (aulas teóricas) como uma ponte para a construção de um conhecimento novo.

Neste trabalho, o que se pretende alcançar é uma aprendizagem significativa dos alunos, ou seja, a partir do conhecimento prévio sobre determinado assunto, provocar uma interação com um novo conhecimento, no intuito de construir o conhecimento científico. Assim, o aluno conseguirá dar significado ao novo conhecimento e enriquecerá o conhecimento prévio, tornando-o mais estável e consistente.

#### **4.2.2 Desenvolvimento dos projetos experimentais**

No início do semestre, a proposta do projeto experimental foi apresentada aos alunos. Eles deveriam construir e explicar os resultados de alguns experimentos que descrevessem: a) geração de um campo magnético a partir de uma corrente elétrica; b) ação de um campo magnético sobre uma corrente elétrica; c) geração de uma corrente elétrica induzida a partir de um campo magnético variável. Cada um destes fenômenos permite a elaboração de atividades experimentais correspondentes que possam contribuir com o aprendizado da Teoria Eletromagnética.

Para esse trabalho, os alunos foram divididos em grupos de cinco a dez participantes (devido ao custo de cada experiência), de acordo com a afinidade dos estudantes. Cada grupo era responsável pela obtenção do material para a devida experiência e pela escrita e entrega ao professor de um roteiro determinando o que era proposto em seu trabalho, explicando o vínculo com as leis do Eletromagnetismo.

Os alunos tiveram um período de aproximadamente dois meses para realizar a pesquisa em casa e desenvolver os experimentos que seriam apresentados ao professor. Durante esse período, eles contaram com a orientação deste durante as aulas. Ao longo dos meses de maio e junho, cada grupo teve 20 minutos para apresentar à turma o



experimento desenvolvido, com a explicação física relacionada. Nessa atividade, o professor foi orientando os estudantes com comentários quanto ao uso correto dos termos de Física e tirando dúvidas que ainda restavam, respondendo questões surgidas no decorrer da apresentação. As apresentações realizadas pelos estudantes em sala de aula foram gravadas com auxílio de um aparelho celular e trechos dos arquivos de áudio foram transcritos e serão apresentados na próxima seção, permitindo a discussão do aprendizado e dificuldades encontradas pelos alunos.

No dia 24 de junho de 2017 ocorreu a Mostra de Experimentos sobre Eletromagnetismo. Foi escolhida a mesma data de realização da festa junina a fim de se atingir um número maior de participantes e espectadores.

Os próprios alunos participantes do evento verificaram as condições das instalações elétricas da escola e determinaram como local de apresentação das experiências as salas de aula, pois assim não haveria tanta necessidade de extensões elétricas. Eles arrumaram as carteiras em formato de “U” para uma melhor circulação e colocaram cada experimento sobre as carteiras ao lado de um cartaz, confeccionado em cartolina, explicando, respectivamente, o desenvolvimento de sua experiência e sua utilização.

A mostra teve duração de três horas aproximadamente, período no qual os alunos interagiram com a comunidade local, respondendo questões pertinentes aos experimentos e demonstrando habilidade e competência na realização das experiências. Além disso, como já haviam discutido previamente com o professor, eles apresentaram maior segurança e autoconfiança durante essa reapresentação. Os registros fotográficos aqui apresentados foram obtidos tanto na apresentação prévia em sala de aula quanto durante a mostra apresentada à comunidade.

Outros alunos de séries anteriores gostaram da didática e posicionaram-se a favor de uma possível mostra para o ano seguinte.

Enfim, foi uma atividade agradável para os alunos, para o professor e o público que compareceu. Por essa razão, pretendemos repeti-la nos próximos anos nessa ou em outras escolas.

### 4.3 Experimentos

Optou-se pela apresentação de experimentos de fácil demonstração e interpretação, que fossem de grande valor conceitual e que causassem uma motivação intrínseca para os estudantes, ou seja, uma motivação interna, que está alinhada quando o estudante se envolve com atividades estimulantes e prazerosas, que despertem desafios. Para tal escolha, utilizamos alguns *sites*: [www.feiradeciências/sala13](http://www.feiradeciências/sala13), [www.manualdomundo/ eletromagnetismo](http://www.manualdomundo/eletromagnetismo), os quais são específicos no assunto eletromagnetismo. Desses *sites*, foram selecionados, com ajuda dos alunos, dez experimentos diferenciados, de fácil manuseio e compreensão. Procurou-se também escolher os experimentos que permitiam trabalhar com material reciclado e de baixo custo, o qual será demonstrado no produto (manual).

Para os alunos que realizaram os experimentos, foram sugeridas três perguntas: 1. O que foi interessante na montagem do experimento? 2. O que tiveram como dificuldade? 3. Se gostaram dessa experiência, argumentem: o que pode ser melhorado?

Os experimentos confeccionados pelos estudantes serão descritos a seguir:

#### A) Trem magnético

A principal função desse experimento é demonstrar como funcionam os trens elétricos/magnéticos do tipo Maglev<sup>2</sup>. Existe muita Física por trás dos trens magnéticos, e a princípio iríamos utilizar o fio de cobre (Cu) para produzir o circuito por onde a pilha acoplada com os ímãs se movimenta, enrolando continuamente em um cano, com diâmetro maior que os ímãs, formando uma bobina, pois devido a ser um material diamagnético, esse material é constituído de átomos cujas camadas eletrônicas são fechadas, de modo que não há momento de dipolo magnético atômico resultante.

Nesse caso, a aplicação de um campo magnético modifica o movimento orbital dos elétrons atômicos, gerando um momento de dipolo magnético que aponta no sentido contrário àquele do campo magnético externo. Em termos simples, a resposta diamagnética é análoga àquela que ocorre numa espira corrente submetida a um campo

---

<sup>2</sup> Transporte de levitação magnética conhecido como trem magnético que transita numa linha elevada sobre o chão e é propulsionado pelas forças de atração e repulsão do magnetismo através de uso de supercondutores. É uma forma abreviada do termo em inglês *magnetic levitation*, levitação magnética (SERWAY, 2013).

magnético variável, a qual é descrita pela lei de Faraday-Lenz. Ou seja, a corrente induzida na espira circula de modo a se contrapor à variação do fluxo magnético através da área por ela delimitada.

No caso dos átomos das substâncias diamagnéticas, o papel das espiras de corrente é desempenhado pelas órbitas eletrônicas em torno do núcleo. Assim, os materiais diamagnéticos tendem a ser repelidos pelo sistema (ímã, bobina com corrente etc.), que produz o campo magnético externo, como se fossem ímãs muito fracos. É também importante observar que uma vez removido o campo externo, os momentos magnéticos atômicos se desalinham por efeito de agitação térmica e nenhuma presença do campo é sentida.

Todas as substâncias são sensíveis à presença de um campo magnético. O diamagnetismo e o paramagnetismo são as respostas ditas fracas à aplicação de um campo magnético externo ao material. Normalmente, seus efeitos são tão pequenos que somente podem ser observados com o auxílio de equipamentos muito sensíveis. O magnetismo em geral é um efeito genuinamente quântico. Assim, a descrição detalhada e precisa dos comportamentos diamagnético e paramagnético deve ser feita com base na Física Quântica.

Pode-se também dizer que o diamagnetismo é uma resposta universal. Todos os materiais o apresentam, pois os átomos que os compõem sempre terão camadas eletrônicas fechadas. No entanto, em razão da fraca intensidade do sinal diamagnético, esta resposta só será dominante em sistemas que não possuam átomos com momento de dipolo magnético permanente.

Mas, devido ao cobre ser um material de extrema dificuldade em seu enrolamento e não deixar o experimento funcionar se estiver esmaltado, pois o esmalte não permite fechar o circuito entre os dois polos da pilha, tínhamos que lixar completamente o fio de cobre, o que acrescentaria muito trabalho ao experimento. Como no mercado não existe cobre vivo, somente esmaltado, resolvemos utilizar o estanho (Sn) para construir a bobina, por ser um diamagnético de fácil obtenção no mercado e de extrema facilidade em seu manuseio para se enrolar o circuito, montando-se assim a bobina.

Para o movimento do trem magnético, demandamos por um material ferromagnético com o intuito de aumentar a intensidade do campo magnético de outro material. Esse material ferromagnético mantém um momento magnético inclusive quando o campo externo é nulo, e isso significa que esse material sente a presença de um campo

magnético, imantando-se fortemente, e o seu campo magnético se torna, às vezes, muito maior que o campo submetido a ele.

Os ímãs de Neodímio que foram utilizados no experimento possuem um encapsulamento de ferro, que também pode ser de níquel (Ni). Esse detalhe é fundamental para o funcionamento do trem magnético por dois motivos:

Primeiro, o encapsulamento permite o fechamento do circuito entre os dois polos da pilha através dos ímãs, no trecho por onde o conjunto ímã + pilha (Figura 4.2) está transcorrendo. Dessa forma, é possível fazer com que a corrente eletroquímica da pilha flua entre o trecho, criando um campo magnético ocasionado justo por essa variação da corrente (Lei de Ampère).

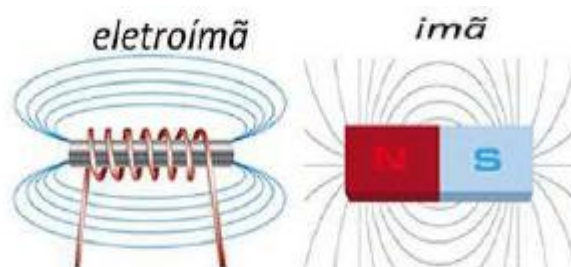
Figura 4.2 — Região onde há corrente produzida pela força eletromotriz da pilha.



Fonte: <https://www.if.ufrgs.br>. Acesso em: 20 de abr. 2017.

Em segundo lugar, porque o ferro transformará o conjunto bobina mais ferro em um eletroímã. Esse é assim chamado porque suas linhas de campo entram em uma extremidade e saem pela outra, de forma muito parecida com as linhas de campo de um ímã (Figura 4.3).

Figura 4.3 — Similaridade das linhas de campo de um eletroímã com as de um ímã.

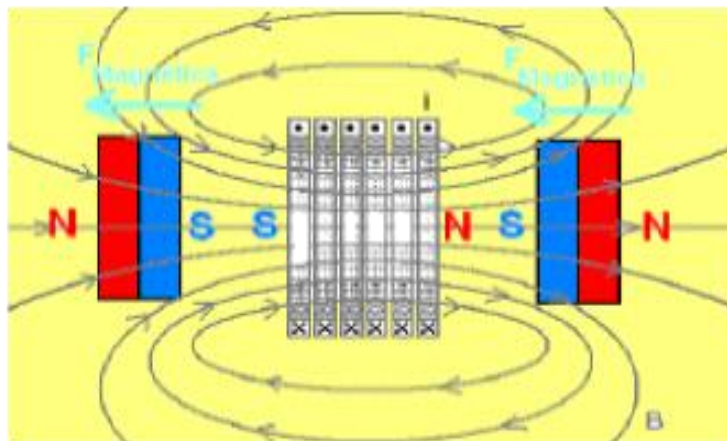


Fonte: <https://www.if.ufrgs.br>. Acesso em: 20 de abr. 2017.

Linhas de campo são lugares geométricos no espaço definidos por um campo vetorial. São úteis para visualizar os campos elétricos e magnéticos, por exemplo. As linhas de campo magnético em um ímã são fechadas, porque não se pode separar um ímã apenas em polo norte ou sul. Se um ímã for partido ao meio, surgirão dois novos polos (um norte e um sul) em cada metade do ímã partido.

As linhas de campo elétrico saem da carga elétrica positiva e encontram a carga negativa; essa é uma semelhança entre os campos: a carga positiva é assemelhada ao polo norte enquanto a negativa, ao polo sul. As linhas de campo mencionadas estão ilustradas na Figura 4.4.

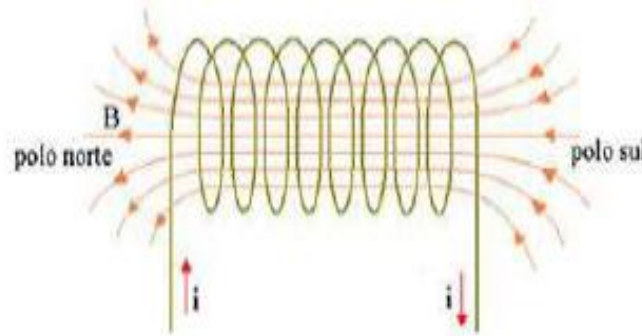
Figura 4.4 — Linhas de campo de um ímã.



Fonte: <https://www.if.ufrgs.br> Acesso em: 20 de abr. 2017.

As linhas de campo em um solenoide, que é a bobina, assim como em um eletroímã, têm direção de acordo com o sentido da corrente que lhe é transcorrida, conforme ilustra a Figura 4.5.

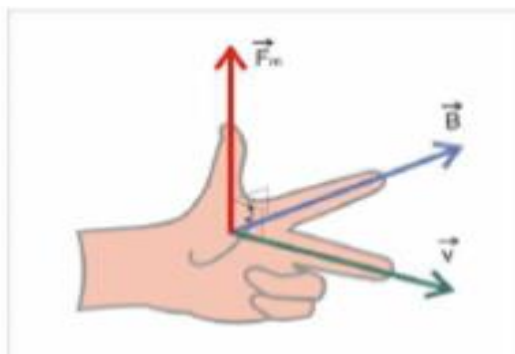
Figura 4.5 — Linhas de campo de um solenoide.



Fonte: <https://www.if.ufrgs.br>. Acesso em: 21 de abr. 2017.

Esses sentidos podem ser determinados pelo oposto da regra da mão direita para o vetor força ou ainda pela regra da mão esquerda, como ilustrado na Figura 4.6.

Figura 4.6 — Regra da mão esquerda.



Fonte: <https://www.if.ufrgs.br>. Acesso em: 21 de abr. 2017.

Não foi explicado por que devem se mover!

Para explicar esse fenômeno, deve-se primeiro determinar o sentido da corrente. Como a pilha é uma fonte, o sentido em que a corrente real flui em seu interior é do polo negativo para o positivo, onde pode ser feita uma analogia com os polos norte e sul de um ímã, respectivamente.

Portanto, externamente à pilha, a corrente sairá pelo polo positivo da mesma, passará pelo trecho do fio da bobina e retornará pelo lado negativo; mas, para que o movimento seja possível, devem-se anexar os ímãs de modo que polos do mesmo tipo estejam nas extremidades do conjunto, ou seja, ambos com a mesma polaridade saindo da pilha (Figura 4.7).

Figura 4.7 — Os ímãs devem possuir mesma polaridade saindo da pilha e possuir diâmetro maior que o da pilha.



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=QbGS-gJ6fY>. Acesso em: 21 de abr. 2017.

Dessa maneira, os ímãs de um dos lados da pilha sofrerão repulsão e os ímãs do outro lado, atração. Adotando essa polaridade explicitada, os ímãs irão influenciar a pilha a se movimentar em um só sentido; caso as extremidades do conjunto estejam com polaridades opostas, o sentido do movimento de um dos lados da pilha será anulado pelo outro, e o conjunto não se moverá. O sentido do movimento pode ser trocado, invertendo-se a posição da pilha ou a polaridade das extremidades.

Caso a força magnética total seja suficientemente grande para vencer as resistências mecânicas, o conjunto pilha mais ímãs, que é o trem magnético, se moverá no sentido dessa força. Quando a pilha é arrastada, a corrente no enrolamento acompanha a pilha, garantindo que a força magnética continue a existir sobre a pilha.

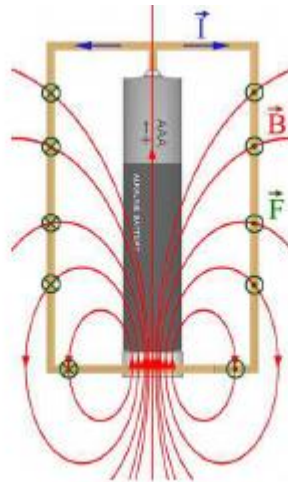
A energia eletroquímica da pilha diminuirá enquanto o trem ganha energia mecânica; logo, a conservação de energia não é violada. É de extrema importância, ainda, ressaltar que esse fenômeno só ocorre porque o campo magnético induzido pela corrente não é uniforme, ou seja, o campo não atua sobre todas as espiras do solenoide.

Logo, um ímã imerso em um campo magnético apenas sofrerá uma força magnética resultante não nula se esse campo for uniforme. Dessa forma, o trem só funciona porque apenas uma pequena parte do enrolamento é alimentada com corrente. Se todo o enrolamento fosse alimentado com corrente, o movimento só aconteceria próximo às extremidades do enrolamento, pois seria estabelecido um campo magnético praticamente uniforme na espira. Ímãs e dipolos magnéticos em presença de campo magnético uniforme sofrem um binário de forças com resultante nula.

Por fim, a última consideração a ser feita é sobre o movimento rotacional do trem magnético dentro do solenoide: quando o mesmo se movimenta sobre as bobinas, percebe-se que ele também gira.

Esse efeito está relacionado ao motor homopolar. Esse motor é impulsionado pela força de Lorentz e funciona quando uma corrente flui por um fio condutor, construído com uma simetria proposital, e que é submetido a um campo magnético perpendicular à corrente; então, uma força é gerada perpendicularmente tanto ao campo magnético quanto à corrente. Essa força proporciona um binário em torno do eixo de rotação, fazendo com que o fio condutor gire. A Figura 4.8 ilustra um dos tipos de motor homopolar que podem ser construídos.

Figura 4.8— Motor homopolar utilizando pilha alcalina com um ímã na base.



Fonte: <https://www.if.ufrgs.br> . Acesso em: 21 de abr. 2017.

Um ímã permanente é usado para fornecer o campo magnético externo, ao mesmo tempo que permite a circulação da corrente pelo fio condutor. Observe-se que o motor homopolar da Figura 4.8 assemelha-se com o princípio de funcionamento do trem magnético; porém, no lugar do fio condutor, tem-se o solenoide como a pilha juntamente com os ímãs. Por não possuir força suficiente para girar o solenoide, a pilha é que rotaciona.

A pilha, em contato com uma bobina de estanho, criará um eletroímã, que vai interagir com os dois ímãs de neodímio presos à pilha e irá fazer o trem andar (Figura 4.9). Quando o ímã que está em contato com a pilha toca no condutor (fio), ocorre uma corrente elétrica produzida pela força eletromotriz (f. e. m.) da pilha, sendo que os ímãs colocados um em cada ponta da pilha, ambos com a mesma polaridade saindo dela, passam a sofrer força magnética no mesmo sentido. Ou seja: o ímã permanente é usado para fornecer o campo magnético externo, ao mesmo tempo em que permite a circulação da corrente elétrica. Quando a pilha sofre um impulso, é gerada uma indução eletromagnética em cada trecho por onde a pilha passa, movimentando a mesma.

O que não foi possível determinar com propriedade foi o espaçamento ideal entre as espiras da bobina. O que se pode afirmar apenas é que o espaçamento deve ser igual para que a velocidade seja uniforme em toda a espira. Caso existam trechos mais espaçados que outros, a velocidade irá variar.



Figura 4.9 — Trem magnético em funcionamento.



Fonte: Arquivo do autor.

Os alunos que montaram esse experimento relataram que:

O trem magnético é construído normalmente sobre uma bobina de cobre; porém, resolvemos construí-lo sobre uma bobina de estanho, material utilizado em soldas, devido ao seu fácil manuseio no enrolamento e desenrolamento da bobina, a um custo menor e à facilidade para encontrá-lo em lojas de materiais de construção.

Tiveram como dificuldades:

Encontrar um fio de cobre cru, não galvanizado, porém resolvemos o problema utilizando um fio de estanho, que possui as mesmas propriedades na criação de um campo magnético, sendo de fácil obtenção; na construção do experimento, utilizamos o fio de estanho que continha 3 metros de fio esticado, uma pilha AAA de 1,5 volt e dois ímãs de neodímio de 10 mm de diâmetro.

Por fim, argumentaram que:

Enrolamos o fio com ajuda de um cano de PVC de 3/4', pintamos os ímãs de azul (polo sul) e vermelho (polo norte), conectamos em cada polo da pilha os lados vermelhos; quando a pilha entra em contato com o estanho, ela gera um campo magnético a partir da corrente elétrica, formando um eletroímã, com polos inversos, sendo duas polaridades: uma vai empurrar e outra irá puxar, gerando o movimento.

## B) Pião magnético

É um brinquedo que desafia as leis básicas do eletromagnetismo, composto por dois ímãs circulares, um pino de madeira e uma plataforma de acrílico ou uma haste guia. Tem o nome comercial de LEVITRON<sup>3</sup>, pois demonstra o fenômeno de levitação magnética, exibindo como é possível levitar um ímã em rotação acima de um campo magnético potente e fixo. Para conseguir tal efeito, o brinquedo equilibra a força da gravidade (que puxa o ímã para baixo) com uma força magnética (que o empurra para cima).

Ocorre entre ímãs permanentes e não permanentes devido à repulsão de seus polos com mesma natureza, gerando assim a levitação. O ímã maior compõe a base e o menor dá estrutura ao pião; o menor precisa estar no centro de gravidade do pião, e as polaridades entre os dois ímãs precisam ser repulsivas (N-N) ou (S-S). Surgem, como era de se esperar, quatro forças magnéticas sobre os polos magnéticos do pião: duas de repulsão e duas de atração, com respeito aos polos dos ímãs da base, e uma força gravitacional (seu peso), com respeito à Terra.

A dependência com a distância dessas forças magnéticas faz com que (devido ao modo como os ímãs são dispostos) a resultante delas se oponha à força gravitacional e, assim, o pião levita sobre a base (Figuras 4.10 e 4.11). Entretanto, qualquer que seja a mínima inclinação em relação à vertical (e isso é impossível de se evitar), tais pares de forças magnéticas criam momentos (binários, torques) que tendem a tombar o pião. Para evitar isso, devemos criar um movimento de rotação, cuja instabilidade é conhecida como teorema de Earnshaw<sup>4</sup>, para o momento angular atuar de forma giroscópica, havendo uma recuperação de parte do atrito que foi eliminado pela levitação e evitando-se assim que o eixo do pião tombe.

É impossível mantê-lo levitando “estaticamente”. O princípio é similar a um pião comum, que não fica equilibrado estaticamente, mas somente quando está girando. Na

---

<sup>3</sup> Originalmente, um brinquedo popular nos Estados Unidos em que se fazem ajustes da inclinação da base e de um conjunto de pequenos pesos acrescentados ao pião para que este gire flutuando sobre a base. Disponível em <http://www.youtube.com/watch?v=GMVtINbMwHw>. Acesso em: 22 de out. 2017.

<sup>4</sup> Dois corpos com propriedades magnéticas permanentemente fixas não podem alcançar equilíbrio estático e estável, ou seja, se colocarmos dois ímãs com seus polos opostos entre si, os mesmos não conseguiriam ter equilíbrio, a menos que se exerça uma força sobre cada um, obrigando-os a permanecer em suas posições.

Figura 4.12, temos as linhas de forças que atuam entre o pião e a base, mantendo-o em equilíbrio. O aspecto da estabilidade é muito delicado no Levitron. Definitivamente, o sistema apenas funciona dentro de limitada faixa de alturas, algo entre 3 e 4 cm contados desde o centro da base. A altura final para o equilíbrio depende principalmente do peso do pião e das forças de campo devidas à base. Contudo, devido à resistência do ar, a energia cinética irá se dissipar, fazendo com que o pião perca a estabilidade e caia.

Figura 4.10 — Pião em equilíbrio girando.

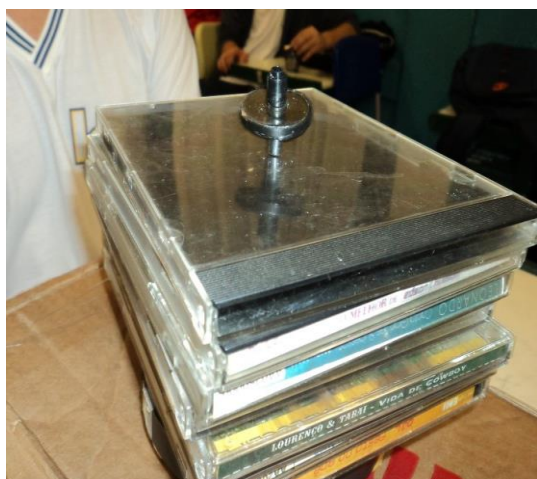
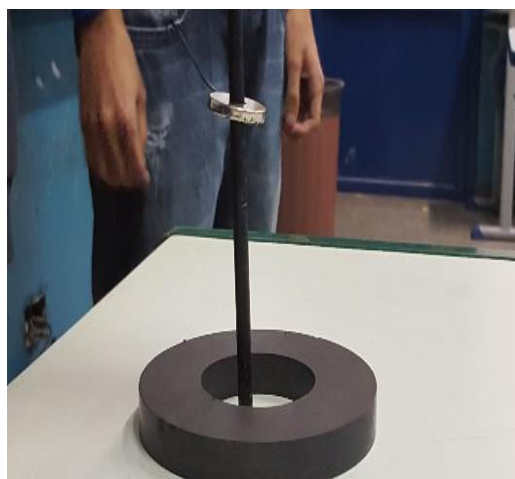
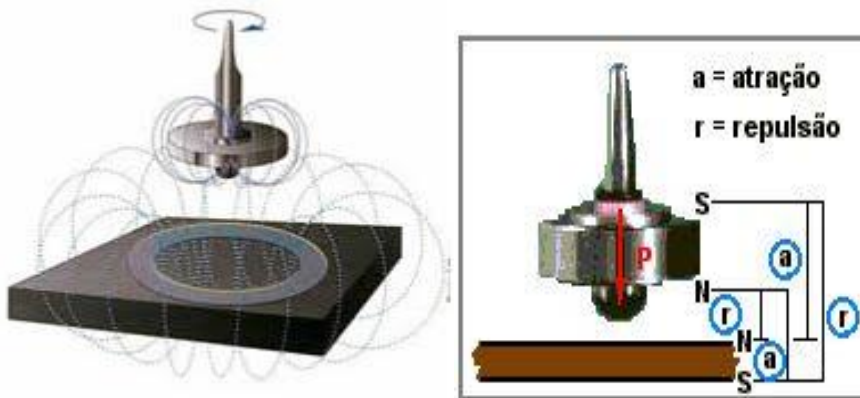


Figura 4.11 — Ímã em equilíbrio.



Fonte: Arquivo do autor.

Figura 4.12 — Linhas de Forças que atuam no pião magnético.



Fonte: [www.feiradeciencias.com.br](http://www.feiradeciencias.com.br). Acesso em: 25 de abr. 2017.

Os alunos que montaram esse experimento relataram que:

Para o apoio do pião colocamos um espeto de madeira, e borracha entre o ímã e o espeto; porém, não funcionou como desejado, o pião ficava parado devido às forças magnéticas de atração e repulsão; mas para a flutuação tão desejada era necessário o

movimento do pião, coisa que não conseguimos, até então, mas não desistiremos.

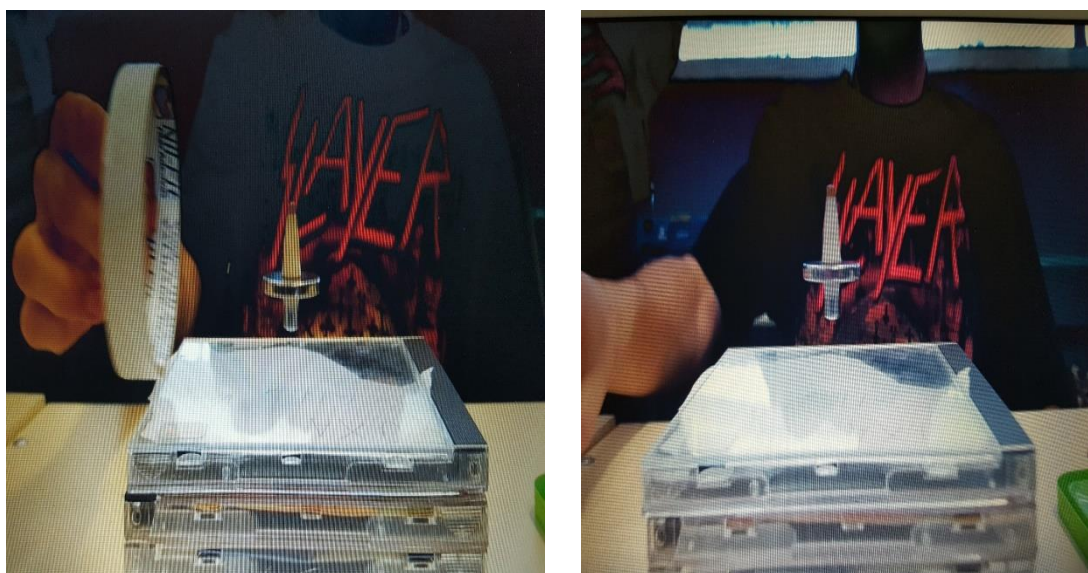
Tiveram como dificuldades:

Nossa maior dificuldade foi fazer o pião girar e ficar no ar, pois ele começava a girar e já era atraído para o lado; não conseguia o equilíbrio no momento da rotação, pois ele permanecia em equilíbrio parado, mas em movimento isso não era alcançado.

Por fim, argumentaram:

Basicamente, aprendemos que polos magnéticos se repelem quando possuem o mesmo sentido e se atraem em sentidos contrários; entendemos também como é criado um campo magnético, só não conseguimos a rotação suficiente para a levitação. Ele para mas não levita; não conseguimos, porém, não desistiremos: até a demonstração ele vai flutuar.

Figura 4.13 — Pião levitando.



Fonte: Arquivo do autor.

O resultado alcançado só foi conseguido após inúmeras tentativas (Figura 4.13) e foi apresentado na Mostra de Física realizada na escola, causando grande entusiasmo nos representantes do grupo e no professor.

### C) Bobina de Tesla

A Bobina de Tesla consiste em um transformador ressonante que produz altas voltagens a partir de correntes elétricas alternadas, ou seja, um transmissor de rádio sem antena com finalidade aplicada na transmissão de energia elétrica.

Foi desenvolvida por volta de 1892 pelo cientista e inventor austríaco Nikola Tesla<sup>5</sup> (1859-1943), o qual deixou grandes contribuições para o desenvolvimento das tecnologias mais importantes dos últimos séculos, como o da transmissão via rádio, da robótica, do controle remoto, do radar, da Física Teórica, da Física Nuclear e da Ciência Computacional.

Tesla objetivou um modo de conduzir corrente elétrica entre grandes distâncias sem perdas significativas ocasionadas pelo Efeito Joule<sup>6</sup>.

Demonstrações elétricas das mais fantásticas são possíveis pois, devido ao campo eletromagnético formado, podem-se acender lâmpadas fluorescentes e lâmpadas de néon a até dois metros de distância do aparelho, por causa de sua alta frequência.

Apesar dos fenômenos eletromagnéticos ligados à bobina se basearem em princípios eletrodinâmicos, analogias podem ser feitas com a eletrostática, ampliando a aplicação demonstrativa do aparelho.

Na Bobina de Tesla, ao acionar a chave, o fluxo de cargas elétricas será liberado através do circuito, que passará pelas espiras da bobina fazendo gerar um campo magnético ao redor e no seu interior. O campo do solenoide é bem semelhante ao campo de um ímã em forma de barra, onde a extremidade por onde saem as linhas de campo é o polo norte, e a extremidade por onde entram as linhas de campo é o polo sul.

Dentro do envoltório de vidro de uma lâmpada fluorescente existem gases rarefeitos. Em cada extremidade do tubo há um eletrodo sob a forma de um filamento,

---

<sup>5</sup> Nikola Tesla registrou cerca de 40 patentes nos Estados Unidos e mais de 700 no mundo todo. Entre suas invenções, focadas na utilização da eletricidade e magnetismo, estão a lâmpada fluorescente, o motor de indução (utilizado em indústrias e em vários eletrodomésticos), o controle remoto, a bobina Tesla, a transmissão via rádio, o sistema de ignição utilizado nas partidas dos carros, a corrente alternativa e outras. Disponível em [https://www.ebiografia.com/nikola\\_tesla](https://www.ebiografia.com/nikola_tesla). Acesso em: 18 de out. 2017.

<sup>6</sup> Esse fenômeno ocorre devido ao encontro dos elétrons da corrente elétrica com as partículas do condutor. Os elétrons sofrem colisões com átomos do condutor; parte da energia cinética (energia de movimento) do elétron é transferida para o átomo, aumentando seu estado de agitação e conseqüentemente sua temperatura. Assim, a energia elétrica é transformada em energia térmica (calor). Disponível em: [www.wikipedia.com.br](http://www.wikipedia.com.br). Acesso em: 20 de out. 2017.

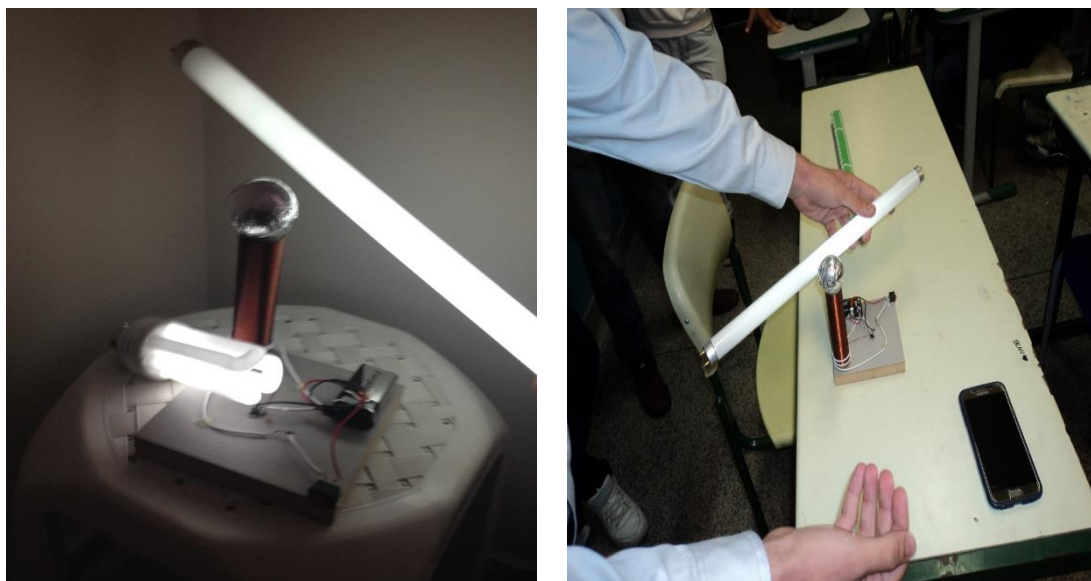


revestido com um óxido. Quando se liga a lâmpada, os filamentos se aquecem e emitem elétrons, e isso faz com que se inicie o processo de ionização do gás.

Nesse processo, ao aplicar uma diferença de potencial, um íon do gás, sendo positivo, é atraído para o eletrodo negativo. Esse íon é acelerado e aumenta sua energia cinética. Ao se deslocar para o lado negativo, ele pode encontrar uma molécula neutra e, por choque, produzir sua ionização. Forma-se então mais um íon positivo e libertam-se novos elétrons. O novo íon é também atraído para o polo negativo, e os elétrons libertados pela molécula são atraídos para o polo positivo. Esse íon e esses elétrons, por sua vez, chocam-se com novas moléculas, que por choque também são ionizadas<sup>7</sup>. As ionizações continuam sucessivamente e, em um tempo curto se produz um número suficientemente grande de íons que se deslocam para o eletrodo negativo, e de elétrons que se deslocam para o eletrodo positivo. Os íons e elétrons são cargas elétricas em movimento, que constituem a corrente elétrica no gás.

Os gases ionizados no interior da lâmpada são acelerados pela diferença de voltagem entre os terminais do tubo e, ao se chocarem com outros átomos, provocam outras excitações. O retorno desses átomos ao estado fundamental ocorre com a emissão de fótons de energia que, ao atingir o revestimento fluorescente do tubo, produzem luz visível (Figura 4.14).

Figura 4.14 — Funcionamento da bobina: acendendo lâmpada fluorescente por plasma.



Fonte: Arquivo do autor.

<sup>7</sup>Disponível em: <http://www.pontociencia.org.br/experimentos/visualizar/o-globo-de-plasma-e-a-lampada-sem-fio/553>. Acesso em: 28 de nov. 2016.

Os alunos que montaram esse experimento assim o descreveram:

Nikola Tesla conseguiu transmitir energia elétrica sem fio, onde ele usava uma voltagem convencional, e conseguia aumentar essa voltagem em milhares de volts.

Tiveram como dificuldades:

Enrolar o fio no tubo de PVC, comprar o resistor e o transistor.

Por fim, argumentaram:

Achamos incrível como podemos acender uma lâmpada sem fios; a bobina primária induz um campo magnético na bobina secundária, ocorrendo uma agitação entre os elétrons que se encontram nas lâmpadas, causando a luminescência.

#### **D) Canhão magnético (Canhão de Gauss)**

O Canhão de Gauss<sup>8</sup> tem princípio semelhante aos aceleradores de partículas, onde estas são continuamente aceleradas sempre que interagem com o campo magnético (em escala muito maior que o experimento montado). O experimento demonstra a atuação da força magnética produzida por ímãs de neodímio sobre pequenas esferas ferromagnéticas, transformando energia potencial magnética, produzida pelo campo magnético dos ímãs, em energia cinética, causando o movimento em cadeia das esferas, capazes de lançar projéteis.

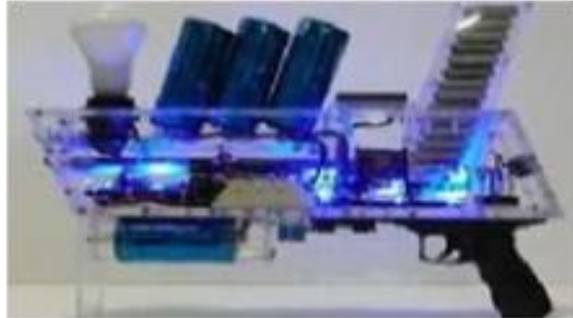
Em 2012, a Marinha do EUA iniciou testes balísticos de armas relacionadas com a ideia do Canhão de Gauss. O protótipo (Figura 4.15) possui uma potência de disparo de 33 megajoules (MJ). Para se ter uma noção, 1MJ equivale à energia liberada pelo impacto de uma bola de canhão contra uma parede a uma velocidade de 160 km/h. Cálculos

---

<sup>8</sup> Carl Friedrich Gauss, importante matemático, astrônomo e físico que estabeleceu a relação entre o fluxo elétrico que passa através de uma superfície fechada e a quantidade de carga elétrica que existe dentro do volume limitado por esta superfície (uma das quatro equações de Maxwell). Fonte: [www.wikipédia.com.br](http://www.wikipédia.com.br). Acesso em: 20 de jul. 2018.

preliminares determinam que o alcance dessa arma deve ser de 200 milhas marítimas (1 milha = 1.852 metros).

Figura 4.15 — Canhão de Gauss em forma de pistola para testes da Marinha dos EUA.



Fonte: <https://html2-f.scribdassets.com/6vc31lh8g05cb0up/images/2-b407f89dd2.jpg> . Acesso em: 20 de jul. 2018.

Em condições ideais, se considerássemos somente as bolinhas, todo o momento criado gera uma energia cinética na primeira que seria transferida à última, ou seja:

$$m_i v_i = m_f v_f \quad \text{ou} \quad \frac{m_i v_i^2}{2} = \frac{m_f v_f^2}{2}$$

(Equação 4.1)

Mas como temos a presença dos ímãs, as bolinhas ganham energia do campo magnético ao serem atraídas. Considerando que a primeira bolinha parte do repouso, ao colidir com o primeiro ímã, ela possuirá certa energia cinética,  $K_1$ , que será transferida para a próxima bolinha, que, então, se locomoverá até o próximo ímã. Assim, ela também ganhará uma energia  $K_1$ , que resultará em uma energia total de  $K_2 \approx 2K_1$ . Uma pequena e desprezível parte da energia é gasta para libertar a bolinha do campo magnético do ímã anterior. Assim, a última bolinha é lançada com uma energia dada por:

$$K_n \approx nK_1 + K_0$$

(Equação 4.2),

onde  $n$  é o número de ímãs utilizados e  $K_0$  é a energia cinética inicial da primeira bolinha.

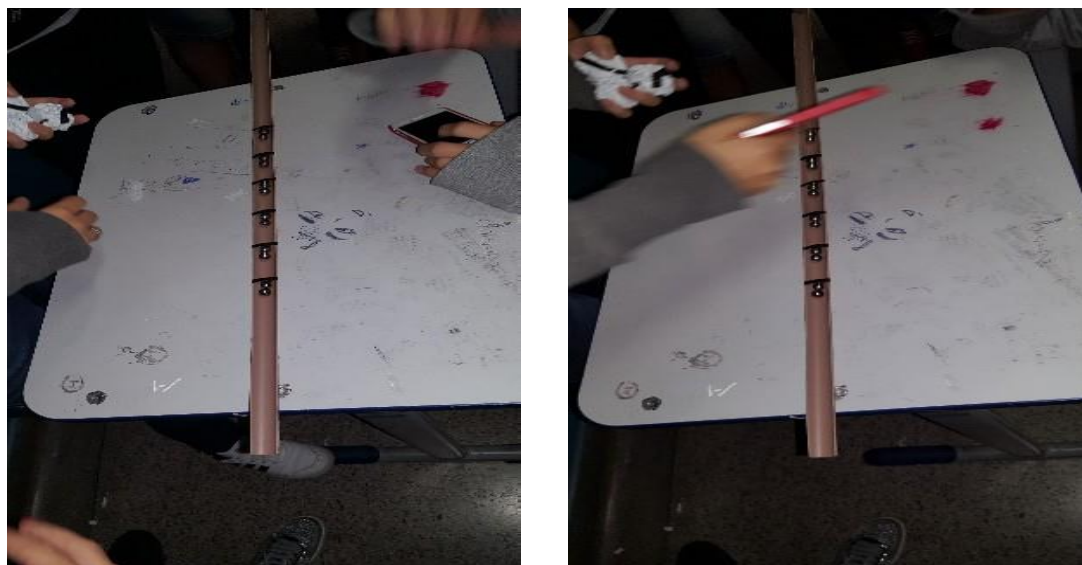
Utilizando o princípio acima em nosso experimento, que conta com uma série de ímãs colocados em um cano de PVC (Fig. 4.16), acelerarmos a primeira esfera de ferro, a qual transfere apenas momento linear e energia por colisões elásticas sucessivas. A cada



colisão, a bolinha impulsionada é acelerada pelo campo magnético do ímã seguinte. Assim, a última esfera é lançada com alta velocidade.

A energia cinética do sistema aumenta de forma que a energia potencial (que está associada ao campo magnético) diminui na mesma proporção.

Figura 4.16 — Canhão de Gauss.



Fonte: Arquivo do autor.

Os alunos que mostraram esse experimento contaram que:

Foram colocados vários ímãs de neodímio com espaços relativamente constantes; ao soltarmos a primeira bola de metal, ela será atraída pelo ímã em consequência do campo magnético, ocasionando um aumento na quantidade de movimento que será transferida ao segundo ímã e assim sucessivamente.

Tiveram como dificuldades:

A excessiva quebra de ímãs, pois o impacto gerado através da quantidade de movimento é proporcional à distância entre os ímãs.

Por fim, argumentaram:

É uma experiência interessante, divertida e que mostra um efeito cascata, na qual a velocidade aumenta em função da quantidade de ímãs e suas respectivas distâncias.

### E) Tubo de indução magnética

O tubo de indução consiste num tubo de PVC de  $\frac{1}{2}$ " de diâmetro e 1,2 m de comprimento (Fig. 4.17), sendo que em sua extremidade está uma bobina de 400 voltas de cobre #28<sup>9</sup> ( $d=0,32\text{mm}$ ) esmaltado (Figura 4.18).

Figura 4.17 — Tubo de PVC.



Figura 4.18 — Bobina de 400 voltas com LEDs.



Fonte: Arquivo do autor.

Com o tubo na vertical, um ímã será abandonado em queda livre em seu interior. Conforme o ímã desliza pelo tubo, seu campo magnético penetra na bobina, iniciando-se no momento de sua soltura e terminando no final do tubo, ocorrendo uma variação do fluxo magnético com a bobina, induzindo uma diferença de potencial (ddp) nos terminais da bobina, com uma certa polaridade. Essa ddp é aplicada ao circuito externo, composto por dois LEDs em paralelo, fazendo circular uma corrente elétrica induzida no LED polarizado, e o acenderá.

Quando o centro do ímã estiver passando pelo centro da bobina, o fluxo de indução total é nulo e não haverá ddp induzida.

Durante o afastamento do ímã ocorrerá nova variação do fluxo, agora em sentido inverso, originando uma nova ddp de polaridade invertida em relação à anterior. Uma corrente de sentido oposto percorrerá o circuito e o outro LED acenderá.

<sup>9</sup> Disponível em: [http://www.if.ufrgs.br/~mittmann/tabela\\_de\\_fios.pdf](http://www.if.ufrgs.br/~mittmann/tabela_de_fios.pdf) . Acesso em: 20 de nov. 2017.

Os alunos não atingiram os objetivos do experimento proposto, e o LED não acendeu com 100 espiras; tentaram com 200 espiras e por último com 400 espiras. Ainda não satisfeitos tentaram aumentar o diâmetro do fio, trocando por um fio cobre #22 ( $d=0,64\text{mm}$ ), e mesmo assim o LED não funcionou. Esse experimento se tornou decepcionante para os alunos, pois não causou o efeito esperado. Decidimos, então, determinar se havia corrente ligando os terminais das espiras em um multímetro e determinamos uma corrente de  $100\ \mu\text{A}$ , na espira de 400 voltas. Sabe-se que para um LED vermelho acender necessita-se de  $10\ \text{mA}$ <sup>10</sup>.

Por fim, o aluno conseguiu visualizar, através da medida elétrica, que o campo magnético induz corrente elétrica. No caso do arranjo construído, a corrente induzida na bobina não foi suficiente para acender o LED como previa a experiência, porém isso foi explicado para toda a turma, que conseguiu entender a teoria da indução de Faraday, sem ter visto o resultado final da experiência.

Na aula, foi explicado que, para aumentar a corrente elétrica como sugeria a experiência, deveríamos aumentar a intensidade do campo eletromagnético no qual o fio está inserido, ou aumentar a diferença de potencial entre as extremidades do fio; para isso, deveríamos diminuir o comprimento do fio ou aumentar a espessura, ou ainda aumentar o campo magnético, colocando um ímã mais forte. Para solucionar esse problema, precisamos utilizar o conhecimento físico.

Utilizando a Equação 4.3, conhecida como 1ª Lei de Ohm, para determinar a resistência dispondo da corrente e da tensão, substituiremos na Equação 4.4, conhecida como 2ª Lei de Ohm, para determinar o comprimento e a área transversal. Obtendo a resistividade do cobre<sup>11</sup> que vale  $\rho = 1,72 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot \text{m}$ , calculamos os valores do diâmetro ideal e dos comprimentos ideais para acender o LED. Esses valores estão apresentados nas Tabelas 4.1 e 4.2, respectivamente.

$$U = R \cdot i$$

(Equação 4.3)

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A}$$

(Equação 4.4)

---

<sup>10</sup> Disponível em: [www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/ManualOsram.pdf](http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/ManualOsram.pdf). Acesso em: 20 de nov. 2017.

<sup>11</sup> Disponível em: [www.fisica.net/constantes/resistividade-eletrica](http://www.fisica.net/constantes/resistividade-eletrica). Acesso em: 20 de nov. 2017.

Tabela 4.1 — Cálculo do diâmetro ideal do fio de cobre para acender um LED no experimento do tubo de indução magnética.

<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>L (m)</b>	<b><math>\rho</math> (<math>\Omega \cdot m</math>)</b>	<b>U (v)</b>	<b>i (A)</b>	<b>R (<math>\Omega</math>)</b>	<b>d (m)</b>	<b>Fio</b>
$8 \cdot 10^{-8}$	16	$1,72 \cdot 10^{-8}$	$3,44 \cdot 10^{-4}$	$10^{-4}$	3,44	$3,2 \cdot 10^{-4}$	#28
$2 \cdot 10^{-6}$	16	$1,72 \cdot 10^{-8}$	$1,37 \cdot 10^{-3}$	<b><math>10^{-2}</math></b>	0,137	<b><math>1,6 \cdot 10^{-3}</math></b>	<b>#14</b>

Fonte: Elaboração do autor.

Na Tabela 4.1, determinou-se o fio ideal para o acendimento do LED como #14, através de várias tentativas entre o comprimento de 16 m e a área (devido ao seu diâmetro), pois sabia-se que o LED acende com uma corrente mínima de  $10^{-2}A$ . Porém, o uso do fio #14 torna-se inviável, devido à dificuldade no manuseio e ao seu elevado custo.

Tabela 4.2 — Cálculo do comprimento e diâmetro ideais do fio de cobre para acender um LED no experimento do tubo de indução magnética.

<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>L (m)</b>	<b><math>\rho</math> (<math>\Omega \cdot m</math>)</b>	<b>U (v)</b>	<b>i (A)</b>	<b>R (<math>\Omega</math>)</b>	<b>d (m)</b>	<b>Fio</b>
$5 \cdot 10^{-7}$	4	$1,72 \cdot 10^{-8}$	$1,37 \cdot 10^{-3}$	$10^{-2}$	0,137	<b><math>7,8 \cdot 10^{-4}</math></b>	<b>#20</b>
$2,5 \cdot 10^{-7}$	2	$1,72 \cdot 10^{-8}$	$1,37 \cdot 10^{-3}$	$10^{-2}$	0,137	<b><math>5,6 \cdot 10^{-4}</math></b>	<b>#23</b>

Fonte: Elaboração do autor.

Na Tabela 4.2, identificamos que com o comprimento de 4 m (que possibilita 100 volts) e mantendo a resistência em  $0,137\Omega$ , conseguimos acender o LED com um fio de 0,78 mm. Diminuindo o comprimento para 2 m (50 volts), o diâmetro cai para 0,56 mm. Devido aos alunos terem comprado dois tipos de fios # 28 (0,32mm) e # 22 (0,64mm), salienta-se que o resultado da experiência seria satisfatório se fosse feita com fio #22 e com um número de 50 volts.

Os alunos que montaram esse experimento comentaram que:

A princípio parecia ser fácil, mais foi se tornando difícil pois os leds não acendiam. Mudamos a espessura do fio de cobre e nada, aumentamos o número de voltas e nada de acender.

Tiveram como dificuldades:

Não conseguimos demonstrar o experimento, pois a corrente gerada é muito inferior à necessária.

Por fim, argumentaram:

Nem sempre o experimento mais simples parece ser o mais fácil; não conseguimos acender a lâmpada, só descobrimos que existe corrente elétrica com ajuda de um multímetro.

## **F) Agitador magnético caseiro**

O agitador magnético é um equipamento utilizado para agitar soluções através de uma pequena barra magnética, que por sua vez é movida por um campo magnético criado com a base do agitador.

Uma das principais funções do agitador magnético é a homogeneização e a mistura de materiais, sendo que o aparelho consegue atuar por longos períodos de tempo, aumentando a eficiência dos processos de agitação e fazendo com que os resultados obtidos sejam precisos e satisfatórios. Outra característica importante do produto é que ele consegue alinhar um processo extremamente dinâmico com um alto nível de segurança, sendo essencial para inúmeros segmentos.

Um dos fatores mais interessantes do agitador magnético é a sua versatilidade, sendo um aparelho empregado em trabalhos laboratoriais, de variados segmentos; porém, é importante salientar que ele não pode nem deve ser utilizado para trabalhar com líquidos muito viscosos.

Essa experiência, de fácil compreensão e montagem, pode ser feita com uma mistura de substâncias líquidas ou líquidas e sólidas. Sua montagem (Figura 4.19) envolve um HD de computador usado, que será desmontado e dentro do qual encontra-se um ímã de neodímio. Esse ímã é, então, fixado no disco rígido do HD. Quando o disco entra em movimento devido à passagem de corrente elétrica advinda de uma fonte do próprio computador, o ímã gira em alta velocidade. Ao colocarmos uma vasilha contendo líquido e um pedaço de ferro (pequeno) dentro da vasilha acima desse ímã girante, o mesmo cria uma agitação nesse líquido, realizando a mistura desejada (Figura 4.20).

Por meio dessa experiência conseguimos demonstrar que a força magnética que atua entre o ímã e o pequeno pedaço de ferro consegue atravessar o vidro e fazer todo o volume de líquido se movimentar.

Figura 4.19 — A fonte e o HD.



Figura 4.20 — O agitador em funcionamento.



Fonte: Arquivo do autor.

Os alunos que montaram esse experimento comentaram que:

É um aparelho muito utilizado em laboratórios de Química e Farmácia; em sua utilização tem a função de misturar produtos, não havendo contato manual.

Tiveram como dificuldades:

Encontrar um HD de computador, retirar o ímã presente.

Por fim, argumentaram:

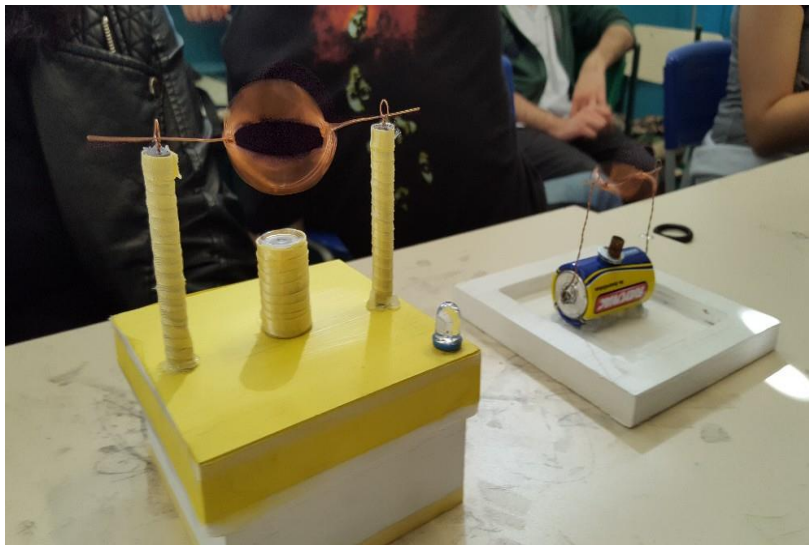
Era para formar um furacão, porém não conseguimos; mesmo o ímã girando extremamente rápido em função de estar grudado no HD, o pedaço de arame que se encontra dentro da vasilha não gira com força suficiente; notamos que ao desligarmos o HD há um aumento momentâneo de velocidade no arame.

### G) Motor elétrico simples e eletroímã

O motor elétrico funciona com base na repulsão entre ímãs, um natural e outro não natural; o ímã não natural neste experimento é uma bobina. O conveniente de se usar ímãs não naturais num motor elétrico é a possibilidade de se manipular (inverter) os polos magnéticos.

A função principal desse experimento é transformar energia elétrica de uma pilha em energia mecânica pelo movimento de uma bobina (Figura 4.21). Nesse processo, a corrente elétrica da pilha gera um campo magnético ao redor da espira, que sofre forças de atração e repulsão em relação aos ímãs que estão sobre a pilha, mantendo o movimento de rotação gerado a partir de um impulso inicial.

Figura 4.21 — Motor elétrico simples.



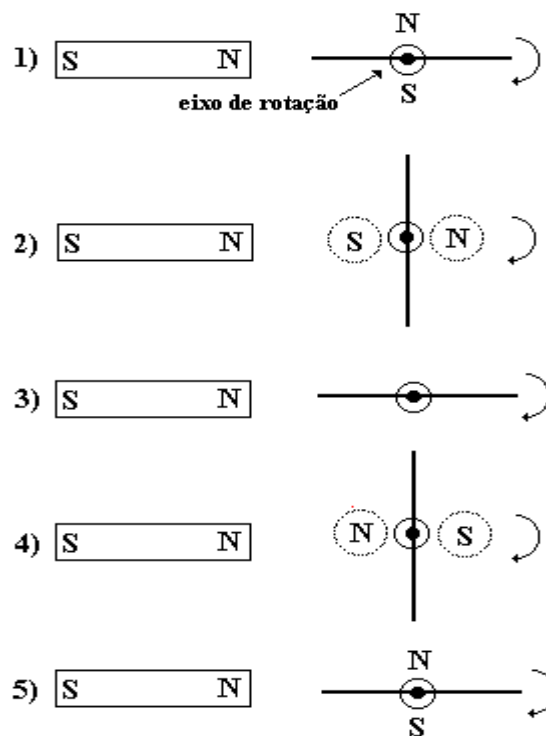
Fonte: Arquivo do autor.

O funcionamento desse motor elétrico pode ser explicado em alguns passos (Figura 4.22):

- 1) Num primeiro momento, os fios raspados estão em contato com as tiras, e a corrente elétrica cria um campo magnético na bobina. Essa bobina, por ter liberdade de rotação, entra em movimento para minimizar a repulsão do ímã comum, que está fixo à sua frente.
- 2) Em um quarto de volta, a bobina está parcialmente em contato com as tiras, e o campo magnético começa a diminuir sua intensidade, não deixando assim que a

- atração do polo sul da bobina pelo polo norte do ímã comum seja intensa o suficiente para frear o movimento.
- 3) Quando a bobina completa meia volta, começaria o processo inverso. Ou seja, deveria existir um campo atrativo entre a bobina e o ímã. Mas isso só aconteceria se os contatos estivessem ligados. Esse contato não é estabelecido, pois tal atração frearia ou cessaria o movimento adquirido no primeiro momento.
  - 4) Completando-se mais um quarto de volta, o contato com as tiras começa a se reestabelecer e o campo magnético, a ganhar intensidade. Nesse momento, a bobina começa a ser repelida pelo ímã comum. Dado o movimento que a bobina já possui, este ganha nova aceleração.
  - 5) Volta-se à posição inicial e o ciclo recomeça.

Figura 4.22 — Funcionamento de um motor elétrico.



Fonte: <http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/ele04.htm> . Acesso em: 12 de set. 2017.



Assim, o processo continua periodicamente, enquanto existir corrente elétrica passando pela bobina.

No caso do eletroímã (Figura 4.23), a situação é a mesma. A corrente elétrica produzida pela pilha percorre um solenoide de cobre enrolado em um prego de ferro, criando-se um campo magnético.

Figura 4.23 — Eletroímã.



Fonte: Arquivo do autor.

Com isso, há o surgimento de um eletroímã, cuja intensidade do campo magnético gerado depende da corrente elétrica e do número de voltas do solenoide. Esse efeito é descrito pela Lei de Biot-Savart (Equação 4.5).

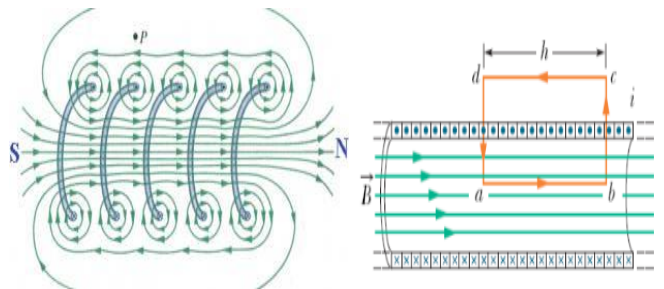
A superposição dos campos magnéticos de cada espira resulta em um campo magnético de grande intensidade, quando temos um solenoide (Figura 4.24).

Devido ao eletroímã estar condicionado à corrente elétrica contínua da pilha, ao ser desconectado, seu campo magnético desaparece.

Figura 4.24 — Solenoide.



Figura 4.25 — Campo em um solenoide.



Fonte: HALLIDAY, 2008.

Considere um solenoide, como na Figura 4.24, para o qual desejamos saber o campo  $\vec{B}$  em seu interior. O solenoide é basicamente uma soma de espiras empilhadas. No seu interior, os campos se somam, e o campo total é aproximadamente constante e uniforme. No seu exterior, os campos se cancelam, e o campo é aproximadamente nulo.

Solenoide ideal: o comprimento é infinito, e uma densidade de espiras, infinita. Considere o circuito (Figura 4.25) que contém  $N$  espiras com suas correntes atravessando-o. Usando a Lei de Ampère, temos:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 i$$

(Equação 4.5)

Sendo  $n = \frac{N}{h}$ , número de espiras por unidade de comprimento, temos  $i = Ni = nhi$ ,

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 i_{in} \rightarrow Bh = \mu_0 in h$$

(Equação 4.6),

onde:

$B$  = campo magnético criado (T);

$\mu_0$  = constante de permeabilidade magnética no vácuo =  $4\pi \cdot 10^{-7}$  T·m/A;

$i$  = corrente elétrica (A);

$N$  = número de voltas (espiras);

$h$  = comprimento do solenoide (m).

Os alunos que montaram esse experimento comentaram que:

A descoberta foi encantadora; conseguimos produzir movimento com um ímã e uma pilha.

Tiveram como dificuldades:

Fazer corretamente a espira que irá girar entre a pilha; fizemos muitas espiras grandes, pequenas, que não giravam; quando conseguimos, nossa maior dificuldade foi conter o choro.

Por fim, argumentaram:

No fio de cobre que é conectado à pilha, circula uma corrente contínua de 1,5A; com isso, é produzido um campo elétrico que induz um campo magnético, fazendo a espira girar por um processo de atração e repulsão.

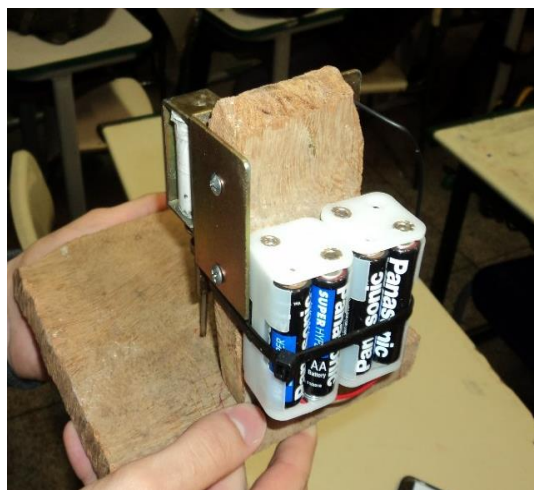
## H) Martelo magnético

Este experimento demonstra como funciona um batedor de pregos eletromagnético, onde se transforma a energia elétrica em energia mecânica, gerando-se um campo magnético ao redor de um prego. Ao pressionar o botão do interruptor (tipo campainha), estabelece-se o circuito elétrico, e o campo magnético produzido pela bobina de cerca de 120 espiras (em 2 camadas sobre o tubo) atrairá o prego-martelo para cima. Ao soltar o botão, interrompe-se o circuito, e o prego-martelo desce (por ação da gravidade) batendo contra a tachinha espetada no pequeno bloco (Figura 4.26). Como fonte de alimentação, foram usadas 8 pilhas de 1,5V (Figura 4.27).

Figura 4.26 — Pregos sendo pressionados.



Figura 4.27 — Fonte de alimentação.



Fonte: Arquivo do autor.

Os alunos que montaram esse experimento contaram que:

Parece uma furadeira, mas é um martelo magnético; ele funciona apenas com um toque no botão; seu trabalho funciona com a transferência da energia química das pilhas para a energia mecânica.

Tiveram como dificuldades:

Dimensionar o circuito elétrico e comprar as pilhas.

Por fim, argumentaram:

Ao pressionarmos o botão, estabelecemos um circuito elétrico que induz na bobina um campo magnético que atrai o prego para cima; ao soltar o botão, ele desce em função da gravidade; é o trabalho da máquina substituindo o trabalho humano, um só realizando o trabalho de muitos.

### **I) Pêndulo magnético**

Um pêndulo magnético é considerado um sistema caótico, pois ele possui três variáveis dinâmicas independentes e equações de movimento não lineares.

A Figura 4.28 representa um esquema de um pêndulo caótico<sup>12</sup>, no qual há interação entre os ímãs e as bobinas de cobre. No ímã que está em movimento há uma bobina de cobre, que, quando atravessa as linhas de indução do campo magnético criado pelo ímã ao redor do qual ela se encaixa, gera uma corrente elétrica induzida no circuito. Essa corrente, ao circular pela outra bobina, fica sob ação do campo magnético gerado pelo ímã que a envolve, produzindo uma força que faz a bobina se afastar do ímã.

Quando a segunda bobina balança, as linhas de indução de seu ímã tornam-se um gerador, e a corrente induzida faz com que a outra bobina funcione como receptor<sup>13</sup>; isso torna o movimento caótico.

As teorias abordadas para esse experimento foram a Lei de Faraday e a Lei de Lenz, pois explicam o surgimento da corrente elétrica através do movimento de um ímã próximo a uma bobina e caracterizam a força eletromotriz e seu sentido. Nesse experimento, ela aparece de forma anti-horária.

Os alunos que montaram esse experimento contaram que:

Temos um ímã preso em um suporte; quando soltamos outro ímã que está suspenso por um fio, começamos a visualizar um movimento de ida e volta devido à troca de polaridades, mas sempre com distâncias constantes.

Tiveram como dificuldades:

Encontrar os ímãs, fazer os suportes e achar as posições corretas.

---

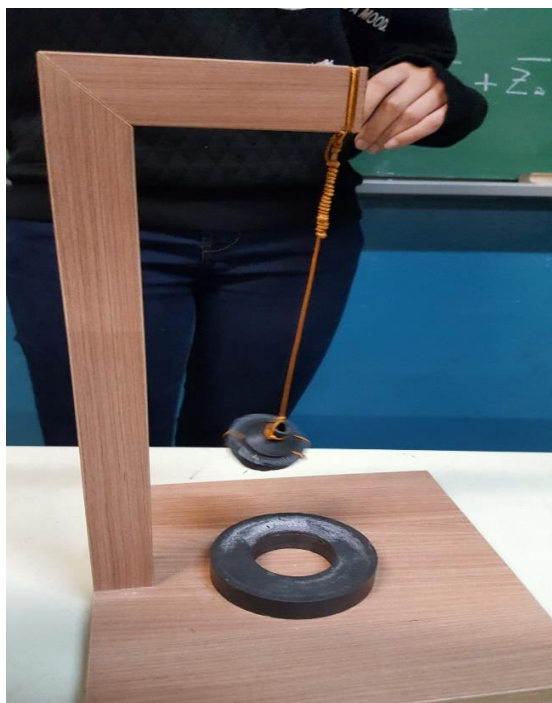
<sup>12</sup> Disponível em: <http://www.geocities.com/inthechaos/obj.htm> . Acesso em: 15 de abr. 2017.

<sup>13</sup> Disponível em: <http://www.feiradeciencias.com.br/sala13> . Acesso em: 16 de abr. 2017.

Por fim, argumentaram:

Identificamos que polos iguais se repelem e ao contrário se atraem, havendo sempre a formação de um pêndulo caótico, provando a teoria do caos e a evolução temporal irregular e imprevisível.

Figura 4.28 — Pêndulo em movimento caótico com os ímãs e as bobinas de cobre.



Fonte: Arquivo do autor.

### **J) Tubo antigravidade (Tubo de Lenz)**

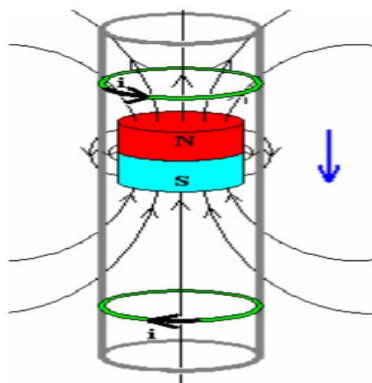
Quando se movimenta um ímã nas proximidades de uma espira condutora fechada, surge uma força eletromotriz induzida na espira, podendo-se assim detectar uma corrente elétrica nesse circuito.

A lei de Faraday expressa apenas a intensidade da força eletromotriz induzida. Sendo assim, em 1834, o físico russo Heinrich E. Lenz (1804-1865) define que a força eletromotriz é igual ao negativo da variação do fluxo magnético no interior da espira.

Ou seja, a Lei de Lenz evidencia o aparecimento de uma reação contrária à ação provocada pelo ímã. Neste caso, se o norte do ímã se aproxima da espira, o sentido da força eletromotriz é anti-horário. Isso porque o norte é o sentido convencional da

corrente elétrica. Por sua vez, o sentido do movimento das cargas positivas coincide com o sentido da força eletromotriz induzida, conforme Figura 4.29.

Figura 4.29 — Ímã em queda livre dentro de um condutor de eletricidade.



Fonte: [www.if.ufrgs.com.br](http://www.if.ufrgs.com.br). Acesso em: 10 de set. 2017.

Nessa experiência, demonstramos o efeito causado por um ímã ao atravessar dois tubos, sendo um de PVC e o outro, condutor de eletricidade (cobre), ambos com um metro de comprimento (Figura 4.30).

Figura 4.30 — Alunos demonstrando a queda do ímã pelos tubos.



Fonte: Arquivo do autor.

Quando o ímã é solto logo acima do tubo de PVC, sua queda é instantânea. Quando fazemos a mesma demonstração no tubo de cobre, o ímã parece “frear”, demorando um pouco mais para sair do tubo; porém, o tubo de cobre não é um material ferromagnético (capaz de ser atraído por ímãs). Isso ocorre devido ao movimento da

queda do ímã produzir um campo magnético através de indução de fluxos magnéticos no tubo de cobre, que reage contra o movimento de queda do ímã, freando sua queda.

Os alunos que montaram esse experimento contaram que:

Foi interessante descobrir que ocorre um efeito retardado quando o ímã é solto dentro do cano de cobre; mais interessante é saber que esses materiais não se atraem.

Tiveram como dificuldades:

Encontrar um cano de cobre de aproximadamente 1,0 m e o ímã de neodímio.

Por fim, argumentaram:

Ao soltarmos o ímã dentro do cano de cobre, que é considerado uma união de espiras, produziremos a geração de corrente elétrica, que retarda a descida do ímã; com o cano de PVC isso não ocorre.

#### **4.4. Apresentações na Mostra de Eletromagnetismo**

A escola contava em 2017 com três turmas do terceiro ano, que totalizam 92 alunos. Desse total, participaram da Mostra apenas 34 alunos, os quais correspondem a 37%. A elevada porcentagem de ausências foi justificada de várias formas, como: ser sábado e alguns alunos trabalharem; não ter como pagar a passagem de ônibus; ter um compromisso não adiável; ter vergonha para apresentação das experiências; esquecimento; e, por fim, não querer apresentar.

Dos 34 alunos presentes, houve grande participação, com explicação de suas experiências e demonstração de suas realizações com habilidade e competência. Os alunos responderam aos questionamentos do público presente, tirando dúvidas e demonstrando a todos que a aprendizagem pode ser divertida.

Durante o período da Mostra (aproximadamente três horas), evento realizado junto com a festa junina, a comunidade local participou visitando os projetos e interagiu com os experimentos procurando saber como os mesmos funcionavam e o que

demonstravam. Os alunos presentes explicaram seus experimentos, detalhando a razão dos efeitos observados e as leis da Física aplicadas a cada demonstração. Como houve boa interação, o evento se tornou agradável, refletindo-se em um momento de aprendizagem para a comunidade e os estudantes, que puderam repassar seu conhecimento aos presentes.

#### **4.5 Resultados da avaliação dos conteúdos referentes ao teste sobre Eletromagnetismo**

Primeiramente, avaliamos os 98 alunos da Turma de 2016 (Turma Controle), através de uma prova teste composta de 30 questões<sup>14</sup> com quatro alternativas cada, sendo apenas uma correta (A1).

Essa avaliação ocorreu no mês de agosto, logo após o recesso, e foi considerada como teste surpresa, pois não foi avisada aos alunos.

No ano seguinte, logo após a realização da Mostra, os 92 alunos da Turma de 2017 (Turma de Aplicação do Produto) também realizaram a mesma prova de 30 questões no mês de agosto como um teste surpresa.

Esse teste é composto, em sua maior parte, por questões relacionadas a ímãs, campos magnéticos, força magnética, indução eletromagnética e as Leis de Faraday e Maxwell, variando-se os graus de dificuldade, de leve a moderado.

O levantamento foi realizado tomando como base a quantidade de acertos nas 30 questões e a quantidade de alunos total em cada turma. Os resultados obtidos são apresentados a seguir.

---

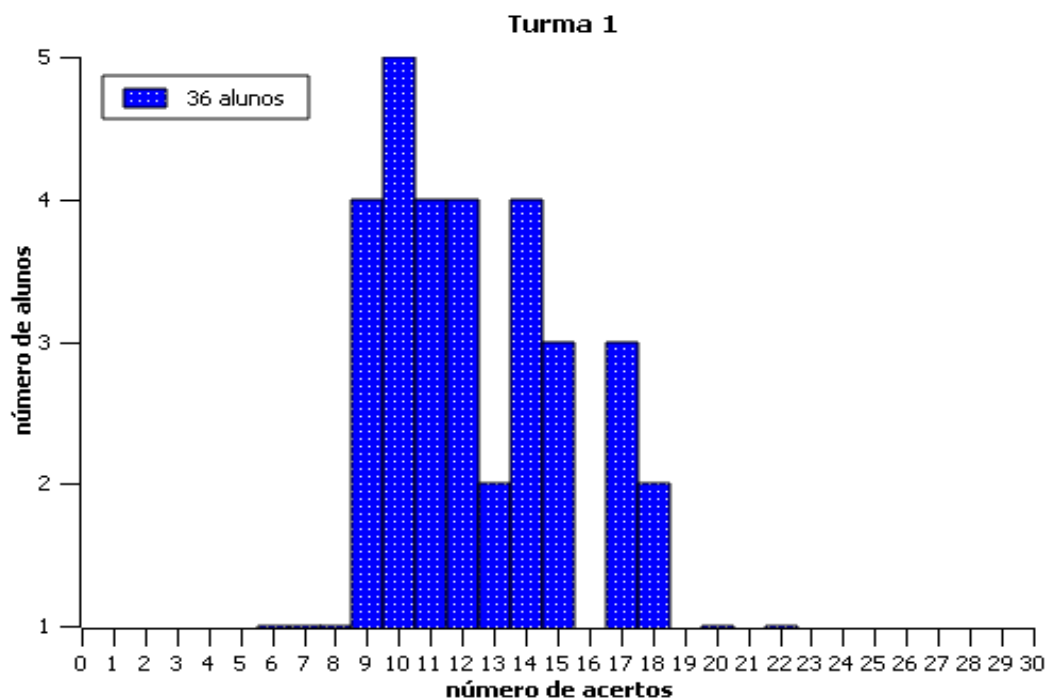
<sup>14</sup> SALA de Física2/teste/Eletromagnetismo. Disponível em [www.geocities.com.br](http://www.geocities.com.br). Acesso em: 24 de abr. 2016.



## ANO 2016 (Turma Controle)

### Resultado da Avaliação I, realizada em 02/08/16 com alunos do terceiro ano do Ensino Médio, período diurno:

Figura 4.31 — Histograma de acertos da Turma 1 do 3º ano do Ensino Médio – 2016.



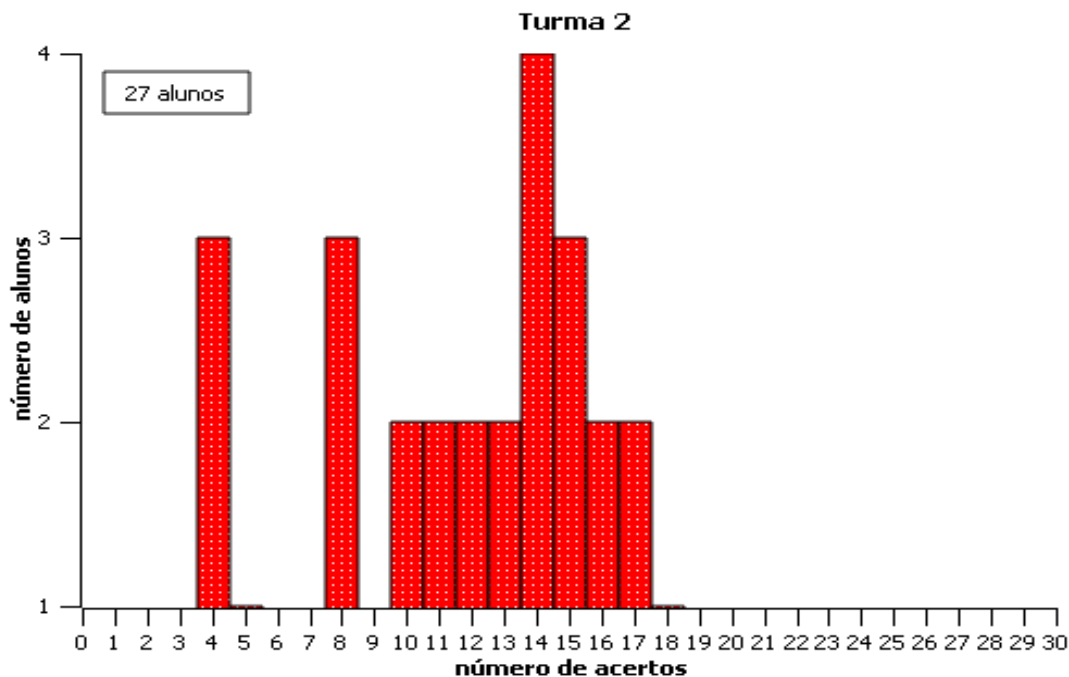
Fonte: Elaboração do autor.

- ✓ Um aluno conseguiu o melhor rendimento individual (22 acertos).
- ✓ Um aluno obteve o pior rendimento individual (6 acertos).
- ✓ 72,2 % dos alunos obtiveram um índice de acertos < que 50% das questões.
- ✓ 27,7% dos alunos obtiveram um índice de acertos  $\geq$  a 50% das questões.

Do total de pontos disponíveis para essa Turma, 1.080 pontos (30 questões  $\times$  36 alunos), 455 foram obtidos, representando 42,1%. Desse percentual, 26% (281 pontos) foram obtidos pelos 26 alunos que não acertaram metade das questões, e 16,1% (174 pontos) foram obtidos pelos 10 alunos que acertaram metade ou mais da metade dos testes.

**Resultado da Avaliação I, realizada em 05/08/16 com alunos do terceiro ano do Ensino Médio, período noturno:**

Figura 4.32 — Histograma de acertos da Turma 2 do 3º ano do Ensino Médio – 2016.



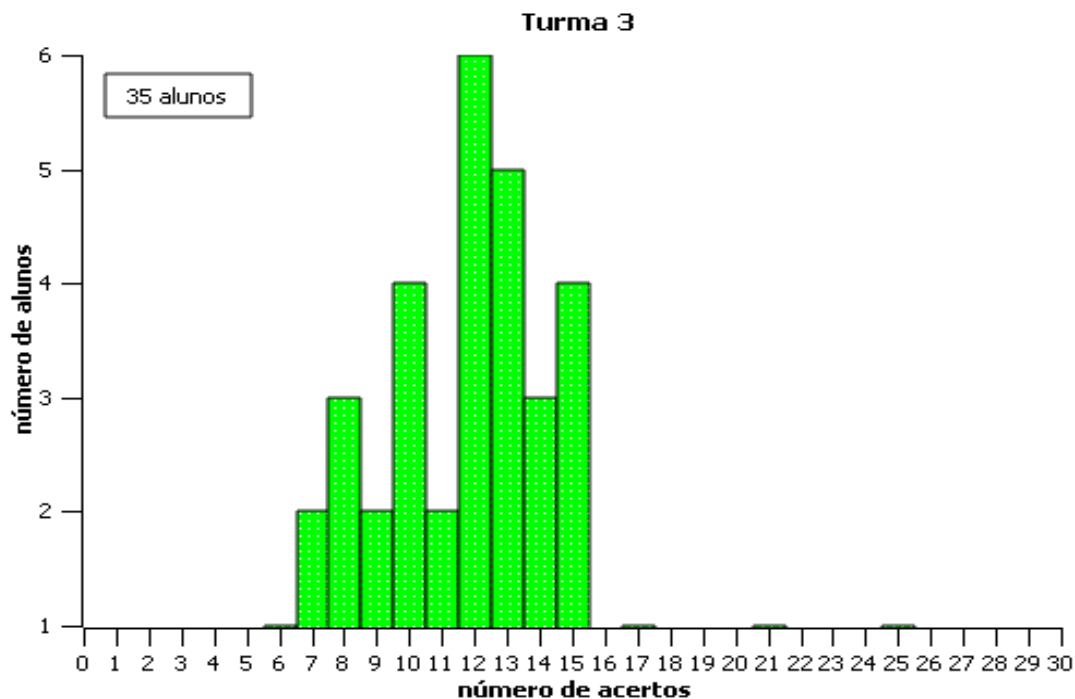
Fonte: Elaboração do autor.

- ✓ Um aluno conseguiu o melhor rendimento individual (18 acertos).
- ✓ Três alunos obtiveram o pior rendimento individual (4 acertos).
- ✓ 70,4 % dos alunos obtiveram um índice de acertos < que 50% das questões.
- ✓ 29,6% dos alunos obtiveram um índice de acertos  $\geq$  a 50% das questões.

Do total de pontos disponíveis para essa turma, 810 pontos (30 questões  $\times$  27 alunos), 318 foram obtidos, representando 39,2%. Desse percentual, 23,3% (189 pontos) foram obtidos pelos 19 alunos que não acertaram metade das questões, e 15,9% (129 pontos) foram obtidos pelos 8 alunos que acertaram metade ou mais da metade dos testes.

**Resultado da Avaliação I, realizada em 04/08/16 com alunos do terceiro ano do Ensino Médio, período noturno:**

Figura 4.33 — Histograma de acertos da Turma 3 do 3º ano do Ensino Médio – 2016.

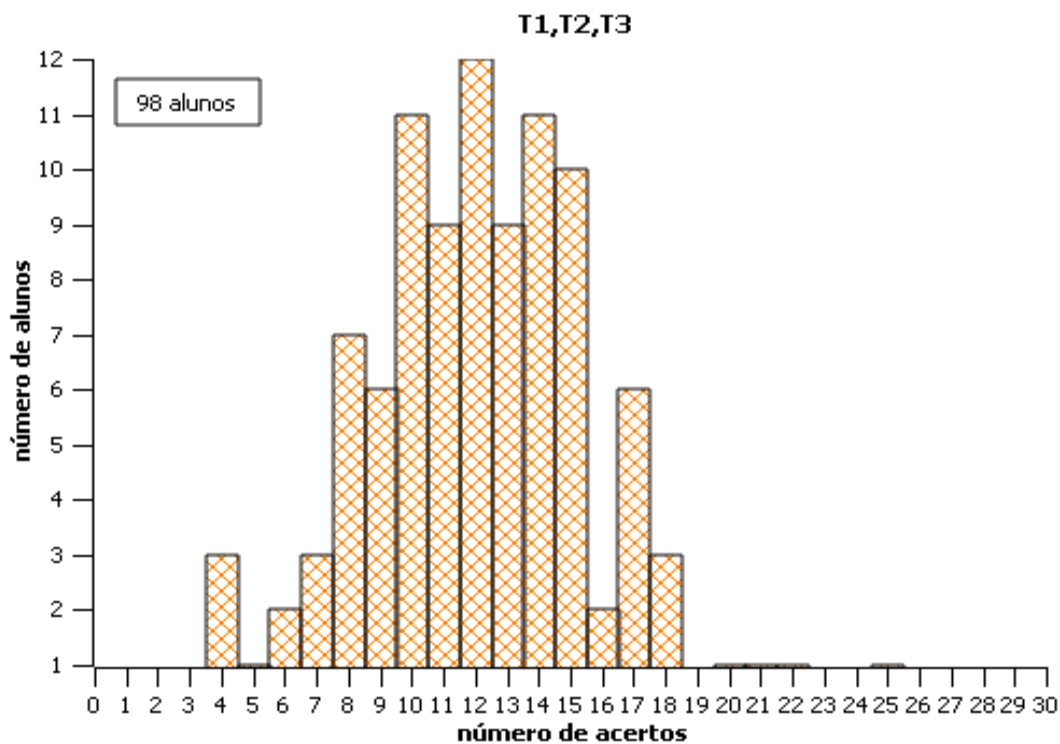


Fonte: Elaboração do autor.

- ✓ Um aluno conseguiu o melhor rendimento individual (25 acertos).
- ✓ Um aluno obteve o pior rendimento individual (6 acertos).
- ✓ 80 % dos alunos obtiveram um índice de acertos < que 50% das questões.
- ✓ 20% dos alunos obtiveram um índice de acertos  $\geq$  a 50% das questões.

Do total de pontos disponíveis para essa turma, 1.050 pontos (30 questões  $\times$  35 alunos), 426 foram obtidos, representando 40,6%. Desse percentual, 28,8% (303 pontos) foram obtidos pelos 28 alunos que não acertaram metade das questões, e 11,8% (123 pontos) foram obtidos pelos 7 alunos que acertaram metade ou mais da metade dos testes.

Figura 4.34 — Histograma de acertos das três turmas do 3º ano do Ensino Médio – 2016.



Fonte: Elaboração do autor.

- ✓ Um aluno conseguiu o melhor rendimento individual (25 acertos).
- ✓ Três alunos obtiveram o pior rendimento individual (4 acertos).
- ✓ 74,5 % dos alunos obtiveram um índice de acertos < que 50% das questões.
- ✓ 25,5% dos alunos obtiveram um índice de acertos  $\geq$  a 50% das questões.

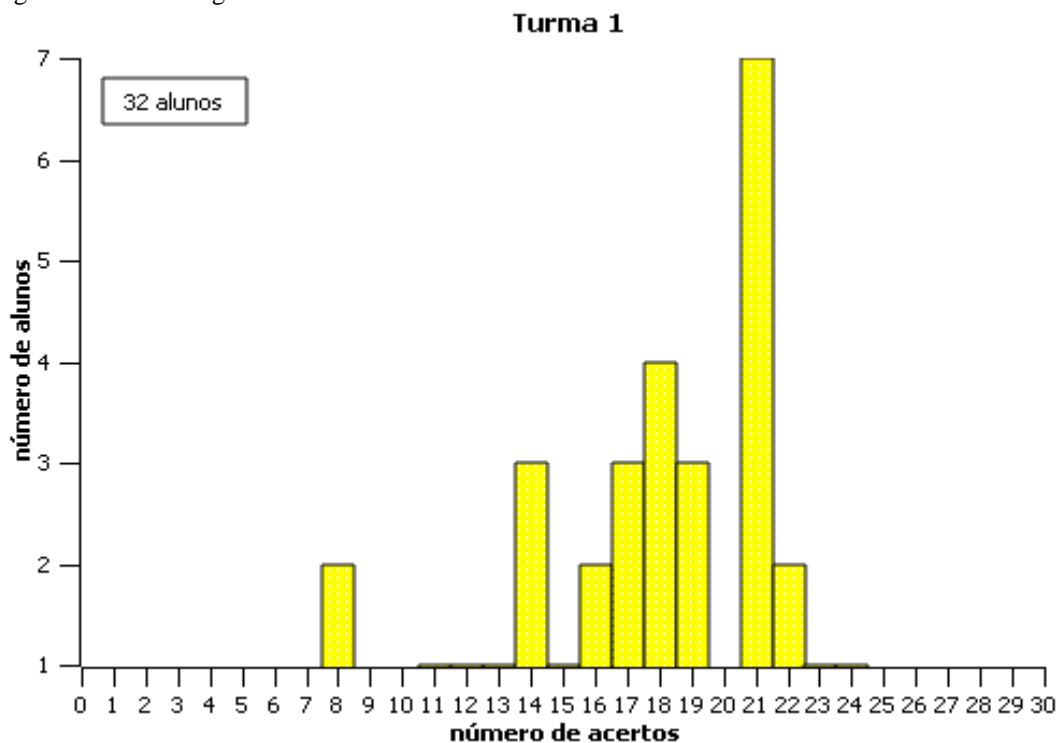
Do total de pontos disponíveis para essas três turmas, 2.940 pontos (30 questões  $\times$  98 alunos), 1.210 foram obtidos, representando 41,15%. Desse percentual, 26,6% (784 pontos) foram obtidos pelos 73 alunos que não acertaram metade das questões, e 14,55% (426 pontos) foram obtidos pelos 25 alunos que conseguiram acertar metade ou mais da metade dos testes.

Verifica-se que a turma do período diurno T1 (Figura 4.31) obteve um índice de aproveitamento ligeiramente maior em relação às turmas noturnas T2 e T3 (Figuras 4.32 e 4.33). Quando analisadas as três turmas juntas, o índice de aproveitamento ainda foi inferior ao desejado, que no caso seria de 50% ou mais. Isso pode ser devido à realização do teste em um período subsequente ao recesso, uma vez que os alunos podem não ter adquirido um conhecimento consistente em relação ao assunto abordado e não tiveram oportunidade de estudar para responder ao teste, pois se tratou de um teste surpresa.

## ANO 2017 (Turma de Aplicação do Produto)

**Resultado da Avaliação I, realizada em 08/08/17 com alunos do terceiro ano do Ensino Médio, período noturno:**

Figura 4.35 — Histograma de acertos da Turma 1 do 3º ano do Ensino Médio – 2017.

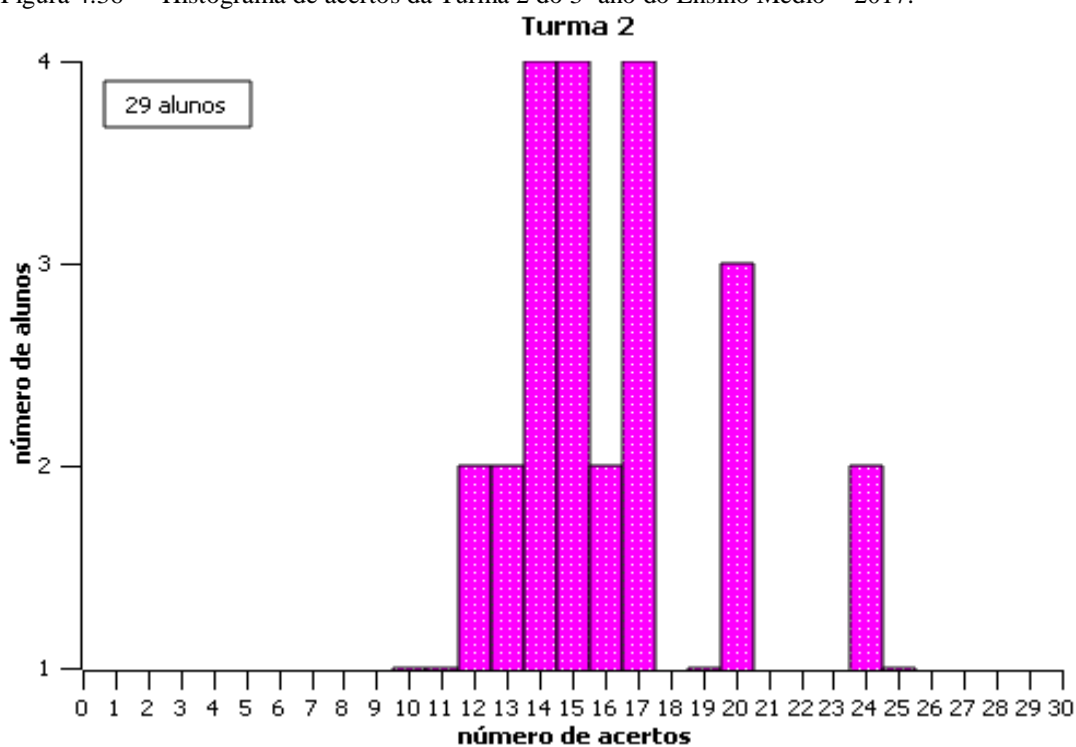


- ✓ Um aluno conseguiu o melhor rendimento individual (24 acertos).
- ✓ Dois alunos obtiveram o pior rendimento individual (8 acertos).
- ✓ 25 % dos alunos obtiveram um índice de acertos < que 50% das questões.
- ✓ 75% dos alunos obtiveram um índice de acerto  $\geq$  a 50% das questões.

Do total de pontos disponíveis para essa turma, 960 pontos (30 questões  $\times$  32 alunos), 559 foram obtidos, representando 58,2%. Desse percentual, 9,8% (94 pontos) foram conseguidos pelos 8 alunos que não acertaram metade das questões, e 48,4% (465 pontos) foram obtidos pelos 24 alunos que conseguiram acertar metade ou mais da metade dos testes.

**Resultado da Avaliação I, realizada em 09/08/17 com alunos do terceiro ano do Ensino Médio, período noturno:**

Figura 4.36 — Histograma de acertos da Turma 2 do 3º ano do Ensino Médio – 2017.



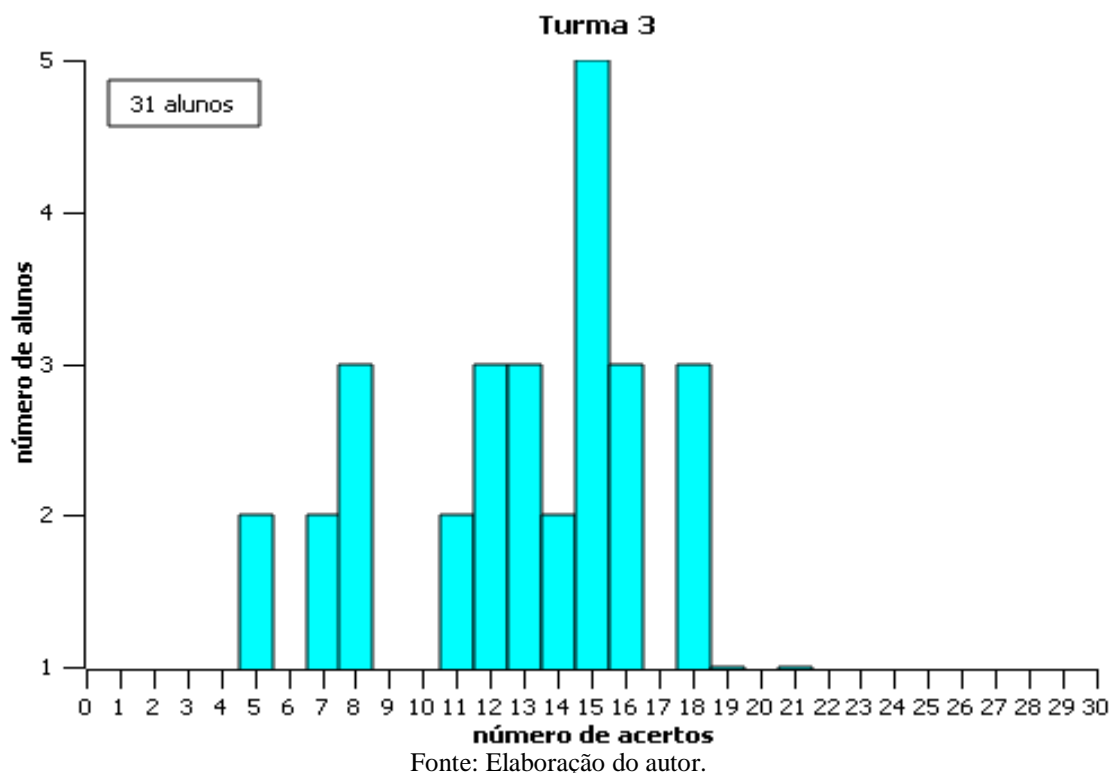
Fonte: Elaboração do autor.

- ✓ Um aluno conseguiu o melhor rendimento individual (25 acertos).
- ✓ Um aluno obteve o pior rendimento individual (10 acertos).
- ✓ 34,5 % dos alunos obtiveram um índice de acertos < que 50% das questões.
- ✓ 65,5% dos alunos obtiveram um índice de acerto  $\geq$  a 50% das questões.

Do total de pontos disponíveis para essa turma, 870 pontos (30 questões  $\times$  29 alunos), 493 foram conseguidos, representando 50,46%. Desse percentual, 17,4% (127 pontos) foram conseguidos pelos 10 alunos que não acertaram metade das questões, e 33,06% (366 pontos) foram conseguidos pelos 19 alunos que acertaram metade ou mais da metade dos testes.

**Resultado da Avaliação I, realizada em 09/08/17 com alunos do terceiro ano do Ensino Médio, período noturno:**

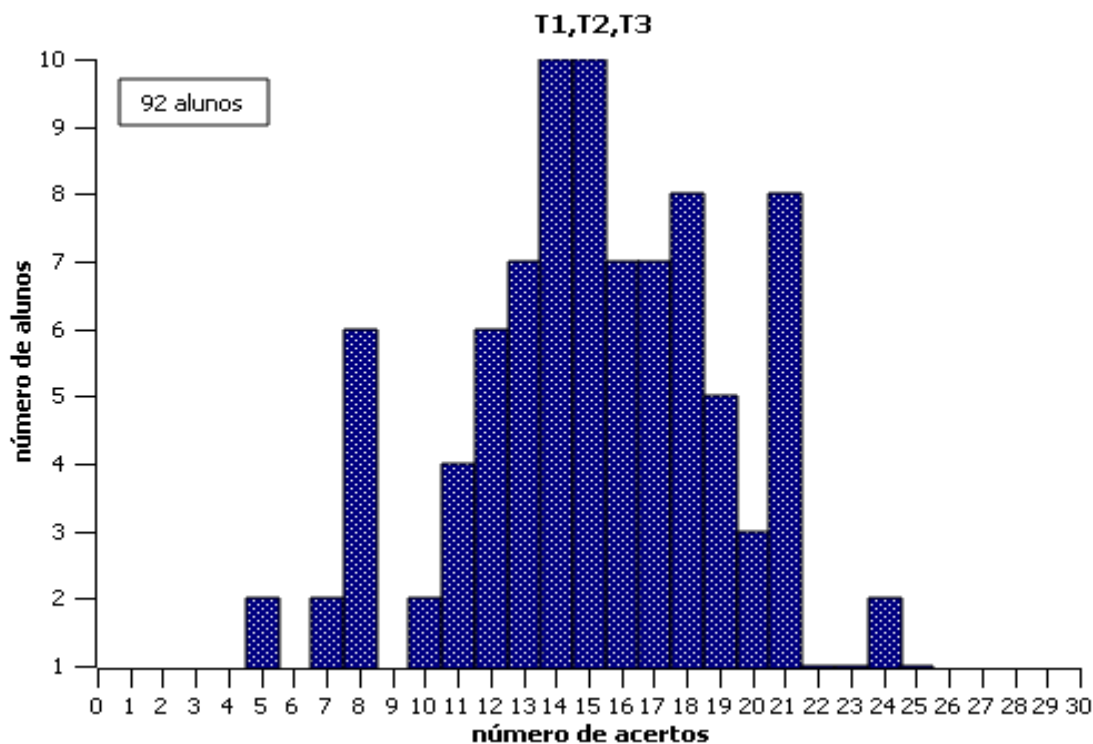
Figura 4.37 — Histograma de acertos da Turma 3 do 3º ano do Ensino Médio – 2017.



- ✓ Um aluno conseguiu o melhor rendimento individual (21 acertos).
- ✓ Dois alunos obtiveram o pior rendimento individual (5 acertos).
- ✓ 58,1 % dos alunos obtiveram um índice de acertos < que 50% das questões.
- ✓ 41,9% dos alunos obtiveram um índice de acerto  $\geq$  a 50% das questões.

Do total de pontos disponíveis para essa turma, 930 pontos (30 questões  $\times$  31 alunos), 400 foram conseguidos, representando 43%. Desse percentual, 19,6% (183 pontos) foram conseguidos pelos 18 alunos que não acertaram metade das questões, e 23,4% (217 pontos) foram obtidos pelos 13 alunos que conseguiram acertar metade ou mais da metade dos testes.

Figura 4.38 — Histograma de acertos das três turmas do 3º ano do Ensino Médio – 2017.



Fonte: Elaboração do autor.

- ✓ Um aluno conseguiu o melhor rendimento individual (25 acertos).
- ✓ Dois alunos obtiveram o pior rendimento individual (5 acertos).
- ✓ 39,2 % dos alunos obtiveram um índice de acertos < que 50% das questões.
- ✓ 60,8 % dos alunos obtiveram um índice de acertos  $\geq$  a 50% das questões.

Do total de pontos disponíveis para essas turmas, 2.760 pontos (30 questões  $\times$  92 alunos), 1.405 foram conseguidos, representando 50,9%; desse percentual, 15,9% (439 pontos) foram conquistados pelos 36 alunos que não acertaram metade das questões, e 35% (966 pontos) foram obtidos pelos 56 alunos que conseguiram acertar metade ou mais nos testes.

É possível verificar que a turma T1 obteve um ótimo aproveitamento, em que 75% dos alunos conseguiram acertar 50% ou mais do teste (Figura 4.35). Atribui-se tal sucesso à forma diferenciada de trabalhar o conteúdo, através da aplicação do produto, com o desenvolvimento e discussão dos experimentos. Nessa sala, a maioria dos alunos apresentou o experimento, tirou dúvidas e aprovou a dinâmica desenvolvida na aula.

Identifica-se também que as turmas T2 e T3 não obtiveram o mesmo rendimento. Isso ocorreu devido à falta de empenho na elaboração, discussão e desenvolvimento do



experimento, pois tratavam-se de turmas com perfis diferentes, o que demonstra que a prática educativa implica um processo diferenciado de aluno para aluno.

Uma comparação qualitativa já permite verificar que o desempenho dos estudantes da Turma 2017 foi superior ao desempenho dos estudantes da Turma 2016. Para subsidiar melhor a discussão, foi realizada uma análise mais detalhada, considerando os dados de todos os alunos de cada ano e comparando seu desempenho, como será apresentado na seção seguinte. Não foram realizadas análises de cada turma separadamente no intuito de evitar resultados tendenciosos, visto que os perfis das turmas eram distintos.

#### 4.5.1. Curva de Gauss

A curva de Gauss, ou gaussiana, é utilizada para determinar a distribuição de um evento aleatório, em que a ocorrência não segue as regras e padrões que permitam fazer previsões<sup>15</sup>. Sua expressão utiliza as constantes  $\pi$  e  $e$ , e os parâmetros da distribuição: média ( $\mu$ ) e desvio padrão ( $\sigma$ ), conforme a Equação 4.7:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

(Equação 4.7)

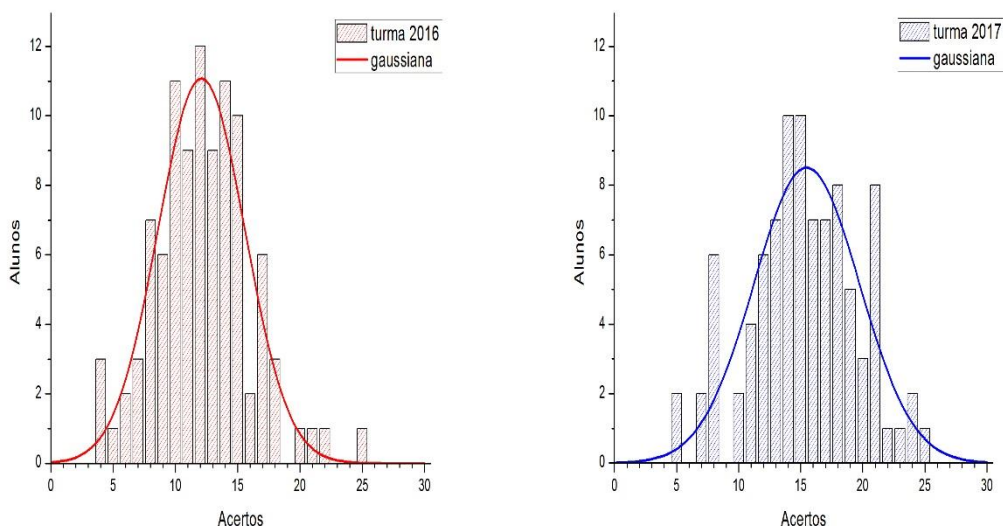
No intuito de comparar os resultados obtidos no teste aplicado à Turma Controle (2016) e à Turma que participou do desenvolvimento do produto (2017), foram ajustadas funções gaussianas aos histogramas apresentados nas Figuras 4.34 e 4.38., conforme Figura 4.39.

Podemos identificar tanto na Figura 4.39 quanto nos resultados da Tabela 4.3, que os resultados dos testes da Turma 2016 apresentaram uma distribuição estreita, com média de acertos inferior a 50%, a maior parte de sua área correspondendo a alunos que não atingiram 50% de acertos.

---

<sup>15</sup>Disponível em: <https://educacao.uol.com.br/matematica/distribuicao-normal.jhtm> . Acesso em: 12 de maio. 2017.

Figura 4.39 — Comparação entre as gaussianas 2016 e 2017.



Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 4.3 — Parâmetros do ajuste da função gaussiana aos histogramas de acertos nos testes aplicados à Turma Controle (2016) e à Turma de Aplicação do Produto (2017).

2016		2017	
Número de alunos	98	Número de alunos	92
Média ( $\mu$ )	12,08981	Média ( $\mu$ )	15,48463
Desvio padrão ( $\sigma$ )	6,97927	Desvio padrão ( $\sigma$ )	8,5122
Altura	11,07783	Altura	8,50831
Área	96,90	Área	90,77

Fonte: Elaboração do autor.

Aplicando o teste Z, que é um teste estatístico usado para inferência (afirma a verdade de uma preposição em decorrência de sua ligação com outras já reconhecidas como verdadeiras, conforme SILVA, F. P., 2015), dado pela Equação 4.8, é possível verificar que o valor médio obtido para a turma 2016 vale 4,157, ou seja, **0,59 $\sigma$  abaixo** de metade dos acertos ( $x = 15$  questões).

$$Z = \frac{(\bar{x} - \mu_{\bar{x}})}{\frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}}$$

(Equação 4.8)

Para a Turma de 2017, a gaussiana apresenta-se com uma distribuição mais larga, ou seja, número de acertos melhor distribuído entre um número maior de alunos. O teste Z resultou no valor de + 0,546, que representa **0,064 $\sigma$  acima** da metade dos acertos.

Podemos afirmar, portanto, que entre as turmas de 2016 e 2017 dobrou o número de alunos que acertaram 50% ou mais nos testes, havendo nitidamente melhor desempenho na avaliação referente ao conteúdo trabalhado, segundo o gráfico da distribuição gaussiana.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Encontrar uma maneira de ensinar Física de modo que todos os alunos entendam seus fundamentos e se sintam por ela atraídos seja, talvez, o principal objetivo de um professor que leciona essa disciplina. Contudo, o que se tem hoje é um quadro de distanciamento e desinteresse da maioria deles pelas ciências e, em especial, pela Física.

O ensino público sofre com a falta de recursos, com um aumento demasiadamente grande no número de alunos por sala de aula e a falta de professores formados e capacitados nessa área. No ensino privado, alunos são inseridos num ensino médio pautado na resolução de problemas que não expressam a realidade, em que as instituições estão mais preocupadas com os vestibulares e o ENEM do que com uma Física associada ao dia a dia dos educandos.

Tendo em vista tal conjuntura, propusemos nesta dissertação um produto educacional cuja finalidade é contribuir de forma positiva para a melhoria do ensino de Física, aproximando os alunos dessa disciplina.

Nossa proposta, que consistiu na realização de experimentos para o estudo do Eletromagnetismo, é um recurso didático-pedagógico capaz de aguçar a curiosidade dos alunos de forma natural e voluntária. Evidentemente, quando bem trabalhada, pode ser bastante útil para complementar as aulas tradicionais, como se observa pelos relatos apresentados.

Foi possível perceber ainda que, em 2016, quando o tema Eletromagnetismo foi abordado utilizando-se somente os livros didáticos, a desmotivação e a pouca retenção de conteúdos era perceptível ao longo das aulas e durante a análise das avaliações. Em contraposição, a partir do momento em que se iniciou o estudo desse tema via pesquisa e elaboração de experimentos com a Turma de 2017, houve maior interesse dos estudantes pelo estudo da Física.

Os estudantes realizaram as atividades para a demonstração dos experimentos durante 18 semanas, aproximadamente, ocasião em que se desenvolveram as etapas de pesquisa, compra de materiais, montagem, preparação, elaboração, apresentação prévia em sala de aula, com discussão, e apresentação final à comunidade.

O grau de interesse e participação variou entre as diferentes turmas. No entanto, de maneira geral, os alunos manifestaram satisfação em realizar as atividades propostas como parte de seu aprendizado.

Visando comparar o aproveitamento do conteúdo das aulas desenvolvidas a partir da metodologia proposta com o aproveitamento baseado na metodologia tradicional, foram realizadas avaliações do tipo teste com as turmas de 2016, denominadas Turma Controle, e de 2017, quando houve aplicação do produto.

As turmas de 2016 obtiveram o índice de 41,15% de aproveitamento, considerando o número de acertos em relação ao total do número de questões. As turmas de 2017, por sua vez, obtiveram 50,9% de aproveitamento. Como nos dois anos, a matéria vista foi a mesma, com os mesmos recursos, diferenciando-se apenas a inclusão da parte prática. Os índices gerados apontam que a prática introduzida proporcionou melhora no desempenho dos estudantes.

Embora para diferentes turmas, a matéria curricular trabalhada foi a mesma, e a população investigada por ano foi de quase uma centena de alunos, o que proporciona maior confiabilidade às conclusões que podem ser extraídas dos índices determinados. Os dados analisados demonstram ainda que a proposta de experimentação, com pesquisa, elaboração e apresentação dos projetos, melhorou significativamente o aproveitamento dos estudantes em relação ao conteúdo Eletromagnetismo.

Por fim, pode-se afirmar que houve melhora expressiva no desempenho acadêmico dos alunos com a aplicação do produto proposto. Isso se deve não somente ao maior índice de acertos obtidos nos testes mas, sobretudo, ao reconhecimento da importância do processo de aprendizagem por parte dos alunos, à participação voluntária na mostra sobre Eletromagnetismo, à evolução do comportamento cooperativo da Turma na busca pela elucidação e compreensão de teorias (antes extremamente abstratas) e à satisfação pela realização dos experimentos, que representaram a concretização de um objetivo proposto.

Um desafio ou projeto situa-se como uma proposta de intervenção pedagógica que dá à atividade de aprender um novo sentido face às tentativas de resolução de situações-problema. Ele produz situações de aprendizagem para muito além dos muros da escola, propiciando aos educandos momentos de reflexão, pesquisa e construção da autonomia, do espírito de liderança, da convivência e do trabalho em grupo.

Ao ter a oportunidade de decidir, escolher, opinar e criticar durante o desenvolvimento de um projeto como o apresentado, os alunos geram novas necessidades de aprendizagem, o que torna a aprendizagem um processo ativo, interessante, significativo e real. A educação formal, assim, passa a ser mais agradável, estimulante e até mesmo divertida.

## 6. REFERÊNCIAS

ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. *Ensino de Ciências: fundamentos e métodos*. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2002.

ARAÚJO, M. S. T; ABIB, M. L. V. S. Atividades Experimentais no Ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 25, n. 2, pp. 176-194, 2003. Disponível em: <[www.sbfisica.org.br](http://www.sbfisica.org.br)> . Acesso em: 22 de jul. 2017.

ASSIS, A. K. T; CHAIB, J. P. M. C. A experiência de Oersted em sala de aula. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 1, pp. 41-51, 2007. Disponível em: <[www.sbfisica.org.br](http://www.sbfisica.org.br)> . Acesso em: 10 de ago. 2017.

AUSUBEL, D. *Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva*. Lisboa: Planalto, 2003.

AZEVEDO, M. C.; CARVALHO. A. M. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. In: *Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática*. São Paulo: Cengage Learning, 2009, pp. 105-112.

BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação e Tecnologia, *Parâmetros Curriculares Nacionais*. Ensino Médio, Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias. Brasília, 2000-2006.

BONJORNO, J. *Física - Eletromagnetismo*. 3.ed. São Paulo: FTD, 2016.

CARNEIRO, N. L. *A prática docente nas escolas públicas, considerando o uso do laboratório didático de Física*. Fortaleza, Tese de Mestrado em Física – Universidade Estadual do Ceará, 2007. Disponível em: <[www.uece.br/fisica/index.php](http://www.uece.br/fisica/index.php)> . Acesso em: 18 de set. 2017.

CARVALHO, A. M. P; GIL-PÉREZ, D. *Formação de professores de ciências*. São Paulo: Cortez, 2000, p.120.

DEL PRETTE, Z. A. P. e DEL PRETTE, A. Habilidades sociais e educação: pesquisa e atuação em psicologia escolar. In: DEL PRETTE, Z. A. P. (Org.). *Psicologia Escolar, Saúde e Qualidade de Vida*. Campinas: Alínea, 2001, pp. 113-141.

DIOGO, R. C.; GOBARA, S. T. Sociedade, educação e ensino de física no Brasil: do Brasil Colônia ao fim da Era Vargas. In: *17 Simpósio Nacional de Ensino de Física*, 2007. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/programa>>. Acesso em: 20 de abr. 2017.

FAGUNDES, S. M. K. Experimentação nas Aulas de Ciências: Um Meio para a Formação da Autonomia. In: GALIAZZI, M. do C. *Construtivismo curricular em rede na educação em ciências: uma porta de pesquisa na sala de aula*. Ijuí: Unijuí, 2007.

FAZENDA, I. C. A. *Interdisciplinaridade, um projeto em parceria*. 5. ed. São Paulo: Loyola, 2002. V.13, Coleção Educar, pp. 75-77.

FERREIRA, G. F. Um enfoque didático as equações de Maxwell, 2015. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 37, n. 2, p. 2301. Disponível em: <[www.sbfisica.org.br](http://www.sbfisica.org.br)>. Acesso em: 20 de ago. 2017.

FREITAS, D; ZANON, D. A. A aula de ciências nas séries do ensino fundamental: ações que favorecem a sua aprendizagem. *Revista Ciências & Cognição*. Ilha do Fundão, v. 10, mar. de 2007, pp. 93-103. Disponível em: <<http://cienciasecognicao.org>>. Acesso em: 19 de out. 2016.

FRISON, L. M. B. A perspectiva do especialista em educação: um olhar sobre orientação educacional: avanços e possibilidades. In: *Seminário Interdisciplinar em supervisão escolar e orientação educacional*. Santa Cruz do Sul, Unisc, set.-dez. 2000.

GASPAR, A. *Atividades experimentais no ensino de Física: uma nova visão baseada na teoria de Vygotsky*. São Paulo: Livraria da Física, 2014.

GASPAR, A. *Experiências de Ciências*. 2.ed. São Paulo: Livraria da Física, 2014.

GAZOLA, R. J. C. *et al.* O Experimento investigativo e as representações de alunos de ensino médio como recurso didático para o levantamento e análise de 12 obstáculos epistemológicos. In: *6 Simpósio Latino Americano de educação em Ciências*. Londrina, 18-21 de set. 2011.

GIANI, K. *A experimentação no Ensino de ciências: possibilidades e limites na busca de uma aprendizagem significativa*, Tese de Mestrado em Ensino de Ciências. Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

GONÇALVES, A. F. *Física, Integração e Tecnologia - Volume 3*. 2. ed. São Paulo: Leya, 2016.

HALLIDAY, D. e RESNICK, R. *Fundamentos da Física 3*. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008, pp. 323- 333.

HEWITT, P. *Física Conceitual*. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008, pp. 432-442.

HOUSOME, Y.; OLIVEIRA, R. V. B. Diferentes concepções da Ciência e implicações para o seu ensino. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 44, pp.111-126, 2012. Disponível em: <[www.sbfisica.org.br](http://www.sbfisica.org.br)> .Acesso em: 08 de fev. 2018.

KAWAMURA, M. R. D; RIBEIRO, R.A. Divulgação Científica e ensino de Física: intenções, funções e vertentes. 1996. Disponível em: <[www.cienciamao.usp.br](http://www.cienciamao.usp.br)>. Acesso em: 02 de mar. 2017.

MAGALHÃES. M; SANTOS.W. Uma proposta para ensinar os conceitos de campo elétrico e magnético: uma aplicação da história da Física, 2002. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 24, n. 4, p.489. Disponível em: <[www.sbfisica.org.br](http://www.sbfisica.org.br)> . Acesso: em 12 de set. 2017.

MARCATO, M. A. Sobre as Equações de Maxwell, 2009. *Revista Engenharia*, ed. 592. Disponível em: <[http://www.brasilengenharia.com/portal/revista/edicoes-anteriores/item/edicao-592?category\\_id=3](http://www.brasilengenharia.com/portal/revista/edicoes-anteriores/item/edicao-592?category_id=3)>. Acesso em 20 de nov. 2017.

MEGID J, N.; FRACALANZA, H.; FERNANDES, R. C. A. O que sabemos sobre a pesquisa em Educação em Ciências no Brasil (1972-2004). In: *5º Encontro Nacional de Pesquisa em Educação e Ciências*. Bauru, dez. 2005.

MENEZES, L. C. *Coleção Quanta Física - 3ºano*. São Paulo: PD, 2010, pp. 162-179.

MOREIRA, M. A. *Aprendizagem significativa*. Brasília: UnB, 1998.

MOREIRA, M. A. *O que é afinal Aprendizagem Significativa?* Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/oqueeafinal.pdf>> . Acesso em: 15 de abr. 2017.

MOREIRA, M. A; MASINI, E. A. S. *Aprendizagem significativa: condições para ocorrência e lacunas que levam a comprometimentos*. São Paulo: Centauro, 2006.

MOREIRA, M. A. *Aprendizagem Significativa: Um conceito subjacente - teoria e texto complementares*. São Paulo: Livraria da Física, 2011.



NUSSENZVEIG, M. H. *Curso de Física Básica, Vol.3 - Eletromagnetismo*. São Paulo: Edgard Blucher, 1997, pp.143- 165.

OLIVEIRA, C. *Eletricidade e Magnetismo*. São Paulo: Basilio, 2017.

PERUZZO, J. *Experimentos da Física Básica: eletromagnetismo*. São Paulo: Livraria da Física, 2013.

PEDRISA, C. M. Características históricas do ensino de ciências. In: *Revista Ciência & Ensino*, Campinas, n. 11, pp. 9-12, 2001.

PIAGET, J. *O diálogo com a criança e o desenvolvimento do raciocínio*. São Paulo: Scipione, 1997.

PIETROCOLA, M. Construção e Realidade: O realismo científico de Mario Bunge e o ensino através de modelos: *Investigação em ensino de ciências*. Florianópolis, 1999, pp. 213-227.

RAMOS, L. S.; ANTUNES, F.; SILVA, L. H. Concepções de professores de Ciências sobre o ensino de Ciências. In: *Revista Brasileira de Ensino de Biologia*, n. 3, out. de 2010, pp. 1666-1674.

RIBEIRO, B. Precisamos respeitar o jovem para que ele não saia da escola. *Jornal Estadão*, São Paulo, 14 de jun. 2018.

RICARDO, E. C. *Competências, interdisciplinaridade e contextualização: dos Parâmetros Curriculares Nacionais a uma compreensão para o ensino de ciências*. Florianópolis, Tese de Doutorado em Ciência da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, 2005. Disponível em: <<http://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/102668>> . Acesso em: 14 de maio. 2017.

ROCHA, J. F. *Origens e evolução das ideias da física*. Salvador: EDUFBA, 2002.

SANTOS, J.C.F. *Aprendizagem significativa: modalidade de aprendizagem e o papel do professor*. Porto Alegre: Mediação, 2008.

SEAR e ZEMANSKY, *Física III*, eletromagnetismo/Young e Freedman. São Paulo: Pearson, 2009.

SERWAY, R. A. *Princípios da Física*. 3.ed. São Paulo: Trilha, 2013.

SEWAY, R. A; JEWETT, J. Jr. *Física para cientistas e engenheiros*. 9. ed. São Paulo: Cengage, 2018.

SILVA, F. P. *Teste Z*. Paraná, Tese de Metrado em Bioestatística, Universidade Federal do Paraná, 2015. Disponível em: <[http://www.leg.ufpr.br/lib/exe/fetch.php/disciplinas:ce001:teste\\_z](http://www.leg.ufpr.br/lib/exe/fetch.php/disciplinas:ce001:teste_z)> . Acesso em: 17 de maio. 2018.

SILVA, L. H. A; ZANON, L. B. *Experimentação no ensino de ciências*. In: SCHNETZER, R.; ARAGÃO, R. M. (Org). *Ensino de Ciências: fundamentos e abordagens*. Campinas: V Gráfica, 2000, pp. 120-153.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. *Ensino de Física online: e-física/ Eletromagnetismo*. São Paulo: 2016. Disponível em < <https://efisica.atp.usp.br/home>>. Acesso em: 12 de abr. 2018.

VALIO, A. *Física 3: Ser Protagonista*. São Paulo: SM, 2016, pp. 150-168.

VYGOTSKY, L.S. *A construção do pensamento e da linguagem*. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

ZABALA, A. *A prática educativa: como ensinar*. Porto Alegre: Artmed, 1998.

## APÊNDICE 1 (A1): AVALIAÇÃO APLICADA AOS ESTUDANTES

Responda as questões no gabarito:

1. Constitui indução eletromagnética:

- a) o aparecimento de uma força eletromotriz devido à variação com o tempo de um campo magnético.
- b) o aparecimento de um campo magnético devido ao movimento de cargas elétricas.
- c) o aparecimento de um campo magnético, devido à variação com o tempo de um campo elétrico.
- d) a separação de cargas elétricas de um campo neutro quando se aproxima uma carga elétrica.

2. Para que um transformador elétrico funcione é necessário:

- a) alimentá-lo com corrente elétrica.
- b) alimentá-lo com corrente alternada.
- c) fornecer-lhe alta tensão constante.
- d) fornecer-lhe baixa tensão constante.

3. Dois condutores elétricos, retilíneos, dispostos paralelamente um ao outro, são percorridos por correntes contínuas, distintas e de mesmo sentido. A tendência destes condutores é de:

- a) permanecem na mesma posição.
- b) repulsão mútua.
- c) aproximação ou repulsão dependendo das correntes.
- d) aproximação mútua.

4. Um eletroímã difere de um ímã natural, porque:

- a) é temporário e não pode ter sua polaridade invertida.
- b) é permanente e pode ter sua polaridade invertida.
- c) é temporário e pode ter sua polaridade invertida.
- d) é permanente e não pode ter sua polaridade invertida.

5. Substâncias que, naturalmente apresentam capacidade magnética:

- a) zinco, ferro e chumbo.
- b) alumínio, prata e ferro.
- c) ferro, níquel e cobalto.
- d) chumbo, ferro e níquel.

6. A corrente elétrica que passa por um fio metálico:

- a) sempre produz campo magnético ao redor do fio.
- b) só produz campo elétrico.
- c) só produz campo magnético no interior do fio.
- d) produz campo magnético somente se a corrente for variável.

7. Aquecendo-se um ímã, causa-se nele:

- a) enfraquecimento do campo magnético.
- b) inversão de polaridade.
- c) intensificação do campo magnético.
- d) nada acontece.

8. O polo norte magnético de um ímã:

- a) atrai o polo norte de outro ímã.
- b) repele o polo sul de outro ímã.
- c) repele cargas negativas.
- d) atrai o polo sul de outro ímã.

9. Que tipo de dano o magnetismo pode fazer sobre você?

- a) levantar seus cabelos.
- b) causar choque elétrico.
- c) fornecer energia ao seu corpo.
- d) não há nenhum efeito prejudicial conhecido.

10. Para demonstrar a inexistência de polos magnéticos isolados e identificar a inseparabilidade dos polos magnéticos, o fluxo deverá:

- a) ser cessante e aberto, partindo do polo norte para o sul.
- b) ser contínuo e fechado, partindo do polo norte para o sul.
- c) ser intermitente e fechado, partindo do polo sul para o norte.
- d) ser contínuo e fechado, partindo do polo sul para o norte.

11. Para serem produzidos efeitos magnéticos, através de variações no fluxo elétrico, devemos ter:

- a) uma carga elétrica oscilante, produzindo um campo elétrico variável.
- b) um campo magnético, produzido por um ímã.
- c) uma carga elétrica contínua, produzindo um campo elétrico contínuo.
- d) Movimento constante de um ímã, que atravessa um circuito fechado (bobina).

12. Quebrando-se um ímã pela metade, vamos obter:

- a) um ímã só com polo norte e outro só com polo sul.
- b) dois ímãs igual ao primeiro.
- c) dois ímãs só com polo sul.
- d) dois ímãs só com polo norte.

13. Quando aproximamos as pontas de dois ímãs:

- a) sempre há atração.
- b) sempre há repulsão.
- c) não há atração nem repulsão.
- d) pode haver atração e repulsão.

14. O telégrafo e a campainha apresentam em comum:

- a) motor elétrico.
- b) retificador de corrente elétrica.
- c) eletroímã.
- d) lâmpada elétrica.

15. O funcionamento do motor elétrico se baseia:

- a) na repulsão entre polos de igual nome.
- b) na atração entre dois polos de nomes contrários.
- c) na atração entre polos de igual nome.
- d) na repulsão entre polos de nomes contrários.

16. O telefone é uma das aplicações de:

- a) efeitos magnéticos da corrente elétrica.
- b) efeitos químicos da corrente elétrica.
- c) efeitos de corrente induzida.
- d) efeitos joule da corrente elétrica.

17. Dentre os aparelhos ou dispositivos elétricos abaixo, é uma aplicação prática do eletromagnetismo:

- a) a lâmpada.
- b) o chuveiro.
- c) a torradeira.
- d) a campainha

18. Um pedaço de ferro é colocado nas proximidades de um ímã. Assinale a alternativa correta:

- a) é ferro que atrai o ímã.
- b) é o ímã que atrai o ferro.
- c) a atração do ímã pelo ferro é mais intensa do que a atração do ferro pelo ímã.
- d) a atração do ferro pelo ímã é igual à atração do ímã pelo ferro (em módulo).

19. Os campos magnéticos não interagem com:

- a) ímãs em repouso.
- b) ímãs em movimento.
- c) materiais diamagnéticos.
- d) correntes elétricas.

20. Para que ocorra o fenômeno da indução eletromagnética, é suficiente que:

- a) haja um campo magnético próximo do observador.
- b) ocorra variação do fluxo magnético através da espira.
- c) cargas elétricas interajam com campos elétricos.
- d) uma corrente elétrica contínua produza um campo magnético.

21. A corrente elétrica induzida surge num condutor, quando:

- a) este se move paralelamente às linhas de indução.
- b) este se move cortando as linhas de indução.
- c) este é posto em contato com o ímã.
- d) este permanece em repouso num campo magnético.

22. Região do espaço onde atua a atração de um ímã:

- a) campo gravitacional.
- b) campo polar.
- c) campo magnético.
- d) campo elétrico.

23. Se aproximarmos o polo sul de um ímã do polo sul de outro ímã:

- a) eles se repelem.
- b) eles se atraem.
- c) nada acontece.
- d) eles se unem.

24. Ímã natural é um fragmento de:

- a) ferro doce.
- b) magnetita.
- c) magnésia.
- d) aço.

25. No polo magnético norte da Terra uma bússola:

- a) se apresenta horizontalmente.
- b) gira rapidamente.
- c) se apresenta verticalmente.
- d) forma um ângulo com o horizonte

26. A transformação de energia mecânica em energia elétrica é realizada em:

- a) motores elétricos.
- b) transformadores.
- c) eletroímãs.
- d) dínamos e alternadores.

27. Quando uma barra de ferro é magnetizada são:

- a) acrescentados elétrons à barra.
- b) ordenados os ímãs elementares da barra.
- c) acrescentados ímãs elementares à barra.
- d) retirados ímãs elementares da barra.

28. Uma carga elétrica imersa num campo magnético ficará:

- a) sempre sujeita à ação de uma força magnética.
- b) sob a ação de uma força magnética, se estiver em movimento.
- c) sob a ação de forças magnéticas se estiver em movimento não paralelo às linhas de indução do campo.
- d) sob a ação de forças magnéticas locomovendo-se perpendicularmente às linhas de indução de campo.

29. Um fio condutor retilíneo e longo é percorrido por uma corrente elétrica constante, que cria um campo magnético em torno do fio. Esse campo magnético:

- a) tem o mesmo sentido da corrente elétrica.
- b) é uniforme.
- c) diminui à medida que a distância em relação ao condutor aumenta.
- d) é paralelo ao fio.

30. O fenômeno da indução eletromagnética é usado para gerar praticamente toda a energia elétrica que consumimos. Esse fenômeno consiste no aparecimento de uma força eletromotriz entre os extremos de um fio submetido a um:

- a) fluxo magnético variável.
- b) campo elétrico.
- c) campo magnético invariável.
- d) campo eletromagnético invariável.

## **APÊNDICE 2 (A2): PRODUTO EDUCACIONAL**

## MANUAL PARA A CONSTRUÇÃO DE EXPERIMENTOS SOBRE ELETROMAGNETISMO



[www.if.usp.br/gref](http://www.if.usp.br/gref)

H. R. Monteiro e A. O. Delgado Silva

UFSCar- Sorocaba

Novembro/2018

## PREFÁCIO

Nos últimos anos, temos percebido que os alunos vêm perdendo o estímulo durante as aulas, a que estão assistindo só “de corpo presente”. Para a prova, decoram ou colam, e, às vezes, nem isso, pois sabem que dificilmente irão repetir de ano. Com isso, o professor pode perder o prazer em lecionar, tornando a aula monótona e estressante para os dois lados (do aluno e do professor).

Mas onde fica o ensino? Pois reproduzir teoremas e resolver exercícios na lousa sem a reciprocidade do aluno para suas explicações fica exaustivo. Foi pensando nisso que decidimos contribuir com professores e alunos preparando um guia de experimentação, com experiências de fácil realização e de baixo custo (utilizando inclusive materiais reciclados), que permitam demonstrar a matéria já vista, que ajudem na compreensão e no entendimento da maioria dos alunos e que despertem o interesse pela Física.

Este produto educacional foi desenvolvido com a intenção de motivar principalmente os alunos, e também incentivar o professor de Física a trabalhar mais com experimentos em sala de aula. A proposta aqui apresentada foi aplicada durante 18 semanas em uma escola do interior do Estado de São Paulo. Na etapa inicial desse processo, procuramos *sites* e livros que divulgavam experimentos relacionados ao tema que escolhemos trabalhar: o Eletromagnetismo. Nas primeiras semanas, os alunos escolheram os experimentos que mais lhes interessavam ao longo do semestre; os próprios alunos compraram os materiais relacionados, montaram os experimentos, apresentaram-nos e sanaram suas dúvidas em sala de aula. Por fim, apresentaram esses experimentos em uma Mostra para a comunidade local.

O formato deste Manual contempla as observações, dificuldades e sugestões que surgiram ao longo do processo de aplicação do produto educacional. Trata-se de um conjunto de propostas de experimentos que foram adaptados, testados e aqui descritos, buscando apresentar de forma clara e em linguagem acessível os detalhes do procedimento experimental e os conceitos físicos envolvidos na explicação dos fenômenos.

Afinal, todo professor tem como objetivo ensinar, e, quando unimos a teoria com a prática através de experimentos relacionados à matéria, a aula fica mais agradável, dinâmica e produtiva, pois percebemos que a maior parte das turmas gostam da ação experimental.

Por que escolhemos Eletromagnetismo?

Decidimos escolher esse tema para nossos experimentos por ser matéria obrigatória no terceiro ano do Ensino Médio, sendo que a maioria dos alunos tem como objetivo estudar para o ENEM; também, por se tratar de um assunto difícil de ser compreendido entre os jovens, por ser muito abstrato; e por último, mas não menos importante, por estar presente em todos os equipamentos eletroeletrônicos, como celulares, computadores, rádio e televisão, entre outros.

A compreensão desse tema permite entender, por exemplo, que o fenômeno da indução eletromagnética é um dos mais importantes da Física, porque levou ao processo de produção de energia elétrica em larga escala em usinas geradoras e sua distribuição nos grandes centros consumidores. Além disso, esse fenômeno também se destaca por relacionar fenômenos elétricos e magnéticos que dão origem às ondas eletromagnéticas, cujos fundamentos foram sistematizados nas equações de Maxwell. A geração de corrente elétrica induzida talvez seja um dos fenômenos mais difíceis para os alunos compreenderem, por exigir abstração quanto ao conceito de linhas de indução e fluxo de campo magnético.

São esses conceitos e as leis que regem o eletromagnetismo que tentaremos explicar ao longo dos experimentos apresentados neste Manual.

Bom trabalho e mãos à obra!



*A todos os alunos do Ensino Médio e seus Mestres.  
Em especial, às turmas de 2017 da escola onde lecionei, que  
tornaram possível a realização deste trabalho.*

# SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	7
2.	PROPOSTAS DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS.....	8
2.1	Cabo de guerra eletrostático.....	10
2.2	Gaiola de Faraday.....	11
2.3	Agitador magnético.....	14
2.4	Canhão de Gauss.....	16
2.5	Pêndulo magnético.....	18
2.6	Piã magnético.....	20
2.7	Bobina de Tesla.....	23
2.8	Motor elétrico simples.....	27
2.9	Tubo antigravidade.....	31
2.10	Tubo de indução magnética.....	32
2.11	Martelo magnético.....	34
2.12	Trem Magnético Caseiro.....	37
3.	ESTRATÉGIAS PARA UM BOM DESEMPENHO DIDÁTICO	40
A3	CONTRATO DIDÁTICO-PEDAGÓGICO.....	41

# 1. INTRODUÇÃO

---

Este manual poderá ser utilizado por qualquer professor ou aluno que queira incorporar a experimentação ao estudo da Física. Além disso, o conjunto dos experimentos aqui relacionados pode ser utilizado como “ponto de partida” para a realização de uma Mostra de Eletromagnetismo.

O texto consiste na descrição de experimentos, detalhando os objetivos, conceitos físicos envolvidos, materiais utilizados, roteiro de montagem e custo. Além dos experimentos, o manual apresenta uma proposta de abordagem pedagógica pelo professor, com planejamento, referentes às etapas de pesquisa, desenvolvimento, apresentação prévia e apresentação final dos projetos pelos estudantes. As figuras foram desenhadas em 3D no “AUTO CAD”, buscando facilitar a visualização do arranjo experimental.

O presente material propõe utilizar as atividades experimentais, propiciando também interação social por meio de experimentos desenvolvidos por grupos de alunos e considerando os seguintes aspectos:

- **Viabilidade da montagem** – É imprescindível a verificação do material necessário, seu tempo de utilização na montagem, sua complexidade na demonstração e a possibilidade de êxito completo.
- **Tempo de apresentação** – É necessário estimar e delimitar o tempo para troca de ideias e sugestões durante a demonstração em aula e durante a mostra, já que pode haver inúmeros questionamentos.
- **Preparo do aluno/professor para responder aos questionamentos surgidos** – Os alunos devem entender o experimento proposto e, com ajuda do professor, estabelecer conexões entre a teoria e a prática, respondendo os possíveis questionamentos de forma tranquila.

A principal vantagem da produção dos experimentos pelos alunos, além dos aspectos motivacional e de afirmação relacionados à construção de cada experimento, é que eles saberão como funcionam os dispositivos. Eles participarão desde a obtenção do material, sua montagem, ajustes e correções, até as discussões com os colegas e o professor. Todas essas etapas representam momentos importantes de aprendizagem.

## 2. PROPOSTAS DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS

---

Neste manual, gostaríamos de citar a fonte de cada experimento apresentado; porém, isso não é possível, pois é difícil saber quem é o autor de diversas demonstrações experimentais, dada a imensa quantidade de fontes de divulgação, multiplicadas cada vez mais com o advento da *internet*.

Assim, usaremos como referência principal os *sites* “Feira de ciências” (<http://www.feiradeciencias.com.br/sala13>) e “Manual do mundo” (<http://www.manualdomundo.com.br/>), como também algumas outras referências que constam ao final de cada experimento.

As atividades experimentais serão apresentadas com alguns tópicos, cuja linguagem é simples e direta, para facilitar o entendimento do aluno/professor:

**I. O que se usa**

É a relação do material necessário, sendo que todo o material sugerido pode ser substituído por outro, mais barato ou reciclado. O professor deve verificar previamente o efeito da substituição e, se for o caso, fazer adaptações.

**II. Como se faz**

Orientamos o procedimento experimental, indicando as etapas e os procedimentos para sua montagem.

**III. Como funciona, o que observar**

O que esperamos que o experimento produza, qual é o seu objetivo didático-pedagógico.

**IV. Como se explica**

Procuramos explicar cada atividade de maneira simples, auxiliando na sua transposição para a sala de aula.

**V. O que pode dar errado**

Precisamos atentar ao fato de que equipamentos como pilhas, fios, espiras/solenoides e motores, às vezes, devido à sua montagem ou má utilização, não permitem que o experimento apresente o resultado esperado. Por isso, é necessário que o professor tenha uma boa compressão da teoria e que também forneça respostas ou encaminhamentos a um determinado imprevisto.

Os experimentos estão organizados de acordo com o efeito que pretendem ilustrar. As equações de Maxwell podem ser interpretadas de acordo com o Quadro 1:

Quadro 1 – Equações de Maxwell para o campo eletromagnético, interpretação física e experimentos relacionados neste trabalho.

Grupos	Nome	Equação	Interpretação	Experimentos
I	<i>Lei de Gauss para a Eletricidade</i>	$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$	O campo elétrico varia com a distância à densidade de carga.	Eletrostática
II	<i>Lei de Gauss para o Magnetismo</i>	$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$	Inexistência de monopolo magnético.	Demonstração da ação do campo magnético sobre um material
III	<i>Lei de Faraday</i>	$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	Um campo magnético variável no tempo gera um campo elétrico.	Indução eletromagnética
IV	<i>Lei de Ampere-Maxwell</i>	$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$	Uma corrente elétrica e um campo elétrico variável no tempo geram um campo magnético	Eletroímãs

Fonte: Elaboração do autor.

A seguir, apresentamos as propostas dos experimentos dentre os quais os do Grupo I não foram apresentados pelos alunos, mas pelo professor, por se tratar de experimentos que descrevem a carga elétrica, os devidos processos de eletrização, o campo elétrico e a força elétrica. Tais conteúdos são apresentados como introdução à Eletricidade, de acordo com o currículo oficial do Estado de São Paulo, logo no início do semestre.

## Grupo I – Eletrostática

### *1ª Lei de Maxwell – Lei de Gauss da Eletricidade*

#### 2.1 Cabo de guerra eletrostático

Uma brincadeira de grande aceitação perante a classe adolescente. Ela pode demonstrar os princípios da eletrização (atrito, contato e indução) e a força elétrica ou Lei de Coulomb (Equação 1), onde os objetos se atraem ou se repelem.

$$F = k \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{d^2}$$

(Equação1)

A intensidade da força elétrica é diretamente proporcional ao produto dos módulos de cada carga e inversamente proporcional ao quadrado da distância que as separa, sendo  $K$  uma constante eletrostática que é definida em função da constante de permissividade elétrica no vácuo.

#### **Objetivo**

Movimentar a latinha de refrigerante usando a força eletrostática entre as cargas na bexiga e na latinha. Ganha quem conseguir movimentar a latinha para o seu lado, de forma equivalente a um cabo de guerra.

#### **Materiais utilizados**

- Duas bexigas cheias;
- uma latinha de refrigerante vazia.

#### **Explicações**

O princípio básico é que ao atritar a bexiga com o cabelo, esta irá se eletrizar pelo atrito. As cargas presentes na bexiga são capazes de atrair a latinha pela força elétrica descrita pela Lei de Coulomb.

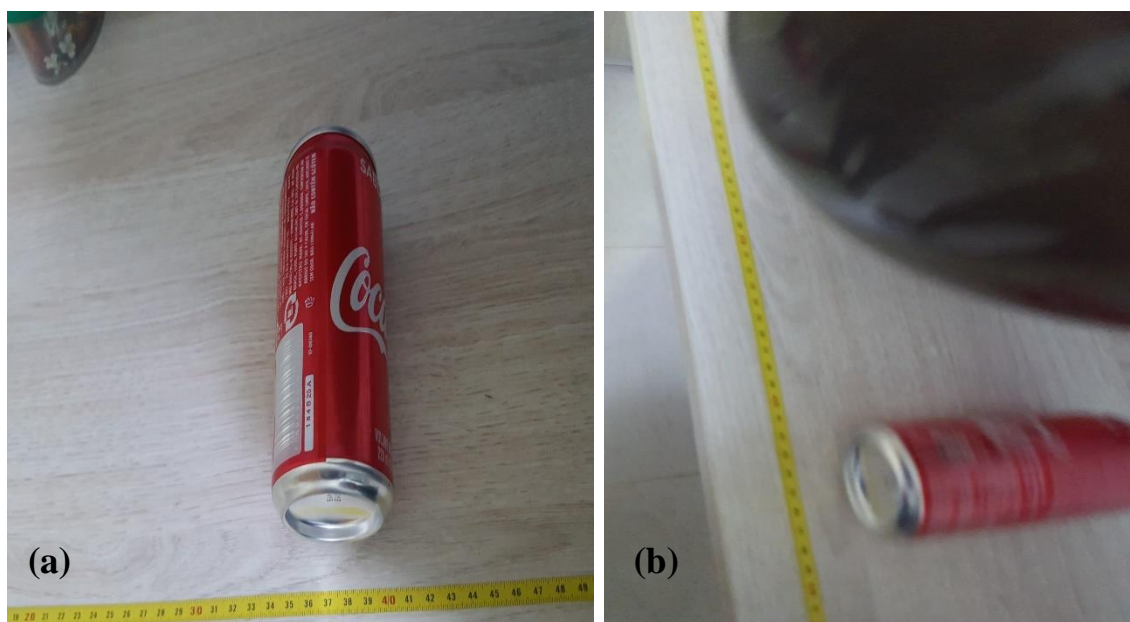
#### **Outras informações**

A brincadeira permite uma abordagem lúdica do tema, atraindo a atenção dos alunos para o conteúdo da aula.

## Montagem e procedimentos

1. Dois participantes ficam em lados opostos da mesa, com uma latinha vazia na posição média entre eles.
2. Cada um atrita vigorosamente a bexiga inflada no cabelo.
3. Ao dar início, cada competidor aproxima sua bexiga da latinha, sem encostar, buscando atraí-la para o seu lado.

Figura 1 - Depois de atritada, a lata (a) sofre atração pela bexiga, devido à força eletrostática que gera movimento na mesma (b).



Fonte: Arquivo do autor.

## 2.2 Gaiola de Faraday

Michael Faraday demonstrou experimentalmente que uma superfície condutora eletrizada possui um campo elétrico nulo em seu interior, dado que as cargas se distribuem de forma homogênea na parte mais externa da superfície condutora.

A gaiola de Faraday é basicamente uma gaiola feita de um material condutor, que impede a entrada de campos eletromagnéticos cujos comprimentos de onda sejam superiores ao tamanho da malha. Isso cria uma

barreira de isolamento para dispositivos elétricos e eletrônicos, de modo que o campo elétrico ou magnético gerado em um dispositivo não causa interferência em outro dispositivo devido a uma blindagem eletrostática.

### **Objetivo**

Demonstrar que as ondas de celular não penetram a blindagem eletrostática.

### **Materiais utilizados**

- Filtro de ar cilíndrico para automóveis;
- papel-alumínio;
- aparelho de telefone celular.

### **Explicações**

No caso de campos eletrostáticos, prevalece a Lei de Gauss, onde o campo elétrico externo à superfície induz uma distribuição de cargas na superfície metálica, devido ao fato de as cargas no metal (considerando o mesmo como um condutor ideal) estarem livres para rearranjarem-se até atingir uma distribuição que produza um campo elétrico com o módulo exatamente igual ao campo elétrico externo que o gerou, mas com sentido contrário. Logo, a soma vetorial dos campos elétricos devido a cada uma das cargas em qualquer ponto dentro da superfície fechada se reduz a zero.

### **Outras informações**

Essa blindagem eletrostática é muito utilizada para a proteção de aparelhos elétricos e eletrônicos contra efeitos perturbadores externos. Os aparelhos de medidas sensíveis estão acondicionados em caixas metálicas, para que as medidas não sofram influências externas. As estruturas metálicas de um avião, de um automóvel e de um prédio constituem blindagens eletrostáticas.

### **Montagem e procedimentos**

1. Dentro do filtro de ar existe uma rede de material ferromagnético (Figura 2) que é bem fácil de se extrair.
2. Enrole essa rede com papel-alumínio.
3. Tampe com papel alumínio (Figura 3).
4. Introduza dentro um aparelho de telefone celular e tente fazer uma chamada para o mesmo.



O resultado é que não haverá conexão entre os telefones celulares, pois o campo eletromagnético interno é nulo.

Figura 2 - Cilindro de material ferromagnético encontrado dentro do filtro de ar para automóveis.



Fonte: Arquivo do autor.

Notamos que ondas de rádio, por terem um grande comprimento de onda, são paradas apenas pelo cilindro ferromagnético sem necessidade de este ser recoberto por papel-alumínio; porém, as ondas eletromagnéticas que se aplicam aos celulares possuem um comprimento de onda extremamente pequeno, passando pela gaiola quando a mesma não está embrulhada em papel-alumínio.

Figura 3 - Cilindro de material ferromagnético com papel-alumínio ao seu redor.



Fonte: Arquivo do autor.

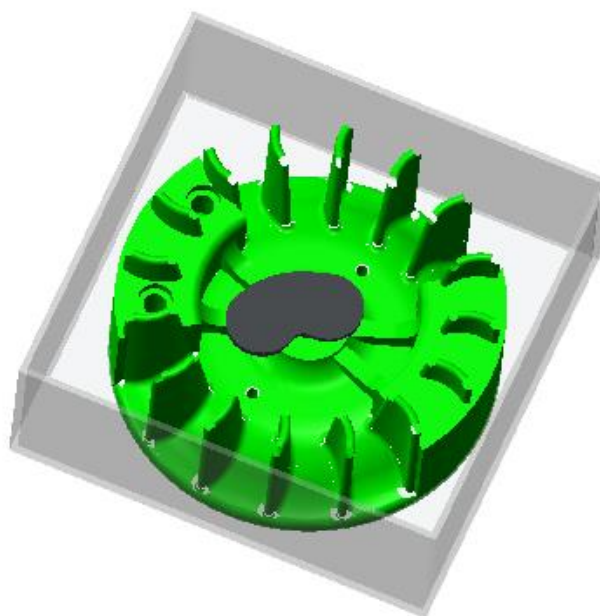
## Grupo II – Demonstração da ação do campo magnético sobre um material

### *2ª Lei de Maxwell – Lei de Gauss do Magnetismo*

#### 2.3 Agitador magnético

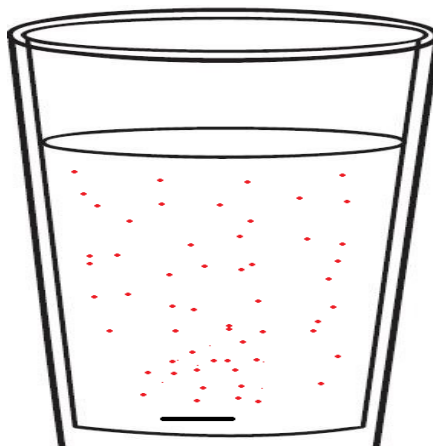
Dispositivo muito usado na Química para mistura de produtos e reagentes, que consiste basicamente em um movimento circular causado por um motor de HD, no qual está acoplado um ímã (Figura 4). O movimento do ímã produz o mesmo movimento em um pedaço de ferro, que se encontra dentro de uma vasilha com água (Figura 5) e outras substâncias. Com isso, o material ferromagnético gera um redemoinho, misturando os produtos. A função da experiência é mostrar a força magnética atuando em um volume considerável de água.

Figura 4 - HD de computador com o ímã ao centro.



Fonte: Projeto do autor.

Figura 5 - Vasilha transparente com água e um pedaço de ferro girando, produzindo a mistura entre reagentes.



Fonte: Projeto do autor.

### Objetivo

Seu funcionamento é idêntico ao de um liquidificador para agitar misturas; porém, no liquidificador, substâncias lubrificantes podem afetar a mistura; neste dispositivo, não há esse risco.

### Materiais utilizados

- HD de computador;
- fonte de computador;
- recipiente com água;
- cola quente;
- arame (ferro).

### Explicações

O princípio básico é que o ímã gira fazendo girar por força magnética o pedaço de arame (ferro), mostrando que a força magnética consegue atuar através do vidro e sobre o volume de água.

### Outras informações

Produto patenteado por Arthur Roinger em 6 de junho de 1944.

### Montagem e procedimentos

1. Retirar o ímã do HD velho.
2. Colocar o ímã no centro do disco do HD.
3. Retirar o braço de leitura do HD.

4. Conectar a fonte no HD através de um clip, envolvendo cada uma de suas pontas nos fios preto e verde e unindo-os com fita isolante.
5. Colocar o vidro com água sobre o HD.
6. Cortar 1 cm de arame (ferro) e colocar dentro do vidro.
7. Ligar o HD.

### Referência

FULFARO, Iberê. **Furacão com HD**: agitador magnético caseiro - 2012. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=UzbJiJ-nW0I> >. Acesso em: 16 de abr. 2017.

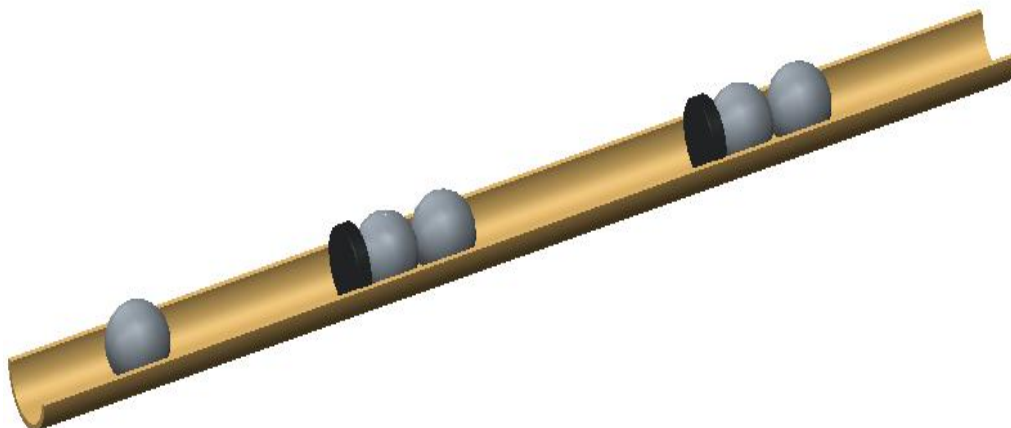
**Custo aproximado: R\$ 50,00.**

## 2.4 Canhão de Gauss

Demonstra a existência de uma força magnética que “empurra e lança” as bolas de ferro, gerando uma quantidade de movimento que é proporcional à quantidade de ímãs e também à distância entre eles.

Ele é composto de um conjunto de ímãs e esferas de ferro capazes de transferir energia cinética ao conjunto (Figura 6).

Figura 6 - Tubo de PVC com os ímãs fixados e as esferas posicionadas.



Fonte: Projeto do autor.

### **Objetivo**

Um canhão de Gauss, ou canhão magnético, é um tipo de acelerador de projétil, que tem o objetivo de aumentar a quantidade de movimento, gerando uma alta velocidade na esfera final lançada.

### **Materiais utilizados**

- Um pedaço de 1 m de cano PVC de 1/2';
- bolinhas de ferro;
- fita adesiva e/ou cola plástica;
- lixa para tubo plástico;
- ímãs de neodímio.

### **Explicações**

A primeira bola é lançada lentamente em direção ao ímã; quando ela se aproxima do campo magnético do primeiro ímã, há uma concentração de forças magnéticas, aumentando sua velocidade. Ao atingir o ímã, transfere certa quantidade de movimento a este e às esferas que estão acopladas em seu campo magnético; nesse instante, a última esfera se desprende e será lançada em direção ao segundo ímã, que terá o mesmo processo, porém, com velocidade maior, gerando uma maior quantidade de movimento e assim sucessivamente até o término da experiência.

### **Outras informações**

Este produto foi desenvolvido e patenteado por Kristian Birkeland em 1904; porém seu nome foi uma homenagem a Carl Fredrich Gauss, que formulou as provas matemáticas do efeito magnético.

Em 1933, Virgil Rigsby desenvolveu um canhão de Gauss, usado para ser uma metralhadora, que era alimentado por um motor elétrico e um gerador.

### **Montagem e procedimentos**

1. Prepare o trilho: corte o cano PVC horizontalmente; lixe as sobras.
2. Fixe os ímãs a uma distância de 30 cm um do outro com fita adesiva ou cola plástica; se a quantidade de ímãs for superior a três, diminua os espaços para 20 cm.
3. Procure uma esfera de rolamento, conhecidas como rolimã, onde teremos várias bolas de ferro em seu interior; basta quebrar e depois limpá-las.
4. Por último, posicione as bolas de ferro próximo aos ímãs (três para cada ímã).

## Referência

FULFARO, Iberê. **Como fazer um canhão magnético**: Canhão de Gauss - 2015. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=vMErygmHlns>>. Acesso em: 15 de maio. 2017.

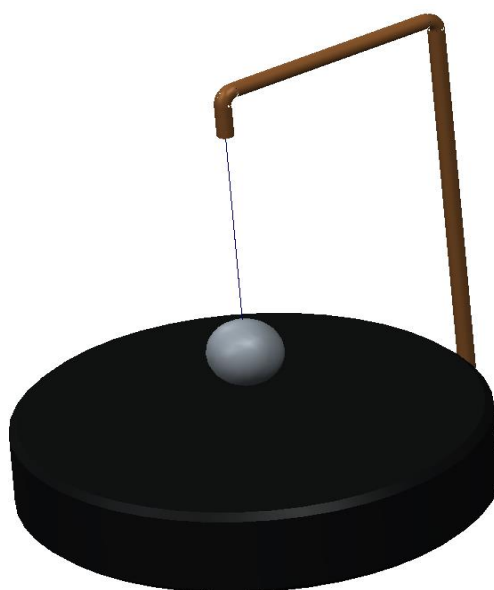
**Custo aproximado: R\$ 80,00.**

## 2.5 Pêndulo magnético

Um pêndulo consiste em um objeto que oscila em torno de um ponto fixo. Ele é muito utilizado nos estudos de movimento e força. O pêndulo magnético é igual: a única diferença é que o objeto que oscila é um ímã e, na base onde fica o ponto fixo, existe outro ímã.

A Figura 7 apresenta um esquema do pêndulo magnético. A massa presa à haste do pêndulo é de material ferromagnético (ímã); quando submetida a um gradiente magnético, o movimento do pêndulo passa a ser caótico<sup>16</sup>. O gradiente magnético é obtido por um arranjo de ímãs na base do suporte do pêndulo.

Figura 7 - Pêndulo magnético.



Fonte: Projeto do autor.

---

<sup>16</sup> Movimento desordenado, confuso.

### **Objetivo**

Mostrar que ímãs de polaridades iguais se afastam e criam um movimento; quando um está fixo com polaridade norte para cima e outro móvel com a mesma polaridade para baixo, há uma repulsão constante; a forma com que o ímã solto balança depende do tipo do ímã (retangular, circular) e também da posição do ímã grande.

### **Explicações**

O ímã maior preso na base deve ficar com a mesma polaridade do ímã solto. Faça o teste aproximando os ímãs. Se houver repulsão, está correto. Sabendo que o ímã que está na base possui um campo magnético e que o outro, pendurado, também possui um campo magnético, um não intervém no campo do outro, tendendo a se afastar, mas ao mesmo tempo é puxado pela corda. Nesse leva-e-traz, o ímã pendurado procura um equilíbrio, não conseguindo, tornando-se caótico.

### **Materiais utilizados**

- Uma placa de madeira ou mdf para a base, com medidas de 60x30x2 cm;
- dois tubos de PVC de ½', sendo de 10 e 20 cm;
- um cotovelo de PVC de ½';
- fio de náilon fino, podendo ser barbante (60 cm);
- cola plástica e lixa;
- uma rolha de vinho ou tampa de caneta "Bic";
- um ímã circular pequeno de ferrita ou neodímio;
- dois ímãs circulares grandes de alto-falante.

### **Outras informações**

Galileu Galilei realizou muitas experiências envolvendo pêndulos. Em uma delas, verificou que o tempo de oscilação do pêndulo não depende do peso do corpo que está preso na extremidade do fio, ou seja, o tempo é o mesmo tanto para um corpo leve quanto para um corpo pesado.

Essa descoberta fez com que Galileu imaginasse que uma pedra leve e outra pesada, oscilando na extremidade de um fio, gastavam o mesmo tempo para ir da posição mais alta para a posição mais baixa.

### **Montagem e procedimentos**

1. Faça um furo pequeno na parte de baixo do tubo de 20 cm por onde irá passar o barbante; passe o barbante e amarre com dois ou três nós.
2. Lixe o tubo na parte de cima e cole o cotovelo; por fim, cole também o tubo de 10 cm, perfazendo um L de cabeça para baixo.
3. Depois de passar o fio por toda a extremidade, faça um furo na rolha e fixe o fio.

4. No lado oposto da rolha, ponha o ímã menor, com a mesma polaridade do ímã que está na base.
5. Se for usar uma tampa de caneta, arrebente a parte mais fina; passe o fio e cole o ímã dentro da tampa.
6. Cole o tubo na base e os ímãs grandes de alto-falante também, logo abaixo da vareta.
7. Solte o fio.

## Referências

NETTO, Luiz. **Pêndulos magnéticos** – 1999. Disponível em: [http://www.feiradeciencias.com.br/sala13/13\\_05.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala13/13_05.asp). Acesso em: 16 de mar. 2017.

ASSAD, Nelson. **Pêndulo magnético: uma experiência simples com ímãs** – 2017. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=YnVW2qddMN4>. Acesso em: 21 de nov. 2017.

**Custo aproximado: R\$ 80,00.**

## 2.6 Pião magnético

Essa experiência demonstra a levitação eletromagnética, ou seja, consiste na criação de equilíbrio magnético imposto a um pião, que por sua vez irá flutuar sobre uma base magnética de ímã (Figura 8).

A levitação magnética tipo Maglev<sup>17</sup> é muito usada por países que têm como meio de transporte o trem-bala, ou trem magnético, no qual a base do vagão não chega a ter contato físico com os trilhos, que basicamente são ímãs. Isso faz com que haja uma levitação magnética para o veículo levitar e se movimentar.

---

<sup>17</sup> É a forma abreviada do termo em inglês magnetic levitation (levitação magnética), onde não existe contato físico com os trilhos; seu peso é totalmente suportado por forças eletromagnéticas (SERWAY, 2018).



Figura 8 - Pião levitando sobre o ímã.



Fonte: Projeto do autor.

### Objetivo

Este experimento mostra a força magnética agindo entre os dois conjuntos com ímãs de polaridades inversas; porém, para a levitação, precisamos determinar um ponto de equilíbrio entre eles.

Esse ponto de equilíbrio ou sustentação é que determina o êxito do experimento.

Nosso objetivo é demonstrar a levitação; porém, o seu não acontecimento também caracteriza a existência de uma força magnética atuante e um campo entre os ímãs.

Outro problema na levitação do pião são os efeitos climáticos: não pode haver vento, pois o pião se desequilibra, e também a sala não pode estar muito quente, pois a temperatura alta interfere no campo de repulsão magnética do ímã.

### Materiais utilizados

- 2 ímãs circulares para a base (podendo ser de alto-falante);
- 1 ímã circular para o pião (menor, encontrado em caixas de som);
- arruelas de cartolina, plásticos ou borrachas (para equilibrar a massa do pião);
- 1 eixo de plástico ou madeira (para apoio, 3 a 5 cm);
- pedaço de acrílico ou vidro retangular e liso;
- niveladores de papel ou madeira (caso houver diferença de altura);
- tábua fina, fórmica ou plástico para construir uma pequena caixa para o ímã da base.

### Explicações

Existem duas principais propriedades que permitem que o pião levite. A primeira é a repulsão magnética, da qual provém a força para a levitação. A segunda são os efeitos giroscópicos devidos à rotação do pião, a qual conta para sua estabilidade.

Para isso, a base deve ter o polo norte para cima, e o pião, o polo norte para baixo.

O pião deve estar girando, pois com o movimento de rotação ele se mantém estável na base magnética, o que permite sua levitação com 3 a 4 cm de distância da base, sem interrupções.

Sua interrupção pode ser causada por alterações na inclinação ou variações de temperatura.

### Outras informações

O Levitron foi inventado e patenteado pelo físico americano Roy Harrigan Vermont em 1976.

### Montagem e procedimentos

1. Para a base: pegue a fórmica ou plástico e, no centro, posicione os ímãs maiores, sendo sua polaridade norte<sup>18</sup> direcionada para cima.
2. Para o pião: passar o eixo por dentro do ímã menor, sendo sua polaridade norte para baixo, e acondicioná-lo em arruelas de cartolina e borracha para obter o melhor equilíbrio. A distribuição da massa é essencial para o sucesso do experimento.
3. Para identificar o equilíbrio, tentar girar o pião distante do ímã da base; quanto maior o tempo de rotação, melhor será a distribuição de sua massa.

---

<sup>18</sup> Para determinar a polaridade de um ímã, basta aproximá-lo de uma bússola, pois sabendo que a agulha magnética da bússola sempre aponta para o Norte, ao aproximarmos um polo do ímã da bússola e nada ocorrer na direção da agulha, esse lado apontado é o Sul magnético, e o outro será o Norte magnético. Se não possuir uma bússola, construa uma, utilizando uma rolha de vinho e uma agulha; primeiramente imante a agulha com o ímã e depois fixe a agulha na superfície da rolha com uma fita adesiva; coloque o conjunto (rolha e agulha) em uma vasilha com água; nesse momento, a agulha apontará para o Norte como uma bússola, depois basta aproximar o ímã e posicionar as polaridades. (GONÇALVES, 2016, p. 116.)

4. Coloque o pião sobre o pedaço de acrílico ou vidro liso que estará sobre os ímãs maiores, gire-o e, depois de obtido equilíbrio na rotação, levante lentamente o conjunto acrílico e pião.
5. Retire o prato de apoio e veja o pião flutuar, desafiando as leis da gravidade.
6. O tempo em que o pião permanecerá no ar é indefinido, devido ao equilíbrio do pião e também às condições climáticas.

## Referências

- NETTO, Luiz. **Levitação magnética** - 1999. Disponível em: [www.feiradeciencias.com.br/sala13/13\\_04.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala13/13_04.asp) >. Acesso em: 06 de mar. 2017.
- GONÇALVES, A. F. **Física, Integração e Tecnologia** . Vol. 3. São Paulo: Leya, 2016.
- SEWAY, R. A.; JEWETT.J Jr. **Física para cientistas e engenheiros**. 9. ed. 2018.

**Custo aproximado: R\$ 100,00.**

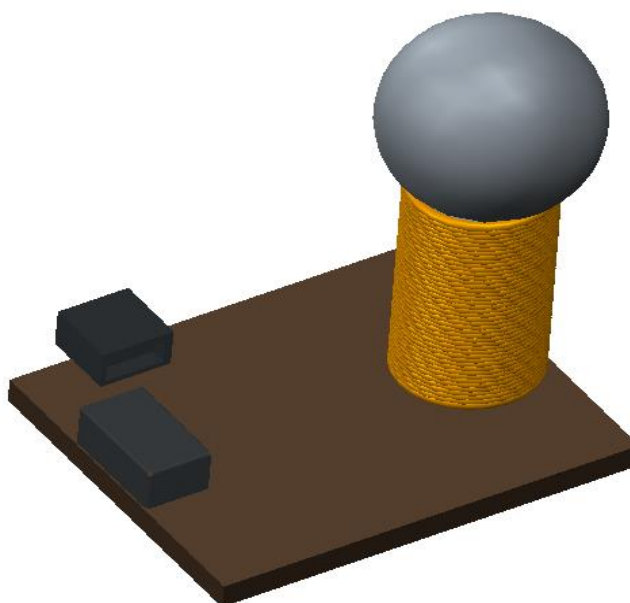
## Grupo III – Experimentos de indução eletromagnética

### *3ª Lei de Maxwell – Lei de Faraday*

#### 2.7 Bobina de Tesla (como fazer uma minibobina)

A Bobina de Tesla (Figura 9) é um experimento de grande aceitação entre a comunidade escolar, pois é fascinante o acender de uma lâmpada sem a utilização de fios conectados.

Figura 9 - Bobina de Tesla.



Fonte: Projeto do autor.

#### **Objetivo**

Construir uma bobina de moldes menores que a construída por Nikola Tesla, para provar que podemos quebrar a rigidez dielétrica do ar e,

#### **Materiais utilizados**

- Transistor 2n2222A;
- resistor 22K;
- bobina1 de cano de PVC, fio esmaltado 26;

com isso, transmitir corrente elétrica sem utilização de fios.

- bobina 2: duas espiras de fio 18 em volta da primeira bobina (30 cm de fio);
- bateria de 9v;
- conector de bateria de 9v;
- chave liga/desliga;
- tubo de PVC, 9 cm de comprimento por 2cm de diâmetro;
- tábua de madeira 10X12 cm;
- bolinha de plástico (de ping-pong), papel-alumínio, cola quente, solda (estanho), ferro de solda.

### **Explicações**

A bobina de Tesla acende a lâmpada fluorescente devido ao fato de a bobina 1 gerar um campo eletromagnético em volta de si, o que transfere elétrons para a lâmpada fluorescente, que possui uma atmosfera de baixa pressão onde existe vapor de mercúrio. Este é um metal condutor, e os elétrons livres que estão contidos no interior da lâmpada são estimulados a se movimentar quando aproximados do campo eletromagnético. Ao ocorrer o movimento desses elétrons, eles se chocam contra as paredes da lâmpada, sendo assim absorvidos pela fina camada de fósforo que forra a parede da lâmpada e liberando fóton, energia em forma de luz.

### **Outras informações**

Em 1899, Nikola Tesla conseguiu transmitir 100 milhões de volts a uma distância de 42 quilômetros e acendeu 200 lâmpadas e um motor elétrico ligados em conjunto.

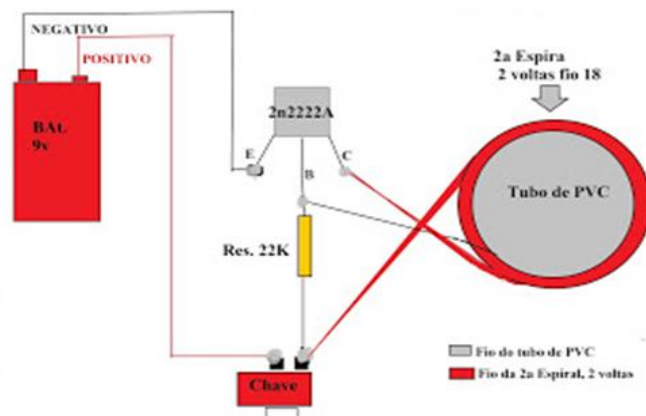
### **Montagem e procedimentos**

1. Para a construção da bobina 1, fazer um furo pequeno no cano de PVC, passar o fio, deixando um pedaço para fora, e começar a enrolar, formando uma espira, sem deixar nenhum espaço; na parte final, dobrar para dentro e colar com cola quente.

2. Colar a bobina 1 na base de madeira.
3. Colar o transistor na base.
4. Colar o fio encapado na base, dando duas voltas sobre a bobina 1.
5. Desencapar a ponta do fio, lixando para soldar.
6. O negativo da bateria será soldado ao emissor do transistor.
7. O fio positivo da bateria será soldado na chave (liga/desliga).
8. Na outra extremidade da chave, será soldado o resistor de 22k ao coletor do transistor.
9. O pedaço que sobrou do fio esmaltado da bobina do tubo de PVC será soldado à base do transistor acima do resistor.

Com as conexões realizadas, chegaremos à montagem desejada. Como auxílio às orientações, segue uma ilustração do esquema geral de montagem (Figura 10).

Figura 10 - Esquema de montagem.



Fonte: [www.feiradeciencias.com.br/sala14/14\\_01.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala14/14_01.asp).

Para a finalização da montagem, cobriremos uma esfera de plástico com papel-alumínio, raspando o fio esmaltado da extremidade superior do tubo de PVC que ficou sem conexão no circuito e colando com fita adesiva fazendo contato com o papel-alumínio (Figura 11).

Figura 11 - Bobina com 141 voltas com a bolinha de plástico colada na extremidade aberta do circuito.



Fonte: Arquivo do autor.

## Referência

NARDI, Marlon. **Como fazer uma mini bobina de tesla** – 2015. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=uA46GPY0qQ0>>. Acesso em: 20 de abr. 2017.

**Custo aproximado: R\$70,00.**

## 2.8 Motor elétrico simples (pilha e fio de cobre)

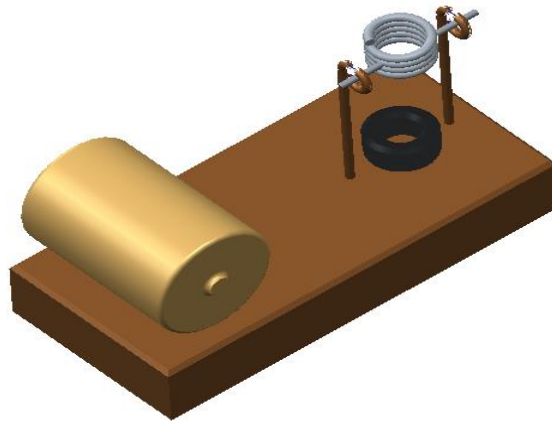
Consiste em demonstrar o movimento de uma espira de cobre utilizando os princípios de Faraday<sup>19</sup>, ou seja, a corrente elétrica que circula na espira induz um campo magnético, transformando esse condutor em um eletroímã. A função principal do motor elétrico (Figura 12) é converter energia elétrica em energia

---

<sup>19</sup> Michael Faraday (1791-1867) conseguiu em 1822 estabelecer a corrente elétrica em um fio condutor que não estava conectado a nenhuma fonte de energia graças ao movimento de um eletroímã dentro de uma bobina: bastava o movimento relativo entre o ímã (campo magnético) e o fio condutor para o surgimento da corrente. Demonstrou, assim, que uma bobina eletrizada é também um ímã. Se colocarmos uma bobina entre dois ímãs fixos, sem tocar neles, ela aponta seu polo norte para o polo sul do ímã e vice-versa. Mas, como os polos da bobina são determinados pelo sentido da corrente que passa pelo fio, quando o invertemos, os polos também se invertem, o que faz com que a bobina se mova novamente. Se essa inversão da corrente for constante, ela não para de girar.

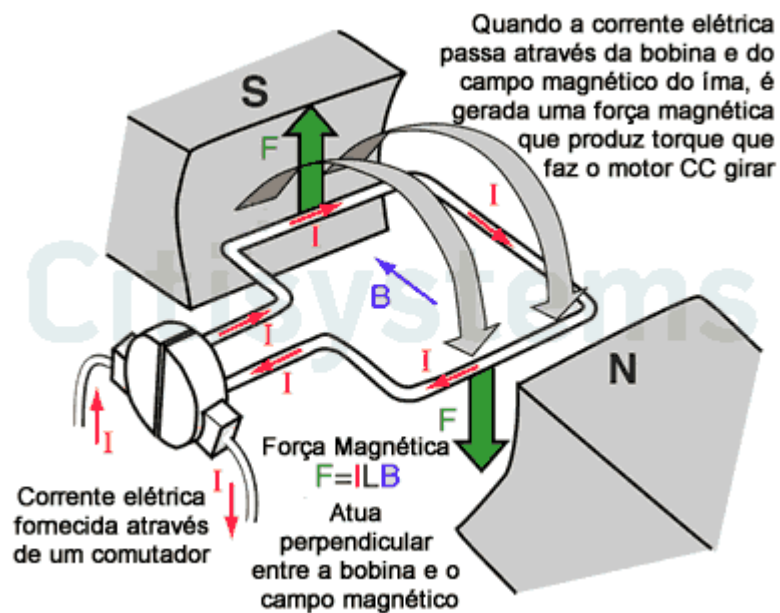
mecânica. Seu funcionamento estabelece a repulsão entre o ímã natural e o não natural (eletroímã).

Figura12 - Motor elétrico simples.



Fonte: Projeto do autor.

Figura 13 - Funcionamento do circuito.



Fonte: citisystems.com.br. Acesso em: 29 de mar. 2017.

### Objetivos

Sistematizar as discussões sobre a relação entre eletricidade e magnetismo por meio de um experimento prático.

### Materiais utilizados

- 1 m de fio esmaltado #20 a #26;
- 2 pedaços de arame 20 cm cada;
- pilha grande de 1,5V;



Sistematizar os conceitos físicos presentes no funcionamento de um motor elétrico.

Discutir a importância do motor elétrico e suas contribuições para o desenvolvimento tecnológico.

### Explicações

A pilha fornece energia elétrica; quando as partes raspadas da espira estão em contato com a haste (mancal), temos assim um circuito elétrico por onde passa uma corrente que, ao percorrer a espira na qual existe um campo magnético associado a essa corrente (conforme o experimento de Öersted<sup>20</sup>), transforma-a num pequeno ímã (não natural).

O ímã natural interage com o ímã não natural, ocorrendo uma repulsão e a movimentação, desde que os polos estejam alinhados. Esse movimento depende, muitas vezes, de um empurrão inicial.

- ímã de neodímio ou ferrite menor que a pilha;
- lixa e fita adesiva;
- tábua de 10x10x1 cm (madeira ou compensado).

### Outras informações

Faraday encheu com mercúrio duas taças especialmente desenhadas, de modo a ter um fio elétrico saindo do seu fundo. Numa delas, fixou verticalmente uma barra magnetizada. Na outra, deixou frouxo outro magneto. Na primeira taça, quando um fio elétrico pendurado acima dela tocava o mercúrio, fechando o circuito, esta se punha a girar em volta do ímã. Na outra taça, onde o fio estava frouxo, quando ligado à corrente o magneto girava em torno do fio central. Esse foi o primeiro motor elétrico, o autêntico ancestral das máquinas de hoje.

## Montagem e procedimentos

1. Faça uma bobina com o fio esmaltado, efetuando 20 voltas na pilha, deixando um pedaço de cada extremidade do fio.
2. Retire a bobina da pilha e enrole as extremidades na bobina deixando 3 cm de cada extremidade.
3. Monte as hastes (mancais) utilizando o arame para apoiar as extremidades da bobina.
4. Lixe as pontas da bobina, sendo que uma ponta é lixada apenas de um lado, enquanto a outra os dois lados.
5. Anexe as hastes à pilha com uma fita adesiva.

---

<sup>20</sup> Hans Christian Öersted (1777-1851) não imaginou que com uma singela experiência descobriria um princípio físico fundamental para o funcionamento desse tipo de motor. Öersted passou uma corrente elétrica, gerada por uma pilha, por um fio condutor e depois aproximou desse fio uma bússola; a agulha, que é um ímã (uma barra magnética), mexeu-se e alinhou-se perpendicularmente ao fio. Para o cientista, o fato só poderia significar uma coisa: em volta do fio havia um campo magnético, que agiu sobre o outro campo, o da agulha.

6. Apoie a bobina nas hastes.
7. Deixe o ímã de neodímio próximo à bobina (logo abaixo).

Um detalhe importante: quando a espira tiver o polo contrário ao do ímã ao qual está presa, a força que existirá será de atração e o movimento da espira será amortecido, podendo até resultar no fim de seu movimento.

Para resolver esse problema e evitar que o motor pare, usamos uma extremidade da espira totalmente raspada, por onde a corrente sempre pode passar, e a outra semirraspada, de forma que a corrente só passará nessa extremidade quando a parte raspada estiver em contato com a haste. Dessa maneira, quando as faces de mesmo polo estiverem voltadas uma para a outra, a espira se movimentará por causa da força magnética de repulsão entre os ímãs.

## Referências

FULFARO, Ibêre. **Como fazer um motor elétrico com um ímã** - 2014. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=3nbDBCg6thM>>. Acesso em: 20 de abr. 2017.

HEYMANN, Gisela. O motor elétrico. **Revista Superinteressante**, São Paulo, Editora Abril, volume 366- out 2016. Disponível em: <<https://super.abril.com.br/ciencia/o-motor-eletrico/>>. Acesso em: 17 de mar. 2017.

PERUZZO, Jucimar. **Experimentos da Física básica** - Eletromagnetismo, pp.198-204.

**Custo aproximado: R\$ 50,00.**

## 2.9 Tubo antigravidade (freio magnético)

Demonstraremos nessa experiência que, ao soltarmos um ímã dentro de um tubo de cobre (Figura 14), que não é material ferromagnético, ele tende a um tempo maior em queda livre, sofrendo uma frenagem. Porém, ao fazermos o mesmo teste em um tubo PVC, o ímã leva um tempo muito menor para percorrer a mesma distância.

Figura 14 - Tubo de PVC e de cobre com 1 m de comprimento.



Fonte: Projeto do autor.

### **Objetivo**

Demonstrar que existe diferença no tempo de queda livre ao soltarmos no mesmo instante um ímã dentro de um cano PVC e outro dentro de um cano de cobre, sabendo que ambos os materiais não são atraídos pelo ímã; portanto, não há possibilidade de o ímã ficar “grudado” internamente no cano de cobre.

### **Materiais utilizados**

- Um tubo PVC de 1' e 1 m de largura;
- um tubo de cobre de 1' e 1 m de largura;
- dois ímãs de neodímio cilíndricos de 12,7 mm ou menor,
- fita isolante.

### **Explicações**

O tempo de queda é diferente porque o ímã possui um campo magnético que, ao entrar em contato com o cano de cobre, gera uma corrente elétrica devida ao movimento desse campo magnético. Essa interação entre o campo magnético em movimento e a corrente elétrica faz com que o ímã diminua a velocidade de queda. Isso só ocorre em movimento, pois só em movimento o campo magnético gera corrente elétrica (Lei de Faraday). No tubo de PVC, esse efeito não ocorre.

### **Outras informações**

A conclusão de Faraday é que a variação do fluxo magnético que atravessa o circuito produz uma tensão elétrica, que dá origem à corrente. Na verdade, a própria ideia de fluxo é devida em grande parte a Faraday, que imaginava linhas de campo emanando de cargas elétricas e de magnetos para visualizar os campos elétrico e magnético, respectivamente.

### **Montagem e procedimentos**

1. Primeiramente, una os dois tubos PVC e cobre, lado a lado, com a fita isolante; passe a fita em três lugares distintos para não haver separação;
2. Coloque os ímãs ao mesmo tempo.
3. Marque o tempo com ajuda de um amigo.
4. Faça a experiência sobre algo macio, pois, se os ímãs vierem a cair no chão de uma altura razoável, tenderão a quebrar-se.

### **Referência**

FULFARO, Iberê. **O tubo antigravidade** – 2013. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=p1oV6sVpo4>. Acesso em: 22 de mai. 2017.

**Custo aproximado: R\$ 80,00.**

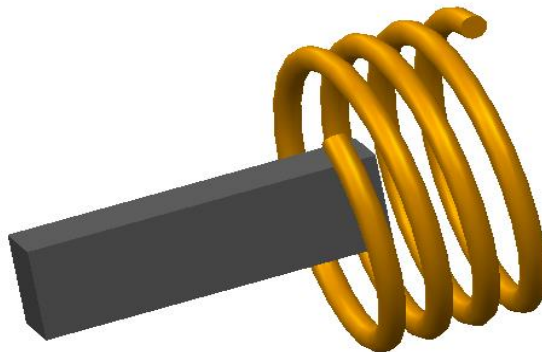
## 2.10 Tubo de indução magnética

Essa experiência demonstra que um ímã em movimento dentro de uma espira circular gera corrente elétrica, determinando o princípio de Faraday-Neymann- Lenz, popularmente conhecido como Lei de indução de Faraday.

Esse experimento compõe-se de um tubo de PVC de 1,5 m apoiado longitudinalmente, que serve de base para uma bobina de cobre construída com 50 voltas. A espira está conectada a dois LEDs (vermelho e verde), que servirão como indicadores de corrente.

Faz-se um ímã cair dentro do tubo e, conseqüentemente, por dentro das espiras (Figura 15); com isso, o movimento relativo do ímã em relação às bobinas gera uma corrente induzida, que faz acender os LEDs.

Figura15 - Movimentação de um ímã dentro de um tubo de cobre ou solenoide.



Fonte: Projeto do autor.

### Objetivo

Destacar o fenômeno da indução eletromagnética, acendendo os LEDs que estão afixados junto à bobina, na base inferior do tubo.

### Materiais utilizados

- Tubo de PVC de ½" e 1,5 m de comprimento;
- um carretel de fio de cobre esmaltado #22 AWG;
- lâmpadas de LED (vermelha e verde);
- um ímã de neodímio menor que 1/2".

### Explicações

Para se ter êxito nesta experiência, devemos aumentar a corrente elétrica, e isso pode ser feito de três maneiras: aumentando o diâmetro do fio ou diminuindo o comprimento do fio, ou ainda trocando o ímã, por outro com campo magnético maior.

Pelas nossas conclusões, a situação mais coerente é diminuir o comprimento do fio. Esta experiência se realizará com um fio #22 de diâmetro 0,64 mm, enrolado por 2 metros (50 voltas).

### Outras informações

De acordo com a teoria, para acender ou simplesmente piscar uma lâmpada de LED vermelha ou verde, precisamos ter uma corrente elétrica entre 10mA e 15mA.

Fonte: Manual Osram.pdf.

### Montagem e procedimentos

1. Com o fio de cobre, comece a dar voltas, uma ao lado da outra, em uma das pontas do tubo, deixando dois pedaços do fio para fixar a lâmpada de LED.
2. Depois de 50 voltas, fixe as pontas na lâmpada vermelha de LED.
3. Solte o ímã no lado oposto e espere piscar o LED.

As lâmpadas de LED somente acenderão se adotarmos um fio #22 (de 0,64mm) ou maior e forem dadas até 50 voltas no cano de PVC, pois um número maior de voltas aumentaria a resistência elétrica, diminuindo a corrente.

### Referências

GASPAR, Alberto **Física. Volume Único**. São Paulo: Ática, 2009.

PERUZZO, Jucimar. **Experimentos da Física básica – Eletromagnetismo**, p. 209.

NETTO, Luiz. **Tubo de Indução: Lei de Faraday-1999**. Disponível em: [www.feiradeciencias.com.br/sala13/13\\_41.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala13/13_41.asp). Acesso em: 18 de jul. de 2017.

**Custo aproximado: R\$ 70,00.**

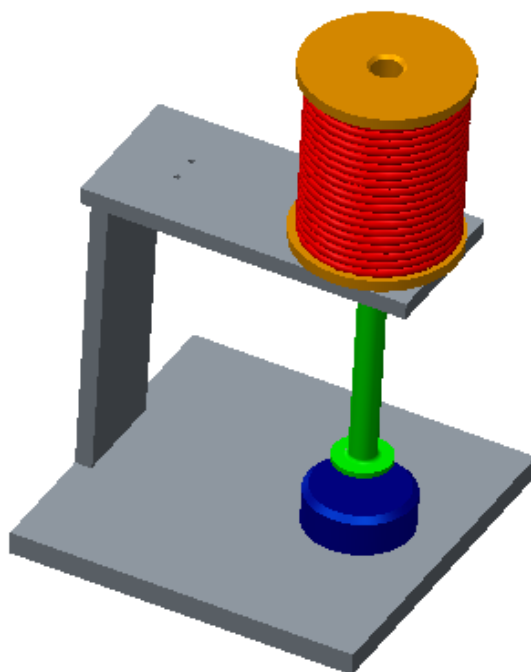
## Grupo IV – Experimentos com eletroímãs

### *4ª Lei de Maxwell – Lei de Ampère-Maxwell*

#### 2.11 Martelo eletromagnético

O martelo eletromagnético (Figura 16) é utilizado geralmente em indústrias com o intuito de pregar tachinhas com precisão e sem a utilização imediata do homem, ou seja, a eletricidade pode realizar um trabalho mecânico, gerando um campo magnético, com isso atraindo a haste para cima e depois a soltando por gravidade. A alimentação do aparelho é feita por 8 pilhas que geram 12volts.

Figura 16 - Martelo eletromagnético.



Fonte: Projeto do autor.

### **Objetivo**

Mostrar as propriedades do campo magnético, demonstrando a Quarta Lei de Maxwell, onde se determina que um campo elétrico variável no tempo induz um campo magnético

### **Materiais utilizados**

- Tubo de cobre ou alumínio de 6 mm de diâmetro interno e 12 cm de comprimento;
- 3,5 m de fio de cobre esmaltado #22 ou 20;
- um sarrafo de madeira de 9x5x2 cm;
- um sarrafo de madeira de 12x5x2 cm;
- base de madeira (15x15x1,5 cm);
- bloco de madeira (5x5x5 cm);
- vareta de ferro (5 mm de diâmetro externo e 12 cm de comprimento);
- tachinhas;
- fonte de alimentação: 8 pilhas de 1,5 volt.

### **Explicações**

Ao pressionar o botão interruptor do tipo campainha (Figura 17), será estabelecida uma corrente elétrica que percorrerá a bobina de cerca de 120 espiras, a qual irá induzir um campo magnético, atraindo o prego ou a vareta de ferro para cima.

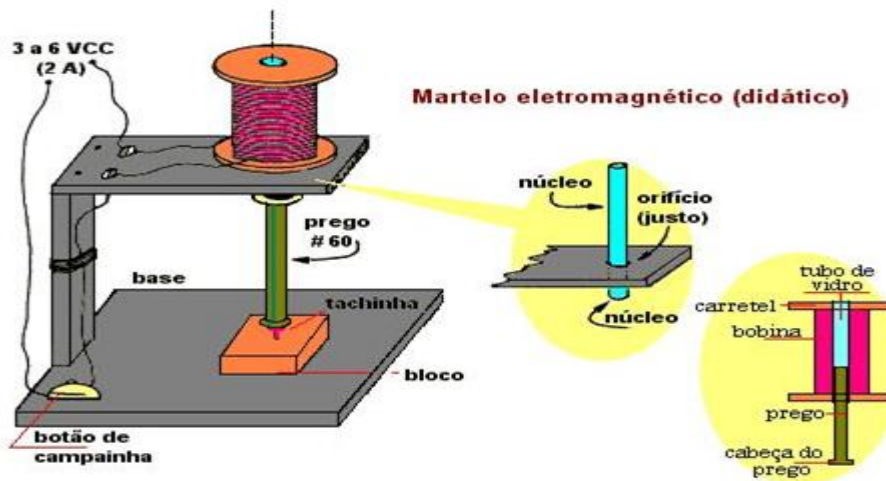
Ao soltar o botão, a corrente para de circular sobre a bobina e o prego, e a vareta de ferro cai por ação da gravidade, batendo contra a tachinha e o bloco de madeira.

### **Outras informações**

Não existem muitas outras aplicações do martelo eletromagnético, somente que é utilizado em indústrias com o intuito de diminuição da mão-de-obra humana.



Figura 17 - Montagem do martelo eletromagnético.



Fonte: [www.feiradeciencias.com.br/sala13](http://www.feiradeciencias.com.br/sala13) .Acesso em: 12 de mar. 2017.

### Montagem e procedimentos

1. Primeiramente, é necessário fazer um solenoide ou bobina (enrolando um fio condutor na forma de hélice cilíndrica, com fios de cobre esmaltado, sobre um tubo). Dê aproximadamente 120 voltas.

Quando uma corrente elétrica é estabelecida na bobina do eletroímã, cria-se um campo magnético capaz de atrair outros materiais ferromagnéticos. A bobina será o princípio do martelo; quanto mais voltas (espiras) ela tiver, mais potente será o eletroímã.

2. Em seguida, introduzida um cilindro ferromagnético no tubo, o qual será atraído pelo eletroímã.
3. Fixe uma tachinha num pedaço de madeira logo abaixo do cilindro ferromagnético; com isso, na volta, o cilindro estaca a tachinha.
4. Ligue um dos fios do solenoide na fonte de energia elétrica (8 pilhas AA de 1,5 volts cada) e o outro numa chave liga/desliga.

O circuito funciona de tal forma que, quando alguém pressionar o botão da chave, o circuito é fechado e uma corrente elétrica é estabelecida em seu interior. Com isso, o eletroímã é carregado e gera um campo magnético, atraindo assim o cilindro ou prego (isso ocorre porque o eletroímã passa a se comportar

como um ímã). Depois que isso ocorre, a corrente elétrica no sistema é cessada, e o cilindro volta para a sua posição de origem. Sempre que a chave é acionada, apertando-se seu botão, esse processo se repete.

## Referência

NETTO, Luiz. **Martelo eletromagnético** - 2006. Disponível em: <[www.feiradeciencias.com.br/sala13/13\\_29.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala13/13_29.asp)>. Acesso em: 12 de mar. 2017.

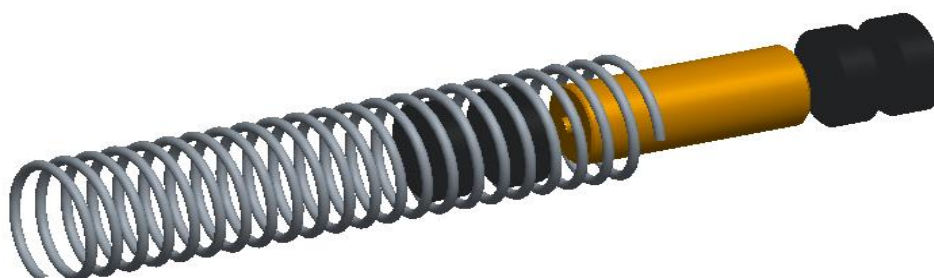
**Custo aproximado: R\$ 120,00.**

## 2.12 Trem magnético caseiro

Nessa experiência, uma pilha AAA, com ajuda de quatro ímãs de neodímio, desenvolve movimento ao ser introduzida dentro de uma bobina de estanho.

O trem magnético caseiro (Figura 18) cria um movimento constante dentro do circuito, havendo a impressão de estarem flutuando. Este experimento é o princípio do “Maglev”, sendo propulsionado pelas forças de atração e repulsão do magnetismo através do uso de supercondutores<sup>21</sup>.

Figura 18 - Trem magnético caseiro.



Fonte: Projeto do autor.

---

<sup>21</sup>Materiais que possuem como característica conduzir corrente elétrica, sem resistência elétrica, quando resfriados a temperaturas extremamente baixas. Fonte: [www.wikipédia.com.br](http://www.wikipédia.com.br). Acesso em 22 de abr. 2017.

### **Objetivo**

Iremos demonstrar o funcionamento de um experimento que flutua e se movimenta através da força magnética

### **Materiais utilizados**

- Uma pilha AAA alcalina;
- quatro ímãs de neodímio N42 Ø 12,7 mm;
- um rolo de estanho de 1 mm de espessura;
- cilindro para modelar o estanho, um pouco maior que os ímãs.

### **Explicações**

O experimento funciona pois os ímãs de neodímio, “grudados” à pilha em suas devidas posições NS e SN, e em contato com o condutor de estanho, fecham o circuito, criando-se uma corrente elétrica que fica confinada ao pequeno trecho do enrolamento que envolve a pilha e os ímãs.

O conjunto (pilha e ímãs) passa a sofrer uma força magnética no mesmo sentido (Figura 19) e se moverá. Quando a pilha é arrastada, a distribuição espacial da corrente no enrolamento acompanha a pilha, garantindo que a força magnética continue a existir sobre ela.

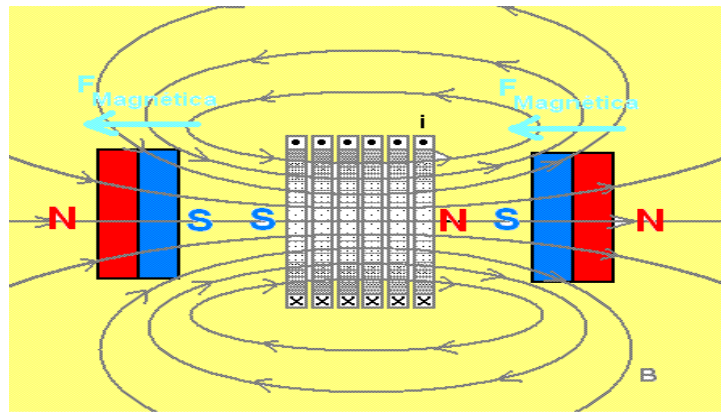
A conservação de energia obviamente não é violada, pois a energia eletroquímica da pilha diminuirá enquanto o “trem” ganha energia mecânica ou simplesmente trabalha contra as forças de resistência. Este dispositivo nada mais é do que um motor elétrico de translação.

Ele funciona porque apenas uma pequena parte do enrolamento é alimentado com corrente, exatamente a parte que interessa para manter a força magnética.

### **Outras informações**

Este experimento reproduz o trem de levitação magnética que tem como princípio a suspensão do veículo usando forças magnéticas, fazendo com que haja diminuição de atrito e uma alta performance em sua velocidade. Foi idealizado e patenteado por Alfred Zehden em 1902; porém, hoje é usado por trens do Japão, EUA, Inglaterra e outros países.

Figura 19 - Posição dos ímãs e sentido da força magnética.



Fonte: <https://www.if.ufrgs.br>. Acesso em 22 de maio. 2017.

### Montagem e procedimentos

1. Para a realização do experimento, é necessário modelar o estanho em um formato helicoidal, como uma bobina, onde todas as voltas tem de estar o mais próximo possível uma da outra; para isso, use um cilindro que tenha diâmetro um pouco maior que o ímã.
2. Defina a polaridade dos ímãs utilizando uma bússola (visto em <sup>1</sup>); logo em seguida, pinte o polo norte dos 4 ímãs de vermelho.
3. Conecte os ímãs na parte positiva e negativa da pilha, como na Figura 19, lembrando que os ímãs devem ter um diâmetro um pouco maior que o da pilha.
4. Após a preparação, colocar o conjunto (pilha e ímãs) dentro do formato modelado do estanho e dar um primeiro impulso para geração do movimento.

### Referências

- FULFARO, Iberê. **Trem magnético caseiro**. 2017. Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=eTjrWF8sOHw> >. Acesso em: 15 de mar. 2017.
- NARDI, Marlon. Como fazer o experimento do trem eletromagnético. 2017. Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=bzCQjNMvkTg> >. Acesso em: 15 de mar. 2017.
- SILVEIRA, Fernando. O trem elétrico com ímãs dentro de um enrolamento de cobre. 2014. Disponível em: < <https://www.if.ufrgs.br/novocref/?contact-pergunta=duvida-sobre-o-trem-eletrico-com-imas-dentro-de-um-enrolamento-de-cobre> >. Acesso em: 12 de mar. 2017.

**Custo aproximado: R\$ 120,00.**

### **3. ESTRATÉGIAS PARA UM BOM DESEMPENHO DIDÁTICO**

---

Dentro da nossa proposta pedagógica, procuramos atender o educando como um todo, fazendo-o o centro de todas as atividades, respeitando principalmente suas fases de desenvolvimento e incentivando a formação de hábitos sadios de estudo, pesquisa, organização de trabalho, leitura e raciocínio lógico.

Nesse contexto, o planejamento adequado das atividades constitui-se como etapa fundamental das práxis pedagógicas. Seja como um modo de pensar, um processo ou como instrumento de construção coletiva e participativa, o planejamento consiste, sem dúvida, num verdadeiro desafio ao professor.

Por isso, sugerimos ao professor a adoção de um contrato didático-pedagógico (A3) compreendendo 18 semanas para o desenvolvimento de uma sequência de atividades que irá culminar na realização de uma Mostra de Ciências com o tema Eletromagnetismo.

A tabela seguinte apresenta o detalhamento das atividades que são sugeridas para o melhor desenvolvimento desse produto e aproveitamento do tempo em sala de aula e fora dela, conforme o trabalho que realizamos em uma escola estadual do interior de São Paulo em 2017.

Cabe ressaltar que, na ocasião em que foi realizada esta proposta, os alunos mostraram-se extremamente motivados nas etapas de elaboração, execução e apresentação dos experimentos. Além disso, o desempenho dos estudantes em uma avaliação ao final do semestre superou a média do ano anterior, demonstrando que a metodologia aplicada contribuiu para um melhor aproveitamento acadêmico pelos estudantes, além de motivá-los a estudar Física e ter maior interesse nessa disciplina.

### APÊNDICE 3 (A3): CONTRATO DIDÁTICO-PEDAGÓGICO

Semana	Aulas	Programação	Em casa	Em sala
1ª		Indicação de sites e levantamento de referências.	X	
2ª	2	Pesquisa entre os alunos sobre assuntos desejados.	X	X
3ª	1	Entrega das propostas ao professor.		X
4ª	2	Desenvolvimento dos projetos.	X	X
5ª	1	Entrega de trabalho escrito sobre o assunto escolhido.		X
6ª	4	Discussão dos temas e das dificuldades.	X	X
7ª		Procura e aquisição de materiais.	X	
8ª		Montagem das experiências.	X	
9ª		Montagem das experiências.	X	
10ª	2	Apresentação em sala (20 minutos/grupo).		X
11ª	2	Apresentação em sala (20 minutos/grupo).		X
12ª	2	Apresentação em sala (20 minutos/grupo).		X
13ª	2	Apresentação em sala (20 minutos/grupo).		X
14ª	2	Elaboração do convite à comunidade para participação na Mostra.	X	X
15ª	2	Verificação preventiva das tomadas elétricas, das extensões e de onde será realizada a Mostra.		X
16ª	4	Realização da Mostra como um evento ao público.		X
17ª	2	Atividade avaliativa.		X
18ª	1	Devolutiva da avaliação.		X