

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

**A indução eletromagnética associada à conservação da quantidade de energia  
– uma proposta de experimento para o ensino médio**

Americo Carlos Coelho  
*Magister Scientiae*

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2025**

**AMERICO CARLOS COELHO**

**A indução eletromagnética associada à conservação da quantidade de energia  
– uma proposta de experimento para o ensino médio**

Dissertação Mestrado Profissional  
apresentada à Universidade Federal de  
Viçosa, como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em Ensino  
em Física (Profissionalizante), para  
obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Vagson L. de C. Santos

Coorientador: Eduardo N. D. de Araujo

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2025**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

C672i  
2025  
Coelho, Americo Carlos, 1978-  
A indução associada à conservação da quantidade de energia: uma proposta de experimento para o Ensino Médio / Americo Carlos Coelho. – Viçosa, MG, 2025.  
1 dissertação eletrônica (127 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndices.

Orientador: Vagson Luiz de Carvalho Santos.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Física, 2025.

Referências bibliográficas: f. 82-87.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2025.215>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Física - Estudo e ensino (Ensino Médio). 2. Indução eletromagnética - Experiências. 3. Força e energia - Experiências. I. Santos, Vagson Luiz de Carvalho, 1977-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Física. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. III. Título.

CDD 22. ed. 530.071

**AMERICO CARLOS COELHO**

**A indução eletromagnética associada à conservação da quantidade de energia  
– uma proposta de experimento para o ensino médio**

Dissertação Mestrado Profissional  
apresentada à Universidade Federal de  
Viçosa, como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em Ensino em  
Física (Profissionalizante), para obtenção do  
título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 20 de fevereiro de 2025.

Assentimento:

---

Americo Carlos Coelho  
Autor

---

Vagson Luiz de Carvalho Santos  
Orientador

Essa dissertação mestrado profissional foi assinada digitalmente pelo autor em 24/04/2025 às 17:16:47 e pelo orientador em 24/04/2025 às 17:18:10. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **GA16.YWLW.2X8Z** e clique no botão 'Validar documento'.

## **AGRADECIMENTOS**

### Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me conceder força, proteção e a oportunidade de trilhar meu caminho profissional, superando cada desafio com fé e perseverança. Aos meus pais, José Maria e Maria Hormezinda, minha eterna gratidão pelo apoio incondicional, pelos ensinamentos e por me mostrarem, desde cedo, que a educação é o alicerce para transformar vidas.

À minha esposa, Brenda, e aos meus filhos, Miguel, Samuel e Sophia, meu profundo agradecimento por todo o amor, paciência e compreensão. Vocês abriram mão de preciosos momentos em família para que eu pudesse me dedicar a esta jornada, e isso foi essencial para minha conquista.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Vagson Luiz de Carvalho Santos e Prof. Dr. Eduardo Nery Duarte de Araújo, minha sincera gratidão por todo o conhecimento compartilhado, pela orientação cuidadosa e pelos valiosos momentos de aprendizado que contribuíram diretamente para a realização deste trabalho. Aos meus amigos e companheiros de curso, parcerias indispensáveis para que pudesse chegar até aqui.

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

Por fim, agradeço à Universidade Federal de Viçosa (UFV) pela oportunidade de cursar este programa de especialização em um ambiente acadêmico inspirador, que incentiva a busca pelo conhecimento e a excelência profissional.

## RESUMO

COELHO, Americo Carlos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2025. **A indução eletromagnética associada à conservação da quantidade de energia – uma proposta de experimento para o ensino médio.** Orientador: Vagson Luiz de Carvalho Santos. Coorientador: Eduardo Nery Duarte de Araujo.

Esta dissertação apresenta uma abordagem inovadora para o ensino de Física no ensino médio, com foco na experimentação como ferramenta para promover a aprendizagem significativa. O trabalho explora a aplicação das Leis de Faraday e Lenz, associando os conceitos de indução eletromagnética à conservação da energia, por meio de experimentos práticos. Dois experimentos principais foram desenvolvidos: no primeiro, demonstrou-se a redução da velocidade de queda de um ímã em um tubo de cobre, evidenciando os efeitos da Lei de Lenz. No segundo, utilizou-se um plano inclinado com uma bobina de cobre para converter energia cinética em energia elétrica, iluminando LEDs conectados à bobina, conforme descrito pela Lei de Faraday. A metodologia incluiu a participação ativa dos alunos em todas as etapas experimentais, integrando teoria e prática. Os resultados demonstraram que a experimentação contribuiu para uma compreensão mais profunda e concreta dos conceitos físicos, além de aumentar o engajamento e a motivação dos estudantes. Conclui-se que a abordagem experimental, aliada à contextualização dos conteúdos, é uma estratégia eficaz para o ensino de Física, promovendo o desenvolvimento de habilidades científicas e o pensamento crítico.

Palavras-chave: Ensino de Física; Indução Eletromagnética; Aprendizagem Significativa; Leis de Faraday; Lei de Lenz; Experimentação.

## ABSTRACT

COELHO, Americo Carlos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2025. **Electromagnetic induction associated with the conservation of the amount of energy – an experiment proposal for high school.** Adviser: Vagson Luiz de Carvalho Santos. Co-adviser: Eduardo Nery Duarte de Araujo.

This dissertation presents an innovative approach to teaching Physics in high school focusing on experimentation as a tool to promote meaningful learning. The study explores the application of Faraday's and Lenz's Laws, associating the concepts of electromagnetic induction with energy conservation through practical experiments. Two main experiments were developed: the first demonstrated the reduction in the falling speed of a magnet through a copper tube, highlighting the effects of Lenz's Law. The second utilized an inclined plane with a copper coil to convert kinetic energy into electrical energy, lighting LEDs lamps connected to the coil, as described by Faraday's Law. The methodology included active student participation in all experimental stages, integrating theory and practice. The results showed that experimentation contributed to a deeper and more concrete understanding of physical concepts, as well as increased student engagement and motivation. It is concluded that the experimental approach combined with contextualized content is an effective strategy for teaching Physics, promoting scientific skills and critical thinking.

Keywords: Physics Teaching; Electromagnetic Induction; Meaningful Learning; Faraday's Law ; Lenz's Law; Experimentation.

# Sumário

<b>Introdução</b> .....	<b>8</b>
<b>Capítulo 1</b> .....	<b>10</b>
1.1 Desafios no ensino da Física.....	10
1.2 A falta de contextualização na Física .....	10
1.3 A relação Física-Matemática .....	11
1.4 A ausência de laboratórios e materiais adequados .....	12
1.5 A falta de formação e capacitação dos profissionais da área .....	13
1.6 O formato das avaliações atuais.....	14
1.7 A busca pela aprendizagem significativa .....	15
<b>Capítulo 2</b> .....	<b>23</b>
2.1 O Ensino da Física e a Experimentação.....	23
2.2 O papel do Professor no Ensino experimental da Física .....	24
2.3 A Experimentação no Ensino da Física .....	25
<b>Capítulo 3</b> .....	<b>33</b>
3.1 Lei de Faraday, a indução eletromagnética .....	33
3.2. Lei de Lenz.....	36
3.3 Energia.....	38
<b>Capítulo 4</b> .....	<b>43</b>
4.1 Metodologia.....	43
4.2 Metodologia do Experimento .....	44
4.3 Metodologia da aula .....	50
4.3.1 Plano de Aulas .....	50
4.4 Avaliação.....	55
4.5 Aplicação da aula.....	56
<b>Capítulo 5</b> .....	<b>59</b>
5.1 Resultados do Experimento.....	59

5.2 Resultados das aulas .....	68
<b>Capítulo 6 .....</b>	<b>80</b>
6.1 Conclusão .....	80
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>82</b>
<b>Apêndices .....</b>	<b>88</b>
Apêndice A.....	88
Apêndice B.....	91
Apêndice C.....	92
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>127</b>

## Introdução

O ensino de Física no ensino médio enfrenta diversos desafios que comprometem a compreensão dos conceitos fundamentais por parte dos estudantes. Em um contexto em que a ciência e a tecnologia desempenham papéis centrais na sociedade, a capacidade de compreender fenômenos físicos não é apenas uma competência desejável, mas essencial para a formação de cidadãos críticos e preparados para os desafios do mundo contemporâneo. Contudo, fatores como a abstração excessiva, a matematização descontextualizada e a falta de experimentação nas aulas de Física têm contribuído para a percepção de que essa disciplina é difícil e distante da realidade dos alunos.

A abordagem tradicional do ensino de Física, muitas vezes centrada na transmissão teórica e no uso intensivo de fórmulas, tem se mostrado insuficiente para engajar os estudantes e promover uma aprendizagem significativa. A falta de contextualização dos conteúdos torna os conceitos físicos abstratos e desconectados do cotidiano dos alunos, o que impacta negativamente sua motivação e compreensão. Além disso, a carência de laboratórios e recursos adequados para atividades experimentais limita a possibilidade de vivenciar a Física como uma ciência empírica, cuja compreensão se constrói também a partir da observação e da experimentação.

Neste cenário, as Leis de Faraday e Lenz surgem como temas relevantes para o ensino de Física, pois estão diretamente relacionadas a fenômenos eletromagnéticos que fazem parte do cotidiano, como o funcionamento de geradores, motores e transformadores. A compreensão desses conceitos é essencial não apenas para estudantes que desejam seguir carreiras nas áreas de ciência e tecnologia, mas também para todos os cidadãos que desejam entender as bases tecnológicas que sustentam a sociedade moderna. Contudo, a abstração inerente a esses conceitos torna necessária uma abordagem didática que os torne mais acessíveis e concretos para os estudantes.

A experimentação apresenta-se como uma solução eficaz para superar os desafios do ensino de Física. Atividades experimentais permitem que os alunos observem diretamente os fenômenos estudados, relacionando teoria e prática de maneira significativa. Além disso, a experimentação estimula o pensamento crítico, o

raciocínio lógico e a capacidade de resolver problemas, habilidades fundamentais para o desenvolvimento científico e tecnológico. No contexto específico das Leis de Faraday e Lenz, a realização de experimentos simples, como a indução de correntes elétricas em bobinas e a redução da velocidade de queda de ímãs em tubos condutores, pode tornar os conceitos mais tangíveis e compreensíveis.

Esta dissertação propõe uma abordagem experimental para o ensino das Leis de Faraday e Lenz, integrando os conceitos de indução eletromagnética à conservação de energia. Por meio de dois experimentos principais, busca-se demonstrar, de forma prática e interativa, como a variação do fluxo magnético gera corrente elétrica e como a energia cinética pode ser transformada em energia elétrica. O primeiro experimento aborda a redução da velocidade de queda de um ímã em um tubo de cobre, evidenciando os efeitos da Lei de Lenz. O segundo utiliza um plano inclinado com uma bobina de cobre para converter energia cinética em energia elétrica, iluminando LEDs conectados à bobina, conforme descrito pela Lei de Faraday.

Além de proporcionar uma compreensão mais profunda dos conceitos físicos, a abordagem experimental também busca aumentar o engajamento e a motivação dos estudantes, aproximando a Física de seu cotidiano e mostrando sua relevância prática. A integração entre teoria e prática, aliada à contextualização dos conteúdos, constitui uma estratégia pedagógica eficaz para promover a aprendizagem significativa, conforme defendido por teóricos como David Ausubel. Assim, este trabalho não apenas contribui para o ensino das Leis de Faraday e Lenz, mas também reforça a importância da experimentação como elemento central no ensino de Física.

Nos capítulos que se seguem, serão apresentados os fundamentos teóricos que embasam esta proposta, os detalhes metodológicos dos experimentos realizados e os resultados obtidos com sua aplicação. Espera-se que esta dissertação possa contribuir para o aprimoramento do ensino de Física, incentivando a adoção de práticas pedagógicas mais dinâmicas, interativas e alinhadas à realidade dos estudantes.

## Capítulo 1

### 1.1 Desafios no ensino da Física

No cenário atual, o ensino da Física surge como um campo de constantes debates e desafios. Em um mundo cada vez mais dependente da tecnologia e da ciência, a compreensão dos princípios fundamentais da Física torna-se crucial não só para futuros engenheiros e cientistas, mas também para todo cidadão. No entanto, apesar da importância incontestável dessa disciplina, o ensino da física enfrenta problemas que questionam se, ao final do ensino médio, houve um aprendizado do conteúdo. Desde questões estruturais no currículo da disciplina até desafios pedagógicos no processo de aprendizagem, há uma série de fatores que merecem reflexão e intervenção. Dentre esses fatores, podemos destacar a falta de contextualização dos conceitos, a matematização do conteúdo, a falta de laboratórios e recursos para as aulas, formação inadequada dos professores e a forma de avaliação do aprendizado.

### 1.2 A falta de contextualização na Física

A falta de contextualização faz com que o aluno tenha dificuldade de ligar os conceitos trabalhados com o seu dia a dia. Essa dificuldade causa a falta de interesse e motivação para estudar a disciplina, impactando na percepção da relevância prática da física para a vida do educando. De fato, Batista (BATISTA, et al, 2009) afirma que:

Para que o pensamento científico seja incorporado pelo educando como uma prática de seu cotidiano é preciso que a Física esteja ao seu alcance e o conhecimento tenha sentido e possa ser utilizado na compreensão da realidade que o cerca (Batista, *et al* 2009, p3)

Ao tratar desse assunto, temos ainda que diferir conceito de conceitualização. “Para Stephin Toulmin, um conhecido epistemólogo, a chave da compreensão humana está nos conceitos” (MOREIRA, 2021). No ensino da Física é mais pertinente dar ênfase aos mesmos do que às fórmulas. Essas, contém conceitos. Não há motivos para decorar fórmulas sem compreendê-los. Devemos trabalhar situações que façam sentido para o estudante, para que a teoria seja ligada às experiências dos mesmos. Moreira nos diz que “para serem aprendidos significativamente, novos conhecimentos devem fazer sentido para o aprendiz” (MOREIRA, 2021). E esse é o sentido da palavra conceitualizar. Esta, significa compor, idealizar, desenvolver um conceito a certa de

alguma coisa. Portanto, conceitualizar é dar sentido aos conceitos. Apesar de parecerem observações óbvias, não são levadas em consideração na maioria dos planejamentos. É comum observar trabalhos baseados em abstrações fora da realidade dos estudantes e com complexidade acima de seus limites cognitivos. É nesse momento que, geralmente, perdemos nosso aluno e este passa a não “gostar da disciplina”. O aluno passa a estudar para se livrar da disciplina e não para compreender seu mundo.

### **1.3 A relação Física-Matemática**

Durante o ensino da física, a matemática é trabalhada concomitantemente à apresentação das fórmulas ligadas aos conceitos. O estudante lida com uma gama de técnicas que vão desde álgebra e trigonometria até o cálculo diferencial e integral. Nesse sentido, a integração das disciplinas pode gerar desafios, uma vez que os alunos podem apresentar dificuldades e muitas vezes o fracasso em aprender física é atribuído tão somente ao fato de o aluno não conseguir atender os requisitos citados acima, como declara Pietrocola (PIETROCOLA, 2002):

No ensino da Física, a linguagem matemática é muitas vezes considerada como a grande responsável pelo fracasso escolar. É comum professores alegarem que seus alunos não entendem física devido à fragilidade de seus conhecimentos matemáticos. (Pietrocola, 2002, p89)

Sabemos que essas duas disciplinas tem uma relação intrínseca e profunda. A matemática fornece uma linguagem precisa para compreender fenômenos físicos e construir modelos para compreendermos o universo. Além disso, a matemática é crucial na previsão, análise de dados experimentais obtidos e construção de leis gerais para fenômenos físicos. Karan e Pietrocola (KARAM E PIETROCOLA, 2009) relacionam o pensamentos matemático e físico em seu artigo, como afirmam a seguir:

Uma análise histórica/epistemológica do desenvolvimento do conhecimento científico evidencia a existência de complexas inter-relações entre o pensamento matemático e o físico desde sua mais remota essência. Encontramos nessa História tanto casos em que o formalismo matemático antecipou e direcionou as pesquisas/experiências em Física, como exemplos em que um problema físico serviu de motivação para o surgimento de novos objetos/conceitos matemáticos (Karan e Pietrocola, 2009, p200)

O desenvolvimento tecnológico atual se dá devido ao avanço científico, o qual está intrinsicamente relacionado com as técnicas e ferramentas matemáticas, como afirma Pietrocola (PIETROCOLA, 2002):

A evolução da ciência resultou na expressão dos conceitos em linguagem Matemática. As ideias da ciência ganham significado se interconectando em estruturas matemáticas. A linguagem matemática, com suas regras e propriedades, tornam as teorias científicas capazes de pensar o mundo. Toda teoria científica é, desta forma, um conjunto de conceitos, cuja estruturação é eminentemente matemática (Pietrocola, 2002, p104).

Entretanto, o aluno pode apresentar uma dificuldade na associação da matemática abstrata com conceitos físicos concretos. Ora, é claro para os professores, por exemplo, que ao aumentarmos a distância entre duas cargas elétricas, diminuimos a força de atração entre elas, pois são grandezas inversamente proporcionais. Na expressão matemática da Lei de Coulomb, isso fica muito claro para o professor, mas nem sempre é tão claro para o aluno. São necessárias abordagens pedagógicas que facilitem essa associação, promovendo uma compreensão mais profunda da relação entre a física e a matemática. Essas abordagens merecem uma atenção especial, mas por hora esse não é o objetivo desse trabalho. Aqui apenas observamos a relação entre a Física e a Matemática, demonstrando que sua dissociação não resultaria em vantagens na aprendizagem dos conceitos físicos.

#### **1.4 A ausência de laboratórios e materiais adequados**

A carência de materiais e de espaços adequados para a realização de aulas de Física constitui um aspecto crítico que demanda atenção. A maioria das escolas de ensino médio não possuem recursos necessários para a implementação de práticas experimentais em Física, incluindo a ausência de laboratórios ou ambientes apropriados para a execução de experimentos. Em geral, o ensino da disciplina restringe-se predominantemente ao método expositivo, caracterizado pela ausência de atividades experimentais que poderiam enriquecer o processo de aprendizagem. Nesse contexto, Moreira (MOREIRA, 2021) nos diz que:

Mas, na prática, esse ensino é conduzido sem atividades experimentais, segue o modelo expositivo no qual o professor “dá a matéria” para os alunos anotarem em seus cadernos ou fotografarem com seus celulares. Um grande erro um ensino de Física sem atividades experimentais (Moreira, 2021).

A experimentação é uma parte fundamental do aprendizado científico, pois permite ao estudante explorar conceitos abstratos de forma concreta e tangível. Além de permitir essa possibilidade, a experimentação também promove o desenvolvimento de habilidades práticas, a verificação das leis físicas e o estímulo à investigação e a curiosidade. Este assunto será abordado com mais ênfase adiante, como proposta ao

aprendizado, neste trabalho. No entanto, mesmo sendo tão importante, a experimentação quase não acontece, por vários motivos, dentre eles a falta de laboratórios bem equipados, infraestrutura inadequada e até falta de tempo no currículo para que aconteçam as experimentações. No atual ensino médio, segundo a Lei 13.415 de 2017, o professor chega a ter uma aula por semana para trabalhar o conteúdo e as experimentações propostas, dificultando muito o trabalho do profissional do ensino da física.

### **1.5 A falta de formação e capacitação dos profissionais da área**

Não menos importante, a falta de capacitação dos profissionais também exerce papel relevante no desafio de ensinar física. O professor desempenha um papel fundamental no processo ensino-aprendizagem e essa falta de capacitação impacta diretamente em suas competências e habilidades. Muitas-vezes, a física é lecionada por professores sem formação na área. De fato, Machado e Carvalho (MACHADO E CARVALHO, 2020), em seu artigo, relatam que:

A falta de professores licenciados em Física é um problema constantemente verificado no cotidiano das escolas públicas, onde não é difícil encontrar professores licenciados em outras áreas, como a Matemática e a Química, trabalhando com as aulas de Física. Isso pode trazer graves problemas à formação dos alunos, já que professores despreparados poderão reproduzir aos seus alunos, uma matéria sem o gosto pela pesquisa, sem provocá-los a verem e a entenderem a aplicação daquilo que a Física pode proporcionar para uma melhor compreensão das demais áreas científicas, produzindo, assim, uma lacuna, muitas vezes irremediável, no aprendizado desses alunos (Machado e Carvalho, 2020, p1290)

Essa falta de formação impacta negativamente, mesmo não sendo regra, no aprendizado da disciplina. Como ensinar conceitos que não lhe foram ensinados? Como um professor pode conduzir uma aula, experimental ou não, sobre Leis de Newton, por exemplo, sem que isso lhe tenha sido ensinado de forma plena em sua formação? Não há comparação entre a grade curricular de física de fato, entre um curso de graduação de matemática e física. Sobre esse fato, Machado e Carvalho (MACHADO E CARVALHO, 2020) afirmam que:

O curso de licenciatura em Matemática não tem formação adequada para contemplar os aspectos materiais, práticos e didáticos da disciplina de Física, de tal forma que as aulas trabalhadas por esses professores, geralmente são apoiadas somente em teorias, desprovidas de um complemento prático, experimental, que deve ser realizado em laboratório e é imprescindível para a aprendizagem dos conceitos físicos (Machado e Carvalho, 2020, p1291).

A falta de atualização também é um problema no desenvolvimento das ciências. Dificuldades em lidar com novos recursos digitais e tecnologias, falta de estratégias e até compreensão inadequadas de conceitos podem surgir, decorrentes dessa ausência de capacitação. Com a constante atualização que pode ser feita por formação continuada ou por cursos de especialização, o professor tem acesso as mais recentes descobertas nas suas áreas de atuação, bem como em didática e metodologias de ensino. Dessa forma, podem integrar o conhecimento atualizado com as bases científicas de sua formação inicial, enriquecendo ainda mais o suporte e o conteúdo que oferecem aos seus alunos.

### **1.6 O formato das avaliações atuais**

Além dos fatores acima citados, precisamos considerar também o formato atual das avaliações. A avaliação em si tem a intenção de fornecer um feedback da aprendizagem. É nela que o atual sistema de ensino mede a compreensão dos conceitos apresentados aos alunos. O processo avaliativo tem sido alvo de vários estudos que concluem que devemos levar em consideração a diversidade dos formatos das avaliações e o feedback construtivo. Oliveira (OLIVEIRA et al, 2020) nos afirma o seguinte sobre a avaliação:

Não só no contexto educacional, mas no dia a dia de qualquer pessoa, a avaliação deve ser um elemento presente e de prática contínua, viabilizando ao avaliador traçar estratégias que o aproximem de seus objetivos. No que diz respeito ao ambiente educacional, esta é uma ação decisiva para a garantia do aprendizado, pois é somente através dela que o professor pode rever seus métodos e avaliar a capacidade cognitiva do estudante, o que lhe possibilitará retomar abordagens e incluir o aluno no processo de construção do conhecimento (Oliveira *et al*, 2020, p114)

Ela deve levar em consideração a compreensão conceitual e não a memorização de fórmulas e procedimentos. Vale lembrar que a avaliação é um processo, não um documento. Em um ensino ideal, o processo de avaliação é contínuo e deve considerar os conhecimentos que o aluno traz consigo, além da evolução que o mesmo apresenta ao longo do curso. Porém, Moreira (MOREIRA, 2021) afirma que essa não é a realidade do nosso sistema educacional: “Vivemos um ensino para testagem, apenas, conhecido como teaching for testing. Nossas escolas são centros de treinamento para testes” (MOREIRA, 2021). E ao final de todo o processo, temos o ENEM, Exame Nacional do Ensino Médio, que é o exame feito ao

final do ensino médio, para o ingresso nas principais universidades do Brasil. Essa cultura é a base do mercado de trabalho atual. Nosso aluno passa todo o seu período escolar sendo preparado para passar em testes, alguns conceitualizados, outros não, e procurar seu lugar no mercado de trabalho. Seria um absurdo se não fosse tão aceito pela sociedade atual. Professores educadores não podem concordar com tal realidade e muito menos perder a esperança de que a educação seja, um dia, voltada para a cidadania.

Mas, mesmo com a grande maioria das vertentes pedagógicas enfatizando e discutindo todos esses problemas, o ensino da Física continua no formato tradicional. O problema é que a aprendizagem por experimentação não é boa para o ensino para testagem. O que é considerado uma boa aprendizagem nos moldes atuais é que o aluno consiga ver todo o conteúdo para responder questões em uma avaliação interna ou externa. Isso produz uma aprendizagem mecânica, diferente daquela (significativa) buscada e ideal.

No fim, o ensino de Física precisa deixar de ser um mero decorar de fórmulas sem sentido. Um ensino mais voltado para a compreensão e construção dos conceitos que compõe a Física fará mais sentido para o aluno do que um formalismo matemático. E talvez tão importante quanto trabalhar os conceitos é dar sentido aos mesmos. Trazer ao aluno situações que façam sentido. As teorias precisam ser inseridos de forma gradativa e de nível crescente de dificuldades, sempre em busca de uma aprendizagem significativa.

### **1.7 A busca pela aprendizagem significativa**

Na busca incansável da sociedade pelo conhecimento, poucas disciplinas despertam curiosidades e desafios, na mesma proporção, quanto a Física. Alguns estudantes buscam o aprendizado na disciplina pela curiosidade latente do ser humano, outros buscam para atingir seus objetivos relacionados aos ingressos em cursos superiores. Essa jornada de busca ao conhecimento junto a disciplina, começa no ensino médio, momento em que a busca pelo aprendizado se torna fundamental. Essa busca é cercada de problemas e situações, que já foram citadas anteriormente nesse trabalho. O desafio é superar tais situações para que o estudante atinja o pleno aprendizado dos conceitos. Mas o que é, de fato, o aprendizado? Etimologicamente falando, a palavra aprendizado vem do latim *apprehendere*, que quer dizer “apoderar-

se”, e aprender é adquirir habilidades e conhecimentos, mas o que nos interessa é seu significado no âmbito educacional. Nesse sentido, o significado do termo aprendizado é tão extenso que é praticamente impossível dar sentido ao mesmo em poucas linhas. Seu significado é e sempre foi temas de estudos diversos e objeto de trabalho de vários pensadores. Rosa e Goi (ROSA E GOI, 2024), afirmam em seu artigo que:

A busca por compreender o modo como as pessoas aprendem e as condições necessárias para a aprendizagem norteiam o trabalho docente, perante os processos educativos. As teorias da aprendizagem, segundo Castro, Santos e Silva Cruz (2024 apud Cruz *et al* 2013), são significativas, porque possibilitam a aquisição e o aperfeiçoamento de conhecimentos, atitudes e habilidades de mediação do ensino (Rosa e Goi, 2024, p2)

Vários educadores, filósofos, psicólogos, dentre outros profissionais dedicaram anos de suas vidas a entender o processo ensino-aprendizagem, produzindo vertentes e teorias diversas sobre o assunto. Por isso, não há apenas uma maneira de pensar o processo, mas várias teorias abordando esse tema.

Piaget, que priorizava o enfoque interacionista no processo de aprendizagem, definia o aprendizado como sendo uma modificação efetiva do comportamento adquirida através da experiência (PIAGET, 2002). Em outras palavras, para aprender, o indivíduo deve assimilar as novas informações que chegam por vias sensoriais às estruturas cognitivas já formadas. A ideia de assimilar o conhecimento com outro já adquirido é comum em outras teorias, entretanto, a teoria de Piaget relacionava o aprendizado com o estágio de desenvolvimento biológico do ser, levando em conta até fatores hereditários. No entanto, Piaget (CASTRO, 2016) não afirmava que o comportamento mental estava atrelado apenas ao desenvolvimento biológico, mas que o desenvolvimento biológico é útil ao desenvolvimento intelectual. As duas partes compõem o mecanismo pelo qual o organismo se adapta e organiza as novas experiências. Para Piaget, (CASTRO, 2016) o aprendizado se dá pelos seguintes passos: esquema, acomodação, assimilação e equilíbrio.

Esquemas são estruturas mentais através das quais os indivíduos se adaptam e organizam o meio, intelectual e mentalmente, se alterando com o desenvolvimento mental. Quando a criança nasce, tais esquemas são de natureza reflexa. Estes, que são estruturas de desenvolvimento cognitivo, se transformam através de acomodação. Uma acomodação se dá quando envolve a transformação que o

organismo sofre para lidar com o ambiente, criando esquemas novos ou alterando os antigos. Como os esquemas pré-existentes não são suficientes, os objetos atuam sobre o indivíduo, causando modificações. A assimilação é o processo cognitivo pelo qual o indivíduo integra novos dados conceituais, perceptuais ou motores nos esquemas já existentes. Este processo é contínuo, pois o ser humano está sempre processando uma gama de estímulos, o que resulta na ampliação constante dos esquemas. Uma vez que uma estrutura cognitiva é alterada, o estímulo é facilmente assimilado. Temos então que a acomodação é sempre subordinada à assimilação, sendo esta, o produto final. Finalmente, o equilíbrio é um estado de balanço entre assimilação e acomodação, necessário para o crescimento e desenvolvimento cognitivo (CASTRO, 2016).

Portanto, Piaget (PIAGET, 1970) define a inteligência como:

O desenvolvimento de uma atividade assimiladora cujas leis funcionais são dadas a partir da vida orgânica e cujas sucessivas estruturas que lhe servem de órgãos são elaborados por interação dela própria com o meio. (Piaget, 1970, p336).

A inteligência então é uma adaptação e essa só ocorre quando o indivíduo se transforma em função do meio, dependendo diretamente e progressivamente do equilíbrio entre acomodação e assimilação. Lembrando ainda que todos esses processos estão ligados ao desenvolvimento biológico do indivíduo. Piaget estabelece inclusive estágios biológicos relacionados ao aprendizado: sensório-motor, pré-operatório, operatório concreto e operatório formal (MOREIRA, 2006). Cada estágio tem suas operações estabelecidas e sua relação com os passos citados anteriormente e na transição entre eles existe a maior chance de acontecer o equilíbrio entre acomodação e assimilação.

Por fim, nessa teoria, o papel da escola e do professor está nos mecanismos de desequilíbrio. O professor deve oferecer situações desafiadoras que provoquem esse desequilíbrio para proporcionar ao educando oportunidades que levem a inteligência a se desenvolver. O professor que planeja suas ações segundo as teorias de Piaget dá a oportunidade ao aluno de desenvolver seu próprio conhecimento.

Já Vygotsky acreditava no processo socioconstrutivista. Ele defende que o aprendizado não pode ser dissociado do contexto histórico, social e cultural do indivíduo. Foi o pioneiro nessa área de estudo, em sua obra “A formação social da mente”, (VYGOTSKY, 2010), abordava os processos psicológicos que ocorriam a

partir da infância, nesses contextos. O objetivo dessa teoria é observar como as funções psicológicas evoluem de uma situação primária para processos psicológicos superiores através das interações do sujeito com o mundo. Acerca disso, Coelho e Pisoni (COELHO E PISONI, 2012) afirmam em:

A criança nasce apenas com as funções psicológicas elementares e a partir do aprendizado da cultura, estas funções transformam-se em funções psicológicas superiores, sendo estas o controle consciente do comportamento, a ação intencional e a liberdade do indivíduo em relação às características do momento e do espaço presente (Coelho e Pisoni, 2012, p146)

Ao contrário de Piaget, Vygotsky (ROSA E GOI, 2024) diz que as funções mentais superiores são formadas socialmente e transmitidas pela cultura, através da linguagem. Ele defende que, por mais que o indivíduo esteja biologicamente pronto, se não interagir socialmente, não irá se desenvolver como poderia. O indivíduo, para ele, precisa das representações simbólicas, que são sociais e culturais, para realizar a mediação entre um objeto e sua compreensão. A teoria de Vygotsky tem quatro conceitos fundamentais: interação, mediação, internalização e zona de desenvolvimento proximal. Segundo ele, para que o indivíduo se desenvolvesse, mais do que agir sobre o meio o indivíduo precisa interagir com o meio. Todo o desenvolvimento que uma pessoa apresenta, que aparentemente é individual, é na verdade, resultado da interação com o coletivo, através da língua, da linguagem e dos símbolos escolhidos culturalmente. Vygotsky defendia também que a relação entre o sujeito e o objeto era estabelecida através da mediação. Esse era o papel principal da cultura (ROSA E GOI, 2024). É por meio dos significados culturais e históricos que é feita a ligação entre o objeto e uma realidade. Outro passo importante da teoria de Vygotsky é a internalização. É através desse passo que o indivíduo completa o aprendizado, refletindo sobre o objeto e seu significado social e cultural. Dessa forma, se adquire conhecimento e se compreende papéis sociais e valores. Por último, temos as zonas de desenvolvimento, que são três: nível de desenvolvimento real, nível de desenvolvimento potencial e zona de desenvolvimento proximal. O nível de desenvolvimento real é a etapa que o indivíduo já possui, que o auxilia na resolução de problemas. O nível de desenvolvimento potencial é a etapa que o indivíduo pode alcançar, o aprendizado que pretende atingir, através de uma mediação. A zona de desenvolvimento proximal é o caminho que o indivíduo precisa percorrer até atingir as funções cognitivas superiores, é o espaço entre o conhecimento que o indivíduo já

tem e o conhecimento que pode atingir, desde que devidamente mediado. “A mediação ocorrida na ZDP, é a ferramenta propulsora que permite o indivíduo maximizar sua aprendizagem e ampliar suas percepções. Essa é uma etapa fundamental para que possa progredir e amplificar seus conhecimentos...” (SANTOS *et al*, 2021).

Por fim, Vygotsky deixa claro a importância da sociedade e da cultura para sua teoria do aprendizado. Rosa e Goi (ROSA e GOI, 2024) deixam isso claro quando relatam que:

A teoria da aprendizagem de Vygotsky aponta que o cérebro busca realizar diversas relações com as informações e sensações obtidas na finalidade de compreender a situação proposta. Portanto, o cérebro está em constante mudança, uma vez que cada transformação pode ser influenciada pela cultura, pelo ambiente e pela própria individualidade do sujeito (Rosa e Goi, 2024)

Já para Ausubel, a aprendizagem dependia de dois fatores principais: a motivação do indivíduo para aprender e o que o ele já sabe (MOREIRA, 2006). Ausubel defendia que existem três tipos de aprendizagem: cognitiva, afetiva e psicomotora (MOREIRA, 2006). Para o nosso trabalho, focaremos na aprendizagem cognitiva, embora não possamos desconsiderar a afetiva e psicomotora, pois ambas trabalham juntas para que o indivíduo possa atingir a aprendizagem proposta por Ausubel. Para ele, o fator mais importante para o aprendizado é o que o aluno já sabe e é tarefa do professor detectar esses conhecimentos prévios. Ainda deixava bem claro que a aprendizagem podia ser classificada em mecânica e significativa. A aprendizagem mecânica se dá quando o indivíduo adquire novos conceitos que são recebidos mas não são associados com conceitos relevantes presentes na estrutura cognitiva. A nova informação é armazenada de maneira arbitrária. Na contrapartida, a aprendizagem significativa ocorre quando uma nova informação interage com informações pré-existentes, chamadas por Ausubel de subsunçores. Moreira (MOREIRA, 2006) afirma que:

Para Ausubel, aprendizagem significativa é um processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se com um aspecto relevante da estrutura do conhecimento do indivíduo, ou seja, este processo envolve a interação da nova informação com uma estrutura do conhecimento específica, a qual Ausubel define como conceito subsunçor, ou simplesmente subsunçor. (Moreira, 2006, p153).

Segundo Ausubel, a aprendizagem significativa se dá quando uma nova informação se associa a uma informação já existente, formando uma nova informação, um novo subsunçor. Um fato importante é que, apesar de serem totalmente distintas, Ausubel dizia que as aprendizagens, significativa e mecânica, não eram dicotômicas, mas sim partes de um mesmo contínuo (MOREIRA, 2006). Não podemos confundir as duas aprendizagens acima com as aprendizagens por descoberta e por recepção. Na última, o conceito final é apresentado de forma pronta ao aprendiz enquanto na primeira o conteúdo principal deve ser aprendido e descoberto pelo aluno. Todavia, a aprendizagem por descoberta só se torna significativa se a nova informação estabelece uma ligação com subsunçores relevantes, o que também pode acontecer com a aprendizagem por recepção. Ou seja, podemos ter aprendizagem significativa por descoberta ou por recepção, desde que a nova informação amalgame-se de forma não arbitrária com uma estrutura cognitiva.

Ausubel afirma que, ao ocorrer a compreensão de fato dos conceitos, deve ocorrer também a “posse de significados claros, precisos, diferenciados e transferíveis” (MOREIRA, 2006). Entretanto, ao testar esse aprendizado apenas solicitando ao aprendiz que diga o que compreendeu, podemos ter respostas mecanicamente memorizadas. Ao verificar indícios da aprendizagem significativa, devemos trabalhar questões e problemas de maneira diferente e pouco habitual, que requer a transformação do conhecimento adquirido. Dessa forma, Ausubel afirma que a aprendizagem é uma constante modificação e adaptação do subsunçor, gerando uma nova informação, adaptada e pronta a ser modificada novamente, num processo contínuo.

As teorias de aprendizagem discutidas no texto ofertam uma base sólida para entender como o conhecimento é construído e assimilado pelos indivíduos na busca pelo aprendizado, cada uma trazendo contribuições valiosas.

A teoria de Piaget é notável por seu enfoque no desenvolvimento cognitivo através da interação com o meio. O ponto positivo dessa abordagem é que ela reconhece a importância do estágio de desenvolvimento biológico do aluno, alinhando a educação ao nível de maturidade cognitiva do estudante. A ênfase em processos como assimilação e acomodação oferece uma visão dinâmica do aprendizado, onde o conhecimento não é apenas absorvido, mas constantemente reorganizado e refinado. Nosso projeto está alinhado a essa teoria, uma vez que observa o estágio

de desenvolvimento do educando. A fase em que o projeto é aplicado é o estágio operatório-formal. Essa fase se caracteriza por "...um novo modo de raciocínio que não incide exclusivamente sobre os objetos ou as realidades, mas também sobre as hipóteses" (CARNEIRO s.d.) e busca uma interação com o ensino experimental para uma aprendizagem sólida do conteúdo.

Por outro lado, Vygotsky enriquece o debate ao introduzir o conceito de socioconstrutivismo, que destaca o papel crucial da interação social e cultural no desenvolvimento cognitivo. Seu conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) é particularmente valioso, pois enfatiza a importância do ensino mediado, onde o professor atua como facilitador do aprendizado, ajudando o aluno a alcançar níveis superiores de compreensão. A teoria de Vygotsky valoriza o contexto social e cultural, oferecendo uma abordagem mais holística e integrada do aprendizado. Nesse sentido, o presente trabalho se alinha a essa perspectiva ao utilizar a experimentação em grupo como um elemento do contexto social da aprendizagem, permitindo a troca de ideias e a construção coletiva do conhecimento. Além disso, a contextualização dos temas abordados reforça o aspecto cultural, relacionando os conceitos físicos ao cotidiano dos alunos e tornando a aprendizagem mais significativa.

Ausubel, por sua vez, traz à tona a ideia de aprendizagem significativa, que se destaca por sua aplicabilidade prática na sala de aula. Ao focar na importância dos conhecimentos prévios e na motivação do aluno, Ausubel oferece uma estratégia pedagógica eficaz que promove a compreensão profunda, em vez da mera memorização. Sua distinção entre aprendizagem mecânica e significativa fornece uma ferramenta útil para os educadores avaliarem e promoverem o verdadeiro entendimento dos conceitos pelos alunos. Com efeito, nosso trabalho também se alinha à teoria de Ausubel, ao valorizar os subsunçores que o aluno possui em relação aos temas centrais, como eletromagnetismo, indução e conservação de energia. A proposta é promover uma aprendizagem significativa das Leis de Faraday e Lenz, enriquecendo esses subsunçores e culminando em um subsunçor final, reformulado, que traz uma aprofundada compreensão desses conceitos, evidenciando suas utilidades no cotidiano do educando.

Essas teorias, embora diferentes, compartilham a visão de que o aprendizado é um processo ativo e contínuo, onde o estudante constrói e reconstrói seu conhecimento. Elas também enfatizam a importância do papel do educador em criar

condições que favoreçam o desenvolvimento cognitivo e a compreensão significativa. Ao integrar as abordagens de Piaget, Vygotsky e Ausubel, é possível criar ambientes de aprendizagem ricos e diversificados, que atendem às necessidades dos alunos de maneira completa e eficaz.

## Capítulo 2

### 2.1 O Ensino da Física e a Experimentação

Muitos desafios precisam ser superados para que a aprendizagem no ensino de Física seja efetiva. Dentre eles, destaca-se a ausência de laboratórios e materiais adequados para a realização de práticas experimentais, fator que se torna uma barreira significativa para a proposta deste estudo. A falta desses recursos impacta negativamente o aprendizado, tornando os conceitos muitas vezes abstratos e dificultando a construção do conhecimento pelos alunos, como afirmam Vieira e outros (VIEIRA et al. 2024), em seu artigo:

A escassez ou até mesmo inexistência de laboratórios nas escolas afeta tanto o andamento do processo de ensino, quanto ao aprendizado do aluno, uma vez que, a falta de aulas práticas faz com que os discentes não se sintam motivados a ampliar os conhecimentos ou até mesmo aprender as temáticas abordadas nos livros didáticos (Vieira et al. apud Cavalcante et al., 2013)

No entanto, superar essa limitação é essencial para que a experimentação cumpra seu papel indispensável no ensino de Física. Alternativas como o uso de materiais de baixo custo, experimentos demonstrativos e simulações computacionais podem atenuar os efeitos dessa carência, permitindo que os estudantes tenham uma experiência mais concreta e significativa. Alves e outros (ALVES et al., 2023), em sua pesquisa, concluem o seguinte a respeito do uso de materiais de baixo custo:

À medida que exploramos essas alternativas, enfatizamos a importância de adaptar as atividades para atender aos objetivos específicos do currículo e aos níveis de conhecimento dos alunos. O uso criativo e inteligente desses materiais pode despertar o interesse pela física, proporcionando uma base sólida de compreensão dos princípios científicos, mesmo em ambientes com recursos limitados. (Alves et al., 2023)

Sobre o uso das simulações computacionais, Jaime e Leonel (JAIME E LEONEL, 2024), afirmam sobre a utilidade das mesmas:

...simulações computacionais podem ser de grande utilidade, pois elas vão muito além de simples animações permitindo a geração e o estudo de dados que hipoteticamente descrevem um determinado problema. Isso permite, no educando, o desenvolvimento de uma espécie de intuição ou conhecimento primário que se encontra na base da compreensão de qualquer fenômeno físico (Jaime e Leonel, 2024)

Dessa forma, mesmo diante das restrições estruturais, é possível promover um ensino mais dinâmico e envolvente, no qual a experimentação se consolide como uma ferramenta essencial para a compreensão dos fenômenos físicos.

## 2.2 O papel do Professor no Ensino experimental da Física

O professor desempenha um papel central na experimentação no ensino de Física, pois é responsável por criar um ambiente de aprendizagem que estimule a investigação e a construção ativa do conhecimento, ao compararmos as diversas definições de aprendizagem. Piaget, Vygostky e Ausubel, em suas teorias, mesmo com palavras diferentes, atribuem ao professor um papel importante no processo de ensino e aprendizagem.

Dessa forma, a experimentação no ensino de Física não apenas reforça esse papel ativo do professor, mas também se alinha às concepções das principais teorias de aprendizagem. Ao criar oportunidades para que os alunos explorem conceitos científicos de maneira prática, o docente estimula a investigação e o pensamento crítico, tornando a aprendizagem mais significativa. A prática experimental aproxima o ensino de Física das características do trabalho científico, transformando a forma como professores e futuros professores conduzem suas aulas. Segundo Ferreira (FERREIRA, 2023), nesse aspecto, o papel do Professor vai além do mero transmitir de ideias:

O professor não transmite conteúdos acabados, mas oferece ao estudante a possibilidade de construir ideias e conceitos que o situam no mundo como um sujeito dotado de valores e conhecimentos. Em outras palavras, o professor aponta caminhos, e o aluno, sujeito do processo, expande esses caminhos adquirindo os conhecimentos necessários para sua formação pessoal e social (Ferreira, 2023)

No entanto, a efetividade dessa abordagem depende da capacidade do docente de ir além da simples transmissão de conteúdo, promovendo reflexões e incentivando os alunos a estabelecerem conexões entre teoria e prática. O incentivo às aulas práticas deve ser uma parte integrante do planejamento pedagógico do professor, garantindo que a experimentação contribua de maneira significativa para o aprendizado dos estudantes. A importância da didática do professor é abordada por Ferreira (FERREIRA, 2023) em seu artigo sobre a Experimentação no Ensino da Física:

...a inovação torna-se necessária, e para isso, os conhecimentos e sua resignificação são imprescindíveis. Nesse contexto, a didática é entendida como uma parte e uma dimensão da Organização do Trabalho Pedagógico. A didática refere-se, mais especificamente, ao fazer do professor e do aluno, ou seja, à relação entre ensino e aprendizagem, em que o professor desempenha o papel de ensinante e o aluno de aprendente. No entanto,

esses papéis são recíprocos, pois, no processo de ensino aprendizagem, o professor acaba aprendendo e o aluno ensinando. (Ferreira, 2023)

Portanto, para os professores, a experimentação também se apresenta como uma estratégia didática poderosa. Segundo Machado (MACHADO, 2001), o papel do professor deve incluir mediação, contextualização e incentivo à construção do conhecimento pelos alunos. A implementação de atividades experimentais, mesmo em ambientes com recursos limitados, é viável por meio do uso de materiais de baixo custo e de tecnologias acessíveis (SILVA E DUARTE, 2015). A criatividade do professor na seleção e adaptação de experimentos pode transformar a experiência dos alunos e melhorar significativamente os resultados de aprendizagem.

Assim, a atuação do professor como mediador e facilitador do conhecimento é essencial para que a experimentação no ensino de Física cumpra seu papel de desenvolver o pensamento crítico e a compreensão dos fenômenos naturais. Dessa forma, promover a conexão entre teoria e prática permite que os estudantes construam significados mais sólidos e contextualizados, favorecendo a aprendizagem significativa. Como destaca Ausubel (AUSUBEL, et al., 1980, p.iv), "o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe. Determine isso e ensine-o adequadamente". Isso ressalta a importância de estratégias que partam dos conhecimentos prévios dos alunos, incorporando a experimentação como um elo entre suas concepções iniciais e o conhecimento científico formal. A função do professor, é promover essa ligação do conhecimento com a realidade do aluno, segundo Ferreira (FERREIRA, 2023):

Por isso, torna-se fundamental que o profissional em sala de aula seja capaz de estabelecer "links" entre os conteúdos ministrados e práticas experimentais que estejam relacionadas à realidade dos estudantes. Isso proporcionará uma melhor aprendizagem e dará utilidade ao que está sendo estudado. (Ferreira, 2023).

Dessa maneira, a experimentação se apresenta como um recurso essencial para concretizar o papel do professor como mediador do conhecimento, possibilitando que os alunos desenvolvam habilidades investigativas e compreendam a Física de maneira mais significativa. Ao integrar atividades experimentais ao processo de ensino, o professor não apenas estimula a curiosidade e o pensamento crítico dos estudantes, mas também cria oportunidades para que eles interajam ativamente com os conceitos científicos, testando hipóteses e analisando fenômenos do mundo real.

### **2.3 A Experimentação no Ensino da Física**

A Física, como ciência empírica, baseia-se na observação e na experimentação para validar suas teorias e compreender o universo que nos cerca. É fato, no âmbito das ciências, que a observação apenas não resulta em verdadeiro conhecimento, mesmo sendo o ponto inicial de muitas teorias científicas. É necessário que essa observação esteja atrelada aos outros passos do método científico. Nesse aspecto, a experimentação desempenha um papel essencial nesse processo, pois permite validar hipóteses e confrontar concepções intuitivas com resultados concretos. Muitas ideias pré-concebidas sobre os fenômenos naturais só são reformuladas quando confrontadas com uma experiência prática. A queda dos corpos, por exemplo, foi por muito tempo associada à ideia de que objetos mais pesados caem mais rápido do que os mais leves. No entanto, Galileu demonstrou, por meio de experimentos, que a massa não influencia o tempo de queda no vácuo. Esse tipo de abordagem experimental não apenas comprova teorias, mas também impacta significativamente a forma como os conceitos científicos são assimilados. Araújo e Adib (ARAÚJO E ADIB, 2003) falam sobre a importância da experimentação:

A análise do papel das atividades experimentais desenvolvida amplamente nas últimas décadas revela que há uma variedade significativa de possibilidades e tendências de uso dessa estratégia de ensino de Física, de modo que essas atividades podem ser concebidas desde situações que focalizam a mera verificação de leis e teorias, até situações que privilegiam as condições para os alunos refletirem e reverem suas ideias a respeito dos fenômenos e conceitos abordados, podendo assim atingir um nível de aprendizado que lhes permita efetuar uma reestruturação de seus modelos explicativos dos fenômenos (Araújo e Adib, 2003, p177).

Na educação não é diferente. Em uma aula sobre processos de eletrização, por exemplo, falar sobre o processo de eletrização por atrito tem seus efeitos. Entretanto, eletrizar um simples canudinho de papel com um guardanapo e deixá-lo colado no quadro causa um efeito no educando que horas de explicação não causariam. Atitudes simples como essas fazem toda a diferença na busca pelo aprendizado, no ensino de ciências da natureza. Por sua vez, a Física é recheada de teorias e leis que permitem uma vasta gama de experimentações que as demonstrem. A experimentação estimula o pensamento crítico e o raciocínio científico. Ao realizar experimentos, os alunos não apenas observam e recriam fenômenos físicos, mas também são levados a elaborar hipóteses, planejar experimentos, coletar dados e chegar a conclusões. Isso é fundamental para o desenvolvimento de habilidades científicas que vão além do simples aprendizado teórico, como apontam Silva e seus

colaboradores (SILVA et al., 2017), no seu artigo sobre a Experimentação como Ferramenta pedagógica:

...essa abordagem pedagógica coloca o aluno no centro do processo educacional, favorecendo o desenvolvimento de competências essenciais para a formação integral do estudante. Entre as habilidades desenvolvidas, destacam-se o pensamento crítico, a capacidade de resolver problemas de maneira criativa, a colaboração em equipe, além das habilidades científicas, como a observação, a formulação de hipóteses e a análise de resultados. (Silva et al., 2017)

A experimentação não apenas complementa a teoria, mas desempenha um papel essencial em sua validação, permitindo uma compreensão mais profunda dos conceitos físicos. No ambiente de sala de aula, muitos alunos enfrentam desafios ao tentar assimilar certos princípios de forma abstrata. No entanto, ao observarem ou reproduzirem esses conceitos por meio de experimentos, conseguem estabelecer conexões mais concretas com o mundo real, contextualizando o conceito, facilitando a aprendizagem. Como aponta Guimarães (GUIMARÃES, 2009), "a experimentação pode ser uma estratégia eficiente para a criação de problemas reais que permitam a contextualização e o estímulo de questionamento de investigação".

Em outro momento, Araújo e Adib reafirmam a importância da experimentação relativa aos conceitos abstratos, relacionando através da análise de outros autores, como relatam Araújo e Adib (ARAÚJO E ADIB, 2003):

...na linha de proposta de atividades de demonstração encontram-se autores que salientam justamente a importância dessas atividades para ilustrar e tornar menos abstratos os conceitos físicos abordados, ao mesmo tempo que torna mais interessante, fácil e agradável o seu aprendizado, motivando a participação dos alunos. A compreensão de um fenômeno através de uma demonstração pode permitir aos alunos compreenderem o funcionamento de outros equipamentos e generalizar o comportamento dos sistemas observados para outras situações em que estes mesmos fenômenos estejam presentes (Araújo e Adib, 2003, p181)

A experimentação ainda pode trabalhar os subsunçores necessários ao aprendizado de outros conceitos. Ausubel (AUSUBEL, 2003) enfatiza que o conhecimento prévio dos alunos é o fator mais importante na aprendizagem. Assim, os professores devem diagnosticar e considerar as ideias prévias antes de introduzir novos conceitos. É comum que os alunos possuam ideias alternativas ou concepções errôneas sobre fenômenos naturais. Por exemplo, muitos acreditam que um objeto mais pesado cai mais rapidamente que um mais leve. Se considerarmos a resistência

do ar, esta é uma noção correta e observável. Porém, é uma noção que pode ser contestada por meio de experimentos que demonstram o princípio da aceleração uniforme no vácuo. Nesse sentido, os experimentos não apenas reforçam conceitos corretos, mas também têm o potencial de reestruturar concepções equivocadas. A construção de experimentos simples e interativos, como simulações virtuais ou atividades práticas de laboratório, auxilia os alunos a confrontarem suas ideias intuitivas, substituindo-as por compreensões mais alinhadas aos modelos científicos.

Segundo Novak (NOVAK, 2002), colaborador da teoria de Ausubel, a realização de experimentos ainda estimula a formação de significados, pois o aluno é desafiado a conectar suas observações com os conceitos apresentados. Esse processo ocorre por meio da ancoragem cognitiva, na qual os novos conceitos são incorporados às estruturas já existentes no cérebro do aluno, promovendo uma compreensão mais profunda e duradoura.

Andrade e seus colaboradores (ANDRADE et al., 2020) citam a importância da experimentação e sua conexão com a aprendizagem significativa em sua pesquisa intitulada “O uso de experimentos no ensino da Física com uma ferramenta de ensino e melhoramento da aprendizagem”. Ao trabalhar o Movimento Uniforme com seus alunos através de experimentos, relatam o seguinte:

Após a aplicação e realização dos experimentos, o professor ministrou formalmente o conteúdo relacionado ao tema trabalhado de forma prático-intuitiva. Percebeu-se que os alunos assimilaram o conteúdo com o que foi feito no experimento, uma vez que os discentes correlacionaram os conteúdos do livro didático e a explicação do professor com as situações decorridas do experimento. Essa correlação perante a teoria de Ausubel é uma aprendizagem significativa, aquela em que os alunos por meio de representações (os experimentos realizados) e dos conceitos (princípios físicos envolvidos), estabeleceram seus entendimentos de modo significativo. Assim, as comparações e facilidades de abordagem fizeram com que o conteúdo ficasse mais interessante, e isso contribuiu para que os alunos tivessem facilidade de compreensão do assunto estudado. (Andrade, et al., 2020)

Experimentos também podem atuar como um mediador da motivação. O engajamento dos alunos tende a aumentar em atividades experimentais, pois essas atividades despertam a curiosidade e o interesse, especialmente quando são realizadas em contextos que dialogam com o cotidiano dos estudantes. Na pesquisa intitulada “Experimentação como processo de ensino e aprendizagem de física óptica”, Almeida Sales e seus colaboradores (ALMEIDA SALES et al. 2019) analisam o interesse e o engajamento dos alunos em aulas experimentais. No estudo, os

pesquisadores aplicaram um questionário aos estudantes, incluindo a seguinte questão: “Você considera que as aulas experimentais são importantes para o aprendizado?”. Dos 36 alunos participantes, 90% responderam à pesquisa, e, entre esses, 100% manifestaram concordância quanto à relevância das aulas experimentais para o processo de aprendizagem. Apesar de não possuírem conhecimento sobre os princípios didáticos envolvidos na elaboração dessas aulas, os estudantes demonstraram elevado interesse nesse formato de ensino. Além disso, alguns responderam com comentários que enfatizam a importância das atividades experimentais, como: “Legal, interessante, pois você aprende e entende mais o conteúdo.”; “Importante, pois desfaz a ideia de que a Física se resume apenas a cálculos.”; e “Um ótimo método, muito bem elaborado, que fixa o conteúdo e facilita sua compreensão.” Assim, sendo a “motivação é um fator chave para a aprendizagem significativa”, como Ausubel afirma (AUSUBEL, 2003), os alunos tendem a se engajar mais intensamente quando percebem relevância nas atividades pois a realização de experimentos torna as aulas mais dinâmicas e interessantes, proporcionando uma experiência de aprendizado mais interativa, e dessa forma, os conceitos são aprendidos de forma mais duradoura. Nesse sentido, Almeida Sales e colaboradores (ALMEIDA SALES et al. 2019) destacam, em sua pesquisa:

Diante disto, foi perceptível que os respondentes viram na experimentação uma oportunidade de aprendizagem e assimilação do conhecimento científico, levando-os a uma perspectiva diferente em relação a disciplina de Física, possibilitando uma melhor articulação entre aluno, professor e conhecimento. (Almeida Sales et al., 2019)

Por fim, a experimentação prepara os estudantes para enfrentar desafios reais no campo científico: ao trabalhar em experimentos, os alunos aprendem a lidar com variáveis previsíveis e imprevisíveis, a resolver problemas e a atuar de forma colaborativa. Além disso, a prática experimental permite que os estudantes desenvolvam habilidades essenciais para a construção do conhecimento científico, tornando-os participantes ativos no processo de aprendizagem. Nesse sentido, Nascimento afirma que:

Atividades experimentais bem planejadas desmistificam o trabalho científico e o aproximam do universo de experiência dos alunos, que se percebem como construtores de conhecimento e descobridores de leis e princípios científicos nessas atividades, no aparecimento de um problema, na

delimitação deste, na formulação e testagem de hipóteses, na coleta e no registro de dados, na apresentação dos resultados, etc. Se possível, deve-se trabalhar com projetos de pesquisa que envolva "mente e mãos", isto é, oportunizem aos alunos o trabalho prático e o exercício do raciocínio científico. (Nascimento, 2010)

Com base nas discussões apresentadas, este trabalho fundamenta-se na premissa de que a experimentação desempenha um papel central no ensino e na aprendizagem de conceitos físicos fundamentais para a compreensão dos fenômenos naturais. O foco da presente investigação recai sobre as Leis de Faraday e Lenz, diretamente associadas ao princípio da conservação da energia. Estudos anteriores já exploraram esses temas com êxito, evidenciando a relevância das atividades experimentais na consolidação desses conceitos.

No contexto dessa abordagem, Macedo (MACEDO, 2016), em sua dissertação intitulada "*O uso de materiais de baixo custo para o ensino de eletromagnetismo no ensino médio*", discute a implementação de experimentos didáticos construídos a partir de materiais acessíveis para ilustrar o funcionamento de motores elétricos e a indução de correntes elétricas. O autor enfatiza a relação entre essas práticas e as Leis de Faraday e Lenz no ensino médio, ressaltando que as atividades experimentais proporcionaram um ambiente propício à discussão e facilitaram a apropriação e compreensão dos conteúdos previamente estudados (MACEDO, 2016).

Em outra abordagem, Oliveira e colaboradores (DE OLIVEIRA et al., 2022) apresentam, em seu artigo intitulado "*Experimentos portáteis para aula sobre indução eletromagnética, geradores e motores*", uma proposta de minilaboratórios compostos por materiais acessíveis e um kit para a realização de diferentes experimentos de Física. Essa iniciativa visa superar a falta de laboratórios durante a pandemia de COVID-19, permitindo que os alunos realizem os experimentos em casa para posterior discussão em sala de aula. Embora os autores ressaltem em suas conclusões a necessidade de mais avaliações para medir com precisão a eficácia dos kits (DE OLIVEIRA, et al. 2022), concordam que esses recursos representam ferramentas valiosas para a experimentação em Física, podendo ser utilizados também no ambiente escolar:

Apresentamos uma nova ferramenta de aprendizagem, nomeada de ExP (Experimento Portátil), que facilita a operação de experimentação pelo

professor e aluno, tornando o estudante protagonista, pois permite que o próprio aluno controle toda a sua experimentação. Não há necessidade de infraestrutura laboratorial para a realização da prática, inclusive, pode ser realizada na própria sala de aula ou nos lares dos aprendizes. (De Oliveira, et al. 2022).

Em outro estudo, Laia e colaboradores (LAIA et al., 2021) propõem a integração de atividades computacionais e experimentais com o uso de materiais alternativos, visando proporcionar uma compreensão mais aprofundada do conceito de indução eletromagnética pelos alunos. Para isso, utilizaram um solenoide, uma bobina e o programa Audacity para converter sinais analógicos em digitais, amplificando-os em uma caixa de som. Em suas conclusões, Laia e seus colaboradores (LAIA et al., 2021) enfatizam a relevância de uma abordagem metodológica baseada em atividades experimentais, destacando seu potencial para aprimorar o ensino de Física e superar a limitação imposta pela ausência de espaços adequados para práticas experimentais:

Neste trabalho mostrou-se que é possível desenvolver experimentos qualitativos e quantitativos, com o uso de materiais alternativos e acessíveis, associados a programas livres que sejam usados para gerar sinais, fazer medições, dentre outros. Com isso tem-se uma poderosa ferramenta auxiliadora no processo de ensino e aprendizagem de física, que com o seu adequado uso, associado a uma metodologia que maximize o potencial desta ferramenta, será possível contornar o antigo problema enfrentado por muitas escolas de ensino médio, que é a falta de laboratórios devidamente equipados e estruturados. (Laia et al. 2021).

Tais experiências exitosas, demonstram que, sem o suporte de atividades práticas, conceitos como a indução eletromagnética muitas vezes permanecem abstratos e distantes, tratados apenas como teorias em textos ou explicações tradicionais. No entanto, a indução eletromagnética, princípio que sustenta o funcionamento de transformadores, microfones e das usinas geradoras de eletricidade, ganha relevância e significado quando vinculada ao cotidiano dos alunos. Por meio de experimentos simples e bem estruturados, é possível não apenas facilitar a compreensão, mas também despertar o interesse dos estudantes, conectando esse conhecimento ao contexto prático de suas vidas. Tal abordagem evidencia como a experimentação, longe de ser um mero complemento, é um elemento essencial para

transformar o aprendizado de Física em uma experiência concreta, significativa e eficaz.

## Capítulo 3

### 3.1 Lei de Faraday, a indução eletromagnética

Nos dias atuais temos uma sociedade totalmente dependente dos conceitos que os estudos sobre eletromagnetismo produziram. Nem sempre foi assim. Em comparação com outros conceitos, o estudo sobre os fenômenos de origem eletromagnética são relativamente novos. Dentre as contribuições do eletromagnetismo, devemos ressaltar as de Michael Faraday. Filho de um ferreiro, com muitos irmãos e com apenas instrução primária, foi considerado um dos maiores experimentadores de todos os tempos. A maior parte da sua instrução veio de livros que ele encadernava em seu trabalho. Abraçando as oportunidades que teve, tornou-se assistente de laboratório de Sir Humphry Davy. Em 1832, começou a publicar suas “Pesquisas Experimentais sobre eletricidade”, que continham várias descobertas importantes para a época. Dentre essas descobertas está a Lei da Indução que será abordada nesse trabalho.

Ao longo do tempo, notando que correntes elétricas geram campos magnéticos, os cientistas da época começaram a tentar fazer campos magnéticos gerarem correntes elétricas, como relata Feynman (FEYNMAN, 2008):

Muitos experimentos foram tentados. Por exemplo, dois fios foram colocados paralelamente um em relação ao outro e uma corrente foi passada por um deles, na esperança de medir uma corrente no outro. A ideia era que o campo magnético poderia de alguma maneira arrastar os elétrons no outro fio, dando uma lei do tipo “os iguais tendem a se mover de modo igual”. Com a maior corrente disponível e o galvanômetro mais sensível para detectar qualquer corrente, o resultado foi negativo. Ímãs grandes colocados próximos a fios também não produziram efeitos observáveis (Feynman, 2008, p. 214).

Foi então que Faraday descobriu o detalhe que faltava: essa corrente só seria gerada se existisse um movimento relativo entre as partes. Se um se move em relação ao outro, uma corrente é induzida. Foi exatamente essa a grande descoberta de Faraday. Em seu enunciado, Faraday diz que se houver uma variação do fluxo magnético em um circuito, surgirá uma força eletromotriz induzida. Os detalhes sobre a Lei de Faraday podem ser apresentados, por exemplo, sobre uma espira de comprimento  $C$ , inserida num campo magnético  $B$ , conforme ilustra a figura 1.

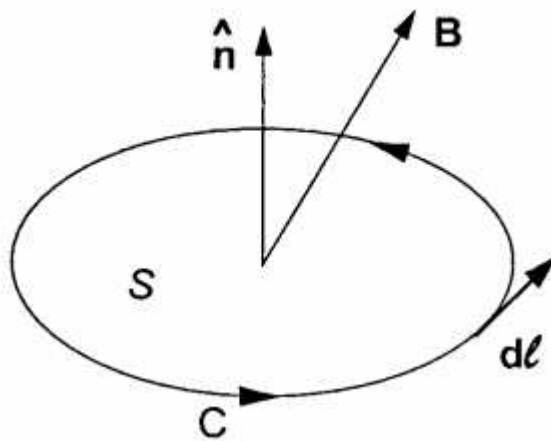


Figura 1 – Espira em um campo magnético B. Fonte: Nussenzveig, H. Moysés, 2006, p 162

O fluxo do campo magnético é uma medida do campo magnético que atravessa uma determinada região. Esse fluxo é uma importante ferramenta para definir os efeitos magnéticos sobre um corpo. O fluxo magnético é intrinsecamente ligado à área que o corpo ocupa. Se usamos o conceito de linhas de campo, então, a quantidade dessas linhas atravessando uma determinada área está diretamente relacionada ao fluxo magnético. Ao observar o fluxo magnético a partir das linhas de campo, utilizamos apenas as linhas que são pertencentes à área do corpo ou evento observado. Esse fluxo é dado por:

$$\Phi_C \int_S B \cdot dS = \int_S B \cdot \hat{n} \cdot dS \quad (\text{Equação 1})$$

No qual S é uma superfície com contorno igual a espira C. A orientação de  $\hat{n}$  é igual a de C. O fato de o fluxo só depender de C vem da relação  $\oint_{\Sigma} B \cdot dS = 0$  para qualquer superfície fechada  $\Sigma$ . Se R for a resistência da espira C, a lei de Faraday pode ser enunciada, em termos da corrente i induzida quando  $\Phi_C$  varia no decorrer do tempo:

$$i = - \frac{1}{R} \frac{d\Phi_C}{dt} \quad (\text{Equação 2})$$

Conseqüentemente, a existência da corrente implica na existência de uma fem  $\varepsilon$  que pode ser dada por:

$$\varepsilon = Ri = - \frac{d\Phi_C}{dt} \quad (\text{Equação 3})$$

Ainda em tempo, a força eletromotriz, que não é de fato uma força, produz na extremidade dos fios uma diferença de potencial elétrico. Como existe uma diferença de potencial elétrico, o potencial não é constante ou nulo, então, existe um gradiente de campo elétrico associado, que é uma taxa de variação do campo elétrico. Esse gradiente produz uma movimentação de cargas, no nosso caso, do cátodo (polo positivo) para o ânodo (polo negativo). Essa movimentação de cargas num circuito elétrico fechado é a corrente elétrica.

A variação de  $\Phi_C$  pode ser devida a movimentação da espira C através do campo magnético B ou do contrário, da movimentação de B, através da espira C. Ainda podemos ter essa variação também em função da deformação do circuito. Em todas as situações o resultado só vai depender da taxa de variação de  $\Phi_C$  com o tempo, independente da origem dessa variação. Em nosso experimento, faremos com que um campo magnético B varie numa espira fixa C, de n voltas. Se o circuito é fixo e é B quem varia com o tempo, temos:

$$\varepsilon = -\frac{d}{dt} \Phi_C = -\frac{d}{dt} \int_S B \cdot dS = - \int_S \frac{\partial B}{\partial t} \cdot dS \quad (\text{Equação 4})$$

A derivada parcial na última integral resulta de C ser fixo e somente B variar com o tempo.

Com C fixo, não há mais força de Lorentz sobre os elétrons, mas o resultado é o mesmo. A força eletromotriz vem então de um campo elétrico, que não é eletrostático, que tem uma circulação diferente de 0, ao longo da curva C, fechada. Então:

$$\varepsilon = \oint_C E \cdot dl = - \int_S \frac{\partial B}{\partial t} \cdot dS \quad (\text{Equação 5})$$

Pelo teorema do rotacional, temos:

$$\oint_C E \cdot dl = \int_S (\nabla \cdot E) \cdot dS \quad (\text{Equação 6})$$

O resultado é o mesmo para qualquer circuito C, então concluímos:

$$\nabla \times E = - \frac{\partial B}{\partial t} \quad (\text{Equação 7})$$

Esta é a forma diferencial da lei da indução de Faraday, e equivale a uma das equações de Maxwell. Concluímos que um campo magnético variável com o tempo, produz um campo elétrico (não eletrostático). Essa situação é aparentemente distinta caso tenhamos um campo magnético fixo e uma espira C variável. Porém, apresentam numericamente os mesmos resultados. É uma situação que chamou a atenção de Einstein (EINSTEIN, 1905), em seu trabalho de 1905, “Sobre a Eletrodinâmica dos Corpos em Movimento”.

Que a eletrodinâmica de Maxwell - como a mesma hoje em dia é compreendida - na sua aplicação a corpos em movimento leve a assimetrias que parecem não estar relacionadas aos fenômenos, é conhecido. Se pense, por exemplo, à interação eletrodinâmica entre um ímã e um condutor. O fenômeno observável depende aqui somente do movimento relativo entre condutor e ímã, enquanto, no entendimento comum, os dois casos, que um ou o outro destes corpos esteja em movimento, tem que ser rigorosamente separados entre si. De fato, estando o ímã em movimento e o condutor em repouso, produz-se no entorno do ímã um campo elétrico com um certo valor de energia, que, nas regiões onde se encontram partes do condutor, dá origem a uma corrente elétrica. Porém, estando o ímã em repouso e movimentando-se o condutor, não se gera então nos arredores do ímã nenhum campo elétrico, mas gera-se, por outro lado, no condutor uma força eletromotriz, à qual não corresponde uma energia, mas que - pressuposta a igualdade do movimento relativo para os dois casos considerados - dá origem a correntes elétricas do mesmo tamanho e com a mesma direção, como as produzidas no primeiro caso pelas forças elétricas. (Einstein, 1905).

### 3.2. Lei de Lenz

Criada pelo físico russo Heinrich Lenz, essa lei contribui com a Lei de Faraday, dando um novo sentido à mesma, levando em consideração a conservação de energia. A função dessa lei é dar sentido a corrente elétrica que surge nos fenômenos de indução, descritos pela lei de Faraday. Ela nos ajudará a discutir o sinal (-) na lei da indução. Segundo a Lei de Lenz, a natureza abomina mudanças no fluxo. Então, a corrente fluirá de modo que o fluxo que ela produz, tende a anular a mudança.

Considere um ímã permanente se aproximando da espira C, com o polo Norte N, voltado para a espira. O campo B do ímã tem a tendência de ser antiparalelo a  $\hat{n}$ , então temos  $B \cdot \hat{n} < 0$  e o fluxo do campo do ímã através da espira é menor que 0.

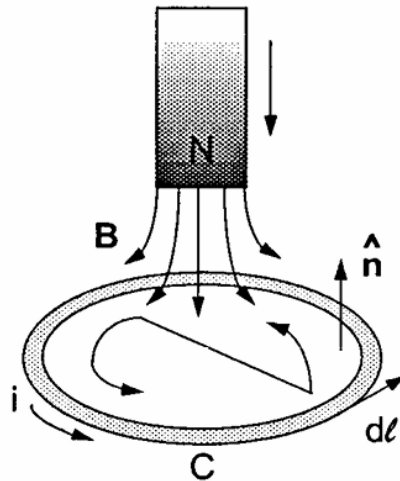


Figura 2 – Lei da Indução. Fonte: Nussenzveig, H. Moysés, 2006, p 166

Como o ímã se aproxima, o módulo do fluxo aumenta, que para  $\Phi_C < 0$ , implica:

$$\frac{d\Phi_C}{dt} < 0 \quad (\text{Equação 8})$$

Pelo sinal (-) da lei da indução de Faraday, isso caracteriza que a fem induzida é positiva:

$$\varepsilon = \oint_C E \cdot dl > 0 \quad (\text{Equação 9})$$

O campo elétrico dentro da espira faz com que  $E \cdot dl > 0$ , portanto a corrente induzida terá a orientação de  $dl$ . Isso equivale a criar na espira C um dipolo magnético com a face Norte apontada para a face norte do ímã, produzindo uma força de repulsão entre as faces, opondo-se ao movimento. Portanto, o sentido da corrente induzida será aquele que irá se opor a variação de fluxo pela espira.

Percebe-se também que a corrente induzida  $i$  produz seu próprio campo magnético, com direção e sentido de  $\hat{n}$ , como podemos ver na figura, gerando um fluxo magnético positivo através de C, que atua em sentido oposto ao aumento de fluxo produzido pelo ímã. Se o ímã se afasta da espira, ao invés de se aproximar, tem-se que:

$$\frac{d\Phi_C}{dt} > 0 \quad (\text{Equação 10})$$

Assim, a fem induzida é  $\varepsilon < 0$ , produzindo uma corrente  $i < 0$ , na espira C. A face sul do dipolo que surge, agora aponta para o ímã, atraindo de volta, novamente

se opondo a variação do fluxo magnético por C. Outro detalhe a ser notado é que o campo B do ímã aponta para o mesmo sentido nas duas situações, portanto, a corrente induzida não se opõe ao campo e sim a variação do fluxo magnético.

A lei de Lenz está associada diretamente ao princípio da conservação de energia. O enunciado da lei de Lenz, que estabelece que qualquer corrente induzida gera um efeito contrário à causa que a originou, representa, nesse contexto, uma manifestação do princípio da conservação de energia. Se a corrente induzida atuasse de maneira a favorecer a alteração do fluxo magnético que a gerou, o campo magnético da espira apresentaria um polo sul oposto ao polo norte do ímã que se aproxima. Isso resultaria em uma atração do ímã em direção à espira. Ele seria acelerado em direção à espira, aumentando a intensidade da corrente induzida. Essa corrente geraria um campo magnético em crescimento, atraindo o ímã com uma força cada vez maior. Esse processo continuaria indefinidamente, resultando em um aumento constante na energia cinética do ímã. Contudo, se a energia fosse retirada do sistema ímã-espira na mesma taxa em que a energia cinética do ímã aumenta, haveria um fornecimento contínuo de energia, esta, sem origem definida. Um dispositivo que operasse dessa maneira seria um moto-perpétuo. No entanto, tal dispositivo é considerado impossível de existir, pois violaria o princípio da conservação de energia.

### **3.3 Energia**

Sendo um dos temas mais utilizados no cotidiano e na explicação de fenômenos físicos, a energia é, na contrapartida, um dos conceitos mais difíceis de definir e devemos abordá-lo com muito cuidado para não transmitirmos uma ideia errada ao educando. Muitos autores e cientistas tentaram sem sucesso obter um conceito de energia que satisfaça todos os tipos de energia. Feynman nos diz que “É importante perceber que, na física atual, não temos conhecimento do que é a energia. Não temos um quadro de que a energia vem em pequenas gotas de magnitude definida” (FEYNMAN, 2008). Em muitos casos, é mais fácil definir o que ela não é, portanto, por eliminação, chegamos mais perto do que ela realmente é. Energia não é uma partícula. Não é algo que podemos segurar em nossas mãos ou retirar do sistema para fazer uma medição. Ela é uma propriedade das coisas, dos sistemas. Energia não é movimento. Temos um tipo de energia associada ao movimento, mas

de forma geral, o movimento não está associado a todos os tipos de energia e, portanto, não é seu conceito final. Outro erro é dizer, de maneira geral, energia é a capacidade de realizar trabalho. Podemos usar a energia para realizar trabalho, transformando um tipo de energia em outro, mas nem sempre, energia é a capacidade de realizar trabalho. Um exemplo disso está na termodinâmica: se temos uma máquina térmica cíclica, vemos que ela retira calor da fonte quente para levá-lo até a fonte fria. A máquina desvia uma parte desse calor, que é a energia, para realizar trabalho. Mas, se retiramos a máquina térmica do sistema físico, a energia fluirá naturalmente da fonte quente para a fonte fria, até que se atinja o equilíbrio térmico sem que tenha realizado trabalho mecânico. Então, nem sempre a energia é a capacidade de realizar trabalho. Essa afirmação não cabe em todos os casos. Outra ideia errônea é de que a energia é depositária. Não temos como acumular energia. Podemos acumular materiais que, em certos processos, transformam um tipo de energia em outro. Um exemplo disso é uma barragem. Temos que a água acumulada tem uma quantidade energia potencial atribuída a ela (que iremos abordar a seguir), porém, temos ali água acumulada, não energia potencial acumulada. Temos muitas outras abordagens cotidianas que não representam o conceito físico de energia.

Como dissemos anteriormente, não temos uma definição de energia que englobe todos os tipos de energia conhecidos mas temos definições menos rigorosas que satisfazem momentaneamente o estudo de um sistema físico. Podemos dizer que a energia é um número, um valor associado a um sistema físico, como afirma David Halliday: “Uma definição menos rigorosa pode servir pelo menos de ponto de partida. Energia é um número que associamos a um sistema de um ou mais objetos.” (Halliday, 2016). Esse número nos auxilia a fazer previsões e construir equipamentos e máquinas que podem se beneficiar dele realizando feitos importantes. Portanto, a energia é uma grandeza, escalar, associada a um sistema físico.

Associada à energia está o conceito de sua conservação e esse sim é um conceito bem definido. O conceito diz que, se a energia é um número, esse número deve ser conservado independente da mudança que ocorra no sistema físico. É como sair de casa com uma quantidade de dinheiro e ao voltarmos, notamos que uma parte desse dinheiro foi transformada em mercadorias que voltou conosco. Fazendo as contas, percebemos que nenhum real foi perdido. Todo o dinheiro está lá, em forma

de mercadorias. E se notamos alguma diferença, podemos pesquisar a fundo que vamos encontrar onde esse dinheiro foi gasto. Assim é também com a energia. Se constatarmos que a energia inicial é diferente da final, podemos analisar o fenômeno que com certeza vamos encontrar onde está essa quantidade faltando. Pode ter sido transformada em outro tipo que não havíamos previsto, mas ela estará lá. A Física, em toda a sua evolução, não conseguiu encontrar uma situação onde esse princípio da conservação não se aplica. De certa maneira, podemos dizer que toda a energia que temos no universo hoje é a mesma que tínhamos no seu início, mas se manifestando de diferentes formas.

Uma outra concepção importante a ser incorporada é que a energia não se deteriora, mas sim se transforma em formas que perdem a capacidade de retornar ao estado original. Um exemplo ilustrativo disso ocorre no uso da energia elétrica, onde eletrodomésticos realizam a conversão da energia elétrica em outros tipos de energia. Podemos tomar como exemplo a transformação que ocorre em um chuveiro elétrico, onde a energia elétrica se converte em energia térmica. No entanto, uma vez efetuada essa conversão, não é possível reverter o processo para recuperar a energia elétrica original. Essa é a razão pela qual é fundamental adotar práticas de economia de energia elétrica.

Outro conceito importante que deve e será abordado neste trabalho é o de Energia Mecânica. Sabemos que, num determinado instante, a energia mecânica de um corpo é a soma das suas quantidades de energia potencial e cinética. Essas, por sua vez, têm conceitos distintos. A energia potencial vem da posição relativa do corpo em relação ao referencial considerado. Vale lembrar que não é uma energia acumulada como dito anteriormente. Se um corpo se encontra a uma altura, num dado sistema físico, dizemos que ele possui energia potencial gravitacional. Por outro lado, se deformamos um corpo com propriedades elásticas, ele também possui energia potencial elástica proveniente dessa deformação. Já a energia cinética existe quando um corpo possui uma velocidade relativa num sistema físico. Para um sistema que possua energia mecânica, também vale o princípio da conservação. A energia mecânica, ora pode se apresentar potencial, ora cinética ou ainda, as duas formas, em constante transformação, se o sistema físico possibilitar tal mudança.

Se abandonamos um corpo de uma altura num sistema físico, vamos verificar essa transformação. No ponto mais alto, com o corpo ainda em repouso, toda energia é potencial, enquanto a energia cinética é zero. Durante a queda, a altura diminui e a velocidade aumenta. Teremos então a transformação gradativa de energia potencial em cinética, nesse caso. Ao atingir o ponto limite antes de tocar o solo, temos toda a energia anteriormente potencial transformada em cinética. É um exemplo onde podemos ter a chamada transformação da energia de um tipo em outro. Enquanto isso, durante todo o processo, a energia mecânica do corpo é um valor fixo, que vem da soma de suas quantidades potenciais e cinéticas. É claro que, nessa situação, consideramos o sistema como conservativo.

Numa outra realidade, em um sistema dissipativo, não iremos conservar a quantidade de energia. Isso também não nos diz que a energia foi perdida. Ela será transformada em outros tipos que não a cinética. Pode ser transformada em calor pelo atrito, por exemplo. Ou também em energia sonora, no toque com o solo. O que queremos demonstrar é que até o sistema dissipativo é, de certa forma, conservativo, pois a energia não se perde, se transforma. Um outro exemplo é um meteorito que, ao entrar na atmosfera terrestre, tem parte de sua energia cinética transformada em calor pelo atrito com a referida atmosfera. Ele perde velocidade, mas, não perde energia como dissemos anteriormente. Ela apenas se transformou de um tipo em outro.

Nem sempre todos esses conceitos são apresentados ao educando de maneira satisfatória. A maioria deles passa pela ideia de conservação nas aulas de ciências sem ter o termo energia citado ou incluído nas aulas. Algumas instituições de ensino têm inserido temas sobre energia nas aulas de ciências desde o início, utilizando-se de certa forma da teoria da aprendizagem em espiral defendido por Bruner. Essa abordagem seria ideal para que o aluno se familiarizasse com o conceito de energia antes de chegar ao ensino médio.

Por fim, precisamos deixar claro para o aluno que tanto o conceito de energia quanto o conceito da conservação estão intimamente ligados e num constante processo de evolução. Não é uma teoria fechada e Feynman (FEYNMAN, 2008) afirma categoricamente isso em sua obra:

Em uma última análise, não compreendemos profundamente as leis da conservação. Não compreendemos a conservação da energia. Não compreendemos a energia como um certo número de pacotinhos. Você talvez tenha ouvido que os fótons surgem em pacotes e que a energia de um fóton é a constante de Planck multiplicada pela frequência. Isso é verdade, mas como a frequência da luz pode ser qualquer uma, não existe uma lei que diz que a energia tem de ser certa quantidade definida [...] Assim, não entendemos essa energia como a contagem de algo no momento, mas apenas como uma grandeza matemática, que é uma circunstância abstrata e um tanto peculiar. (Feynman, 2008, p59)

Neste trabalho, exploramos os conceitos de transformação e conservação de energia mecânica e elétrica. Focamos na transformação da energia cinética em energia elétrica por meio do processo de indução, conforme descrito pela Lei de Faraday. Para isso, analisamos a energia elétrica gerada pelo movimento de um ímã e sua interação com uma bobina de cobre. Ao permitir que o ímã deslize livremente dentro de um tubo, observamos que a velocidade final do ímã é alterada pela presença da bobina ao redor do tubo, sendo menor nesse caso. Esse comportamento evidencia que parte da energia cinética foi convertida em energia elétrica. Assim, discutimos detalhadamente as variáveis envolvidas nesse processo, demonstrando a conservação de energia em diferentes formas ao longo do experimento.

## Capítulo 4

### 4.1 Metodologia

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de abordagem qualitativa, com elementos de uma pesquisa-ação participativa, pois envolveu a atuação direta dos estudantes em atividades experimentais e reflexivas ao longo do processo investigativo. Para a análise dos dados, utilizou-se a engenharia didática como referencial, permitindo a comparação entre os resultados obtidos nos questionários aplicados antes e depois da intervenção pedagógica, de forma a avaliar a evolução da aprendizagem. Além disso, as respostas abertas foram examinadas com base na análise de conteúdo, possibilitando a categorização das percepções e compreensões manifestadas pelos alunos acerca dos fenômenos estudados.

Nossa proposta de aula experimental teve como tema as Leis de Faraday e de Lenz. Nesse aspecto, os alunos participaram diretamente em diversas etapas do experimento, o que gerou um impacto positivo no processo de aprendizagem, conforme discutido na seção de resultados deste trabalho. A experimentação foi fundamental para proporcionar uma compreensão mais profunda e concreta dos fenômenos, pois permitiu aos alunos observar diretamente o efeito das leis, ajudando-os a conectar teoria e prática de maneira significativa. Essas leis são essenciais para a compreensão de múltiplos fenômenos eletromagnéticos que fazem parte do nosso cotidiano. Enquanto a Lei de Faraday descreve como a variação do campo magnético gera corrente elétrica, a Lei de Lenz determina a direção dessa corrente induzida, sempre no sentido de se opor à mudança que a originou.

A realização de experimentos não apenas reforçou esses conceitos, mas também permitiu aos alunos relacioná-los a aplicações reais (MOREIRA, 2021), como o funcionamento de transformadores, geradores e motores elétricos, que são responsáveis por grande parte da energia que utilizamos. A aplicação dessas leis não apenas impulsionou o avanço tecnológico, mas também permitiu inovações no setor industrial, nos sistemas de transporte e até em dispositivos médicos. Por isso, compreender esses princípios por meio da experimentação é essencial para entender as tecnologias que impactam diretamente a nossa vida diária e para desenvolver uma visão mais crítica e científica sobre os fenômenos eletromagnéticos.

## 4.2 Metodologia do Experimento



Figura 3 – Experimento pronto para a aula. Fonte: o autor

O projeto consistiu na realização de dois experimentos distintos. O primeiro experimento teve como objetivo demonstrar a aplicação da Lei de Lenz por meio da redução da velocidade de queda de um ímã em um tubo de cobre. Os detalhes dos equipamentos utilizados neste experimento são apresentados a seguir:

a) Tubo de cobre: possuindo 82,5 cm de comprimento e 2,7 cm de diâmetro interno, foi selecionado devido às suas propriedades de alta condutividade elétrica e ausência de características ferromagnéticas. Essa escolha é essencial para evidenciar os fenômenos eletromagnéticos associados à Lei de Lenz. Ressalta-se que o tubo de cobre pode ser substituído por outro material condutor que compartilhe essas mesmas propriedades, como, por exemplo, o alumínio.



Figura 4 – Tubo de cobre. Fonte: o autor

b) Tubo de acrílico: com 50 cm de comprimento, 2,3 cm de diâmetro interno e 2,5 cm de diâmetro externo, foi utilizado como referência não condutora. A escolha do acrílico permite comparar o comportamento do ímã em um meio isolante, sem a indução de correntes elétricas, destacando, assim, os efeitos exclusivos da condução em materiais como o cobre.



Figura 5 – Tubo de acrílico. Fonte: o autor

c) Ímã de neodímio: em formato cilíndrico, com dimensões de 20 mm de diâmetro na base e 20 mm de comprimento. Este ímã foi adquirido em lojas virtuais especializadas e pode ser substituído por outro, desde que possua dimensões compatíveis com os diâmetros internos do tubo de cobre e do tubo de acrílico, de forma a permitir sua descida livre.

Características do ímã utilizado:

Campo magnético a 0 mm: 5410 gauss

Campo magnético a 2 mm: 4320 gauss

Campo magnético a 5 mm: 2910 gauss

Massa: 47,1 g

Modelo: N35 – 20 mm x 20 mm



Figura 6 – Ímã de neodímio. Fonte: o autor

O segundo experimento consistiu na utilização de um plano inclinado como suporte para um tubo de acrílico, ao qual foi acoplada uma bobina de cobre conectada a LEDs coloridos. Quando o ímã foi solto dentro do tubo de acrílico, sua passagem pela bobina induziu uma corrente elétrica, resultando no acionamento dos LEDs. Este experimento evidenciou a aplicação prática da Lei de Faraday. A configuração completa do arranjo está ilustrada na Figura 3. Os detalhes técnicos do segundo experimento estão descritos a seguir:

a) Plano inclinado: confeccionado em madeira, sem o uso de pregos para evitar interferências no movimento do ímã. O plano possui a forma de um triângulo retângulo com catetos de 37,5 cm e hipotenusa de 53 cm, apresentando uma inclinação de  $45^\circ$  em relação à base de sustentação. Na hipotenusa foi adaptada uma peça adicional de madeira como suporte para o tubo de acrílico, permitindo a fixação da bobina de cobre com um espaço reservado, conforme ilustrado nas Figuras 7 e 8.



Figura 7 – Plano inclinado de madeira. Fonte: o autor



Figura 8 – Plano inclinado de madeira em outro ângulo. Fonte: o autor

b) Tubo de acrílico: com 50 cm de comprimento, 2,3 cm de diâmetro interno e 2,5 cm de diâmetro externo, foi utilizado como canal de passagem do ímã. O acrílico foi escolhido devido à sua natureza não ferromagnética, transparência (facilitando a visualização e a análise com o software *Tracker*, citado adiante neste trabalho), e ao seu custo relativamente acessível. Ressalta-se que este tubo é o mesmo utilizado no primeiro experimento.

c) Ímã de neodímio: em formato cilíndrico, com dimensões de 20 mm de diâmetro na base e 20 mm de comprimento. As características técnicas e imagem deste ímã estão detalhadas na descrição do primeiro experimento, na figura 6.

d) Bobina de cobre: No contexto deste trabalho, a bobina utilizada foi confeccionada com aproximadamente 1500 voltas de fio de cobre esmaltado 23 AWG, um fator determinante para os resultados obtidos nos experimentos. O número de voltas de

uma bobina desempenha um papel crucial na indução eletromagnética, pois está diretamente relacionado à magnitude da força eletromotriz (fem) induzida, conforme estabelecido pela Lei de Faraday. De acordo com essa lei, a fem induzida em uma bobina é proporcional à taxa de variação do fluxo magnético através dela e ao número de voltas da bobina. Assim, um maior número de voltas amplifica o efeito da indução, permitindo que pequenas variações no fluxo magnético resultem em sinais elétricos mais intensos e mensuráveis. Essa característica foi essencial para a análise dos fenômenos estudados, garantindo a sensibilidade necessária para observar os efeitos previstos pela teoria. Além disso, a presença desse número de voltas na bobina aumentou significativamente a resistência magnética ao movimento do ímã através dela, permitindo uma demonstração mais clara e visível do efeito de desaceleração induzido pela Lei de Lenz. O suporte da bobina foi produzido utilizando uma impressora 3D, com 2,6 cm de diâmetro, dimensionado para que o tubo de acrílico passe no centro da mesma, conforme ilustrado na Figura 9. Como alternativa, caso não haja acesso a uma impressora 3D, pode-se utilizar um rolo vazio de esparadrapo, desde que o diâmetro interno seja compatível com o diâmetro externo do tubo de acrílico e com a estrutura do plano inclinado, conforme mostrado na Figura 10. Outro detalhe importante da bobina é que ela deve ter a espessura certa para fazer o encaixe no plano inclinado, ao ser acoplada no tubo de acrílico, conforme espaço ilustrado nas figuras 7 e 8.



Figura 9 – Bobina de cobre feita com suporte fabricado na impressora 3D. Fonte: o autor

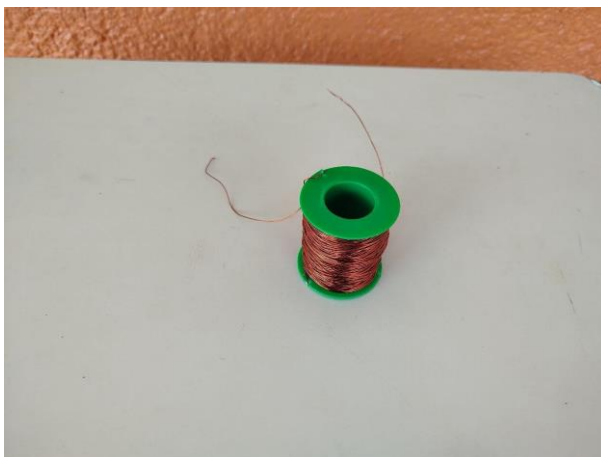


Figura 10 – Bobina de Cobre feita com rolo de esparadrapo. Fonte: o autor

e) LEDs: dois LEDs difusos de 5 mm foram utilizados neste experimento. Eles foram conectados a uma placa Arduíno por meio de conectores específicos, que permitiram a integração com a bobina acoplada ao plano inclinado. Essa configuração possibilitou a conversão da corrente elétrica induzida em um sinal luminoso, conforme ilustrado na Figura 11.

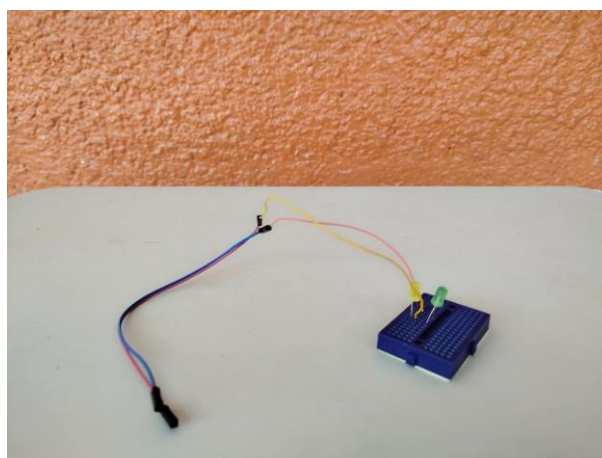


Figura 11 – Leds com o respectivo suporte. Fonte: o autor

f) Tracker: Para ambos os experimentos, foi utilizado um computador com o programa *Tracker* instalado, versão 6.2.0. As filmagens foram realizadas com dois aparelhos celulares: um iPhone 14 Pro e um Redmi 13 Xiaomi. Como os experimentos foram repetidos diversas vezes para coleta de dados, os modelos de celulares foram alternados durante as gravações. Após a captura dos vídeos, os arquivos foram transferidos para o *Tracker*, permitindo a análise de dados como velocidade e tempo de deslocamento do ímã no plano inclinado.

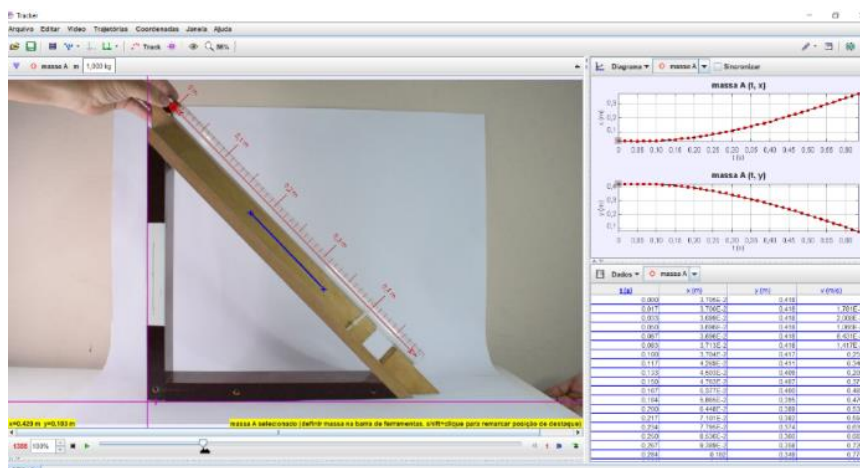


Figura 12 – Tela do Tracker. Fonte: o autor

### 4.3 Metodologia da aula

#### 4.3.1 Plano de Aulas

O plano de aula foi elaborado em conformidade com as diretrizes estabelecidas pelo Currículo Básico Comum (CBC), atendendo às competências e habilidades previstas para o ensino de Física. A estruturação do planejamento detalhado encontra-se descrita a seguir, considerando a integração dos conteúdos abordados com os objetivos educacionais e as práticas pedagógicas recomendadas.

#### Planejamento – Aulas – Lei de Faraday e Lenz

**Professor: Americo Carlos Coelho**

**Turma: 3º ano**

#### Competências específicas:

COMPETÊNCIA ESPECÍFICA 1 - Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e/ou global.

COMPETÊNCIA ESPECÍFICA 2 - Construir e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar decisões éticas e responsáveis.

COMPETÊNCIA ESPECÍFICA 3 - Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC)

**Habilidades:**

(EM13CNT101) - Analisar e representar as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões em situações cotidianas e processos produtivos que priorizem o uso racional dos recursos naturais

(EM13CNT106) - Avaliar tecnologias e possíveis soluções para as demandas que envolvem a geração, o transporte, a distribuição e o consumo de energia elétrica, considerando a disponibilidade de recursos, a eficiência energética, a relação custo/benefício, as características geográficas e ambientais, a produção de resíduos e os impactos socioambientais

(EM13CNT204) - Elaborar explicações e previsões a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais.

(EM13CNT205) - Utilizar noções de probabilidade e incerteza para interpretar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, reconhecendo os limites explicativos das ciências.

(EM13CNT301) - Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica

(EM13CNT302) - Comunicar, para públicos variados, em diversos contextos, resultados de análises, pesquisas e/ou experimentos – interpretando gráficos, tabelas, símbolos, códigos, sistemas de classificação e equações, elaborando textos e utilizando diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação

(TDIC), de modo a promover debates em torno de temas científicos e/ou tecnológicos de relevância sociocultural

(EM13CNT307) - Analisar as propriedades específicas dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas, arquitetônicas ou tecnológicas) e/ou propor soluções seguras e sustentáveis.

(EM13CNT308) - Analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos, redes de informática e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas e avaliar seus impactos.

**Número de aulas: 3 a 4 aulas (aulas de 50 minutos)**

**1ª aula – Apresentação dos Conteúdos (2 aulas)**

**Desenvolvimento:**

1 – Demonstração da experiência de Oersted: Será utilizado um arranjo experimental simples ou, alternativamente, um vídeo ilustrativo (Figura 13) para demonstrar o fenômeno observado por Oersted. O objetivo é evidenciar que uma corrente elétrica gera um campo magnético ao redor do fio condutor. Essa demonstração busca proporcionar aos alunos uma compreensão inicial de como um campo magnético pode influenciar outro campo magnético, estabelecendo a conexão entre eletricidade e magnetismo e trabalhando os subsunçores necessários (AUSUBEL, 2003)



Figura 13 – Vídeo demonstrando o experimento de Oersted. Fonte: Internet. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Qh4bzd5asgU> Acesso em 19 de julho de 2024

2 – Experimento com a bobina e os LEDs: Nesta etapa, o ímã é colocado para descer pelo plano inclinado, passando através do tubo de acrílico equipado com a bobina e os LEDs conectados. Durante o experimento, observa-se o acendimento dos LEDs, e os alunos são questionados sobre o fenômeno observado. Este questionamento visa promover a reflexão sobre os princípios físicos envolvidos e a geração de corrente elétrica na bobina.

3 – Comparação entre os tubos de acrílico e de cobre: A próxima etapa utiliza dois tubos: um de acrílico e outro de cobre. Inicialmente, o ímã é solto no interior do tubo de acrílico, permitindo que os alunos observem o comportamento do ímã durante a queda. Em seguida, repete-se o procedimento utilizando o tubo de cobre. Nota-se, neste caso, um aumento no tempo de queda do ímã, fenômeno descrito como "atraso". Os alunos são estimulados a discutir e registrar hipóteses sobre as causas desse comportamento.

4 – Questionário 1: Antes de apresentar formalmente as Leis de Lenz e Faraday, é possível explorar questionamentos iniciais que sirvam como ponto de partida para a reflexão e comparação de resultados ao final do processo de ensino. Esses questionamentos, que constam no apêndice deste trabalho, têm como objetivo ativar os conhecimentos prévios dos alunos (AUSUBEL, 2003) e fomentar a curiosidade sobre os fenômenos observados nos experimentos (MOREIRA, 1982), estabelecendo uma base para a compreensão teórica.

5 – Apresentação de slides: Na sequência, as Leis de Lenz e Faraday são introduzidas por meio de uma abordagem expositiva e interativa, utilizando os slides preparados para a aula, que constam no produto educacional deste trabalho e também no endereço eletrônico <https://sites.google.com/view/americocoelho-fisica>. A apresentação deve destacar os fundamentos teóricos de cada lei, ilustrando a relação entre o movimento do ímã, a variação do fluxo magnético e a indução de corrente elétrica. Este momento da aula tem como foco conectar os conceitos teóricos às observações empíricas realizadas anteriormente, consolidando o entendimento dos alunos sobre os princípios da indução eletromagnética.

Dado o caráter simples e seguro do experimento, é recomendável que os alunos sejam incentivados a participar ativamente, manuseando o equipamento sob

orientação. A execução de experimentos pelos próprios alunos permite não apenas a observação e reprodução de fenômenos físicos, mas também o desenvolvimento de competências fundamentais associadas ao método científico. Entre essas competências, destacam-se a formulação de hipóteses, o planejamento de etapas experimentais, a coleta sistemática de dados e a análise crítica necessária para a construção de conclusões fundamentadas. Esse envolvimento direto é essencial para promover habilidades científicas que extrapolam o aprendizado teórico, contribuindo para a formação de um pensamento investigativo e analítico. Além disso, a experimentação exerce um papel indispensável na complementação e validação do conhecimento teórico, permitindo aos alunos uma compreensão mais profunda dos conceitos físicos abordados.

6 – Questionário 2: Após a apresentação dos slides, os alunos respondem a um segundo questionário. Embora as questões sejam similares às do questionário inicial, o objetivo desta etapa é avaliar a compreensão dos conceitos apresentados durante a aula e comparar os resultados com as respostas fornecidas anteriormente, verificando assim a assimilação do conteúdo (PIAGET, 2002). As respostas são coletadas ao final da aula, sem que os estudantes tenham acesso ao material dos slides, que abordaram formalmente as Leis de Faraday e Lenz, bem como suas aplicações.

## **2ª aula – Apresentação do Experimento com a Bobina (1 a 2 aulas)**

### **Desenvolvimento:**

1 – Repetição dos Experimentos: Após a introdução e compreensão das Leis de Lenz e Faraday, o experimento é repetido com o uso de instrumentos adicionais, incluindo o software Tracker, o tubo de acrílico, a bobina e equipamentos eletrônicos. Inicialmente, o ímã é abandonado pelo tubo de acrílico sem a bobina, permitindo uma observação direta de sua velocidade de queda. Em seguida, o ímã é solto no tubo contendo a bobina. Como apontado na seção “Resultados do Experimento” (Figuras 17 e 18), a diferença nas velocidades de queda com e sem a bobina não é perceptível a olho nu. Para evidenciar a Lei de Faraday, os LEDs são conectados à bobina, e o ímã é solto novamente pelo plano inclinado. Este procedimento é repetido diversas vezes, alternando a orientação do ímã: com o polo norte voltado para baixo e com o

polo sul voltado para baixo. Observa-se que, ao soltar o ímã com o polo norte para baixo, os LEDs acendem em uma sequência específica. Quando a orientação é invertida, com o polo sul para baixo, a sequência de acendimento dos LEDs é alterada.

2 – Questionário 3: Mais uma vez são aplicadas questões, com o objetivo principal de explorar o conceito de conservação de energia, abordado explicitamente em uma das perguntas. Além disso, os temas das Leis de Faraday e Lenz são novamente inseridos nos questionamentos para avaliar a assimilação e compreensão do conteúdo trabalhados anteriormente (PIAGET, 2002). A estratégia consiste em repetir algumas perguntas sem prévio aviso aos alunos, assegurando que as respostas não fossem meras reproduções automáticas do que havia sido discutido (MOREIRA, 2021). As questões constam no apêndice desse trabalho.

3 – Apresentação de Slides: Posteriormente, com base nos dados coletados previamente com o Tracker, os alunos são apresentados aos resultados que mostram que, ao utilizar a bobina, a velocidade final do ímã é menor em comparação ao cenário sem a bobina. Esta diferença de velocidade, representada na seção “Resultados do Experimento” (Figura 19), é relacionada para os alunos com a redução da energia cinética do ímã, através dos slides. A discussão é expandida para incluir o conceito de transformação de energia. É enfatizado que a energia elétrica gerada no sistema é derivada da energia mecânica do ímã em movimento, conforme o princípio da conservação de energia. Dessa forma, destacamos que a energia não pode surgir espontaneamente, mas é transformada e redistribuída no sistema, conectando o experimento às aplicações práticas, como a geração de energia elétrica.

4 – Questões de Múltiplas Escolhas: Ao término da aula, considerando que esta é destinada a estudantes do 3º ano do ensino médio, são apresentadas questões de múltipla escolha. O objetivo dessas questões é avaliar a assimilação dos conteúdos abordados (PIAGET, 2002), bem como sua adaptação ao formato característico dessa etapa escolar (AUSUBEL, 2003). Ressalta-se que as referidas questões encontram-se no apêndice deste trabalho. Dado o tempo para que os alunos façam as questões, procede-se com a correção das mesmas.

#### **4.4 Avaliação**

A avaliação do aprendizado será realizada por meio da observação das discussões entre os alunos, focando na evolução de suas ideias ao longo das aulas (AUSUBEL, 2003). A comparação entre as respostas dos questionários e hipóteses levantadas durante as atividades iniciais, na primeira aula, e as conclusões elaboradas após a segunda aula permitirá identificar indícios de compreensão e assimilação dos conceitos abordados (PIAGET, 2002). Os resultados dessa avaliação qualitativa e quantitativa serão detalhados na seção "Resultados" deste trabalho, onde será discutido como as propostas iniciais dos alunos foram reformuladas ou ampliadas com base nas atividades práticas e na introdução dos conceitos teóricos.

#### **4.5 Aplicação da aula**

A aula foi realizada em uma Escola Estadual localizada no interior de Minas Gerais, na cidade de Espera Feliz, onde ministrou a disciplina de Física, tendo portanto, uma ação participativa. Apesar do planejamento permitir certa flexibilidade, a execução seguiu integralmente o cronograma descrito anteriormente. As atividades foram distribuídas em duas etapas: as duas primeiras aulas ocorreram em uma semana, enquanto as demais foram realizadas na semana subsequente, com um intervalo de uma semana entre as etapas.

Esse intervalo de tempo mostrou-se um fator relevante para a avaliação, uma vez que os alunos responderam a dois questionários, um aplicado após a primeira etapa e outro após a segunda. Esse espaçamento reduz a possibilidade de respostas decoradas ou automáticas (MOREIRA, 2021), incentivando uma reflexão mais aprofundada sobre os conteúdos trabalhados.

A turma selecionada para o desenvolvimento das aulas foi o terceiro ano do ensino médio, com 26 alunos, de acordo com o planejamento. A escolha se justifica porque o tema da indução eletromagnética geralmente é abordado nessa etapa do ensino médio. Embora alguns sistemas de ensino apresentem esse conteúdo no segundo ano, como não é o caso desta escola, nada impede que os experimentos descritos sejam adaptados para diferentes séries e abordagens pedagógicas.

Apesar da ausência de um laboratório de ciências na escola (MOREIRA, 2021), essa condição não foi um obstáculo para a realização das aulas. As atividades

puderam ser desenvolvidas em uma sala de aula comum, com os recursos disponíveis. A seguir, são apresentadas imagens da aula em andamento (Figuras 12, 13, 14, 15 e 16), nas quais se observa o professor e os alunos interagindo com os experimentos propostos.

Os dados coletados durante os experimentos, seus resultados e os comentários a respeito das aulas encontram-se detalhados na seção "Resultados" deste trabalho.

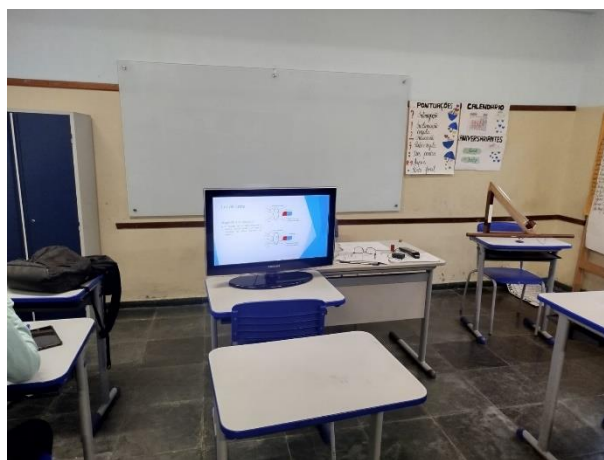


Figura 14 – Sala de Aula durante a aplicação do experimento. Fonte: o autor



Figura 15 – Alunos manuseando o experimento. Fonte: o autor



Figura 16 – Professor durante a aplicação da aula. Fonte: o autor

## Capítulo 5

### 5.1 Resultados do Experimento

A fim de demonstrar o efeito das Leis de Faraday e Lenz, torna-se imprescindível que o experimento evidencie variações na velocidade final de um ímã ao longo de um plano inclinado, em função das interações eletromagnéticas. Quando o ímã atravessa um condutor, a polaridade oposta induzida gera uma força que desacelera o movimento do ímã, conforme previsto pela Lei de Lenz. Essa desaceleração é claramente perceptível no experimento realizado com um tubo de cobre, dado o comportamento condutor do material. No entanto, ao realizar o segundo experimento com o tubo de acrílico no plano inclinado, a diferença de velocidade entre o movimento do ímã com e sem a bobina acoplada torna-se imperceptível a olho nu. Essa sutileza decorre da pequena magnitude da variação de velocidade, embora, conforme previsto pela Lei de Lenz, tal diferença deva necessariamente existir. A ausência de uma demonstração clara dessa diferença comprometeria a validade pedagógica do experimento, dado que essa lei já foi amplamente verificada em contextos experimentais.

Para solucionar essa limitação, utilizou-se o software Tracker, que possibilita uma análise precisa e detalhada das velocidades ao longo do processo. Com essa ferramenta, torna-se possível identificar e quantificar a variação esperada, assegurando a funcionalidade educacional do experimento e reafirmando a consistência com os princípios teóricos estabelecidos. O uso do software, nesse caso, torna viável a realização do experimento, superando a falta de laboratório na escola (MOREIRA, 2021).

Na primeira etapa do experimento, em que o ímã percorre o tubo de acrílico sem a bobina acoplada ao final do trajeto, sua velocidade é alterada exclusivamente pela ação da gravidade. Esse comportamento é evidenciado pelos dados apresentados a seguir, os quais foram utilizados como base para a elaboração dos slides destinados à apresentação aos alunos.

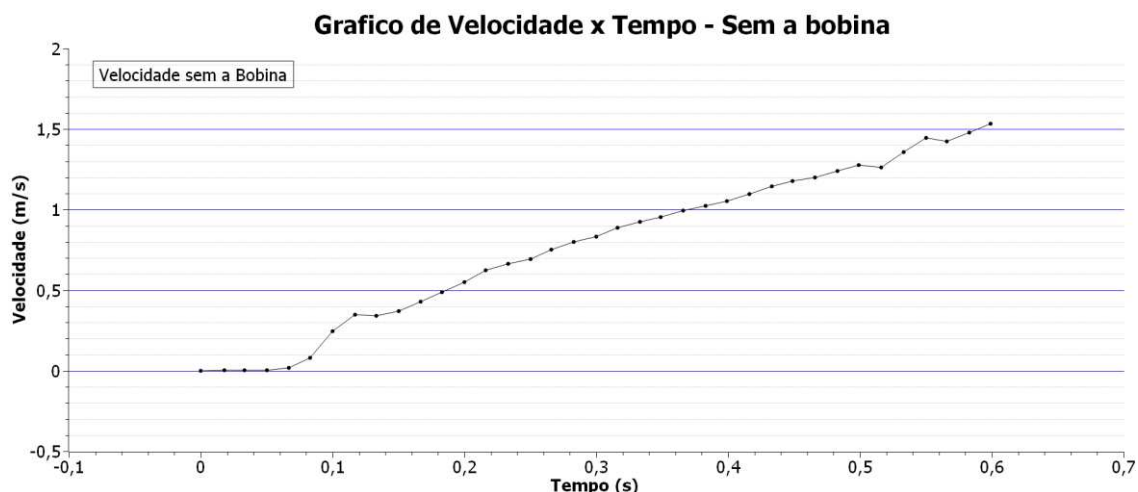


Figura 17 – Gráfico da velocidade x tempo do ímã sem a bobina. Fonte: Scidavis

Os dados analisados foram obtidos por meio de múltiplas repetições do movimento de um ímã em um tubo de acrílico. Essas repetições foram examinadas utilizando o software Tracker, com o objetivo de determinar as grandezas físicas de tempo e velocidade associadas ao movimento do ímã. Contudo, nem todas as tentativas forneceram registros suficientemente claros para análise. Durante a execução do experimento, algumas filmagens apresentaram trechos pouco nítidos, mesmo com o uso de equipamentos dotados de câmeras de alta qualidade. Nas repetições em que os dados foram capturados com maior clareza, foi possível registrar com precisão o tempo de descida e a velocidade do ímã ao longo do percurso. As repetições mais consistentes e com maior qualidade de dados foram selecionadas para fundamentar a análise, inseridas na tabela 1. A partir dessas, calculou-se a média dos valores de tempo e velocidade (tabela 1), os quais foram utilizados na construção do gráfico da velocidade em função do tempo, ilustrado na Figura 17. Nesse gráfico,  $t$  representa o tempo e  $v$  a velocidade do ímã ao longo de seu trajeto. Todas as medições realizadas estão expressas em unidades do Sistema Internacional (SI), em que o tempo é medido em segundos (s) e a velocidade em metros por segundo (m/s).

Exp. 1		Exp. 2		Exp. 3		Exp. 4		Média	
t	v	t	v	t	v	t	v	t	v
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,017	0,005	0,019	0,001	0,017	0,001	0,017	0,001	0,018	0,002
0,033	0,009	0,033	0,001	0,033	0,002	0,033	0,005	0,033	0,004
0,050	0,002	0,050	0,002	0,050	0,000	0,050	0,004	0,050	0,002

0,067	0,006	0,067	0,010	0,067	0,002	0,067	0,053	0,067	0,018
0,083	0,026	0,083	0,021	0,083	0,021	0,083	0,253	0,083	0,080
0,100	0,236	0,100	0,112	0,100	0,232	0,100	0,408	0,100	0,247
0,117	0,429	0,117	0,260	0,116	0,356	0,116	0,342	0,117	0,347
0,133	0,395	0,133	0,348	0,133	0,310	0,133	0,303	0,133	0,339
0,150	0,383	0,150	0,347	0,150	0,347	0,150	0,405	0,150	0,371
0,167	0,431	0,166	0,366	0,166	0,406	0,167	0,510	0,167	0,428
0,183	0,518	0,183	0,424	0,183	0,443	0,183	0,562	0,183	0,487
0,200	0,585	0,200	0,482	0,200	0,510	0,200	0,619	0,200	0,549
0,216	0,638	0,217	0,576	0,216	0,591	0,216	0,686	0,216	0,623
0,233	0,670	0,233	0,638	0,233	0,630	0,233	0,710	0,233	0,662
0,250	0,714	0,250	0,638	0,250	0,684	0,250	0,734	0,250	0,693
0,266	0,766	0,266	0,723	0,266	0,736	0,266	0,781	0,266	0,752
0,283	0,808	0,283	0,790	0,283	0,783	0,283	0,812	0,283	0,798
0,300	0,846	0,299	0,797	0,300	0,837	0,300	0,852	0,300	0,833
0,316	0,882	0,316	0,845	0,316	0,906	0,316	0,911	0,316	0,886
0,333	0,929	0,333	0,880	0,333	0,945	0,333	0,937	0,333	0,923
0,349	0,967	0,349	0,933	0,350	0,966	0,349	0,949	0,349	0,954
0,366	0,985	0,366	1,009	0,366	1,005	0,366	0,978	0,366	0,994
0,383	1,011	0,383	1,024	0,383	1,042	0,383	1,011	0,383	1,022
0,400	1,056	0,399	1,032	0,399	1,072	0,399	1,057	0,399	1,054
0,416	1,090	0,416	1,068	0,416	1,113	0,416	1,113	0,416	1,096
0,433	1,114	0,433	1,136	0,433	1,174	0,433	1,158	0,433	1,146
0,449	1,130	0,449	1,202	0,449	1,212	0,449	1,158	0,449	1,176
0,466	1,189	0,466	1,230	0,466	1,230	0,466	1,154	0,466	1,201
0,483	1,247	0,483	1,241	0,483	1,291	0,483	1,186	0,483	1,241
0,499	1,268	0,499	1,279	0,499	1,354	0,499	1,206	0,499	1,277
0,516	1,205	0,516	1,332	0,516	1,252	0,516	1,256	0,516	1,261
0,533	1,280	0,533	1,410	0,533	1,430	0,533	1,308	0,533	1,357
0,550	1,410	0,549	1,422	0,549	1,607	0,550	1,337	0,550	1,444
0,566	1,384	0,566	1,418	0,566	1,529	0,566	1,370	0,566	1,425
0,583	1,452	0,583	1,467	0,583	1,594	0,583	1,408	0,583	1,480
0,599	1,581	0,599	1,530			0,599	1,495	0,599	1,535

Tabela 1 – Dados do experimento do movimento do ímã sem a bobina. Fonte: o autor

Posteriormente, a bobina foi acoplada ao tubo de acrílico, e o experimento foi repetido, com a realização de diversas filmagens. Essas novas filmagens foram analisadas novamente utilizando o software Tracker, permitindo a obtenção de novos dados, apresentados na Tabela 2, os quais se diferenciam dos resultados anteriores. A partir dessas medições, foi elaborado um novo gráfico representando a velocidade em função do tempo, conforme ilustrado na figura 18. Observou-se uma diferença sutil, porém evidente, na velocidade do ímã. A velocidade média ao final do percurso, na presença da bobina, apresentou um valor em torno de 1,2 m/s, enquanto anteriormente, no movimento do ímã sem a bobina, esse valor aproximava-se de 1,6 m/s, resultando em uma redução média de 0,4 m/s.

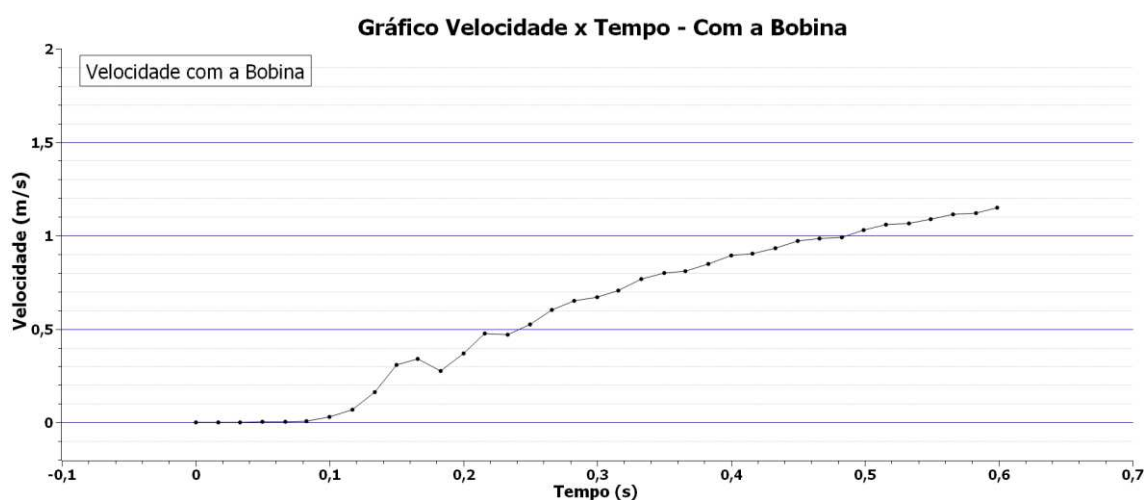


Figura 18 – Gráfico da velocidade x tempo do ímã com a bobina. Fonte: o autor

O gráfico da figura 18 apresentado foi elaborado com base em dados obtidos nos mesmos moldes do gráfico anterior. Foram realizadas múltiplas repetições, das quais quatro foram selecionadas utilizando os mesmos critérios de nitidez e clareza empregados na seleção anterior. Essas repetições permitiram o cálculo da velocidade média do ímã ao final do percurso, resultando nos valores apresentados no gráfico 18. Nesse gráfico,  $t$  representa o tempo de duração da descida do ímã, enquanto  $v$  corresponde à velocidade ao término do trajeto. Todas as medições estão expressas em unidades do Sistema Internacional (SI), com o tempo em segundos (s) e a velocidade em metros por segundo (m/s).

Exp. 1		Exp. 2		Exp. 3		Exp. 4		Média	
t	v	t	v	t	v	t	v	t	v
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,017	0,000	0,017	0,000	0,017	0,004	0,017	0,000	0,017	0,001
0,033	0,000	0,033	0,001	0,033	0,001	0,033	0,000	0,033	0,001
0,050	0,005	0,050	0,001	0,050	0,001	0,050	0,005	0,050	0,003
0,067	0,005	0,067	0,000	0,067	0,001	0,067	0,005	0,067	0,003
0,083	0,001	0,083	0,019	0,083	0,009	0,083	0,001	0,083	0,008
0,100	0,004	0,100	0,095	0,100	0,021	0,100	0,004	0,100	0,031
0,117	0,036	0,116	0,163	0,117	0,044	0,117	0,036	0,117	0,070
0,134	0,124	0,133	0,282	0,133	0,121	0,134	0,124	0,134	0,163
0,150	0,307	0,150	0,288	0,150	0,334	0,150	0,307	0,150	0,309
0,166	0,332	0,167	0,336	0,166	0,354	0,166	0,332	0,166	0,339
0,183	0,156	0,183	0,437	0,183	0,359	0,183	0,156	0,183	0,277
0,200	0,318	0,200	0,423	0,200	0,414	0,200	0,318	0,200	0,368
0,216	0,493	0,216	0,500	0,216	0,422	0,216	0,493	0,216	0,477
0,233	0,406	0,233	0,543	0,233	0,529	0,233	0,406	0,233	0,471
0,250	0,473	0,250	0,596	0,250	0,552	0,250	0,473	0,250	0,524
0,266	0,580	0,266	0,633	0,266	0,618	0,266	0,580	0,266	0,603
0,283	0,628	0,283	0,664	0,283	0,689	0,283	0,628	0,283	0,652
0,299	0,636	0,300	0,711	0,300	0,694	0,299	0,636	0,300	0,669
0,316	0,666	0,316	0,742	0,316	0,745	0,316	0,666	0,316	0,705
0,333	0,743	0,333	0,799	0,333	0,780	0,333	0,743	0,333	0,766
0,350	0,789	0,350	0,825	0,350	0,797	0,350	0,789	0,350	0,800
0,366	0,783	0,366	0,847	0,366	0,827	0,366	0,783	0,366	0,810
0,383	0,821	0,383	0,887	0,383	0,867	0,383	0,821	0,383	0,849
0,400	0,869	0,399	0,923	0,400	0,905	0,400	0,869	0,400	0,892
0,416	0,890	0,416	0,939	0,416	0,896	0,416	0,890	0,416	0,904
0,433	0,922	0,433	0,961	0,433	0,926	0,433	0,922	0,433	0,933
0,450	0,966	0,449	1,003	0,449	0,948	0,450	0,966	0,450	0,971
0,466	0,992	0,466	1,018	0,466	0,938	0,466	0,992	0,466	0,985
0,483	0,987	0,483	1,014	0,483	0,979	0,483	0,987	0,483	0,992

0,499	1,024	0,499	1,033	0,499	1,037	0,499	1,024	0,499	1,030
0,516	1,062	0,516	1,075	0,516	1,040	0,516	1,062	0,516	1,060
0,533	1,057	0,533	1,099	0,533	1,042	0,533	1,057	0,533	1,064
0,549	1,075	0,549	1,118	0,549	1,086	0,549	1,075	0,549	1,089
0,566	1,102	0,566	1,150	0,566	1,095	0,566	1,102	0,566	1,112
0,582	1,123	0,583	1,133	0,583	1,104	0,582	1,123	0,583	1,121
0,599	1,151	0,599	1,161	0,599	1,137	0,599	1,151	0,599	1,150

Tabela 2 – Dados do experimento do movimento do ímã com a bobina. Fonte: o autor

A comparação dos resultados obtidos nos gráficos das figuras 17 e 18 pode ser aprimorada por meio de um gráfico combinado, no qual as curvas são representadas no mesmo plano cartesiano. Essa abordagem permite evidenciar, de forma clara e definitiva, a diferença nas velocidades observadas nos movimentos do ímã através do tubo de acrílico, com e sem a presença da bobina.

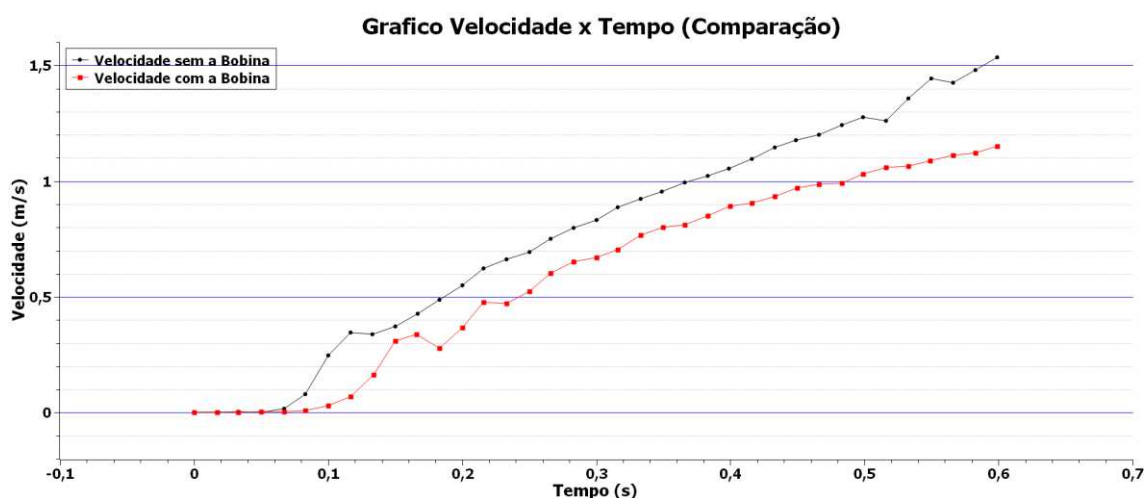


Figura 19 – Gráfico dos movimentos do ímã nas situações sem e com a bobina. Fonte: o autor

Considerando que o atrito permanece constante em ambas as situações analisadas, observa-se que uma força adicional é responsável pela frenagem do ímã. A análise comparativa dos dados apresentados no gráfico da figura 19 revela uma diferença clara nas velocidades, corroborando a validade do experimento para a abordagem das Leis de Faraday e Lenz, conforme planejado. A presença da bobina torna evidente a aplicação da Lei de Lenz, que estabelece que o polo induzido na bobina gera um campo magnético oposto ao movimento do ímã, atuando como um "freio". Essa força de repulsão entre os polos resulta em uma leve desaceleração do

ímã, cuja detecção depende da análise comparativa dos dados. Esses resultados tornam o experimento adequado para ilustrar os princípios das Leis de Faraday e Lenz. A frenagem magnética observada no experimento reflete diretamente a aplicação da Lei de Lenz, enquanto a presença do LED, que acende à medida que o ímã atravessa a bobina, evidencia a corrente elétrica induzida. Esse fenômeno é uma consequência direta da força eletromotriz gerada, conforme descrito pela Lei de Faraday.

Dando continuidade à análise do movimento do ímã ao longo do plano inclinado, que inicialmente abordou a velocidade em função do tempo, esta segunda análise foca na posição em função do tempo. O objetivo é aprofundar a compreensão das diferenças no comportamento do ímã em dois cenários: com a presença de uma bobina e sem a bobina.

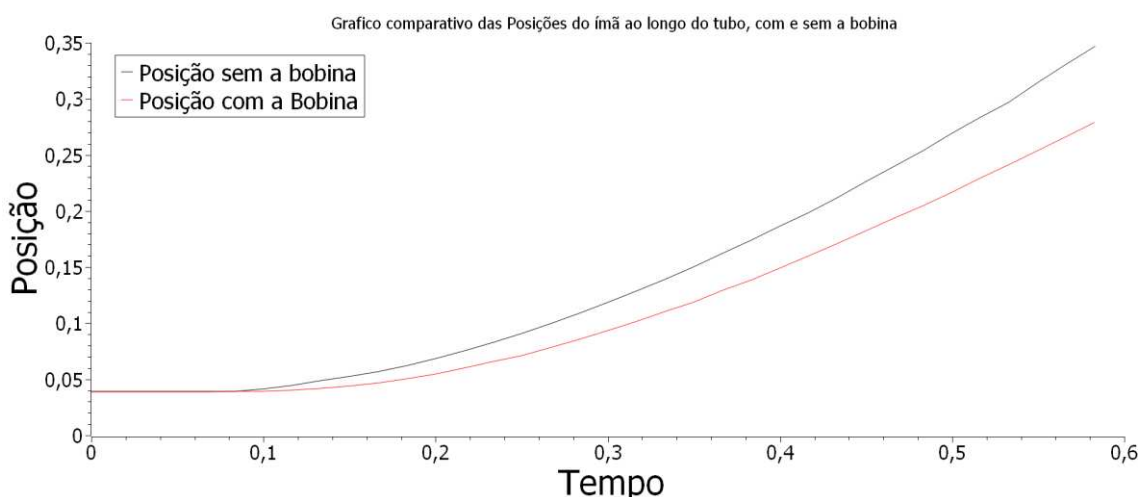


Figura 20 – Gráfico da posição em função do tempo do movimento do ímã. Fonte: scidavis

No caso sem a bobina, representado pela curva preta no gráfico da figura 20, o ímã move-se livremente, com sua posição aumentando de forma contínua ao longo do tempo. Este comportamento é esperado, pois, sem a influência de forças resistivas adicionais, o movimento do ímã é governado pela aceleração constante gerada pela componente gravitacional paralela ao plano inclinado.

Por outro lado, no caso com a bobina, representado pela curva vermelha no gráfico da figura 20, observa-se uma desaceleração evidente no deslocamento do ímã. Esse fenômeno é resultado direto da indução eletromagnética descrita pela Lei

de Lenz: à medida que o ímã atravessa a bobina, correntes induzidas são geradas, criando um campo magnético oposto ao movimento do ímã. Como consequência, a posição do ímã ao longo do tempo é consideravelmente menor em comparação ao cenário sem a bobina.

Por exemplo, ao final de 0,5 segundos, a posição do ímã sem a bobina alcança aproximadamente 0,35 metros, enquanto com a bobina, a posição é reduzida para cerca de 0,3 metros. Essa diferença reforça o papel da força resistiva gerada pela interação eletromagnética, que não apenas reduz a velocidade, como também limita o deslocamento do ímã. Essa análise complementar, ao ser confrontada com os dados de velocidade em função do tempo, evidencia de forma clara a influência da Lei de Lenz no movimento do sistema. Os resultados obtidos reforçam a importância da interação entre os campos magnéticos induzidos e o movimento do ímã, destacando o impacto dessa força resistiva tanto na velocidade quanto na posição ao longo do tempo.

A análise dos gráficos apresentados evidencia a relevância da relação entre a Física e a Matemática na compreensão dos fenômenos naturais (KARAN E PIETROCOLA, 2009). Ao representar a posição e a velocidade do ímã em função do tempo, é possível visualizar de forma mais clara e objetiva as mudanças nessas grandezas físicas durante sua queda. Essa representação gráfica não apenas facilita a interpretação dos dados experimentais, mas também reforça a importância da linguagem matemática como ferramenta essencial para modelar, prever e explicar fenômenos físicos com precisão.

Neste trabalho, busca-se também discutir o princípio da conservação da energia. Durante o desenvolvimento das atividades, são propostos questionamentos que incentivam os estudantes a refletirem sobre a origem da energia elétrica responsável por acender os LEDs, considerando que estes não estão conectados a fontes externas de energia elétrica. Por meio de discussões realizadas em sala de aula, conduzimos os alunos à conclusão de que há uma diferença na energia cinética ao final do movimento do ímã. Essa diferença é evidenciada ao comparar os resultados da velocidade final do ímã em diferentes condições experimentais: na ausência e na presença da bobina. Observa-se que a velocidade final é menor quando

a bobina está presente, como demonstram os gráficos das figuras 17 e 18. Com base no princípio da conservação da energia, que estabelece que a energia não pode ser perdida, conclui-se que a redução na energia cinética do ímã é convertida em energia elétrica, a qual é utilizada para o acendimento dos LEDs. Essa abordagem demonstra-se uma proposta eficaz para contextualizar o conceito de transformação de energia em um ambiente didático, transformando em situações que façam sentidos para o educando (MOREIRA, 2021).

Ainda, ao apresentar ao aluno a Lei de Lenz, que estabelece que a corrente elétrica induzida em um circuito devido à variação de um fluxo magnético gera um campo magnético que se opõe à variação inicial do fluxo, afirmamos durante a aula que essa lei é uma manifestação direta do princípio da conservação da energia, garantindo que qualquer sistema eletromagnético respeite as restrições impostas por este princípio fundamental da física.

No contexto da indução eletromagnética, o trabalho realizado para alterar o fluxo magnético em um circuito não desaparece, mas é convertido em energia elétrica, conforme previsto pela Lei de Faraday-Lenz. Por exemplo, quando um ímã em movimento aproxima-se de uma bobina, a corrente induzida no circuito cria um campo magnético oposto ao movimento do ímã. Esse fenômeno é consistente com o princípio da conservação da energia: o trabalho realizado para mover o ímã é transferido, total ou parcialmente, para o sistema como energia elétrica e, eventualmente, como energia térmica devido às perdas resistivas na bobina.

A oposição prevista pela Lei de Lenz é, portanto, uma garantia de que o sistema não viole o equilíbrio energético. Se o campo magnético induzido favorecesse o movimento em vez de se opor a ele, a energia gerada no sistema cresceria indefinidamente, violando o princípio da conservação da energia. Dessa forma, a Lei de Lenz funciona como um mecanismo natural que impede a criação de energia a partir do nada e assegura que os sistemas eletromagnéticos obedeçam às leis fundamentais da termodinâmica.

Essa relação intrínseca entre a Lei de Lenz e a conservação da energia é particularmente relevante em aplicações práticas, como geradores elétricos e transformadores, nos quais a conversão de energia mecânica em energia elétrica (e

vice-versa) depende diretamente desse equilíbrio energético. Assim, a Lei de Lenz não apenas fundamenta a descrição matemática do fenômeno de indução, mas também serve como um marco conceitual que reforça a compreensão dos princípios fundamentais que regem os processos físicos.

## **5.2 Resultados das aulas**

No presente estudo, optou-se por avaliar a aula por meio de dois instrumentos principais: a observação direta do professor e a aplicação de um questionário aos alunos. Este questionário abordou os conceitos estudados nas aulas que integram o projeto. Para que o objetivo central do projeto — a compreensão e a aplicação dos conceitos relacionados às Leis de Faraday e Lenz — seja alcançado, é essencial que determinados temas sejam previamente abordados com os estudantes (AUSUBEL, 2003). Entre esses temas, destacam-se: campo magnético, interação entre polos magnéticos (atração e repulsão) e o campo magnético gerado por corrente elétrica. Esses tópicos foram explorados em aulas anteriores ao longo do bimestre, preparando os alunos para uma compreensão mais aprofundada dos conceitos do projeto.

Com base nos conhecimentos previamente abordados, seguimos o roteiro da aula apresentado na seção anterior. Nesse contexto, os alunos assistiram a um breve vídeo (figura 13, da seção Metodologias) que demonstrava o experimento de Oersted. A apresentação tinha como objetivo evidenciar o surgimento de um campo magnético decorrente de uma corrente elétrica. Na sequência, foi conduzido um dos primeiros momentos práticos da aula: o movimento de um ímã ao longo de um plano inclinado, com uma bobina acoplada e LEDs conectados. Todos os alunos observaram o acendimento dos LEDs, evidenciando a geração de corrente elétrica. Posteriormente, foram utilizados dois tubos, um de cobre e outro de acrílico, para prosseguir com os experimentos. Ao deslizar o ímã através de ambos os tubos, foi constatado que, no tubo de cobre, o ímã desceu de forma significativamente mais lenta, atingindo o final do percurso com uma velocidade menor em comparação ao tubo de acrílico. Nesse momento, as observações foram realizadas ainda sem o uso da bobina. Esses experimentos serviram para introduzir de forma prática e visual os conceitos fundamentais relacionados à indução eletromagnética, facilitando a construção do entendimento pelos alunos.

Foram realizados os seguintes questionamentos aos alunos, e suas respectivas respostas foram coletadas:

*1 - O ímã desceu pelo tubo de cobre normalmente ou houve alguma alteração perceptível?*

*2 - O que causou essa alteração?*

*3 - O que gerou a corrente que acendeu a lâmpada?*

O objetivo desses questionamentos foi avaliar os conhecimentos prévios dos estudantes. Apesar de terem estudado conceitos relacionados às Leis de Faraday e Lenz sem terem estudado diretamente as mesmas, as respostas indicaram que eles ainda não compreendiam plenamente os fenômenos envolvidos.

No que se refere à primeira questão, as respostas evidenciaram que todos os estudantes perceberam a alteração na velocidade de descida do ímã ao atravessar o tubo de cobre, indicando uma observação clara do fenômeno investigado. Considerando que 100% dos participantes relataram tal percepção, entendeu-se que a elaboração de um gráfico representativo das respostas seria desnecessária. A segunda pergunta, que abordava as causas dessa alteração, revelou uma diversidade de interpretações, conforme os dados representados no gráfico da figura 21. Alguns alunos atribuíram o comportamento ao que consideravam ser uma "atração magnética" entre o ímã e o tubo, sob a falsa premissa de que o cobre seria um material ferromagnético. Outros justificaram a desaceleração como resultado de um suposto atrito entre o ímã e o tubo de cobre. Apenas uma pequena parcela dos estudantes relacionou o fenômeno ao surgimento de um campo magnético associado a uma corrente elétrica induzida. Essa variedade de respostas reflete a dinâmica de discussão e troca de ideias promovida durante a atividade.

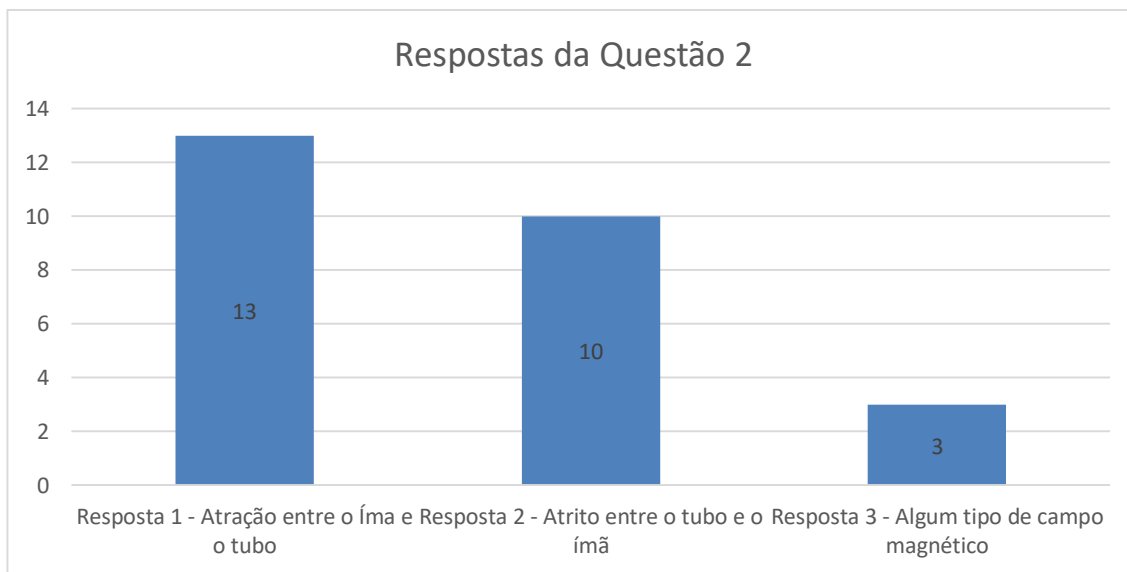


Figura 21 – Gráfico das respostas da Questão 2

Na terceira pergunta, que buscava compreender a origem da corrente elétrica responsável por acender a lâmpada, também houve uma ampla gama de hipóteses, como ilustramos no gráfico da figura 22. Muitos alunos relacionaram o surgimento da corrente a algum tipo de atrito, enquanto outros associaram à velocidade de movimento do ímã, embora sem fornecer justificativas claras. Um grupo menor de alunos indicou que o fenômeno estaria relacionado à passagem do ímã pela bobina, apontando, ainda que de maneira superficial, para o processo de indução eletromagnética, sem usar o termo específico.

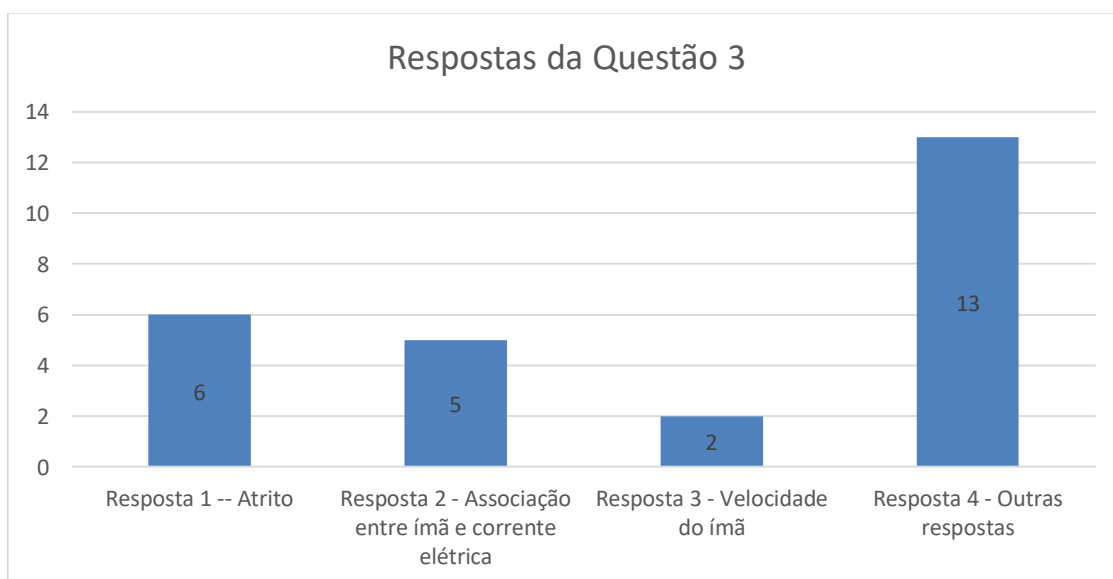


Figura 22 – Gráfico das repostas da questão 3

Após os questionamentos iniciais, foram apresentados aos alunos slides contendo o conteúdo teórico, estabelecendo uma conexão entre os fenômenos observados na aula anterior e as Leis de Faraday e Lenz. Ao término da apresentação, foi realizado um novo conjunto de questionamentos, composto pelas seguintes perguntas:

*1 – O que causou o retardo no tempo de queda do ímã?*

*2 – O que causou o acendimento dos LEDs no experimento?*

Embora as questões parecessem uma repetição das anteriores, o objetivo era avaliar a compreensão dos alunos sobre o conteúdo apresentado.

As respostas foram coletadas ao final da aula, sem que os estudantes tivessem mais acesso ao material apresentado nos slides, que explicavam formalmente as Leis de Faraday e Lenz e suas aplicações. Os resultados foram satisfatórios: uma parcela dos alunos conseguiu explicar, na primeira pergunta, que a corrente induzida gera um campo magnético oposto, retardando a queda do ímã. Apesar de não utilizarem terminologias completamente precisas, outros estudantes também associaram corretamente o polo oposto, gerado pela corrente induzida, à desaceleração do ímã. Alguns mencionaram que a corrente elétrica criada "gera um ímã no tubo". Embora essa formulação não seja tecnicamente correta, ela reflete, sob minha análise, uma compreensão parcial do fenômeno: os alunos compreenderam que o surgimento de uma corrente elétrica gera uma oposição ao movimento do ímã, mas não expressaram isso com precisão conceitual. Esses dados podem ser observados na figura 23.

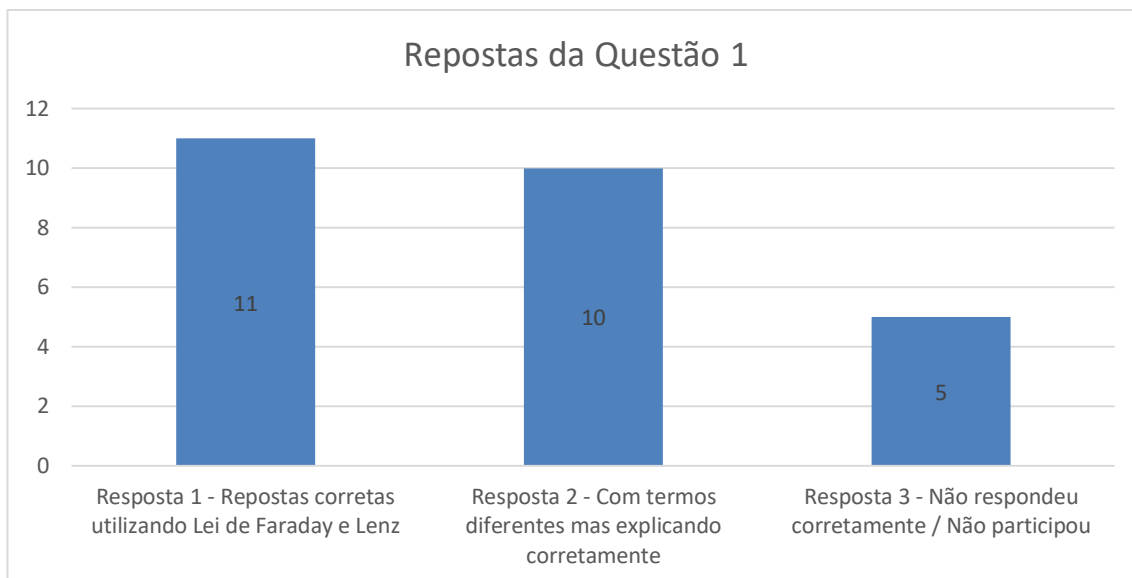


Figura 23 – Respostas da questão 1

Para a segunda pergunta, a maioria dos alunos compreendeu que o movimento do ímã foi o responsável por gerar a corrente elétrica que acendeu os LEDs. Algumas respostas mencionaram explicitamente a Lei de Faraday, demonstrando um entendimento mais consistente, característica da assimilação do conteúdo, uma das etapas da aprendizagem e necessária para que a mesma ocorra, segundo Piaget (PIAGET, 2002). De modo geral, essa pergunta apresentou um maior índice de respostas corretas e tecnicamente precisas em comparação à primeira, conforme podemos observar na figura 24.

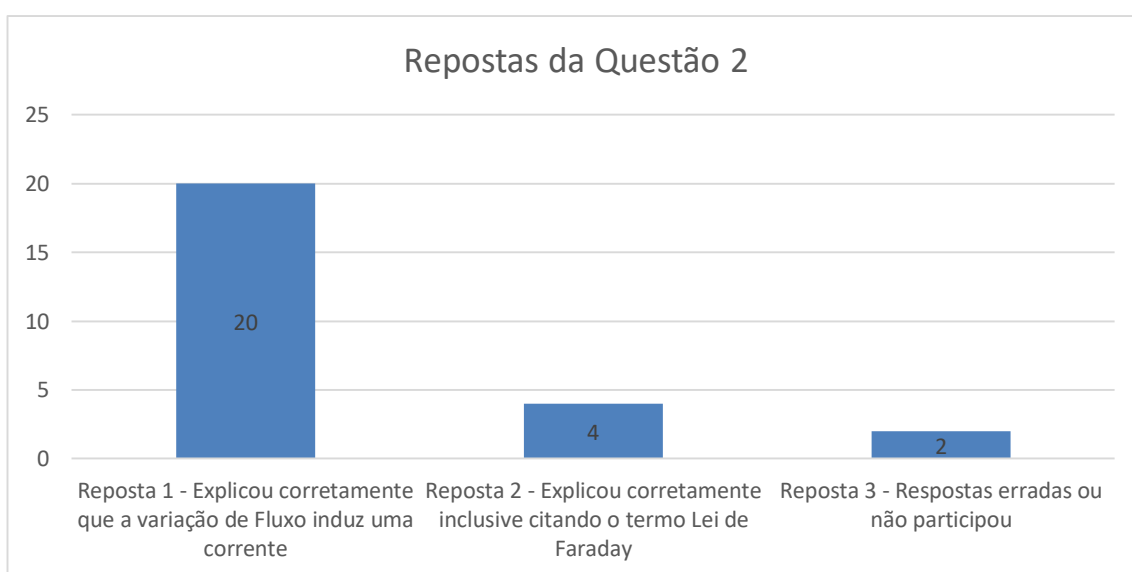


Figura 24 – Respostas da Questão 2

Essa análise das duas primeiras aulas evidencia a evolução no entendimento dos alunos ao longo da atividade, sugerindo que as estratégias adotadas para associar conceitos teóricos aos fenômenos experimentais foram eficazes. Tal progresso indica que muitos estudantes conseguiram realizar a assimilação do novo conteúdo, integrando as informações apresentadas em aula aos seus esquemas de conhecimento prévios — processo essencial para a aprendizagem, conforme propõe Piaget (PIAGET, 2002).

Uma semana após a primeira etapa, foram realizadas as terceiras e quartas aulas previstas no planejamento. Nessas aulas, repetimos os experimentos utilizando o plano inclinado e o tubo de acrílico, com e sem a bobina acoplada. Os resultados obtidos foram apresentados aos alunos por meio da análise gráfica no software *Tracker*, destacando as diferenças nas velocidades observadas nos gráficos das figuras 17, 18 e 19, tanto com quanto sem a bobina ao final do percurso, apresentados através dos slides. Ao término das atividades, foram novamente aplicadas questões, com o objetivo principal de explorar o conceito de conservação de energia, abordado explicitamente em uma das perguntas. Além disso, os temas das Leis de Faraday e Lenz foram novamente inseridos nos questionamentos para avaliar a retenção e compreensão do conteúdo trabalhado na semana anterior.

A estratégia consistiu em repetir algumas perguntas sem prévio aviso aos alunos, assegurando que as respostas não fossem meras reproduções automáticas do que havia sido discutido anteriormente, evidências de uma aprendizagem mecânica, definidas por Moreira (MOREIRA, 2021). As questões propostas foram:

*1 - O que causou o retardo no tempo de queda do ímã?*

*2 - O que causou o acendimento dos LEDs no experimento?*

*3 - Qual a relação entre o experimento realizado na segunda aula e o princípio de conservação de energia?*

A terceira questão foi introduzida com o intuito de permitir que os alunos explicitassem sua compreensão sobre a conservação de energia.

Na primeira questão, as respostas foram, em sua maioria, semelhantes às obtidas na etapa anterior, como podemos ver na figura 25. Apesar do intervalo entre as aulas, muitos alunos reafirmaram que o movimento do ímã induz uma corrente elétrica, a qual gera um campo magnético oposto. Alguns utilizaram expressões de uso cotidiano como “a *variação de fluxo magnético gera uma corrente elétrica, que induz os polos irem um contra o outro*”, ou “a *corrente induz o campo magnético do tubo de cobre, que faz o ímã demorar a cair*” ou simplesmente “*um campo magnético contrário faz o ímã frear*”, enquanto outros empregaram termos físicos mais precisos como “a *lei de Faraday cria uma corrente elétrica, que por sua vez cria um campo magnético pela lei de Lenz, gera um campo contrário ao do ímã, causando a frenagem do mesmo*”.

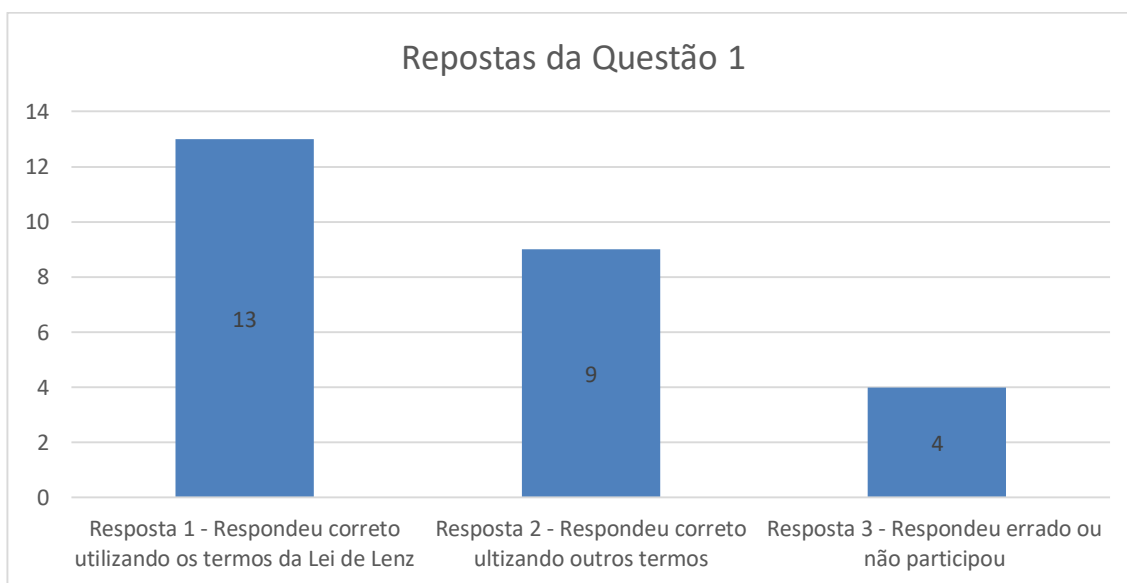


Figura 25 – Respostas da questão 1 no segundo momento

Já na segunda questão, houve uma evolução nas respostas. Alguns estudantes começaram a associar o acendimento dos LEDs à transformação da energia mecânica do movimento do ímã em energia elétrica, o que demonstra uma modificação nos subsunçores relacionados aos conceitos de conservação e transformação de energia. Segundo a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel (AUSUBEL, 2003), essa modificação ocorre quando uma nova informação é integrada de maneira não arbitrária e substancial ao conhecimento pré-existente. Enquanto isso, uma boa parte dos alunos passaram a incluir os termos da Lei de Faraday em suas respostas. Esses dados podem ser observados na figura 26.

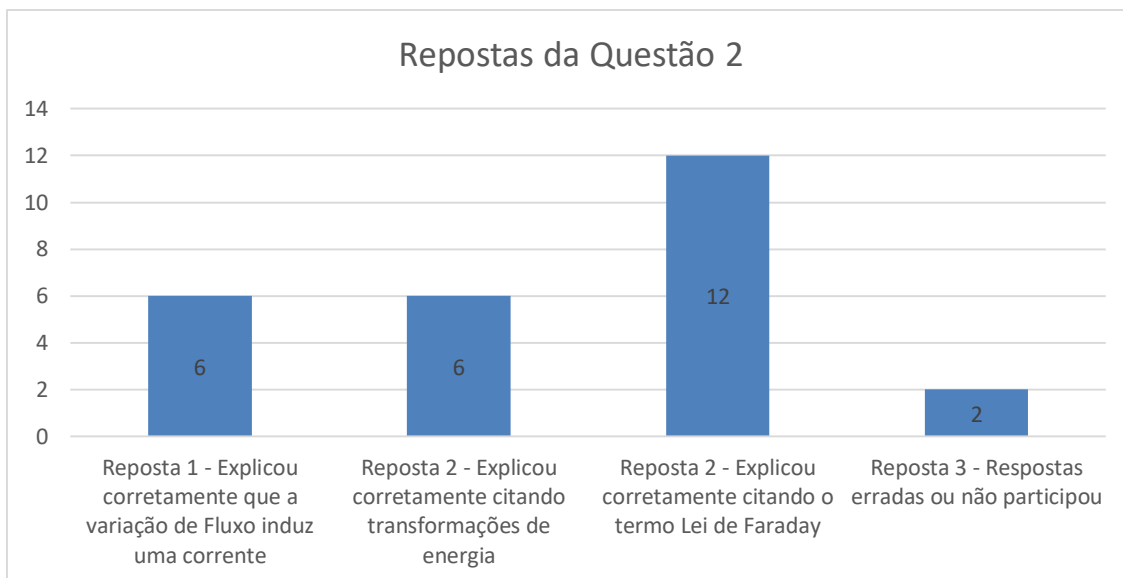


Figura 26 – Respostas da questão 2 no segundo momento

Na terceira questão, as respostas foram amplamente satisfatórias, como podemos concluir a partir da figura 27. Os alunos demonstraram compreender a transformação da energia mecânica em energia elétrica, elaborando respostas mais completas e detalhadas. Alguns mencionaram a diferença nas velocidades do ímã observadas nos gráficos das figuras 17, 18 e 19, apresentados nos slides, e relacionaram essa diferença à variação da energia cinética. Além disso, citaram valores específicos apresentados nos experimentos, reforçando sua capacidade de interpretar dados quantitativos.

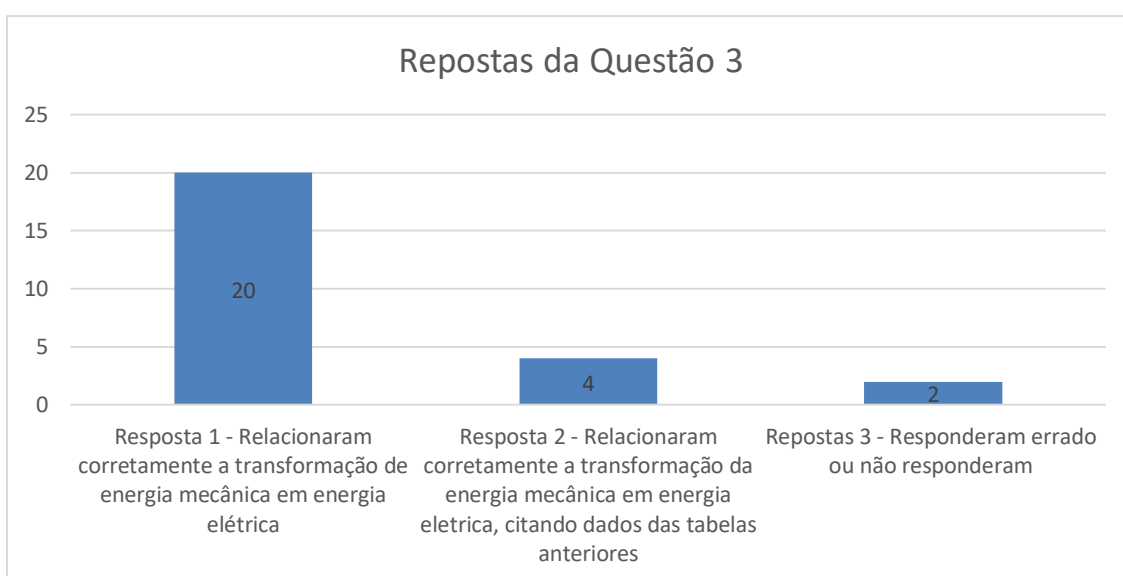


Figura 27 – Respostas da questão 3 do segundo momento

É importante destacar que o uso de aparelhos eletrônicos não foi permitido durante a realização do questionário. A análise das respostas indica que os alunos demonstraram progresso significativo na assimilação dos conteúdos (PIAGET, 2002), refletindo uma compreensão crescente dos conceitos trabalhados ao longo das aulas.

Considerando que a aula foi direcionada a uma turma do terceiro ano do ensino médio, optamos por incluir testes de múltipla escolha como parte da atividade. O foco do nosso trabalho não é o *teaching for testing* (MOREIRA, 2021) como mencionado na seção sobre "o formato das avaliações atuais". No entanto, a inclusão de questões de múltipla escolha ao final do projeto busca demonstrar aos alunos do 3º ano do ensino médio que, além de estarem presentes no dia a dia, os conceitos abordados também são parte dos testes que muitos deles enfrentarão. O objetivo era avaliar se os alunos seriam capazes de adaptar o conhecimento adquirido para responder a esse formato de questionamento. Além disso, foi solicitado que as questões fossem realizadas de forma individual e sem o auxílio de dispositivos eletrônicos, garantindo a avaliação autônoma de cada estudante. As perguntas aplicadas estão a seguir, bem como os resultados das mesmas, contidos no gráfico da figura 28.

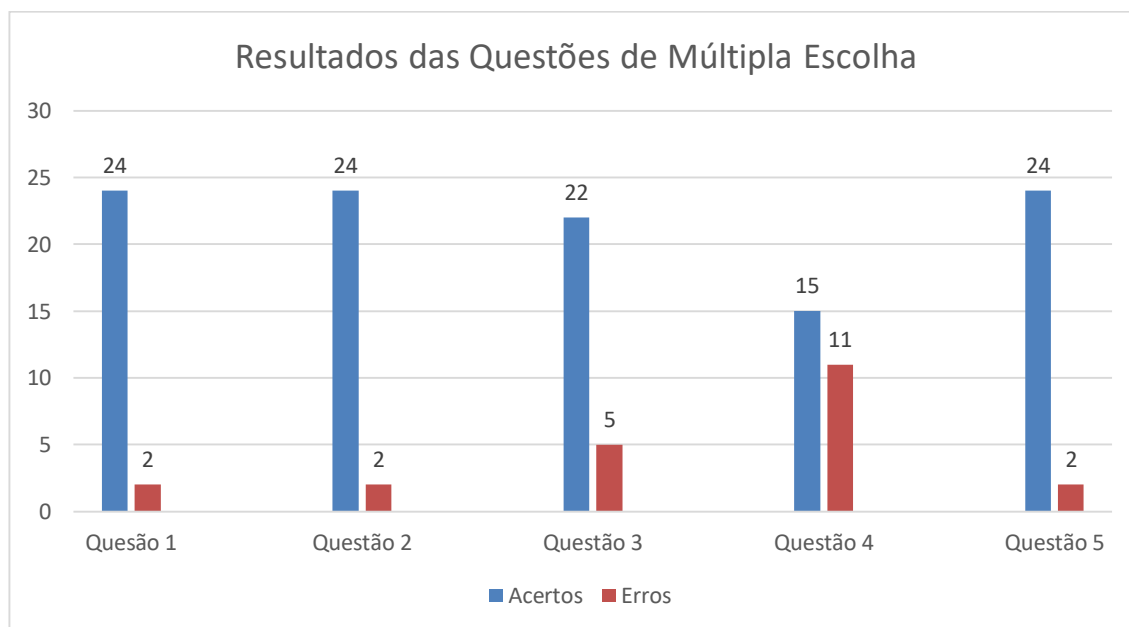


Figura 28 – Resultados das questões de múltipla escolha

*Questão 1 - De acordo com a lei de Faraday, a variação de um fluxo magnético através de um condutor é capaz de produzir:*

- a) resistência elétrica.*
- b) uma força eletromotriz induzida.*

c) *variação de temperatura.*

d) *dilatação térmica.*

Essa questão foi classificada como de nível fácil e obteve um alto índice de acertos, como pode ser observado no gráfico da figura 28. Com exceção de dois alunos, todos os demais selecionaram corretamente a alternativa B. Em seguida, foi apresentada a próxima questão:

*2 - A Costa Rica, em 2015, chegou muito próximo de gerar 100% de sua energia elétrica a partir de fontes renováveis, como a hídrica, a eólica e a geotérmica. A lei da Física que permite a construção de geradores que transformam outras formas de energia em energia elétrica é a Lei de Faraday, que pode ser mais bem definida pela seguinte declaração:*

*a) Toda carga elétrica produz um campo elétrico com direção radial, cujo sentido independe do sinal dessa carga.*

*b) Toda corrente elétrica, em um fio condutor, produz um campo magnético com direção radial ao fio.*

*c) Uma carga elétrica, em repouso, imersa em um campo magnético sofre uma força centrípeta.*

*d) A força eletromotriz induzida em uma espira é proporcional à taxa de variação do fluxo magnético em relação ao tempo gasto para realizar essa variação.*

*e) Toda onda eletromagnética torna-se onda mecânica quando passa de um meio mais denso para um menos denso.*

A grande maioria da turma respondeu corretamente à questão, selecionando a alternativa D. Essa questão, de maior complexidade, exigia um grau mais elevado de interpretação para ser solucionada adequadamente, objetivo que foi alcançado pelos alunos, demonstrado no gráfico da figura 28. A terceira questão, por sua vez, incorporava a análise de um gráfico, conforme descrito a seguir:

*3 - Uma espira circular está imersa em um campo magnético criado por dois ímãs, conforme a figura abaixo. Um dos ímãs pode deslizar livremente sobre uma mesa, que não interfere no campo gerado. O gráfico da figura, a seguir, representa o fluxo magnético através da espira em função do tempo.*

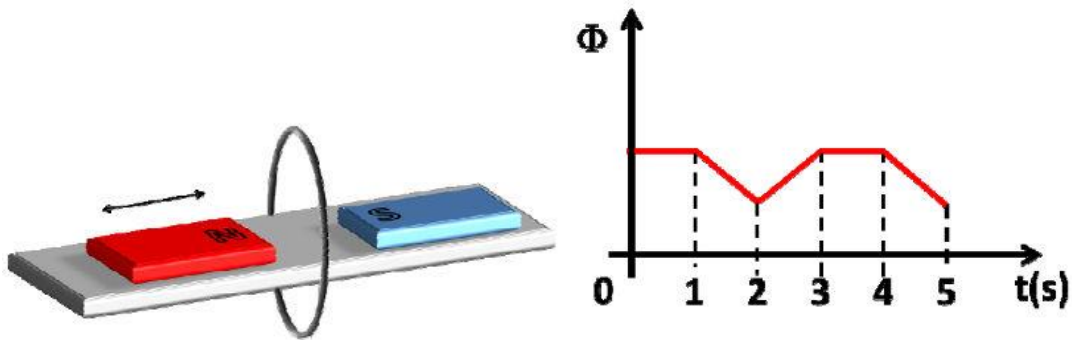


Figura 21 – ilustração da questão 3. Fonte: Internet. Disponível em:

<https://exercicios.brasilecola.uol.com.br/exercicios-fisica/exercicios-sobre-fluxo-magnetico-lei-faraday.htm>. Acesso em 19 de julho de 2024

O intervalo de tempo em que aparece na espira uma corrente elétrica induzida é de:

- a) De 0 a 1 s, somente.
- b) De 0 a 1 s e de 3 s a 4 s.
- c) De 1 s a 3 s e de 4 s a 5 s.
- d) De 1 s a 2 s e de 4 s a 5 s.
- e) De 2 s a 3 s, somente.

O objetivo dessa questão era avaliar a capacidade dos alunos de interpretar graficamente a variação de fluxo magnético e correlacioná-la com a corrente induzida, evidenciando o entendimento da Lei de Faraday. A maioria dos estudantes demonstrou bom desempenho, selecionando corretamente a alternativa C. Apenas cinco alunos não obtiveram sucesso em responder adequadamente, como indicado no gráfico da figura 28. A questão subsequente abordou, de forma mais específica, a variação do fluxo magnético conforme descrito pela Lei de Faraday.

4- Em relação ao fenômeno de indução eletromagnética, assinale a alternativa incorreta.

- a) Quando aproximamos ou afastamos um ímã de uma bobina condutora, induzimos o surgimento de uma corrente elétrica.
- b) A força eletromotriz induzida é o nome dado ao potencial elétrico que é produzido pela indução eletromagnética.
- c) O fluxo de campo magnético através de uma espira induz o surgimento de uma corrente elétrica.
- d) A variação do fluxo de campo magnético induz a formação de correntes elétricas.
- e) A corrente elétrica induzida é proporcional à variação do fluxo magnético.

Essa foi a questão com o menor índice de acertos, conforme os dados do gráfico da figura 28. Durante a revisão posterior, alguns alunos que erraram a questão relataram não ter percebido que o enunciado solicitava a identificação da afirmativa incorreta. Outros, no entanto, mencionaram desconhecer o significado da palavra "proporcional". Este último ponto é particularmente preocupante, pois, embora seja importante diferenciar física de matemática, essa dificuldade evidencia a necessidade de um diálogo mais próximo entre essas disciplinas no contexto educacional (KARAM E PIETROCOLA, 2009).

A questão seguinte buscava avaliar o aprendizado dos alunos nos momentos finais da aula, utilizando um slide que destacava as aplicações práticas das Leis de Faraday e Lenz no cotidiano, como apresentado no seguinte enunciado:

*5- Assinale a alternativa que apresenta apenas dispositivos que funcionam por meio do fenômeno da indução eletromagnética.*

- a) Transformadores, fornos de indução, panela elétrica.*
- b) Geradores, ferro de passar, chuveiro elétrico.*
- c) Televisão, rádio, lâmpada incandescente.*
- d) Transformadores, detectores de metal, motores elétricos.*
- e) Secador de cabelo, aspirador de pó, sanduicheira.*

Apenas dois alunos não identificaram corretamente a alternativa D, conforme nos informa o gráfico da figura 28. Esse resultado indica que os estudantes compreenderam a aplicabilidade das leis abordadas, diferenciando-as de outros conceitos no campo do eletromagnetismo. É relevante destacar que a questão, assim como o restante do teste, não foi aplicada imediatamente após a aula introdutória que utilizou os slides, mas sim uma semana depois. Esse intervalo evidencia que houve assimilação do conteúdo (PIAGET, 2002), em vez de uma simples memorização de curto prazo (MOREIRA, 2021), o que reforça a efetividade do processo de aprendizagem. Adicionalmente, observa-se que uma das opções de resposta, relacionada aos detectores de metal, não foi abordada diretamente nos slides. Isso sugere que os alunos não apenas assimilaram o conteúdo (PIAGET, 2002), mas também foram capazes de expandi-lo, demonstrando um entendimento mais profundo e significativo dos conceitos discutidos (AUSUBEL, 2003).

## Capítulo 6

### 6.1 Conclusão

A análise das respostas às questões pré e pós-aula, juntamente com os testes de múltipla escolha, revelou evidências claras de aprendizagem, conforme discutido nos comentários sobre as respostas dos alunos. Segundo Ausubel (AUSUBEL, 1963), a aprendizagem significativa ocorre por meio de uma remodelagem conceitual, na qual novos conhecimentos são integrados a estruturas cognitivas preexistentes (subsunçores), permitindo a formação de informações adaptáveis a novos desafios. Os resultados dos testes corroboram essa teoria: um exemplo marcante desse processo é observado quando um aluno, que inicialmente atribuía os fenômenos discutidos a fatores como o atrito, posteriormente consegue explicá-los com base nos conceitos apresentados. Esse progresso reflete uma reformulação do conhecimento inicial. Uma evidência concreta desse avanço ocorreu na quinta questão dos testes aplicados, na qual os alunos foram desafiados a relacionar um novo fenômeno às leis discutidas. As respostas demonstraram um entendimento mais profundo, sugerindo que a aprendizagem foi efetiva. Outro indicativo significativo de aprendizado foi a evolução das respostas ao longo do tempo. Perguntas semelhantes foram propositalmente reaplicadas após um intervalo considerável entre as aulas, e os alunos retornaram com respostas mais detalhadas e ricas em termos físicos. Essa melhoria contínua reforça a ideia de que a aprendizagem é duradoura e adaptável (AUSUBEL, 2003), ao contrário da mera memorização (MOREIRA, 2021), que tende a ser transitória e pouco aplicável.

Este trabalho buscou explorar a experimentação como ferramenta pedagógica para o ensino de física, especificamente no contexto das Leis de Faraday e Lenz. A abordagem adotada demonstrou que a integração entre teoria e prática não apenas promove uma compreensão mais profunda dos conceitos, mas também motiva os alunos a participarem ativamente do processo de aprendizagem. Por meio de experimentos cuidadosamente planejados, foi possível observar a evolução significativa no entendimento dos estudantes sobre os fenômenos de indução eletromagnética.

Os resultados obtidos evidenciam que a experimentação é uma estratégia eficaz para superar barreiras conceituais. Por exemplo, ao comparar os experimentos com o tubo de cobre e o tubo de acrílico, os alunos puderam identificar, de forma concreta, os efeitos da Lei de Lenz na desaceleração do ímã. A utilização do software Tracker foi essencial para quantificar essas diferenças, permitindo uma análise mais precisa e detalhada dos dados. Essa abordagem não apenas reforçou os princípios teóricos, mas também ampliou a compreensão dos alunos sobre a relação entre a física teórica e suas aplicações práticas.

A metodologia empregada, que incluiu questionários pré e pós-aula, revelou evidências claras de aprendizagem significativa, conforme descrito por Ausubel (AUSUBEL, 1963). Os alunos não apenas se apropriaram dos conceitos, mas também foram capazes de aplicá-los em situações novas, demonstrando uma reformulação de seus conhecimentos iniciais. Essa transformação foi especialmente evidente nas respostas mais elaboradas e fundamentadas em termos físicos após o intervalo entre as aulas, indicando que a aprendizagem foi duradoura e adaptável.

Outro aspecto relevante foi a possibilidade de realizar as atividades em uma escola sem laboratório de ciências, utilizando recursos simples e acessíveis (KARAM E PIETROCOLA, 2009). Isso reforça a viabilidade da experimentação como uma prática pedagógica aplicável em diferentes contextos educacionais, independentemente das limitações estruturais. Além disso, a discussão sobre os resultados dos experimentos incentivou o desenvolvimento do pensamento crítico e investigativo, habilidades fundamentais para a formação de cidadãos preparados para enfrentar desafios científicos e tecnológicos.

Por fim, conclui-se que a experimentação não apenas facilita a compreensão dos conceitos de física, mas também contribui para a formação de uma visão mais ampla e integrada da ciência. A combinação entre atividades práticas, suporte teórico e análise de dados é uma abordagem poderosa para promover a aprendizagem significativa, tornando o ensino de física mais dinâmico, envolvente e eficaz. Essa estratégia, ao valorizar o protagonismo do aluno e a contextualização dos conteúdos, oferece uma contribuição valiosa para a educação básica, com potencial para ser replicada em diversas áreas do conhecimento.

## Referências Bibliográficas

ALMEIDA SALES, João Pedro; CRUZ DE ARAUJO, Lídia; SILVESTRE ROCHA, Alessandro; CUPERTINO GOMES, Érica; PEREIRA LOBO, Matheus. **Experimentação como processo de ensino e aprendizagem de física óptica**. DESAFIOS - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins, [S. l.], v. 6, n. 3, p. 37–42, 2019. DOI: 10.20873/uftv6-6240. Disponível em: <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/desafios/article/view/6240>. Acesso em: 4 mar. 2025.

ALVES, Luís Victor Silva et al.. **O uso de materiais de baixo custo no ensino da física: uma alternativa para a recomposição e compreensão do ensino de física na eemti luíza távora**. Anais IX CONEDU... Campina Grande: Realize Editora, 2023. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/96907>>. Acesso em: 17/03/2025 16:44

ANDRADE, Giovani Luz; SANTANA, Ian Lima; SILVA, Ferdinand Martins da. **O uso de experimentos no ensino de física como uma ferramenta de ensino e melhoramento da aprendizagem**. In: Encontro de pesquisa em ensino de física, XVIII, 2020, Florianópolis. Anais [...]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2020. Disponível em: [researchgate.net](https://www.researchgate.net). Acesso em: 4 mar. 2025.

ARAUJO, Mauro Sérgio Teixeira de; ABIB, Maria Lúcia Vital dos Santos. **Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades**. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 176-186, 2003.

ASTH, Rafael. **Lei de Lenz**. Toda Matéria, [s.d.]. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/lei-de-lenz/> Acesso em: 19 jul. 2024

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2003.

AUSUBEL, D.; NOVAK, J.D.; HANESIAN, H. **Psicologia educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana; 1980.

AUSUBEL, David P. **The Psychology of Meaningful Verbal Learning**. New York: Grune & Stratton, 1963.

AUSUBEL, David Paul. **The psychology of meaningful verbal learning**. New York: Grune & Stratton, 2003.

BATISTA, Michel Corci; FUSINATO, Polônia Altoé; BLINI, Ricardo Brugnolle. **Reflexões sobre a importância da experimentação no ensino de física**. *Acta Scientiarum. Human and Social Sciences*, Maringá, v. 31, n. 1, p. 43-49, 2009. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=307325328006>. Acesso em: 30 dez. 2024

BRASIL ESCOLA. **Exercícios sobre fluxo magnético e Lei de Faraday**. Disponível em: <https://exercicios.brasilecola.uol.com.br/exercicios-fisica/exercicios-sobre-fluxo-magnetico-lei-faraday.htm>. Acesso em: 19 jul. 2024.

CARNEIRO, Maria Angela Barbato. **Jean Piaget e os estudos sobre o desenvolvimento humano**. [s.d.]. Disponível em: <https://www4.pucsp.br/educacao/brinquedoteca/downloads/artigo-jean-piaget-e-os-estudos.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2025.

CASTRO, Lilian dos Santos; SANTOS, Rodrigo da Silva; SILVA CRUZ, Aline Helena da. **Educação e teorias da aprendizagem: um foco na teoria de Vygotsky**. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, v. 11, nº 1, p. 551-559, 2013. Disponível em: <http://periodicos.unincor.br/index.php/revistaunincor/article/view/944/pdf>

CASTRO, Michele G. Bredel de. **O processo ensino-aprendizagem na visão da perspectiva piagetiana**. *Mnemosine* Vol.12, nº2, p. 233-240 (2016)

COELHO, Luana; PISONI, Silene. **Vygotsky: sua teoria e a influência na educação**. *Revista e-Ped – FACOS/CNEC Osório*, v. 2, n. 1, p. 144-148, ago. 2012. ISSN 2237-7077.

DE OLIVEIRA, Glauberto Gonzaga; FEITOSA, Carlos Chesman de Araújo; MOURA, Kleber de Oliveira; SILVA, Diego de Oliveira. **Experimentos portáteis para aula sobre indução eletromagnética, geradores e motores**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 44, e20210388, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/SNSn598gDQpQm5DfjCGGvTG/?lang=pt>. Acesso em: 20 de março de 2025.

EINSTEIN, Albert. **Sobre a Eletrodinâmica dos Corpos em Movimento**. *Annalen der Physik*, v. 17, p. 891-921, 1905.

FERREIRA, Álex de C. Experimentação no ensino de Física: enfoque no processo de ensino e aprendizagem. **Revista de Iniciação à Docência**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. e11959, 1-16, 2023. DOI: 10.22481/riduesb.v8i1.11959. Disponível em: <https://periodicos2.uesb.br/index.php/rid/article/view/11959>. Acesso em: 3 mar. 2025.

FEYNMAN, Richard P.; LEIGHTON, Robert B.; SANDS, Matthew. **Lições de Física de Feynman: volume 2**. São Paulo: Elsevier, 2008

FEYNMAN, Richard P.; LEIGHTON, Robert B.; SANDS, Matthew. **Lições de Física de Feynman: volume 1**. São Paulo: Elsevier, 2008

GOUVEIA, Rosimar. **Lei de Faraday**. Toda Matéria, [s.d.]. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/lei-de-faraday/> Acesso em: 19 jul. 2024

GUIMARÃES, Cleidson. A experimentação no ensino de ciências: fundamentos e práticas. In: SANTOS, W. L. P.; GRECA, I. M. (Orgs.). **Ensino de ciências: fundamentos e práticas investigativas**. Ijuí: Editora Unijuí, 2009. p. 187-208. Disponível em: [Periódicos UFES](#). . Acesso em: 18 mar. 2025.

HELERBROCK, Rafael. **Indução eletromagnética**. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/a-inducao-eletromagnetica.htm> Acesso em 19 de julho de 2024.

JAIME, D. M.; LEONEL, A. A.. **Uso de simulações: Um estudo sobre potencialidades e desafios apresentados pelas pesquisas da área de ensino de física**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 46, p. e20230309, 2024.

KARAM, Ricardo Avelar Sotomaior; PIETROCOLA, Maurício. **Habilidades Técnicas Versus Habilidades Estruturantes: Resolução de Problemas e o Papel da Matemática como Estruturante do Pensamento Físico**. *ALEXANDRIA Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, v.2, n.2, p.181-205, jul. 2009. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/alexandria/article/view/37960>. Acesso em: 30 dez. 2024

LAIA, André Scheidegger; GOMES, Luiz Moreira; FERREIRA, Fernanda Carla Lima; GESTER, Rodrigo do Monte; TEIXEIRA, Weldon Carlos Elias. **Uma abordagem experimental para o ensino de indução eletromagnética com materiais acessíveis.** *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 16, n. 4, 2021. Disponível em: <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/648/618>. Acesso em: 20 de março de 2025.

MACEDO, R. A. **Uso de materiais de baixo custo para o ensino de eletromagnetismo no ensino médio.** Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal Fluminense, Instituto de Ciências Exatas. Volta Redonda, 2016. 125 p.

MACHADO, Claudia Gonçalves; CARVALHO, Marco Antonio Batista. **Reflexões sobre o ensino de Física: da evasão à formação de professores.** *Pesquisa e Debate em Educação*, Juiz de Fora: UFJF, v. 10, n. 2, p. 1287 - 1299, jul. - dez. 2020. ISSN 2237-9444. DOI: <https://doi.org/10.34019/2237-9444.2020.v10.31846>

MACHADO, J. **O papel do professor na construção do conhecimento.** São Paulo: Editora X, 2001.

MIZUKAMI, Maria de Guadalupe Neves. **Ensino: as abordagens do processo.** São Paulo: EPU, 1986.

MOREIRA, Marco. Antonio. **Desafios no ensino da física.** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 43, suppl. 1, e20200451, 2021.

MOREIRA, Marco Antônio. **Teoria de aprendizagem.** São Paulo: E.D.U., 1999, 3ª reimpressão (2006).

MOREIRA, Marco Antônio; MASINI, Elcie F. Salzano. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel.** São Paulo: Moraes, 1982.

NASCIMENTO, Tiago Lessa do. **Repensando o ensino da Física no ensino médio.** 2010. 61 f. Monografia (Graduação em Licenciatura Plena em Física) – Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, Fortaleza, 2010.

NOVAK, Joseph Donald. **Learning, creating, and using knowledge: concept maps as facilitative tools in schools and corporations**. New York: Routledge, 2002.

Nussenzveig, H. Moysés, **Curso de Física Básica 3 Eletromagnetismo**, Ed. Edgard Blücher LTDA São Paulo, 1997

OLIVEIRA, Antônio Nunes de; PINTO, Viviane Lutif; SIQUEIRA, Marcos Cinineu Aguiar; LAVOR, Otávio Paulino. **Avaliação da aprendizagem no ensino de física: o que pensam os envolvidos em duas escolas no norte do Ceará?** Revista REAMEC, Cuiabá (MT), v. 8, n. 3, p. 113-134, setembro-dezembro, 2020. Disponível em:

<https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/reamec/article/download/10539/7523/42078>

PIAGET, Jean. (2002). **Seis estudos de psicologia**. 24<sup>a</sup> Ed. Rio de Janeiro: Florence. 136 p

PIAGET, Jean. **O nascimento da inteligência na criança**. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1970.

PIETROCOLA, Maurício. (2002). **A matemática como estruturante do conhecimento Físico**. *Caderno Brasileiro De Ensino De Física*, 19(1), 93–114. Recuperado de <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/9297>. Acesso em: 30 dez. 2024

ROSA, Ana Paula Marques da; GOI, Mara Elisângela Jappe. **Teoria socioconstrutivista de Lev Vygotsky: aprendizagem por meio das relações e interações sociais**. *Revista Educação Pública*, Rio de Janeiro, v. 24, nº 10, 26 de março de 2024. Disponível em: <https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/24/10/teoria-socioconstrutivista-de-lev-vygotsky-aprendizagem-por-meio-das-relacoes-e-interacoes-sociais>

SANTOS, Letícia Rodrigues; ANDRADE, Elisângela Ladeira de Moura; FERNANDES, Juliana Cristina da Costa; LIMA, Emmanuela Ferreira de. **As contribuições da Teoria da Aprendizagem de Lev Vygotsky para o desenvolvimento da competência em informação**. *Revista Brasileira de Biblioteconomia e Documentação*, v. 17, p. 1-15, 202

SILVA, Felipe. **Lei de Faraday**. Mundo Educação, 2024. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/lei-faraday.htm> Acesso em: 19 jul. 2024.

SILVA, M. L. R. B. da, SALGUEIRO, C. D. B. L., SILVA FILHO, L. G. da, Beltrão, M. R. de M., SILVA, E. M. dos S. S. da, & SILVA, R. A. da. (2024). **Experimentação como ferramenta pedagógica: contribuições para o ensino de ciências e matemática**. *Revista Ibero-Americana De Humanidades, Ciências E Educação*, 10(11), 01–17. <https://doi.org/10.51891/rease.v10i10.16409>

SILVA, Rafael. **Campo Magnético**. Prepara Enem, 2024. Disponível em: <https://www.preparaenem.com/fisica/campo-magnetico.htm> Acesso em: 19 jul. 2024.

SILVA, W. V.; DUARTE, M. O. **Ensino de Física e atividades experimentais em sala de aula: algumas considerações**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 2015.

VIEIRA, Daniel Elizeu et al.. **A carência de laboratórios e atividades experimentais no ensino de ciências e biologia: um relato de experiência**. Anais do X CONEDU... Campina Grande: Realize Editora, 2024. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/114852>>. Acesso em: 17/03/2025 16:55

## **Apêndices**

### **Apêndice A**

#### **Questionários aplicados nas aulas:**

##### **1ª aula**

##### **Início da aula:**

##### **Questionário 1:**

- 1 - O ímã desceu pelo tubo de cobre normalmente ou houve alguma alteração perceptível?
- 2 - O que causou essa alteração?
- 3 - O que gerou a corrente que acendeu a lâmpada?

##### **Final da aula:**

##### **Questionário 2:**

- 1 – O que causou o retardo no tempo de queda do ímã?
- 2 – O que causou o acendimento dos LEDs no experimento?

##### **2ª aula**

#### **Início das aulas, após revisão dos experimentos:**

##### **Questionário 3:**

- 1 - O que causou o retardo no tempo de queda do ímã?
- 2 - O que causou o acendimento dos LEDs no experimento?
- 3 - Qual a relação entre o experimento realizado na segunda aula e o princípio de conservação de energia?

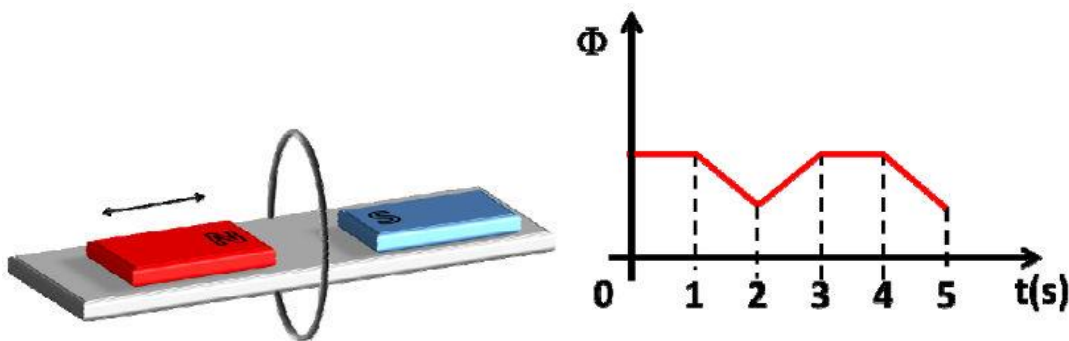
#### **Testes de Múltiplas escolhas ao final das aulas:**

- 1- De acordo com a lei de Faraday, a variação de um fluxo magnético através de um condutor é capaz de produzir:
  - a) resistência elétrica.
  - b) uma força eletromotriz induzida.
  - c) variação de temperatura.
  - d) dilatação térmica.

2 - A Costa Rica, em 2015, chegou muito próximo de gerar 100% de sua energia elétrica a partir de fontes renováveis, como a hídrica, a eólica e a geotérmica. A lei da Física que permite a construção de geradores que transformam outras formas de energia em energia elétrica é a Lei de Faraday, que pode ser mais bem definida pela seguinte declaração:

- a) Toda carga elétrica produz um campo elétrico com direção radial, cujo sentido independe do sinal dessa carga.
- b) Toda corrente elétrica, em um fio condutor, produz um campo magnético com direção radial ao fio.
- c) Uma carga elétrica, em repouso, imersa em um campo magnético sofre uma força centrípeta.
- d) A força eletromotriz induzida em uma espira é proporcional à taxa de variação do fluxo magnético em relação ao tempo gasto para realizar essa variação.
- e) Toda onda eletromagnética torna-se onda mecânica quando passa de um meio mais denso para um menos denso.

3 - Uma espira circular está imersa em um campo magnético criado por dois ímãs, conforme a figura abaixo. Um dos ímãs pode deslizar livremente sobre uma mesa, que não interfere no campo gerado. O gráfico da figura, a seguir, representa o fluxo magnético através da espira em função do tempo.



Fonte: Internet. Disponível em: <https://exercicios.brasilecola.uol.com.br/exercicios-fisica/exercicios-sobre-fluxo-magnetico-lei-faraday.htm>. Acesso em 19 de julho de 2024

O intervalo de tempo em que aparece na espira uma corrente elétrica induzida é de:

- a) De 0 a 1 s, somente.

- b) De 0 a 1 s e de 3 s a 4 s.
- c) De 1 s a 3 s e de 4 s a 5 s.
- d) De 1 s a 2 s e de 4 s a 5 s.
- e) De 2 s a 3 s, somente.

4- Em relação ao fenômeno de indução eletromagnética, assinale a alternativa incorreta.

- a) Quando aproximamos ou afastamos um ímã de uma bobina condutora, induzimos o surgimento de uma corrente elétrica.
- b) A força eletromotriz induzida é o nome dado ao potencial elétrico que é produzido pela indução eletromagnética.
- c) O fluxo de campo magnético através de uma espira induz o surgimento de uma corrente elétrica.
- d) A variação do fluxo de campo magnético induz a formação de correntes elétricas.
- e) A corrente elétrica induzida é proporcional à variação do fluxo magnético.

5- Assinale a alternativa que apresenta apenas dispositivos que funcionam por meio do fenômeno da indução eletromagnética.

- a) Transformadores, fornos de indução, panela elétrica.
- b) Geradores, ferro de passar, chuveiro elétrico.
- c) Televisão, rádio, lâmpada incandescente.
- d) Transformadores, detectores de metal, motores elétricos.
- e) Secador de cabelo, aspirador de pó, sanduicheira.

## Apêndice B

### Participação em Eventos da UFV

Entre os dias 22 e 25 de novembro de 2023, participamos presencialmente **do V Simpósio da Pós-Graduação em Física da UFV**, apresentando um pôster sobre a nossa dissertação.



## Apêndice C

# Produto Educacional

Prezado(a) Professor(a)

O presente produto educacional foi desenvolvido como parte das exigências do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, com o objetivo de promover uma aprendizagem significativa no ensino médio. Fundamentado nas teorias de David Ausubel, este trabalho busca integrar conceitos teóricos e práticos por meio de uma abordagem experimental que explora as Leis de Faraday e Lenz, associando-as ao princípio da conservação de energia.

A proposta parte do reconhecimento de que o ensino de Física enfrenta desafios significativos, como a abstração excessiva dos conteúdos e a desconexão com o cotidiano dos alunos. Nesse contexto, a experimentação se apresenta como uma ferramenta poderosa para superar tais barreiras, proporcionando aos estudantes a oportunidade de vivenciar e compreender fenômenos físicos de maneira concreta e interativa.

Este produto educacional inclui uma sequência didática estruturada em torno de dois experimentos principais. O primeiro demonstra a aplicação da Lei de Lenz por meio da redução da velocidade de queda de um ímã em um tubo de cobre, enquanto o segundo evidencia a Lei de Faraday ao transformar energia cinética em energia elétrica, gerando luz em LEDs conectados a uma bobina. Esses experimentos permitem que os alunos observem diretamente os fenômenos eletromagnéticos e os relacionem a tecnologias presentes em seu cotidiano, como geradores e motores elétricos.

Além de aprofundar a compreensão dos conceitos, a proposta incentiva o desenvolvimento de habilidades científicas, como a formulação de hipóteses, a análise de dados e a resolução de problemas. Ao conectar teoria e prática, este produto educacional visa não apenas facilitar o aprendizado das Leis de Faraday e Lenz, mas também despertar o interesse e o engajamento dos alunos pela Física, contribuindo para sua formação crítica e cidadã.

**Produto Educacional para a Conclusão do Curso de Mestrado da Universidade  
Federal de Viçosa - MG**

**A INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA E A CONSERVAÇÃO DA  
ENERGIA – UMA PROPOSTA DE TRABALHO PARA A LEI  
DE FARADAY E LENZ**



**AUTORES: PROF. Me. AMERICO CARLOS COELHO, PROF. Dr. VAGSON LUIZ  
DE CARVALHO SANTOS E PROF. Dr. EDUARDO NERY DUARTE DE ARAÚJO**

## **Aulas sobre Lei de Faraday e Lenz**

Nossa proposta de aula experimental tem como tema as Leis de Faraday e de Lenz. Nesse aspecto, os alunos participam diretamente em diversas etapas do experimento, o que gera um impacto positivo no processo de aprendizagem. A experimentação é fundamental para proporcionar uma compreensão mais profunda e concreta dos fenômenos, pois permite aos alunos observar diretamente o efeito das leis, ajudando-os a conectar teoria e prática de maneira significativa. Essas leis são essenciais para a compreensão de múltiplos fenômenos eletromagnéticos que fazem parte do nosso cotidiano. Enquanto a Lei de Faraday descreve como a variação do campo magnético gera corrente elétrica, a Lei de Lenz determina a direção dessa corrente induzida, sempre no sentido de se opor à mudança que a originou.

A realização de experimentos não apenas reforça esses conceitos, mas também permite aos alunos relacioná-los a aplicações reais, como o funcionamento de transformadores, geradores e motores elétricos, que são responsáveis por grande parte da energia que utilizamos. A aplicação dessas leis não apenas impulsionou o avanço tecnológico, mas também permitiu inovações no setor industrial, nos sistemas de transporte e até em dispositivos médicos. Por isso, compreender esses princípios por meio da experimentação é essencial para entender as tecnologias que impactam diretamente a nossa vida diária e para desenvolver uma visão mais crítica e científica sobre os fenômenos eletromagnéticos.

### **Objetivos das aulas:**

- Observar e interpretar experimentos físicos
- Compreender a Lei de Faraday
- Compreender a Lei de Lenz
- Compreender onde as leis de Faraday e Lenz estão presentes nos fenômenos e tecnologias do cotidiano

### **Conceitos ou noções prévias necessárias:**

- Campo Magnético
- Linhas de Campo Magnético
- Propriedades dos ímãs

- Campo Magnético gerado por corrente elétrica
- Campo Magnético gerado por espira
- Força Magnética

## Os experimentos



Figura 1 – Experimentos prontos para as aulas. Fonte: o autor

O projeto consiste na realização de dois experimentos distintos. O primeiro experimento tem como objetivo demonstrar a aplicação da Lei de Lenz por meio da redução da velocidade de queda de um ímã em um tubo de cobre. Os detalhes dos equipamentos utilizados neste experimento são apresentados a seguir:

a) Tubo de cobre: possuindo 82,5 cm de comprimento e 2,7 cm de diâmetro interno, foi selecionado devido às suas propriedades de alta condutividade elétrica e ausência de características ferromagnéticas. Essa escolha é essencial para evidenciar os fenômenos eletromagnéticos associados à Lei de Lenz. Ressalta-se que o tubo de cobre pode ser substituído por outro material condutor que compartilhe essas mesmas propriedades, como, por exemplo, o alumínio.



Figura 2 – Tubo de cobre. Fonte: o autor

b) Tubo de acrílico: com 50 cm de comprimento, 2,3 cm de diâmetro interno e 2,5 cm de diâmetro externo, foi utilizado como referência não condutora. A escolha do acrílico permite comparar o comportamento do ímã em um meio isolante, sem a indução de correntes elétricas, destacando, assim, os efeitos exclusivos da condução em materiais como o cobre.



Figura 3 – Tubo de acrílico. Fonte: o autor

c) Ímã de neodímio: em formato cilíndrico, com dimensões de 20 mm de diâmetro na base e 20 mm de comprimento. Este ímã foi adquirido em lojas virtuais especializadas e pode ser substituído por outro, desde que possua dimensões compatíveis com os diâmetros internos do tubo de cobre e do tubo de acrílico, de forma a permitir sua descida livre.

Características do ímã utilizado:

Campo magnético a 0 mm: 5410 gauss

Campo magnético a 2 mm: 4320 gauss

Campo magnético a 5 mm: 2910 gauss

Massa: 47,1 g

Modelo: N35 – 20 mm x 20 mm



Figura 4 – Ímã de neodímio. Fonte: o autor

O segundo experimento consiste na utilização de um plano inclinado como suporte para um tubo de acrílico, ao qual é acoplada uma bobina de cobre conectada a LEDs coloridos. Quando o ímã é abandonado dentro do tubo de acrílico, sua passagem pela bobina induz uma corrente elétrica, resultando no acionamento dos LEDs. Este experimento evidencia aplicação prática da Lei de Faraday. A configuração completa do arranjo está ilustrada na Figura 1. Os detalhes técnicos do segundo experimento estão descritos a seguir:

a) Plano inclinado: confeccionado em madeira, sem o uso de pregos para evitar interferências no movimento do ímã. O plano possui a forma de um triângulo retângulo com catetos de 37,5 cm e hipotenusa de 53 cm, apresentando uma inclinação de 45° em relação à base de sustentação. Na hipotenusa foi adaptada uma peça adicional de madeira como suporte para o tubo de acrílico, permitindo a fixação da bobina de cobre com um espaço reservado, conforme ilustrado nas Figuras 5 e 6.



Figura 5 – Plano inclinado de madeira. Fonte: o autor



Figura 6 – Plano inclinado de madeira em outro ângulo. Fonte: o autor

b) Tubo de acrílico: com 50 cm de comprimento, 2,3 cm de diâmetro interno e 2,5 cm de diâmetro externo, foi utilizado como canal de passagem do ímã. O acrílico foi escolhido devido à sua natureza não ferromagnética, transparência (facilitando a visualização e a análise com o software *Tracker*, citado adiante neste trabalho), e ao seu custo relativamente acessível. Ressalta-se que este tubo é o mesmo utilizado no primeiro experimento.

c) Ímã de neodímio: em formato cilíndrico, com dimensões de 20 mm de diâmetro na base e 20 mm de comprimento. As características técnicas e imagem deste ímã estão detalhadas na descrição do primeiro experimento e o ímã é ilustrado na figura 4.

d) Bobina de cobre: No contexto deste trabalho, a bobina utilizada foi confeccionada com aproximadamente 1500 voltas de fio de cobre esmaltado 23 AWG, um fator

determinante para os resultados obtidos nos experimentos. O número de voltas de uma bobina desempenha um papel crucial na indução eletromagnética, pois está diretamente relacionado à magnitude da força eletromotriz (fem) induzida, conforme estabelecido pela Lei de Faraday. De acordo com essa lei, a fem induzida em uma bobina é proporcional à taxa de variação do fluxo magnético através dela e ao número de voltas da bobina. Assim, um maior número de voltas amplifica o efeito da indução, permitindo que pequenas variações no fluxo magnético resultem em sinais elétricos mais intensos e mensuráveis. Essa característica foi essencial para a análise dos fenômenos estudados, garantindo a sensibilidade necessária para observar os efeitos previstos pela teoria. Além disso, a presença desse número de voltas na bobina aumentou significativamente a resistência magnética ao movimento do ímã através dela, permitindo uma demonstração mais clara e visível do efeito de desaceleração induzido pela Lei de Lenz. O suporte da bobina foi produzido utilizando uma impressora 3D, com 2,6 cm de diâmetro, dimensionado para que o tubo de acrílico passe no centro da mesma, conforme ilustrado na Figura 7. Como alternativa, caso não haja acesso a uma impressora 3D, pode-se utilizar um rolo vazio de esparadrapo, desde que o diâmetro interno seja compatível com o diâmetro externo do tubo de acrílico e com a estrutura do plano inclinado, conforme mostrado na Figura 8. Outro detalhe importante da bobina é que ela deve ter a espessura certa para fazer o encaixe no plano inclinado, ao ser acoplada no tubo de acrílico, conforme espaço ilustrado nas figuras 5 e 6.



Figura 7 – Bobina de cobre feita com suporte fabricado na impressora 3D. Fonte: o autor



Figura 8 – Bobina de Cobre feita com rolo de esparadrapo. Fonte: o autor

e) LEDs: dois LEDs difusos de 5 mm foram utilizados neste experimento. Eles foram conectados a uma placa Arduíno por meio de conectores específicos, que permitiram a integração com a bobina acoplada ao plano inclinado. Essa configuração possibilitou a conversão da corrente elétrica induzida em um sinal luminoso, conforme ilustrado na Figura 9.

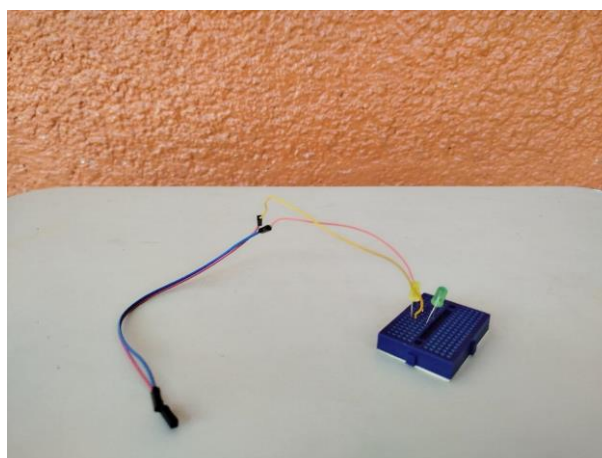


Figura 9 – Leds com o respectivo suporte. Fonte: o autor

f) Tracker: Para ambos os experimentos, foi utilizado um computador com o programa *Tracker* instalado, versão 6.2.0. As filmagens foram realizadas com dois aparelhos celulares: um iPhone 14 Pro e um Redmi 13 Xiaomi. Como os experimentos foram repetidos diversas vezes para coleta de dados, os modelos de celulares foram alternados durante as gravações. Após a captura dos vídeos, os arquivos foram transferidos para o *Tracker*, permitindo a análise de dados como velocidade e tempo de deslocamento do ímã no plano inclinado. Um tutorial da análise dos dados do movimento do ímã está disponível na página deste produto educacional, no endereço eletrônico <https://sites.google.com/view/americocoelho-fisica>.

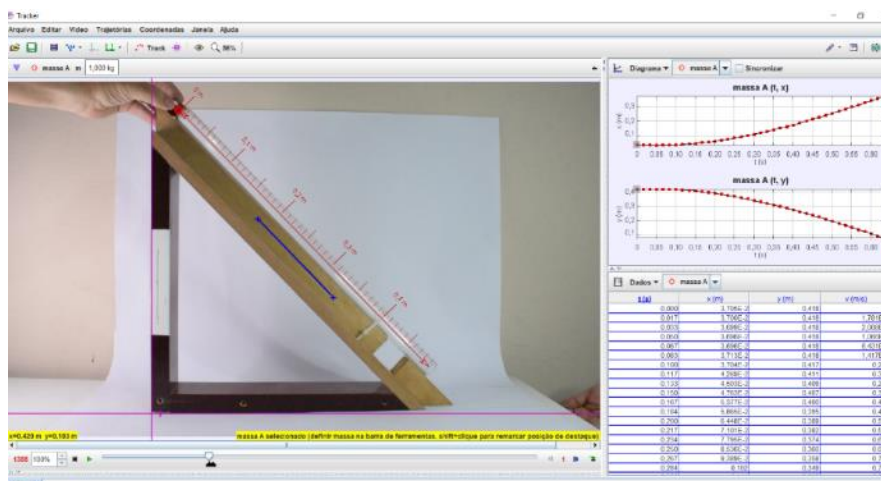


Figura 10 – Tela do Tracker. Fonte: o autor

## Plano de Aula

O plano de aula foi elaborado em conformidade com as exigências atuais do CBC, Currículo Básico Comum, na data de sua confecção, mencionando inclusive as competências e habilidades envolvidas na aula, conforme planejamento relatado a seguir:

### Planejamento – Aulas – Lei de Faraday e Lenz

**Professor: Americo Carlos Coelho**

**Turma: 3º ano**

#### Competências específicas:

**COMPETÊNCIA ESPECÍFICA 1** - Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e/ou global.

**COMPETÊNCIA ESPECÍFICA 2** - Construir e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar decisões éticas e responsáveis.

COMPETÊNCIA ESPECÍFICA 3 - Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC)

**Habilidades:**

(EM13CNT101) - Analisar e representar as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões em situações cotidianas e processos produtivos que priorizem o uso racional dos recursos naturais

(EM13CNT106) - Avaliar tecnologias e possíveis soluções para as demandas que envolvem a geração, o transporte, a distribuição e o consumo de energia elétrica, considerando a disponibilidade de recursos, a eficiência energética, a relação custo/benefício, as características geográficas e ambientais, a produção de resíduos e os impactos socioambientais

(EM13CNT204) - Elaborar explicações e previsões a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais.

(EM13CNT205) - Utilizar noções de probabilidade e incerteza para interpretar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, reconhecendo os limites explicativos das ciências.

(EM13CNT301) - Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica

(EM13CNT302) - Comunicar, para públicos variados, em diversos contextos, resultados de análises, pesquisas e/ou experimentos – interpretando gráficos, tabelas, símbolos, códigos, sistemas de classificação e equações, elaborando textos e utilizando diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação

(TDIC) –, de modo a promover debates em torno de temas científicos e/ou tecnológicos de relevância sociocultural

(EM13CNT307) - Analisar as propriedades específicas dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas, arquitetônicas ou tecnológicas) e/ou propor soluções seguras e sustentáveis.

(EM13CNT308) - Analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos, redes de informática e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas e avaliar seus impactos.

**Número de aulas: 3 a 4 aulas (dependendo do rendimento da turma)**

## **1º Momento – (2 aulas)**

**Objetivo da aula:** Demonstrar as Leis de Faraday e Lenz

### **Desenvolvimento:**

**1 - Demonstração da experiência de Oersted:** Será utilizado um arranjo experimental simples ou, alternativamente, um vídeo ilustrativo (Figura 13) para demonstrar o fenômeno observado por Oersted. O objetivo é evidenciar que uma corrente elétrica gera um campo magnético ao redor do fio condutor. Essa demonstração busca proporcionar aos alunos uma compreensão inicial de como um campo magnético pode influenciar outro campo magnético, estabelecendo a conexão entre eletricidade e magnetismo.



Figura 11 – Vídeo demonstrando o experimento de Oersted. Fonte: Internet. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Qh4bzd5asgU> Acesso em 19 de julho de 2024

**2 - Experimento com a bobina e os LEDs:** Nesta etapa, o ímã é colocado para descer pelo plano inclinado, passando através do tubo de acrílico equipado com a bobina e os LEDs conectados. Durante o experimento, observa-se o acendimento dos LEDs, e os alunos são questionados sobre o fenômeno observado. Este questionamento visa promover a reflexão sobre os princípios físicos envolvidos e a geração de corrente elétrica na bobina.

**3 - Comparação entre os tubos de acrílico e de cobre:** A próxima etapa utiliza dois tubos: um de acrílico e outro de cobre. Inicialmente, o ímã é solto no interior do tubo de acrílico, permitindo que os alunos observem o comportamento do ímã durante a queda. Em seguida, repete-se o procedimento utilizando o tubo de cobre. Nota-se, neste caso, um aumento no tempo de queda do ímã, fenômeno descrito como "atraso". Os alunos são estimulados a discutir e registrar hipóteses sobre as causas desse comportamento.

**4 – Questionário 1:** Antes de apresentar formalmente as Leis de Lenz e Faraday, é possível explorar questionamentos iniciais que sirvam como ponto de partida para a reflexão e comparação de resultados ao final do processo de ensino. Esses questionamentos, que constam no apêndice deste trabalho, têm como objetivo ativar os conhecimentos prévios dos alunos e fomentar a curiosidade sobre os fenômenos observados nos experimentos, estabelecendo uma base para a compreensão teórica. Aqui serão respondidas as perguntas do primeiro questionário. São elas:

*1 - O ímã desceu pelo tubo de cobre normalmente ou houve alguma alteração perceptível?*

*2 - O que causou essa alteração?*

*3 - O que gerou a corrente que acendeu a lâmpada?*

**5 – Apresentação de Slides da 1ª aula:** Recolhidos os questionários, na sequência, as Leis de Lenz e Faraday são introduzidas por meio de uma abordagem expositiva e interativa, utilizando os slides preparados para a aula, que constam no produto educacional deste trabalho e também no endereço eletrônico <https://sites.google.com/view/americocoelho-fisica>. A apresentação deve destacar os fundamentos teóricos de cada lei, ilustrando a relação entre o movimento do ímã, a variação do fluxo magnético e a indução de corrente elétrica. Este momento da aula

tem como foco conectar os conceitos teóricos às observações empíricas realizadas anteriormente, consolidando o entendimento dos alunos sobre os princípios da indução eletromagnética.

Dado o caráter simples e seguro do experimento, é recomendável que os alunos sejam incentivados a participar ativamente, manuseando o equipamento sob orientação. Essa abordagem proporciona uma experiência prática enriquecedora, alinhada à busca pelo aprendizado.

A execução de experimentos pelos próprios alunos permite não apenas a observação e reprodução de fenômenos físicos, mas também o desenvolvimento de competências fundamentais associadas ao método científico. Entre essas competências, destacam-se a formulação de hipóteses, o planejamento de etapas experimentais, a coleta sistemática de dados e a análise crítica necessária para a construção de conclusões fundamentadas.

Esse envolvimento direto é essencial para promover habilidades científicas que extrapolam o aprendizado teórico, contribuindo para a formação de um pensamento investigativo e analítico. Além disso, a experimentação exerce um papel indispensável na complementação e validação do conhecimento teórico, permitindo aos alunos uma compreensão mais profunda dos conceitos físicos abordados.

**VI – Questionário 2:** Após a apresentação dos slides, os alunos novamente respondem a outro questionário. Apesar das questões parecerem idênticas às anteriores, a intenção é avaliar a compreensão dos alunos dos conceitos apresentados nos slides e comparar com o questionário respondido anteriormente. As respostas são coletadas ao final da aula, sem que os estudantes tenham acesso ao material apresentado nos slides, que explicavam formalmente as Leis de Faraday e Lenz e suas aplicações. As perguntas são as seguintes:

*1 – O que causou o retardo no tempo de queda do ímã?*

*2 – O que causou o acendimento dos LEDs no experimento?*

Encerramos aqui o primeiro momento do projeto.

## **2º Momento – (1 a 2 aulas)**

### **Objetivo da aula:**

Reforçar as Leis de Faraday e Lenz e associar a conservação de energia aos conceitos trabalhados.

### **Desenvolvimento:**

**1 - Repetição dos Experimentos:** Após a introdução e compreensão das Leis de Lenz e Faraday, realizadas através dos slides nas primeiras aulas do projeto, o experimento é repetido com o uso de instrumentos adicionais, incluindo o software Tracker, o tubo de acrílico, a bobina e os LEDs. Inicialmente, o ímã é abandonado pelo tubo de acrílico sem a bobina, permitindo uma observação direta de sua velocidade de queda. Em seguida, o ímã é solto no tubo contendo a bobina. A diferença nas velocidades de queda com e sem a bobina não é perceptível a olho nu. Continuando, para evidenciar a Lei de Faraday, os LEDs são conectados à bobina, e o ímã é abandonado novamente pelo plano inclinado. Este procedimento é repetido diversas vezes, alternando a orientação do ímã: com o polo norte voltado para baixo e com o polo sul voltado para baixo. Observa-se que, ao soltar o ímã com o polo norte para baixo, os LEDs acendem em uma sequência específica. Quando a orientação é invertida, com o polo sul para baixo, a sequência de acendimento dos LEDs é alterada. Nesse ponto, conduzimos a aula de modo que os alunos compreendam que o acendimento dos LEDs indica a geração de uma corrente elétrica, aplicando a Lei de Faraday ao fenômeno observado, mostrando que o sentido da corrente se inverte ao inverter os polos do ímã durante o movimento.

**2 – Questionário 3:** Antes de apresentar os detalhes da velocidade do ímã pelo plano inclinado com e sem a bobina, faz-se aqui outro questionamento com o objetivo principal de explorar o conceito de conservação de energia, abordado explicitamente em uma das perguntas. Além disso, os temas das Leis de Faraday e Lenz são novamente inseridos nos questionamentos para avaliar a retenção e compreensão do conteúdo trabalhados anteriormente. A estratégia consiste em repetir algumas perguntas sem prévio aviso aos alunos, avaliando se houve assimilação do conteúdo

e se as respostas não são meras reproduções automáticas do que havia sido discutido. As questões são as seguintes:

*1 - O que causou o retardo no tempo de queda do ímã?*

*2 - O que causou o acendimento dos LEDs no experimento?*

*3 - Qual a relação entre o experimento realizado na segunda aula e o princípio de conservação de energia?*

**3 – Apresentação de Slides:** Após o questionário, usamos os gráficos já previamente construídos dos movimentos do ímã sem e com a bobina, analisados no Tracker, **para mostrar ao aluno essa diferença de velocidade no movimento do ímã na ausência e na presença da bobina**, através dos slides da 2ª aula, que constam ao final desse trabalho. Essa diferença de velocidade é relacionada para os alunos com a redução da energia cinética do ímã, através dos slides. A discussão é expandida para incluir o conceito de transformação de energia. É enfatizado que a energia elétrica gerada no sistema é derivada da energia mecânica do ímã em movimento, conforme o princípio da conservação de energia. Dessa forma, destacamos que a energia não pode surgir espontaneamente, mas é transformada e redistribuída no sistema, conectando o experimento às aplicações práticas, como a geração de energia elétrica.

**4 – Questões de Múltiplas Escolhas:** Ao término da aula, considerando que esta é destinada a estudantes do 3º ano do ensino médio, são apresentadas questões de múltipla escolha. O objetivo dessas questões é avaliar a assimilação dos conteúdos abordados, bem como sua adaptação ao formato característico dessa etapa escolar. Após as correções dessas questões, encerra-se o segundo momento do projeto. Tais questões são:

1- De acordo com a lei de Faraday, a variação de um fluxo magnético através de um condutor é capaz de produzir:

- a) resistência elétrica.
- b) uma força eletromotriz induzida.
- c) variação de temperatura.

d) dilatação térmica.

2 - A Costa Rica, em 2015, chegou muito próximo de gerar 100% de sua energia elétrica a partir de fontes renováveis, como a hídrica, a eólica e a geotérmica. A lei da Física que permite a construção de geradores que transformam outras formas de energia em energia elétrica é a Lei de Faraday, que pode ser mais bem definida pela seguinte declaração:

- a) Toda carga elétrica produz um campo elétrico com direção radial, cujo sentido independe do sinal dessa carga.
- b) Toda corrente elétrica, em um fio condutor, produz um campo magnético com direção radial ao fio.
- c) Uma carga elétrica, em repouso, imersa em um campo magnético sofre uma força centrípeta.
- d) A força eletromotriz induzida em uma espira é proporcional à taxa de variação do fluxo magnético em relação ao tempo gasto para realizar essa variação.
- e) Toda onda eletromagnética torna-se onda mecânica quando passa de um meio mais denso para um menos denso.

3 - Uma espira circular está imersa em um campo magnético criado por dois ímãs, conforme a figura abaixo. Um dos ímãs pode deslizar livremente sobre uma mesa, que não interfere no campo gerado. O gráfico da figura, a seguir, representa o fluxo magnético através da espira em função do tempo.

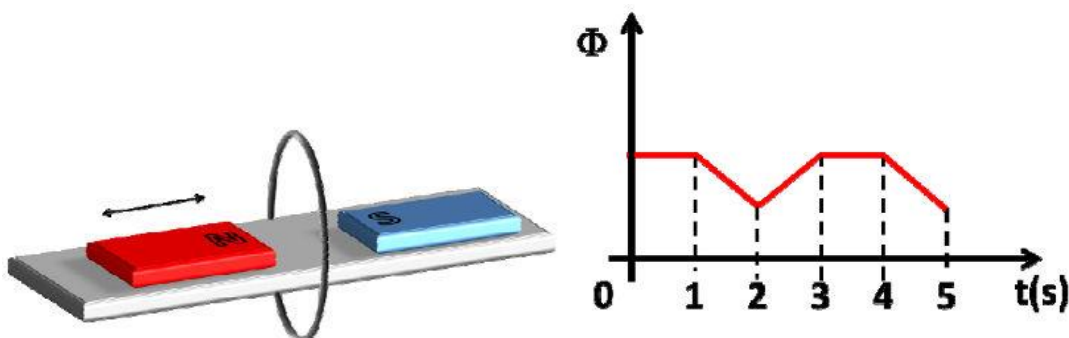


Figura 12 – ilustração da questão 3. Fonte: Internet. Disponível em:

<https://exercicios.brasilecola.uol.com.br/exercicios-fisica/exercicios-sobre-fluxo-magnetico-lei-faraday.htm>. Acesso em 19 de julho de 2024

O intervalo de tempo em que aparece na espira uma corrente elétrica induzida é de:

- a) De 0 a 1 s, somente.
- b) De 0 a 1 s e de 3 s a 4 s.
- c) De 1 s a 3 s e de 4 s a 5 s.
- d) De 1 s a 2 s e de 4 s a 5 s.
- e) De 2 s a 3 s, somente.

4- Em relação ao fenômeno de indução eletromagnética, assinale a alternativa incorreta.

- a) Quando aproximamos ou afastamos um ímã de uma bobina condutora, induzimos o surgimento de uma corrente elétrica.
- b) A força eletromotriz induzida é o nome dado ao potencial elétrico que é produzido pela indução eletromagnética.
- c) O fluxo de campo magnético através de uma espira induz o surgimento de uma corrente elétrica.
- d) A variação do fluxo de campo magnético induz a formação de correntes elétricas.
- e) A corrente elétrica induzida é proporcional à variação do fluxo magnético.

5- Assinale a alternativa que apresenta apenas dispositivos que funcionam por meio do fenômeno da indução eletromagnética.

- a) Transformadores, fornos de indução, panela elétrica.
- b) Geradores, ferro de passar, chuveiro elétrico.
- c) Televisão, rádio, lâmpada incandescente.
- d) Transformadores, detectores de metal, motores elétricos.
- e) Secador de cabelo, aspirador de pó, sanduicheira.

### **Observação:**

**Conseguimos demonstrar que o experimento é válido para as Leis de Faraday e Lenz, através dos seguintes resultados e dados, obtidos pelo autor, que estão mais completos na dissertação produzida:**

A figura 13 mostra um gráfico da velocidade em função do tempo do movimento do ímã sem a bobina, construído através dos dados da tabela 1.

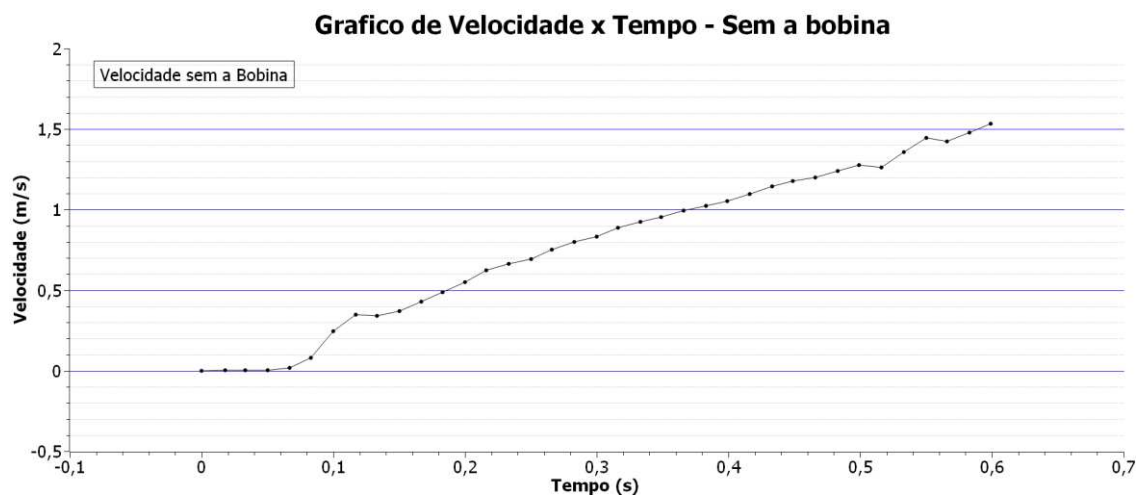


Figura 13 – Gráfico da velocidade x tempo do ímã sem a bobina. Fonte: Scidavis

Exp. 1		Exp. 2		Exp. 3		Exp. 4		Média	
t	V	t	v	t	v	t	v	t	v
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,017	0,005	0,019	0,001	0,017	0,001	0,017	0,001	0,018	0,002
0,033	0,009	0,033	0,001	0,033	0,002	0,033	0,005	0,033	0,004
0,050	0,002	0,050	0,002	0,050	0,000	0,050	0,004	0,050	0,002
0,067	0,006	0,067	0,010	0,067	0,002	0,067	0,053	0,067	0,018
0,083	0,026	0,083	0,021	0,083	0,021	0,083	0,253	0,083	0,080
0,100	0,236	0,100	0,112	0,100	0,232	0,100	0,408	0,100	0,247
0,117	0,429	0,117	0,260	0,116	0,356	0,116	0,342	0,117	0,347
0,133	0,395	0,133	0,348	0,133	0,310	0,133	0,303	0,133	0,339
0,150	0,383	0,150	0,347	0,150	0,347	0,150	0,405	0,150	0,371
0,167	0,431	0,166	0,366	0,166	0,406	0,167	0,510	0,167	0,428
0,183	0,518	0,183	0,424	0,183	0,443	0,183	0,562	0,183	0,487
0,200	0,585	0,200	0,482	0,200	0,510	0,200	0,619	0,200	0,549
0,216	0,638	0,217	0,576	0,216	0,591	0,216	0,686	0,216	0,623
0,233	0,670	0,233	0,638	0,233	0,630	0,233	0,710	0,233	0,662
0,250	0,714	0,250	0,638	0,250	0,684	0,250	0,734	0,250	0,693
0,266	0,766	0,266	0,723	0,266	0,736	0,266	0,781	0,266	0,752
0,283	0,808	0,283	0,790	0,283	0,783	0,283	0,812	0,283	0,798
0,300	0,846	0,299	0,797	0,300	0,837	0,300	0,852	0,300	0,833
0,316	0,882	0,316	0,845	0,316	0,906	0,316	0,911	0,316	0,886
0,333	0,929	0,333	0,880	0,333	0,945	0,333	0,937	0,333	0,923

0,349	0,967	0,349	0,933	0,350	0,966	0,349	0,949	0,349	0,954
0,366	0,985	0,366	1,009	0,366	1,005	0,366	0,978	0,366	0,994
0,383	1,011	0,383	1,024	0,383	1,042	0,383	1,011	0,383	1,022
0,400	1,056	0,399	1,032	0,399	1,072	0,399	1,057	0,399	1,054
0,416	1,090	0,416	1,068	0,416	1,113	0,416	1,113	0,416	1,096
0,433	1,114	0,433	1,136	0,433	1,174	0,433	1,158	0,433	1,146
0,449	1,130	0,449	1,202	0,449	1,212	0,449	1,158	0,449	1,176
0,466	1,189	0,466	1,230	0,466	1,230	0,466	1,154	0,466	1,201
0,483	1,247	0,483	1,241	0,483	1,291	0,483	1,186	0,483	1,241
0,499	1,268	0,499	1,279	0,499	1,354	0,499	1,206	0,499	1,277
0,516	1,205	0,516	1,332	0,516	1,252	0,516	1,256	0,516	1,261
0,533	1,280	0,533	1,410	0,533	1,430	0,533	1,308	0,533	1,357
0,550	1,410	0,549	1,422	0,549	1,607	0,550	1,337	0,550	1,444
0,566	1,384	0,566	1,418	0,566	1,529	0,566	1,370	0,566	1,425
0,583	1,452	0,583	1,467	0,583	1,594	0,583	1,408	0,583	1,480
0,599	1,581	0,599	1,530			0,599	1,495	0,599	1,535

Tabela 1 – Dados do experimento do movimento do ímã sem a bobina Fonte: o autor

Os dados analisados foram obtidos pelo autor por meio de múltiplas repetições do movimento de um ímã em um tubo de acrílico sem a presença da bobina feitos anteriormente a aula. Essas repetições foram examinadas utilizando o software Tracker, com o objetivo de determinar as grandezas físicas de tempo e velocidade associadas ao movimento do ímã. Contudo, nem todas as tentativas forneceram registros suficientemente claros para análise. Durante a execução do experimento, algumas filmagens apresentaram trechos pouco nítidos, mesmo com o uso de equipamentos dotados de câmeras de alta qualidade. Nas repetições em que os dados foram capturados com maior clareza, foi possível registrar com precisão o tempo de descida e a velocidade do ímã ao longo do percurso. As repetições mais consistentes e com maior qualidade de dados foram selecionadas para fundamentar a análise, inseridas na tabela 1. A partir destas, calculou-se a média dos valores de tempo e velocidade (tabela 1), os quais foram utilizados na construção do gráfico da velocidade em função do tempo, ilustrado na Figura 13. Nesse gráfico,  $t$  representa o tempo e  $v$  a velocidade do ímã ao longo de seu trajeto. Todas as medições realizadas estão expressas em unidades do Sistema Internacional (SI), em que o tempo é medido em segundos (s) e a velocidade em metros por segundo (m/s).

Posteriormente, a bobina é acoplada ao tubo de acrílico, e o experimento é repetido, com a realização de diversas filmagens. Essas novas filmagens são analisadas novamente utilizando o software Tracker, permitindo a obtenção de novos dados, apresentados na Tabela 2, os quais se diferenciam dos resultados anteriores. A partir destas medições, é elaborado um novo gráfico representando a velocidade em função do tempo, conforme ilustrado na figura 14. Nos dados obtidos pelo autor, observou-se uma diferença sutil, porém evidente, na velocidade do ímã. A velocidade média ao final do percurso, na presença da bobina, apresentou um valor em torno de 1,2 m/s, enquanto anteriormente, no movimento do ímã sem a bobina, esse valor aproximava-se de 1,6 m/s, resultando em uma redução média de 0,4 m/s.

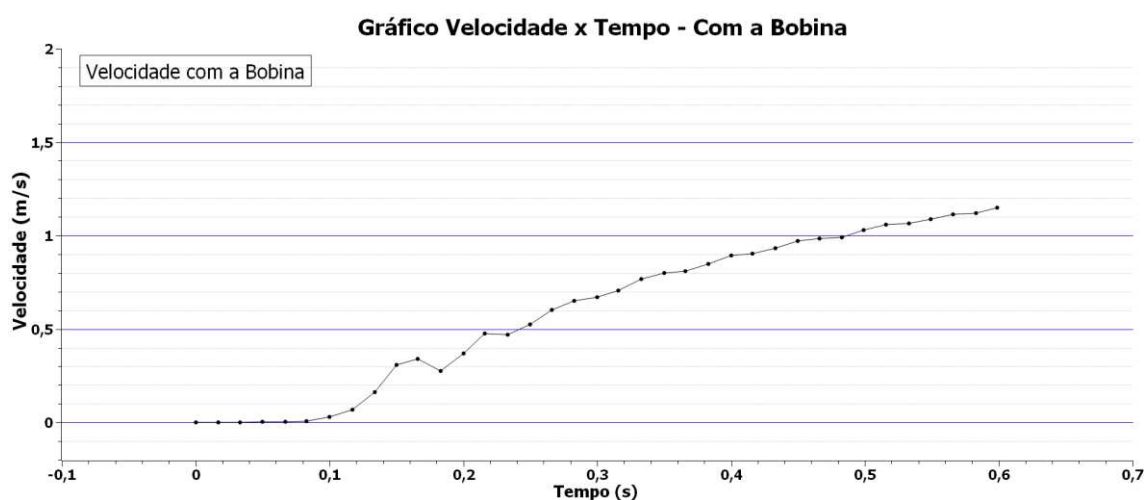


Figura 14 – Gráfico da velocidade x tempo do ímã com a bobina. Fonte: o autor

O gráfico da figura 14 apresentado foi elaborado com base em dados obtidos nos mesmos moldes do gráfico anterior. Foram realizadas múltiplas repetições, das quais quatro foram selecionadas utilizando os mesmos critérios de nitidez e clareza empregados na seleção anterior. Essas repetições permitiram o cálculo da velocidade média do ímã ao final do percurso, resultando nos valores apresentados no gráfico da figura 14. Nesse gráfico,  $t$  representa o tempo de duração da descida do ímã, enquanto  $v$  corresponde à velocidade ao término do trajeto. Todas as medições estão expressas em unidades do Sistema Internacional (SI), com o tempo em segundos (s) e a velocidade em metros por segundo (m/s).

Exp. 1		Exp. 2		Exp. 3		Exp. 4		Média	
t	V	t	v	t	v	t	v	t	v
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,017	0,000	0,017	0,000	0,017	0,004	0,017	0,000	0,017	0,001
0,033	0,000	0,033	0,001	0,033	0,001	0,033	0,000	0,033	0,001
0,050	0,005	0,050	0,001	0,050	0,001	0,050	0,005	0,050	0,003
0,067	0,005	0,067	0,000	0,067	0,001	0,067	0,005	0,067	0,003
0,083	0,001	0,083	0,019	0,083	0,009	0,083	0,001	0,083	0,008
0,100	0,004	0,100	0,095	0,100	0,021	0,100	0,004	0,100	0,031
0,117	0,036	0,116	0,163	0,117	0,044	0,117	0,036	0,117	0,070
0,134	0,124	0,133	0,282	0,133	0,121	0,134	0,124	0,134	0,163
0,150	0,307	0,150	0,288	0,150	0,334	0,150	0,307	0,150	0,309
0,166	0,332	0,167	0,336	0,166	0,354	0,166	0,332	0,166	0,339
0,183	0,156	0,183	0,437	0,183	0,359	0,183	0,156	0,183	0,277
0,200	0,318	0,200	0,423	0,200	0,414	0,200	0,318	0,200	0,368
0,216	0,493	0,216	0,500	0,216	0,422	0,216	0,493	0,216	0,477
0,233	0,406	0,233	0,543	0,233	0,529	0,233	0,406	0,233	0,471
0,250	0,473	0,250	0,596	0,250	0,552	0,250	0,473	0,250	0,524
0,266	0,580	0,266	0,633	0,266	0,618	0,266	0,580	0,266	0,603
0,283	0,628	0,283	0,664	0,283	0,689	0,283	0,628	0,283	0,652
0,299	0,636	0,300	0,711	0,300	0,694	0,299	0,636	0,300	0,669
0,316	0,666	0,316	0,742	0,316	0,745	0,316	0,666	0,316	0,705
0,333	0,743	0,333	0,799	0,333	0,780	0,333	0,743	0,333	0,766
0,350	0,789	0,350	0,825	0,350	0,797	0,350	0,789	0,350	0,800
0,366	0,783	0,366	0,847	0,366	0,827	0,366	0,783	0,366	0,810
0,383	0,821	0,383	0,887	0,383	0,867	0,383	0,821	0,383	0,849
0,400	0,869	0,399	0,923	0,400	0,905	0,400	0,869	0,400	0,892
0,416	0,890	0,416	0,939	0,416	0,896	0,416	0,890	0,416	0,904
0,433	0,922	0,433	0,961	0,433	0,926	0,433	0,922	0,433	0,933
0,450	0,966	0,449	1,003	0,449	0,948	0,450	0,966	0,450	0,971
0,466	0,992	0,466	1,018	0,466	0,938	0,466	0,992	0,466	0,985
0,483	0,987	0,483	1,014	0,483	0,979	0,483	0,987	0,483	0,992

0,499	1,024	0,499	1,033	0,499	1,037	0,499	1,024	0,499	1,030
0,516	1,062	0,516	1,075	0,516	1,040	0,516	1,062	0,516	1,060
0,533	1,057	0,533	1,099	0,533	1,042	0,533	1,057	0,533	1,064
0,549	1,075	0,549	1,118	0,549	1,086	0,549	1,075	0,549	1,089
0,566	1,102	0,566	1,150	0,566	1,095	0,566	1,102	0,566	1,112
0,582	1,123	0,583	1,133	0,583	1,104	0,582	1,123	0,583	1,121
0,599	1,151	0,599	1,161	0,599	1,137	0,599	1,151	0,599	1,150

Tabela 2 – Dados do experimento do movimento do ímã com a bobina Fonte: o autor

A comparação dos resultados obtidos nos gráficos das figuras 13 e 14 pode ser aprimorada por meio de um gráfico combinado, no qual as curvas são representadas no mesmo plano cartesiano. Essa abordagem permite evidenciar, de forma clara e definitiva, a diferença nas velocidades observadas nos movimentos do ímã através do tubo de acrílico, com e sem a presença da bobina.

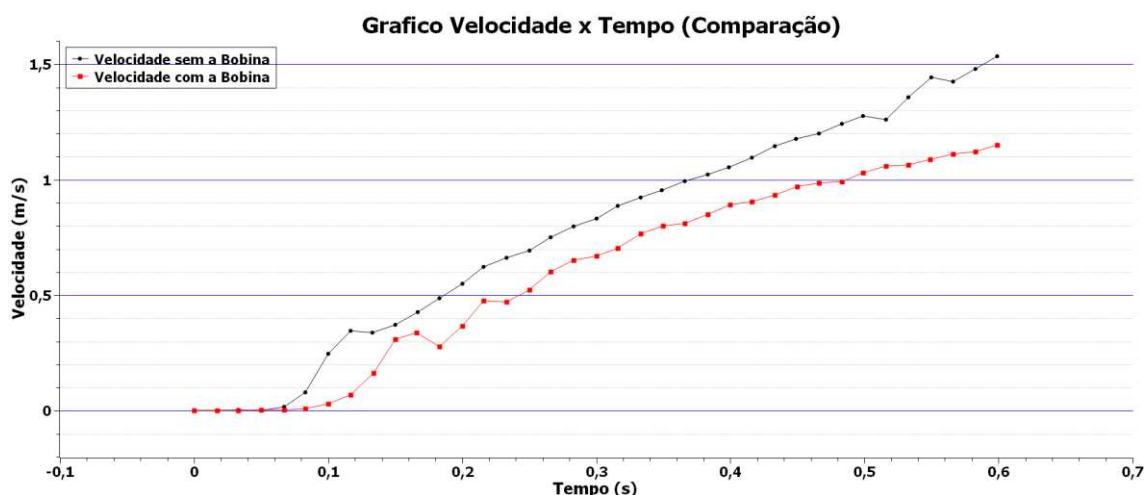


Figura 15 – Gráfico dos movimentos do ímã nas situações sem e com a bobina. Fonte: o autor

Considerando que o atrito permanece constante em ambas situações analisadas, observa-se que uma força adicional é responsável pela frenagem do ímã. A análise comparativa dos dados apresentados no gráfico da figura 15 revela uma diferença clara nas velocidades, corroborando a validade do experimento para a abordagem das Leis de Faraday e Lenz, conforme planejado. A presença da bobina torna evidente a aplicação da Lei de Lenz, que estabelece que o polo induzido na bobina gera um campo magnético oposto ao movimento do ímã, atuando como um

"freio". Essa força de repulsão entre os polos resulta em uma leve desaceleração do ímã, cuja detecção depende da análise comparativa dos dados.

### **Avaliação:**

A avaliação do aprendizado pode ser realizada por meio da observação das discussões entre os alunos, focando na evolução de suas ideias ao longo das aulas. A comparação entre as respostas e hipóteses levantadas durante as atividades iniciais, na primeira aula, e as conclusões elaboradas após a segunda aula, através da observação e análise das respostas aos questionários, permitirá ao professor identificar indícios de compreensão e assimilação dos conceitos abordados. Nada impede que o professor utilize outras formas de avaliação previamente planejadas.

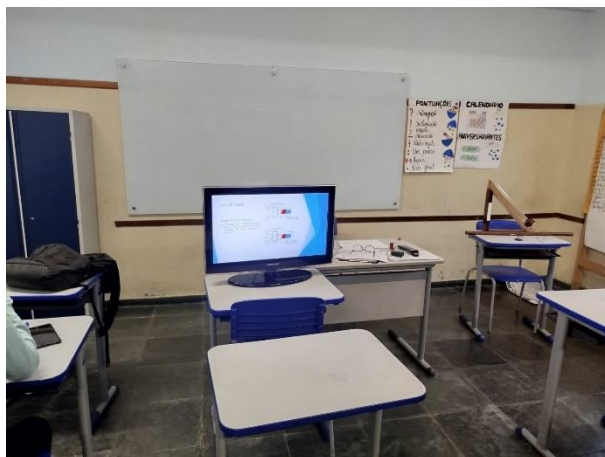


Figura 16 – Sala de Aula durante a aplicação do experimento. Fonte: o autor

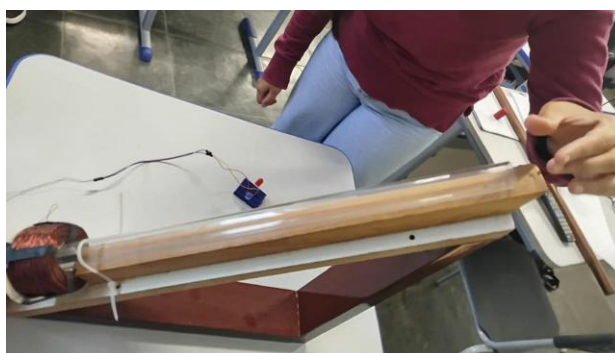


Figura 17 – Alunos manuseando o experimento. Fonte: o autor

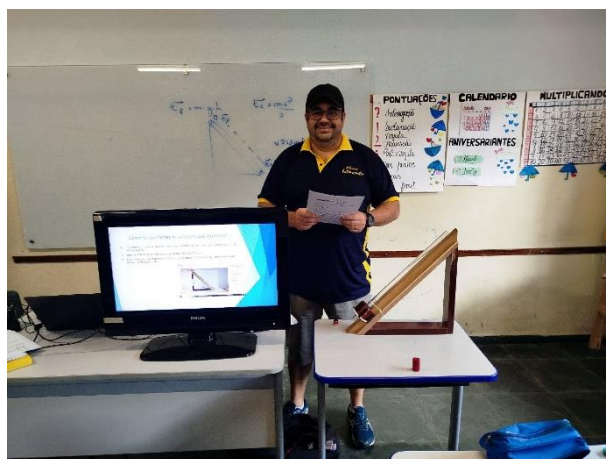


Figura 18 – Professor durante a aplicação da aula. Fonte: o autor

# Apresentação de Slides

## Slides do 1º momento:

Slide 1



Slide 2



Slide 3


Mas o que é a Lei de Faraday?

Quando o ímã desceu e passou pela espira condutora, como fizemos no experimento que abriu essa aula, o que aconteceu?



## Slide 4

Surgiu uma corrente elétrica que acendeu os leds. Como surgiu essa corrente? Se o circuito não está ligado a nenhuma bateria, de onde surgiu a voltagem que acendeu os leds?



Nada é maravilhoso demais para ser verdade, se estiver de acordo com as Leis da Natureza.  
Michael Faraday

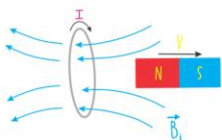
## Slide 5

Lei de Faraday

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

Lei de Faraday

Lei de Faraday  
O módulo da força eletromotriz induzida em uma espira condutora é igual a taxa de variação com o tempo, do fluxo magnético  $\Phi_B$ , que atravessa a espira.



O sinal de negativo indica a oposição a variação do fluxo.

## Slide 6

**Mas o que é a variação do fluxo?**

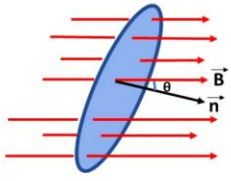
Todo ímã possui linhas de campo magnético que são invisíveis. Temos métodos para visualizar essas linhas de campo.



Slide 7

**Mas o que é a variação de Fluxo?**

Quando fazemos passamos um ímã por uma área formada pela superfície de uma espira, mudamos a quantidade de linhas de campos que atravessam essa área. Esse fenômeno, de variar as linhas de campo sobre uma área, damos o nome de variação de fluxo.




Slide 8

**E como fica a Lei de Faraday em uma bobina como a do experimento?**

Para uma bobina, a força eletromotriz é diretamente proporcional ao número de voltas, o que pode amplificar o resultado da força eletromotriz

►  $\epsilon = -N \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$  Onde N é o número de voltas da espira

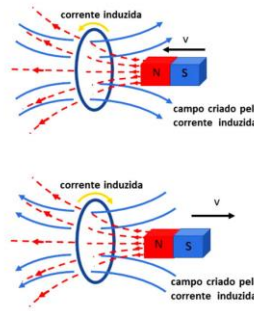


Slide 9

## Lei de Lenz

O que diz a lei de Lenz?

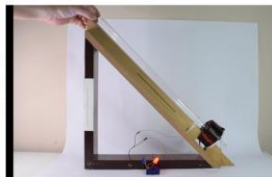
- ▶ O sentido da corrente induzida é aquela que se tende a se opor à variação de fluxo através da espira.



Slide 10

## Lei de Lenz

- ▶ Por isso, no nosso experimento, a sequencia de acendimento dos leds depende do sentido do movimento do ímã.



Slide 11

É daí que vem a força eletromotriz que induz a corrente!!!

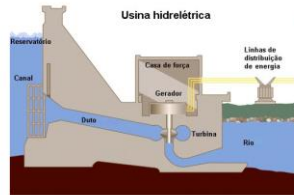
É por isso que surge uma corrente eletromotriz que acende os leds quando o ímã passa pela bobina. Variações de fluxo para criar correntes é o princípio de muitos equipamentos no nosso cotidiano

Slide 12

### Usinas Hidrelétricas

Nas usinas de geração de energia elétrica, a energia mecânica produz a variação do fluxo magnético. A partir dessa variação, surge uma corrente induzida no gerador.

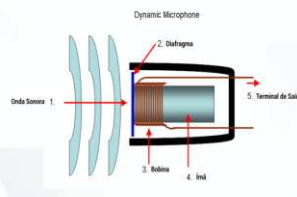
Abaixo, observamos o esquema de uma usina hidrelétrica. Este tipo de usina utiliza o movimento da água (energia mecânica) para gerar a variação do fluxo magnético.



### Slide 13

### Como funciona o Microfone?

A indução eletromagnética é o princípio físico envolvido no funcionamento do microfone. O som é um tipo de onda mecânica, que se propaga pela compressão e rarefação das moléculas do meio. Ao chegarem a um microfone, as ondas sonoras chocam-se com membranas que estão fixadas a bobinas. As bobinas presas às membranas estão próximas a um ímã, assim, ao receberem as ondas sonoras, vibrarão ao redor do ímã de forma que o fluxo magnético seja variável. A variação de fluxo magnético gera uma corrente elétrica que seguirá os padrões de vibração das ondas sonoras.

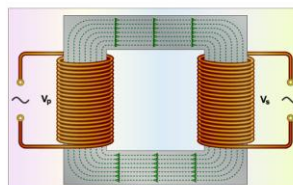


### Slide 14

### Transformadores de Tensão

Os transformadores são dispositivos que fazem uso direto do fenômeno da indução eletromagnética. Esses aparelhos só funcionam com correntes elétricas alternadas e são constituídos de uma barra de ferro, geralmente em formato de U, enrolada em duas bobinas, com diferentes números de espiras.

Quando a corrente elétrica passa pelo primeiro enrolamento, um campo magnético é produzido pela bobina, sendo então concentrado e transmitido através da barra de ferro. A segunda bobina, exposta ao campo magnético oscilante, gera um campo magnético induzido, contrário àquele que é transmitido pela barra de ferro.

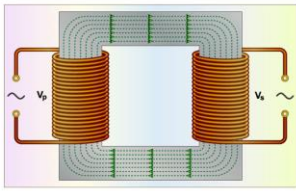


### Slide 15

### Transformadores de Tensão

A diferença entre o número de espiras em cada um dos lados da barra de ferro faz com que a intensidade da corrente elétrica induzida seja diferente nas duas bobinas, no entanto, a potência elétrica em cada uma delas é a mesma, desse modo, aumentando-se a corrente elétrica, surge uma queda de potencial e vice-versa.

É assim que os transformadores operam: eles podem abaixar ou diminuir a intensidade da corrente elétrica de acordo com a proporção entre o número de enrolamentos em cada uma de suas bobinas. "



Slide 16

### Referências Bibliográficas

- ▶ GOUVEIA, Rosimar. *Lei de Faraday*. Toda Matéria, [s.d.]. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/lei-de-faraday/>. Acesso em: 19 jul. 2024.
- ▶ HELERBROCK, Rafael. *Indução eletromagnética*. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/a-inducao-eletromagnetica.htm>. Acesso em: 19 jul. 2024.
- ▶ SILVA, Felipe. *Lei de Faraday*. Mundo Educação, 2024. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/lei-faraday.htm>. Acesso em: 19 jul. 2024.
- ▶ SILVA, Rafael. *Campo Magnético*. Prepara Enem, 2024. Disponível em: <https://www.preparaenem.com/fisica/campo-magnetico.htm>. Acesso em: 19 jul. 2024.
- ▶ ASTH, Rafael. *Lei de Lenz*. Toda Matéria, [s.d.]. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/lei-de-lenz/>. Acesso em: 19 jul. 2024.

**Slides do 1º momento:**

Slide 1

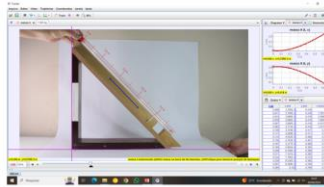
# Lei de Faraday e Lenz

Dados obtidos do Experimento sobre Lei de Faraday e Lenz

## Slide 2

### Como foram feitas as análises dos Gráficos?

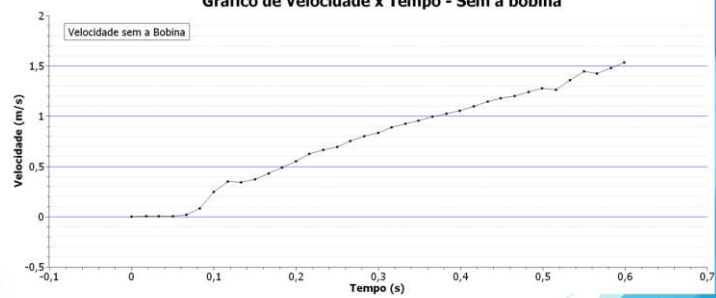
- ▶ Inicialmente, tudo é gravado com uma câmera comum, de preferência com uma definição alta.
- ▶ Após, o vídeo é importado em um programa chamado Tracker.
- ▶ Esse programa nos possibilita coletar alguns dados do movimento, como velocidade, tempo, aceleração e etc.



## Slide 3

### Movimento sem a Bobina

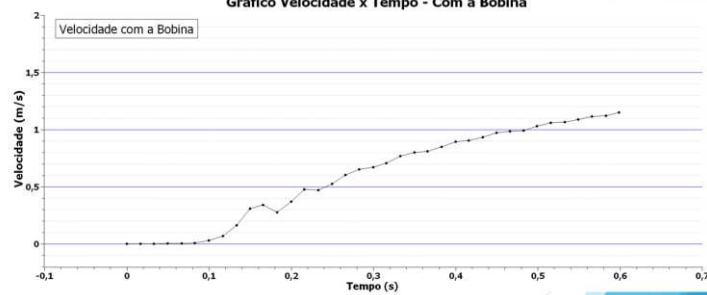
Gráfico de Velocidade x Tempo - Sem a bobina



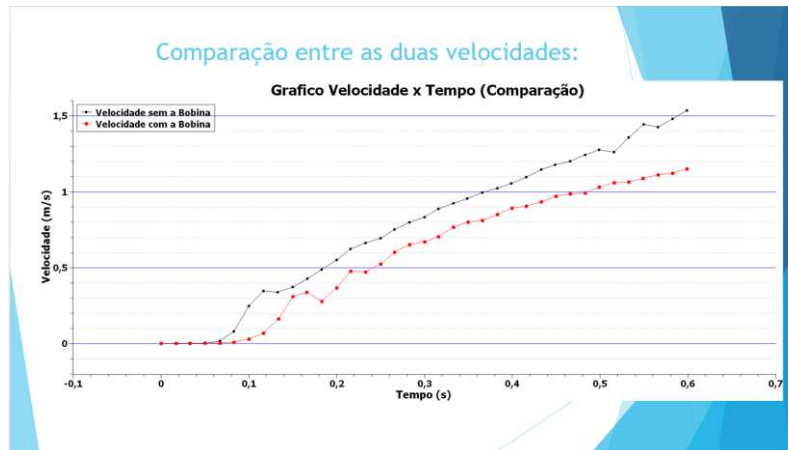
## Slide 4

### Movimento com a Bobina

Gráfico Velocidade x Tempo - Com a Bobina



## Slide 5



Slide 6

### Conclusões:

- ▶ Agora podemos perceber a diferença de velocidade entre o movimento com a bobina e sem a bobina?
- ▶ Qual energia foi transformada em energia elétrica na bobina?

Slide 7

### Afinal, o que é energia?

Atualmente não temos uma definição de energia que englobe todos os tipos de energia conhecidos. Temos definições menos rigorosas que satisfazem momentaneamente o estudo de um sistema físico. Podemos dizer que a energia é um número, um valor associado a um sistema físico. Esse número nos auxilia a fazer previsões e construir equipamentos e máquinas que podem se beneficiar dele realizando feitos importantes. Portanto, a energia é uma grandeza, escalar, associada a um sistema físico.

Slide 8

### Tipos de Energia:

- ▶ Energia Elétrica
- ▶ Energia Eólica
- ▶ Energia Térmica
- ▶ Energia Luminosa
- ▶ Energia Mecânica
- ▶ Energia Cinética
- ▶ Energia Potencial
- ▶ Energia Nuclear



Slide 9

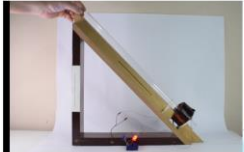
### Conservação da Energia

Não conseguimos definir amplamente energia, mas o conceito de sua conservação é bem definido. O conceito diz que, se a energia é um número, esse número deve ser conservado independente da mudança que ocorra no sistema físico. Se constatarmos que a energia inicial é diferente da final, podemos analisar o fenômeno que com certeza vamos encontrar onde está essa quantidade faltando. Pode ter sido transformada em outro tipo que não havíamos previsto, mas ela estará lá. De certa maneira, podemos dizer que toda a energia que temos no universo hoje é a mesma que tínhamos no seu início, mas se manifestando de diferentes formas.

Slide 10

### E no nosso experimento? Quais tipos de energia estão envolvidas?

Quais tipos de energia estão envolvidas?  
Quais as transformações que ocorrem no nosso experimento?



Slide 11

## Sim, ocorre uma transformação de energia!!!

Na descida, a energia potencial (associada à altura) do ímã deveria ser totalmente transformada em energia cinética (associada a velocidade). Quando notamos que existe uma perda de velocidade quando alternamos entre o movimento com a bobina e sem a bobina, notamos que essa energia cinética foi transformada em algum outro tipo. No nosso experimento, essa energia cinética foi transformada em energia elétrica, acendendo os leds. Está aí mais uma prova da conservação da energia de um sistema.

## Slide 12

### Referências Bibliográficas

- ▶ GOUVEIA, Rosimar. **Lei de Faraday**. Toda Matéria, [s.d.]. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/lei-de-faraday/>. Acesso em: 19 jul. 2024.
- ▶ HELERBROCK, Rafael. **Indução eletromagnética**. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/a-inducao-eletromagnetica.htm>. Acesso em: 19 jul. 2024.
- ▶ SILVA, Felipe. **Lei de Faraday**. Mundo Educação, 2024. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/lei-faraday.htm>. Acesso em: 19 jul. 2024.
- ▶ SILVA, Rafael. **Campo Magnético**. Prepara Enem, 2024. Disponível em: <https://www.preparaenem.com/fisica/campo-magnetico.htm>. Acesso em: 19 jul. 2024.
- ▶ ASTH, Rafael. **Lei de Lenz**. Toda Matéria, [s.d.]. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/lei-de-lenz/>. Acesso em: 19 jul. 2024.

## Referências Bibliográficas

ASTH, Rafael. **Lei de Lenz**. Toda Matéria, [s.d.]. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/lei-de-lenz/>. Acesso em: 19 jul. 2024

GOUVEIA, Rosimar. **Lei de Faraday**. Toda Matéria, [s.d.]. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/lei-de-faraday/>. Acesso em: 19 jul. 2024

HELERBROCK, Rafael. **Indução Eletromagnética**; Brasil Escola. Disponível em <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/a-inducao-eletromagnetica.htm>. Acesso em 19 de julho de 2024

NUSSENZVEIG, H. Moysés, **Curso de Física Básica 3 Eletromagnetismo**, Ed. Edgard Blücher LTDA São Paulo, 1997

SILVA, Felipe. **Lei de Faraday**. Mundo Educação, 2024. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/lei-faraday.htm>. Acesso em: 19 jul. 2024.

SILVA, Felipe. **Lei de Faraday**. Mundo Educação, 2024. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/lei-faraday.htm>. Acesso em: 19 jul. 2024.

SILVA, Rafael. **Campo Magnético**. Prepara Enem, 2024. Disponível em: <https://www.preparaenem.com/fisica/campo-magnetico.htm>. Acesso em: 19 jul. 2024.

SILVA, Rafael. **Campo Magnético**. Prepara Enem, 2024. Disponível em: <https://www.preparaenem.com/fisica/campo-magnetico.htm>. Acesso em: 19 jul. 2024.