



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

JOÃO VICTOR DE SOUZA MACHADO

**EXPLORANDO A LEI DE FARADAY E A LEI DE LENZ POR MEIO DO
EXPERIMENTO DE INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA (EXPINEL)**

JUIZ DE FORA - MG

2024

JOÃO VICTOR DE SOUZA MACHADO

**EXPLORANDO A LEI DE FARADAY E A LEI DE LENZ POR MEIO DO
EXPERIMENTO DE INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA (EXPINEL)**

Dissertação apresentada ao Polo 24 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Juiz de Fora / Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Escola Básica.

Orientador: Prof. Dr. Alysson Miranda de Freitas

JUIZ DE FORA - MG
2024

Machado, João Victor de Souza.

EXPLORANDO A LEI DE FARADAY E LEI DE LENZ POR MEIO DO EXPERIMENTO DE INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA (EXPINEL) / João Victor de Souza Machado. -- 2024.

131 p. : il.

Orientador: Alysson Miranda de Freitas

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais, ICE/IFSEMG. Programa de Pós-Graduação em Física, 2024.

1. Ensino de Física. 2. Ensino de Eletromagnetismo. 3. Metodologia POE. 4. EXPINEL. 5. Lei de Faraday e Lei de Lenz. I. Freitas, Alysson Miranda de, orient. II. Título.

JOÃO VICTOR DE SOUZA MACHADO

**EXPLORANDO A LEI DE FARADAY E A LEI DE LENZ POR MEIO DO
EXPERIMENTO DE INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA (EXPINEL)**

Dissertação apresentada ao Polo 24 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Juiz de Fora / Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Escola Básica.

Aprovada em 30 de abril de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alysson Miranda de Freitas - Orientador

Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Marlon Cesar de Alcantara

Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais

Profa. Dra. Clarice Parreira Senra

Universidade Federal de Juiz de Fora

Juiz de Fora, 03/06/2024.



Documento assinado eletronicamente por **Clarice Parreira Senra, Professor(a)**, em 04/06/2024, às 08:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marlon Cesar de Alcantara, Usuário Externo**, em 04/06/2024, às 10:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alysson Miranda de Freitas, Professor(a)**, em 05/06/2024, às 14:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **1820928** e o código CRC **B833F898**.

Dedico este trabalho à memória da minha querida bisavó, Rosalina Perantoni Macanha.

Neste momento especial em que concluo esta etapa da minha jornada acadêmica, dedico esta dissertação em sua memória. Suas palavras de incentivo, amor e sabedoria sempre foram uma fonte de inspiração para mim. Sinto profundamente a sua falta e desejo que pudesse estar aqui para compartilhar este momento comigo. Seu apoio inabalável e carinho moldaram quem eu sou e foram a base do meu caminho acadêmico. Este trabalho é um tributo ao seu legado e à sua influência duradoura em minha vida. Obrigado por ser minha fonte constante de inspiração.

Com amor e saudades eternas,
João Victor de Souza Machado

AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação de mestrado foi uma jornada desafiadora, mas gratificante, e não teria sido possível sem o apoio, orientação e contribuição de várias pessoas e instituições que gostaria de reconhecer e agradecer.

Em primeiro lugar, quero expressar minha sincera gratidão ao meu orientador, Alysso Miranda de Freitas, pela orientação, paciência e sabedoria que ele compartilhou ao longo deste processo. Suas valiosas sugestões e insights foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho, e estou imensamente grato por sua dedicação à minha formação acadêmica.

Também desejo estender meus agradecimentos aos meus professores do mestrado por suas contribuições ao longo das aulas, as quais enriqueceram substancialmente o desenvolvimento desta dissertação. Em especial, ao Prof. Dr. Bruno Gonçalves e ao Prof. Dr. Bruno Rizzuti, por cederem o experimento (EXPINEL) desenvolvido ao longo de seus trabalhos para ser utilizado nesta dissertação.

É com imensa gratidão que expresso meu reconhecimento à minha família, em especial à minha mãe, Nivia Maria de Souza, e à minha amada avó, Francisca Maria Macanha, pelo apoio incondicional ao longo destes anos. Ao meu companheiro, Lucas Moreira Silva, agradeço sinceramente pela paciência e carinho, compreendendo como conciliar meu tempo entre os estudos e nossa convivência. Aos meus amigos, cujo papel foi crucial ao oferecer apoio emocional e encorajamento ao longo desta jornada acadêmica, deixo meu profundo agradecimento. A todos vocês, minha mais sincera gratidão por contribuírem significativamente para o meu sucesso acadêmico e pessoal.

Além disso, desejo expressar minha gratidão à Universidade Federal de Juiz de Fora e ao Colégio de Aplicação João XXIII, por fornecer os recursos e o ambiente propício para a realização desta pesquisa.

Por fim, quero agradecer a todos os participantes da minha pesquisa, cujas contribuições foram fundamentais para a realização deste estudo. Seu tempo e dedicação foram essenciais para o sucesso desta dissertação.

Este trabalho não teria sido possível sem o apoio, incentivo e colaboração de todas essas pessoas e instituições. Agradeço a todos por fazerem parte desta jornada acadêmica e por tornarem este projeto uma realidade.

Muito obrigado.

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

“Ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua própria produção ou a sua construção.” (FREIRE, 1996, p.25).

RESUMO

Este trabalho objetiva apresentar uma abordagem para o ensino de eletromagnetismo, com foco nas Leis de Faraday e Lenz, destinada às turmas do terceiro ano do ensino médio. Em resposta ao contexto pandêmico da COVID-19, esta metodologia foi desenvolvida para ser aplicada no ensino à distância, visando tornar mais acessível a compreensão de conceitos frequentemente percebidos como abstratos pelos alunos. A estrutura pedagógica da sequência didática fundamenta-se na metodologia de ensino por investigação, utilizando a abordagem POE (Predizer - Observar - Explicar). Foram criadas duas sequências didáticas: uma sobre a Lei de Faraday e outra sobre a Lei de Lenz, empregando vídeos de um aparato experimental denominado Experimento de Indução Eletromagnética (EXPINEL). Além disso, integrou-se o simulador virtual PHET para estabelecer uma analogia entre o experimento real e o conteúdo teórico, visando aprimorar a compreensão dos fenômenos e suas aplicações. Cada sequência didática é composta por sete questões, apresentadas sequencialmente com prazos definidos para as respostas. A primeira etapa, intitulada Predizer, envolve os alunos assistindo a vídeos do experimento EXPINEL desligado e respondendo a questões que os desafiam a formular previsões e hipóteses sobre o funcionamento do aparato. Na etapa de Observação, os alunos assistem a vídeos do experimento em funcionamento, com o objetivo de comparar suas previsões com os resultados reais e criar explicações mais aprofundadas sobre o fenômeno. Na terceira etapa, Explicação, os alunos utilizam o simulador PHET para criar uma analogia entre o experimento real e a simulação virtual, reforçando a compreensão teórica. Em seguida, reavaliam suas respostas das etapas de Predição e Observação, oferecendo explicações mais embasadas. Posteriormente, uma aula expositiva sobre o tema e o aparato experimental proporciona aos estudantes uma nova oportunidade de reformular suas respostas. A análise das sequências didáticas desenvolvidas baseou-se em dados qualitativos obtidos a partir das respostas conceituais dos alunos para cada questão proposta. Foram elaborados gráficos quantitativos ao longo da análise de cada questão conceitual para proporcionar uma compreensão da evolução da turma. A avaliação das respostas concentrou-se na compreensão conceitual, incentivando o desenvolvimento da escrita científica e a aquisição de um entendimento mais sólido das Leis de Faraday e Lenz, que frequentemente são desafiadoras para os alunos. Os resultados indicam que os estudantes conseguiram compreender os fenômenos e desenvolver habilidades de escrita científica, demonstrando uma sólida compreensão conceitual das Leis de Faraday e Lenz.

.

Palavras-chave: Ensino de Física. Ensino de eletromagnetismo. Metodologia POE. EXPINEL.

ABSTRACT

This study aims to present an approach to teaching electromagnetism, focusing on Faraday's and Lenz's Laws, targeted at third-year high school students. In response to the COVID-19 pandemic, this methodology was developed for distance learning to make the understanding of often abstract concepts more accessible to students. The pedagogical structure of the didactic sequence is based on the inquiry-based teaching methodology, utilizing the POE (Predict - Observe - Explain) approach. Two didactic sequences were created: one on Faraday's Law and another on Lenz's Law, employing videos of an experimental apparatus called the Electromagnetic Induction Experiment (EXPINEL). Additionally, the PHET virtual simulator was integrated to establish an analogy between the real experiment and theoretical content, aiming to enhance students' understanding of the phenomena and their applications. Each didactic sequence consists of seven questions, presented sequentially with defined deadlines for responses. The first stage, titled Predict, involves students watching videos of the EXPINEL experiment when it is off and responding to questions that challenge them to formulate predictions and hypotheses about the apparatus's operation. In the Observation stage, students watch videos of the experiment in operation to compare their predictions with real results and create more in-depth explanations of the phenomenon. In the Explanation stage, students use the PHET simulator to create an analogy between the real experiment and the virtual simulation, reinforcing theoretical understanding. They then reassess their answers from the Prediction and Observation stages, providing more substantiated explanations. Subsequently, an expository lesson on the topic and the experimental apparatus gives students another opportunity to reformulate their answers. The analysis of the developed didactic sequences was based on qualitative data obtained from students' conceptual responses to each proposed question. Quantitative graphs were created throughout the analysis of each conceptual question to provide an understanding of the class's progress. The evaluation of responses focused on conceptual understanding, encouraging the development of scientific writing and the acquisition of a more solid understanding of Faraday's and Lenz's Laws, which are often challenging for students. The results indicate that students were able to understand the phenomena and develop scientific writing skills, demonstrating a solid conceptual understanding of Faraday's and Lenz's Laws..

Keywords: Physics Education. Electromagnetism Education. POE Methodology. EXPINEL.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Linhas de campo magnético atravessando áreas 1 e 2.....	22
Figura 2 - Espira rotacionando em campo magnético uniforme.	23
Figura 3 - Movimentando um ímã nas proximidades de uma espira.....	25
Figura 4 - Espira com a área sendo reduzida.....	26
Figura 5 - Experimento de movimento relativo de ímã com espira conectada a um amperímetro.....	27
Figura 6 - Ímã e espira com movimento relativo nulo	27
Figura 7 - Movimento relativo de aproximação entre um ímã e espira.....	29
Figura 8 - Movimento relativo de afastamento entre um ímã e espira.....	30
Figura 9 - Primeira configuração – EXPINEL.....	48
Figura 10 - Segundo momento - observação do fenômeno	50
Figura 11- Simulação PHET - Lei de Faraday	51
Figura 12 - EXPINEL com a nova configuração. Um Led em cada bobina. Aparelho desligado.....	53
Figura 13 - EXPINEL ligado - Segunda configuração.....	56
Figura 14 - EXPINEL ligado e filmado em câmera lenta.	56
Figura 15 - Configuração para a Lei de Lenz.....	58
Figura 16 - Divisão quantitativa de alunos por grupo em porcentagem. Questão 1.....	65
Figura 17 - Divisão quantitativa de alunos por grupo em porcentagem – Questões 2 e 3.	69
Figura 18 - Divisão quantitativa de alunos por grupo em porcentagem – Questão 4.....	72
Figura 19 - Desenho ilustrativo do esquema de ligação do EXPINEL.....	74
Figura 20 - Divisão quantitativa de alunos por grupo em porcentagem – Questão 6.....	75
Figura 21 - Quantitativo das respostas - Questão 1.....	80
Figura 22 - Análise quantitativa de alunos por subgrupo. Questão 2.....	83
Figura 23 - Quantitativo de respostas. Questão 3.....	85
Figura 24 - Divisão quantitativa e percentual. Questão 5.....	89

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos da dissertação	16
1.2	Motivação	17
1.3	Estrutura da dissertação	20
2	CONCEITOS DE ELETROMAGNETISMO ABORDADOS NA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	21
2.1	A descoberta	21
2.2	O fluxo magnético	22
2.3	Variando o fluxo magnético	24
2.3.1	Mudando o módulo de B	24
2.3.2	Mudando o valor de A	25
2.3.3	Mudando o valor de θ	26
2.4	A Lei de Indução de Faraday.....	26
2.5	A Lei de Lenz	28
3	REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO	34
3.1	O contexto	34
3.2	Metodologias ativas.....	38
3.3	Metodologia POE (Previsão –Observação - Explicação).....	39
4	O PRODUTO EDUCACIONAL E A SEQUÊNCIA DIDÁTICA	43
4.1	A escolha da pesquisa.....	43
4.2	O contexto da aplicação.....	44
4.3	O produto educacional.....	46
4.4	A sequência didática da Lei de Faraday	47
4.5	A sequência didática da Lei de Lenz.....	53
5	A APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA E ANÁLISE DOS RESULTADOS	
	60	
5.1	Aspectos da aplicação na sala de aula online	60
5.2	Os critérios para análise da sequência didática	62
5.3	A primeira sequência didática: A Lei de Faraday	64
5.4	A segunda sequência didática: A Lei de Lenz.....	78
6	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS	96
	REFERÊNCIAS.....	98
	APÊNDICE A – MANUAL DO PRODUTO	104

1 INTRODUÇÃO

A educação científica é um pilar fundamental para o desenvolvimento de habilidades críticas, pensamento independente e compreensão profunda dos conceitos científicos como afirma Chassot (2003). No entanto, segundo Silva e Pereira (2020), a complexidade dos conceitos científicos muitas vezes exige dos estudantes habilidades cognitivas avançadas, que nem sempre estão totalmente desenvolvidas no nível educacional em que esses conteúdos são introduzidos. De acordo com Novak (2010), a abstração necessária para compreender certos princípios científicos pode levar ao desengajamento e à frustração dos alunos, resultando em uma menor retenção de informações e menor interesse pelo tema.

Dentro deste vasto campo, os conteúdos relacionados à Lei de Faraday e à Lei de Lenz são particularmente complexos e abstratos. Essas leis, que tratam das relações entre campos magnéticos, correntes elétricas induzidas e a conservação de energia, frequentemente representam um obstáculo significativo para a compreensão dos alunos.

A Lei de Faraday da Indução Eletromagnética, que descreve como uma variação no campo magnético pode induzir uma corrente elétrica em um circuito, é fundamental para entender muitos fenômenos e tecnologias modernas, como transformadores e geradores elétricos (SERWAY & JEWETT, 2013). Entretanto, a abstração envolvida na visualização de campos magnéticos e na compreensão das mudanças temporais desses campos pode ser desafiadora para muitos estudantes (GALILI, 1995).

Complementando a Lei de Faraday, a Lei de Lenz estabelece o sentido da corrente induzida de modo a opor-se à mudança no fluxo magnético que a originou, de acordo com o princípio da conservação de energia (TIPLER & MOSCA, 2008). Essa ideia de oposição é contraintuitiva para muitos alunos, que frequentemente têm dificuldades em aplicar corretamente a regra da mão direita para determinar a direção dos campos e correntes (THOMPSON, CHRISTENSEN & WITTMANN, 2011).

Pesquisas indicam que os estudantes muitas vezes possuem concepções errôneas sobre esses conceitos, confundindo a relação entre a variação do campo magnético e a corrente induzida, além de apresentarem dificuldades em compreender a natureza vetorial dos campos magnéticos e elétricos (MALONEY, O'KUMA, HIEGGEELKE, & VAN HEUVELEN, 2001). Essas dificuldades podem ser atribuídas, em parte, à forma como os conteúdos são tradicionalmente ensinados, muitas vezes de maneira teórica e desvinculada de experimentações práticas que poderiam tornar os conceitos mais concretos (WIEMAN & PERKINS, 2005).

Para enfrentar esses desafios, é essencial que as abordagens pedagógicas sejam adaptadas para facilitar a compreensão desses conceitos complexos.

Portanto, a superação das barreiras associadas ao ensino das Leis de Faraday e Lenz requer uma combinação de abordagens didáticas, que integrem teoria e prática de maneira significativa.

Nesta dissertação, exploraremos uma estratégia investigativa para o ensino desses conteúdos desafiadores, com o objetivo de tornar a aprendizagem da Lei de Faraday e da Lei de Lenz mais acessível, significativa e envolvente para os estudantes. Buscaremos não apenas transmitir conhecimento teórico, mas também promover uma compreensão desses princípios fundamentais da física e estimular o desenvolvimento de habilidades práticas e críticas.

O ensino investigativo, também conhecido como Inquiry-Based Learning (IBL), é uma abordagem pedagógica que promove a construção ativa do conhecimento por meio da investigação de problemas e fenômenos (AULER & BAZZO, 2001; CARVALHO, 2013). Essa metodologia distingue-se dos métodos tradicionais ao incentivar os alunos a formular perguntas, realizar experimentos, coletar dados e desenvolver suas próprias explicações baseadas em evidências (DEMO, 2015).

A metodologia POE (Predição, Observação e Explicação) é uma variante do ensino investigativo que envolve três fases principais: predição, observação e explicação. Na fase de predição, os alunos são encorajados a fazer previsões sobre os resultados de um experimento ou fenômeno com base em seu conhecimento prévio (OLIVEIRA & SASSERON, 2020). Em seguida, na fase de observação, os alunos observam o fenômeno ou conduzem o experimento para coletar dados reais. Finalmente, na fase de explicação, os alunos comparam suas previsões com as observações e desenvolvem explicações fundamentadas nas evidências coletadas (AULER & BAZZO, 2001; CARVALHO, 2013).

A abordagem POE (Predizer-Observar-Explicar) tem se mostrado uma ferramenta eficaz para promover a aprendizagem significativa, especialmente em conteúdos científicos que envolvem alto nível de abstração. A POE incentiva os alunos a fazerem previsões sobre os resultados de experimentos, observarem os fenômenos diretamente e, em seguida, explicarem os resultados com base nas suas observações e conhecimentos prévios (WHITE & GUNSTONE, 1992). Este método não apenas engaja os estudantes, mas também os ajuda a desenvolver habilidades de pensamento crítico e a compreender melhor os conceitos científicos.

A aprendizagem significativa é um conceito central na teoria educacional, desenvolvido por David Ausubel. Este conceito refere-se ao processo em que o novo conhecimento é incorporado de maneira não arbitrária e substancial à estrutura cognitiva do aluno. Para que ocorra a aprendizagem significativa, o conteúdo novo deve ser relevante e conectável aos conhecimentos pré-existentes do aluno, permitindo uma assimilação mais profunda e duradoura (AUSEBEL, 2003; MOREIRA, 2011).

Segundo Ausubel, a aprendizagem significativa contrasta com a aprendizagem mecânica, onde as informações são memorizadas sem compreensão ou conexão com outros conhecimentos. A aprendizagem significativa ocorre quando o aluno relaciona de forma lógica e coerente o novo conteúdo com o que já sabe, facilitando a compreensão e a retenção do conhecimento a longo prazo (NOVAK, 2010).

No contexto da metodologia investigativa POE (Predição, Observação e Explicação), a aprendizagem significativa é potencializada ao permitir que os alunos utilizem seus conhecimentos prévios para formular hipóteses (predição), conduzam experimentos e colem dados (observação), e, finalmente, relacionem seus resultados com as hipóteses iniciais e com o conhecimento prévio (explicação). Este processo ativo e reflexivo facilita a internalização e a aplicação do conhecimento, promovendo uma aprendizagem mais profunda e integrada (CARVALHO, 2013; OLIVEIRA & SASSERON, 2020).

A utilização da POE é particularmente vantajosa em temas complexos como a indução eletromagnética, onde conceitos abstratos como campos magnéticos e correntes induzidas podem ser difíceis de visualizar e entender. De acordo com Crouch, Fagen, Callan, e Mazur (2004), estratégias de aprendizagem ativa, como a POE, promovem uma compreensão mais profunda ao envolver os alunos em atividades que lhes permitem experimentar diretamente os fenômenos e refletir sobre eles.

Neste estudo, utilizamos um aparato experimental denominado EXPINEL (Experimentos de Indução Eletromagnética) para tornar o ensino desses conteúdos mais acessível aos alunos do terceiro ano do ensino médio. O EXPINEL foi desenvolvido para permitir que os estudantes realizem experimentos de indução eletromagnética de forma prática e interativa, facilitando a visualização dos efeitos e a compreensão dos princípios subjacentes. A introdução do EXPINEL, aliada à metodologia POE, visa reduzir a abstração dos conceitos e promover uma aprendizagem mais concreta e significativa (HAKE, 1998).

Estudos anteriores indicam que o uso de experimentos práticos e atividades de previsão-observação-explicação pode melhorar significativamente o desempenho dos estudantes em tópicos desafiadores e aumentar seu interesse pela ciência (LIEW & TREAGUST, 1995).

Assim, a combinação do método POE com o aparato EXPINEL não só facilita a compreensão de conceitos complexos, mas também estimula um ambiente de aprendizagem mais engajador e eficaz. Além disso, busca-se o desenvolvimento do pensamento crítico e da habilidade de escrita científica entre os estudantes.

Com os resultados desta pesquisa, queremos evidenciar o impacto positivo da Metodologia POE, que envolve as fases de Previsão, Observação e Explicação, no processo de ensino e aprendizagem e a necessidade de se trabalhar com ensino investigativo, lançando mão de um aparato experimental, criado para se trabalhar de forma mais interativa com os alunos.

1.1 Objetivos da dissertação

- **OBJETIVO GERAL:** O objetivo geral desta dissertação é investigar e avaliar a aprendizagem dos alunos através da metodologia POE no ensino dos princípios da Lei de Faraday e da Lei de Lenz em física, visando promover uma aprendizagem mais significativa e duradoura desses conceitos desafiadores.

- **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Analisar a compreensão prévia dos alunos em relação aos princípios da Lei de Faraday e da Lei de Lenz, identificando concepções prévias, dificuldades e lacunas de conhecimento.

- Desenvolver atividades e recursos didáticos baseados na Metodologia POE para o ensino dos conteúdos relacionados à Lei de Faraday e à Lei de Lenz.

- Aplicar a Metodologia POE em sala de aula, seguindo as fases de Previsão, Observação e Explicação, e coletar dados sobre o desempenho dos alunos, suas previsões, observações e explicações ao longo do processo.

- Avaliar o impacto da Metodologia POE na aprendizagem dos alunos, comparando seus conhecimentos prévios com o conhecimento adquirido após a aplicação da metodologia.

- Analisar qualitativamente as respostas dos alunos, identificando concepções alternativas, pontos de dificuldade e melhorias na compreensão dos conceitos da Lei de Faraday e da Lei de Lenz.

1.2 Motivação

A motivação para desenvolver um produto educacional baseado no aparato experimental EXPINEL surge da necessidade urgente de melhorar a compreensão dos alunos sobre conceitos complexos e abstratos no ensino de física, especificamente relacionados às Leis de Faraday e de Lenz. A literatura educacional destaca que muitos estudantes enfrentam dificuldades significativas ao tentar entender esses conceitos devido à sua natureza altamente abstrata e à forma tradicional de ensino que, frequentemente, não consegue engajá-los de maneira efetiva (GALILI, 1995; MALONEY et al., 2001).

Este produto educacional foi concebido a partir do experimento de indução eletromagnética conhecido como EXPINEL. A iniciativa foi desenvolvida com o objetivo principal de enriquecer o ensino de eletromagnetismo, com ênfase nas Leis de Faraday e de Lenz, voltado para os alunos do terceiro ano do ensino médio.

O núcleo deste produto concentra-se na utilização do aparato experimental EXPINEL, projetado para despertar o interesse dos alunos e facilitar a compreensão de conceitos abstratos. O experimento serve como base para duas sequências didáticas distintas, cada uma composta por sete questões, abordando, respectivamente, os conceitos da Lei de Faraday e da Lei de Lenz.

Devido ao contexto pandêmico durante o desenvolvimento deste trabalho, os alunos não puderam realizar a manipulação física do experimento. Para superar essa limitação, foram produzidos vídeos demonstrando os fenômenos eletromagnéticos com o EXPINEL. Esses vídeos garantiram que todos os alunos tivessem acesso às demonstrações por meio de plataformas digitais. Assim, todos os links necessários para a utilização e desenvolvimento das duas sequências didáticas se encontram no produto deste trabalho.

O EXPINEL foi concebido e desenvolvido por um grupo de estudantes do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais. IF-Sudeste MG - Campus Juiz de Fora, sob a orientação do Prof. Dr. Bruno Gonçalves. Este dispositivo experimental estava pronto, mas ainda não havia sido utilizado em sala de aula. O professor Bruno disponibilizou o EXPINEL para ser integrado nesta sequência didática, permitindo que os alunos tivessem acesso a esta ferramenta educacional inovadora (MORAES, RIZZUTI & GONÇALVES, 2022).

Durante nossas investigações e discussões sobre como melhor utilizar o EXPINEL, nos deparamos com a metodologia POE (Predizer-Observar-Explicar), que nos mostrou ser uma escolha adequada para desenvolver sequências didáticas (SDs) voltadas para as turmas de terceiro ano. A metodologia **POE** possui três fases, a primeira é a fase de **PREVISÃO** que

estimula a curiosidade e desafia os alunos a fazer previsões baseadas em seu conhecimento prévio. A segunda é a etapa de **OBSERVAÇÃO** permite que os alunos adquiram uma compreensão mais profunda dos fenômenos científicos por meio da visualização e análise direta. Por fim, a fase de **EXPLICAÇÃO** envolve os alunos na construção ativa de explicações embasadas em evidências.

Além disso, buscou-se combinar a explanação do conteúdo pelo professor como um complemento à metodologia, visando fortalecer a compreensão do aluno de forma mais sólida. Estudos indicam que a combinação de metodologias ativas, como a investigação científica, com a instrução direta do professor, pode resultar em uma aprendizagem mais robusta e integrada. De acordo com Carvalho (2013), a orientação e intervenção do professor são essenciais para guiar o processo investigativo e garantir que os alunos estejam no caminho certo para a compreensão dos conceitos científicos. Oliveira e Sasseron (2020) destacam que a explanação do conteúdo pelo professor pode esclarecer dúvidas e reforçar o entendimento dos alunos, potencializando os benefícios da metodologia investigativa. Essa abordagem integrada facilita a construção de um conhecimento mais profundo e duradouro (MOREIRA, 2011).

Adicionalmente, a utilização de simulações computacionais, como experimentos virtuais de analogia ponte. A utilização de simulações computacionais tem se mostrado uma ferramenta poderosa para facilitar a compreensão de conceitos científicos complexos. Simulações, como os experimentos virtuais de analogia ponte, oferecem aos estudantes a oportunidade de visualizar e interagir com fenômenos abstratos de maneiras que seriam difíceis de replicar em um ambiente de laboratório tradicional (PERKINS et al., 2006). Este método visa proporcionar uma compreensão mais completa e intuitiva dos conceitos, permitindo que os alunos explorem diferentes cenários e observem os resultados de forma imediata.

As simulações computacionais oferecem várias vantagens pedagógicas. Elas permitem que os alunos realizem experimentos repetidamente, ajustando variáveis e observando os efeitos dessas mudanças, o que promove um entendimento mais profundo dos princípios subjacentes. Além disso, essas ferramentas podem ajudar a tornar visíveis fenômenos que são invisíveis a olho nu, como os campos magnéticos e as correntes induzidas discutidos nas Leis de Faraday e de Lenz (WIEMAN & PERKINS, 2005).

Por exemplo, as simulações de analogia ponte, que modelam a relação entre diferentes sistemas físicos, ajudam os alunos a transferir seu entendimento de um contexto familiar para um novo contexto mais abstrato. Isso é particularmente útil no ensino de eletromagnetismo,

onde a visualização dos campos magnéticos e das forças em ação pode ser desafiadora (KOZMA, 2003).

Os experimentos virtuais também têm se mostrado eficazes em melhorar a retenção de conhecimento e a aplicação prática dos conceitos aprendidos. De acordo com Finkelstein et al. (2005), estudantes que utilizaram simulações computacionais demonstraram uma compreensão mais robusta e foram capazes de aplicar os conceitos de maneira mais eficaz em novas situações.

Além disso, a utilização de simulações é especialmente relevante em tempos de ensino remoto ou híbrido, onde o acesso a laboratórios físicos pode ser limitado. Durante a pandemia de COVID-19, as simulações computacionais desempenharam um papel crucial em garantir que os alunos continuassem a ter experiências práticas significativas, mesmo à distância (CHENG et al., 2020).

Portanto, a integração de simulações computacionais e experimentos virtuais no currículo de física não só facilita a compreensão de conceitos complexos, mas também promove um aprendizado mais ativo e engajado, preparando os alunos para aplicar seus conhecimentos de maneira prática e inovadora.

Ao nosso ver a Metodologia POE, aplicada por meio do uso do aparato experimental EXPINEL e da simulação computacional PHET, terá o potencial de promover uma aprendizagem mais significativa quando comparada aos métodos tradicionais de ensino. Os alunos deverão não apenas apresentar um maior domínio dos conceitos estudados, mas também demonstrar uma motivação intrínseca mais elevada em relação ao aprendizado de ciências. Isso se traduz em um aprimoramento das habilidades de investigação, resolução de problemas e pensamento crítico por parte dos alunos.

Além disso, a Metodologia POE mostrava-se altamente adaptável a diferentes contextos, como o ensino online durante a pandemia COVID-19, indicando seu potencial para contribuir com a educação científica em diversos níveis de ensino.

Esta dissertação é, portanto, uma exploração do potencial da Metodologia POE como uma abordagem eficaz para o ensino de ciências. A aplicação dessa metodologia visa não apenas proporcionar uma compreensão mais sólida dos conceitos científicos, mas também fomentar o pensamento independente entre os alunos. Em um cenário educacional que constantemente busca inovação e eficácia, a Metodologia POE se destaca como uma alternativa promissora para preparar a próxima geração de cientistas e pensadores críticos (SMITH, 2019).

1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está organizada da seguinte maneira:

No **Capítulo 2**, apresentamos os conceitos de eletromagnetismo que serviram como base para a criação da sequência didática.

No **Capítulo 3**, apresentamos o referencial teórico e metodológico da Metodologia POE.

No **Capítulo 4**, demonstramos a criação do produto educacional, bem como as sequências didáticas relacionadas à Lei de Faraday e à Lei de Lenz.

No **Capítulo 5**, descrevemos a aplicação das sequências didáticas, bem como a análise dos dados coletados.

No **Capítulo 6**, apresentamos as conclusões da aplicação das sequências didáticas e as conclusões gerais desta dissertação.

2 CONCEITOS DE ELETROMAGNETISMO ABORDADOS NA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

2.1 A descoberta

A descoberta da Lei de Faraday-Lenz marcou um avanço significativo no campo do eletromagnetismo e teve um impacto duradouro no desenvolvimento da física e da engenharia elétrica. Michael Faraday, um dos mais proeminentes cientistas do século XIX, realizou experimentos que mostraram que um campo magnético variável pode induzir uma corrente elétrica em um condutor. Este fenômeno, conhecido como indução eletromagnética, foi formalizado na Lei de Faraday-Lenz, que descreve quantitativamente como a mudança no fluxo magnético através de uma espira de fio produz uma força eletromotriz (fem) induzida.

A força eletromotriz (fem) é uma grandeza fundamental no estudo do eletromagnetismo e refere-se ao trabalho realizado por uma fonte de energia para mover uma carga elétrica através de um circuito elétrico. Em termos técnicos, a fem representa a diferença de potencial gerada por uma fonte de energia, como uma bateria ou um gerador, que causa o movimento das cargas elétricas ao longo do circuito.

De acordo com Halliday, Resnick e Walker (2013), a força eletromotriz pode ser entendida como a energia fornecida por unidade de carga, onde a fem está relacionada ao trabalho realizado para mover a carga elétrica dentro do circuito. Esse conceito é essencial para o funcionamento de diversos dispositivos elétricos e eletrônicos. No contexto da indução eletromagnética, Serway e Jewett (2018) explicam que a fem é induzida em um circuito pela variação do fluxo magnético que o atravessa. Tipler e Mosca (2008) destacam a importância da fem na conversão de energia e em aplicações tecnológicas, incluindo transformadores, motores elétricos e geradores, sublinhando seu papel crucial no funcionamento de circuitos elétricos.

Heinrich Lenz complementou a formulação de Faraday ao introduzir o princípio da conservação de energia no contexto da indução eletromagnética. A Lei de Lenz assegura que a direção da corrente induzida é tal que o campo magnético resultante se opõe à variação do campo magnético que a produziu, garantindo assim que a energia não seja criada nem destruída, mas transformada de uma forma para outra.

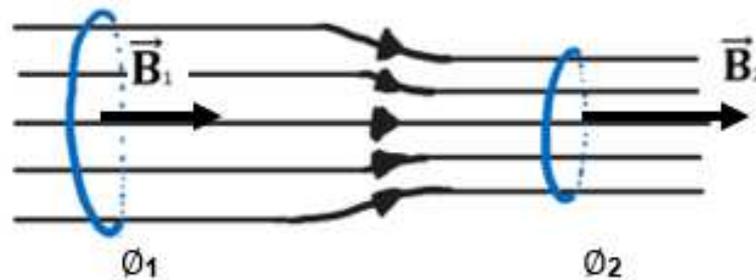
Atualmente, esse fenômeno é amplamente utilizado na produção de energia elétrica em todo o mundo. Antes dessa descoberta, a energia elétrica não era utilizada em larga escala, pois era obtida principalmente através da transformação de energia química.

Esta descoberta não só forneceu uma compreensão fundamental dos processos eletromagnéticos, mas também abriu caminho para a inovação tecnológica. A indução eletromagnética é a base para o funcionamento de transformadores, geradores e muitos outros dispositivos elétricos que são essenciais para a produção e distribuição de energia elétrica no mundo moderno (ELLIOTT, 2017; SERWAY e JEWETT, 2018).

2.2 O fluxo magnético

Para estudarmos a indução eletromagnética precisamos entender o conceito chamado de fluxo do campo magnético Φ . O fluxo do campo magnético \vec{B} , não significa a passagem de algo por uma área, mas sim, o produto de uma área pelo campo que existe no interior da área (HALLIDAY, RESNICK, 2016). A figura 1 ilustra esse pensamento.

Figura 1 - Linhas de campo magnético atravessando áreas 1 e 2.



Fonte: Autoria própria (2022).

Na figura 1, por exemplo, o número de linhas de campo magnético que atravessam a área maior (A_1) é exatamente o mesmo número de linhas de campo que atravessam a área menor (A_2), cinco linhas em cada caso, por isso, podemos dizer que $\Phi_1 = \Phi_2$.

Entretanto, como a intensidade do campo magnético \vec{B} , numa certa região é tão maior quanto maior for a densidade de linhas (número de linhas por m^2) naquela região, na Figura 1, a densidade de linhas de campo magnético é maior na área menor (A_2), o que nos permite dizer que $\vec{B}_2 > \vec{B}_1$ (HALLIDAY, RESNICK, 2016).

Para calcular o fluxo magnético que atravessa a área A aplica-se a equação

$$\Phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad (1)$$

$d\vec{A}$ é um vetor de módulo dA perpendicular a um elemento de área dA (HALLIDAY, RESNICK, 2016, p.249 e 250).

Suponha que a espira seja plana com o campo perpendicular ao plano da espira. Então, o produto escalar fica:

$$\Phi = \int B \cdot dA \cdot \cos 0^\circ = \int B \cdot dA$$

tomando como uniforme o \vec{B} a equação se reduz a

$$\Phi = B \int dA$$

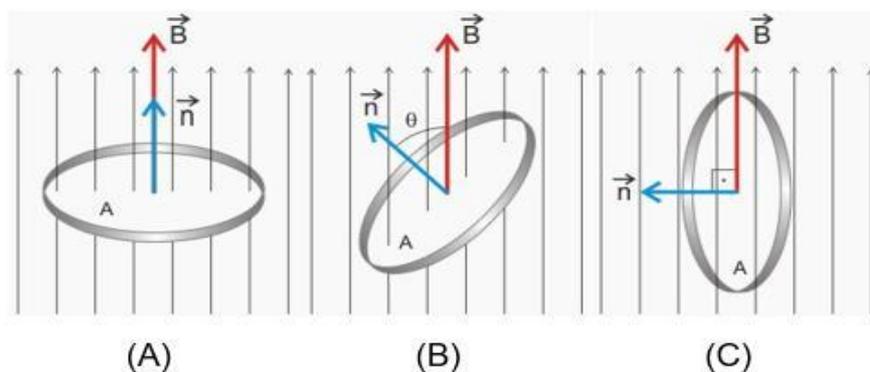
onde $\int dA$ é a área da espira (HALLIDAY, RESNICK, 2016).

A unidade de fluxo magnético Φ é o tesla vezes metro quadrado, que recebe o nome de weber (**Wb**). Em homenagem ao físico alemão Wilhelm Eduard Weber.

$$1 \text{ Weber} = 1 \text{ Wb} = 1 \text{ T.m}^2$$

Considerando \vec{B} uniforme, podemos pegar a espira imersa nesse campo e girá-la, de modo que o fluxo varie. Para entendermos o que está por vir vamos lembrar o que foi dito acima, sendo $d\vec{A}$ definido como um vetor perpendicular à superfície dessa área, onde $\int dA$ é o próprio valor dessa área, tendo sua direção e sentido representado na figura 2 pelo vetor normal \vec{n} .

Figura 2 - Espira rotacionando em campo magnético uniforme.



Fonte: Borges e Nicolau (2022).

A figura 2 mostra que o fluxo Φ depende do ângulo, visto que esse fluxo varia à medida que essa área sofre uma rotação no interior desse campo. Observe atentamente e veja que o fluxo, inicialmente, é máximo em A, mas vai diminuindo gradativamente até se anular em C.

Vamos passar pelas três situações:

- Situação A: o vetor normal \vec{n} é paralelo ao vetor \vec{B} , o ângulo θ formado entre eles vale $\theta = 0^\circ$ e, nesse caso, o fluxo é máximo.
- Situação B: à medida que a área vai sendo rotacionada no interior desse campo, o ângulo θ formado entre os vetores \vec{n} (normal) e \vec{B} (campo) vai gradativamente aumentando, ao passo que o fluxo (número de linhas que atravessa a área) vai diminuindo. Por exemplo, para $\theta = 45^\circ$, o fluxo é menor que para $\theta = 0^\circ$.
- Situação C: o ângulo θ atinge 90° e, nesse ponto, o fluxo (nº de linhas que atravessa a área) se anula, visto que nenhuma linha de campo passa “por dentro” da área. Todas elas passam paralelamente à superfície da área sem penetrá-la.

Percebe-se que o fluxo é máximo para $\theta = 0^\circ$ e, mínimo para $\theta = 90^\circ$. Portanto, Φ depende do ângulo \vec{n} com \vec{B} . Faz-se necessário, que a equação (1) para Φ seja reescrita como

$$\Phi = B.A. \cos \theta \quad (\vec{B} \perp \text{área } A, \vec{B} \text{ uniforme}) \quad (2)$$

Analisando a equação (2), percebemos que ela leva em conta todos os fatores necessários para descobrir o fluxo magnético através de uma espira.

- o valor do campo magnético (representado pelo módulo de \vec{B});
- o valor de metros quadrados m^2 (representado pela área A);
- a orientação da área no interior desse campo \vec{B} , representada pelo $\cos\theta$, onde θ é o ângulo formado entre \vec{n} e \vec{B} .

Apesar de acrescentar mais um termo na equação, a unidade de Φ não sofre modificações, já que $\cos\theta$ é adimensional (HALLIDAY, RESNICK, 2016).

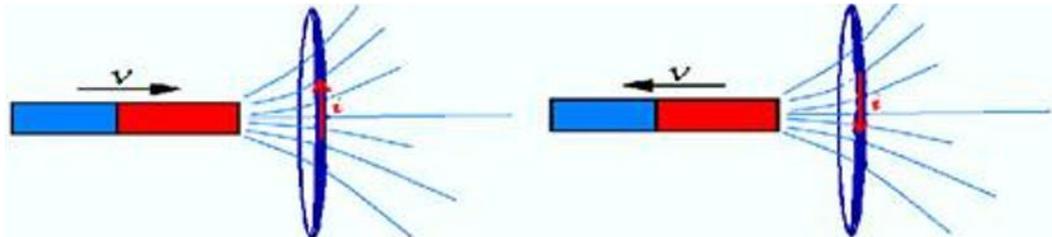
2.3 Variando o fluxo magnético

Na equação (2), percebemos que, para fazer o fluxo Φ do campo magnético através de uma espira variar, podemos modificar o valor de \vec{B} , o valor da A ou o valor do θ . Vamos analisar as três hipóteses.

2.3.1 Mudando o módulo de \vec{B}

Uma das formas de alterar o módulo do campo magnético \vec{B} é através da manipulação da posição de um ímã em relação a uma espira. Ao aproximar o ímã da espira, a densidade das linhas de campo magnético que atravessam a área da espira aumenta. De modo contrário, ao afastar o ímã, essa densidade diminui. Esse processo é ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Movimentando um ímã nas proximidades de uma espira.



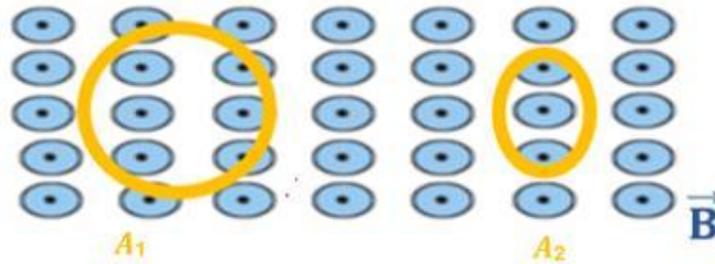
Fonte: Bocafoli, F. (2022).

Em um ímã o campo magnético é mais intenso nas proximidades dos polos, e mais fraco à medida que nos afastamos deles. Quando a espira e ímã sofrem aproximação relativa, o número de linhas de campo \vec{B} que efetivamente passam por dentro da espira aumenta, aumentando o fluxo Φ do campo magnético. Por outro lado, quando a espira e ímã sofrem afastamento relativo, o número de linhas de campo \vec{B} que efetivamente passam por dentro da espira diminui, diminuindo o fluxo Φ do campo magnético (HEWITT, 2015).

2.3.2 Mudando o valor de A

Uma maneira possível seria, por exemplo, reduzindo ou aumentando área A. Suponha que seja possível ir aumentando ou diminuindo a área da espira já imersa em uma região de campo magnético. Enquanto suas dimensões estão sendo aumentadas a área vai mudar, crescendo, fazendo com que passe mais densidade de linhas e quando as dimensões são diminuídas, conseqüentemente a área é reduzida, passará menos linhas por dentro da área. Como está havendo uma variação de linhas através da variação de área o fluxo é modificado, aumentando e diminuindo respectivamente. A figura 4, ilustra a descrição.

Figura 4 - Espira com a área sendo reduzida.



Fonte: Autoria própria (2022).

2.3.3 Mudando o valor de θ

Já vimos antes de definir a equação (2) que se mudarmos o ângulo, girando a espira imersa em \vec{B} , o fluxo varia. Observe a figura 2.

Como podemos perceber nesses três casos o fluxo magnético na espira varia.

Além do comum nesses exemplos do fluxo variar, as experiências mostram que ao variar θ na espira surge nela uma corrente elétrica, dita corrente induzida (i_{induzida}).

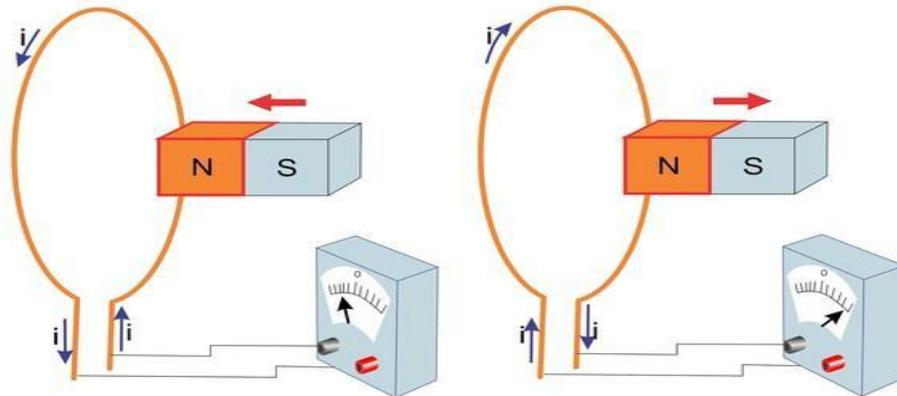
2.4 A Lei de Indução de Faraday

As observações experimentais realizadas por Michael Faraday, juntamente com contribuições de outros cientistas da época, culminaram na formulação de uma das leis fundamentais do eletromagnetismo, conhecida como Lei da Indução de Faraday. Esta lei descreve como uma variação no campo magnético ao longo do tempo pode induzir uma força eletromotriz (fem) em um circuito fechado.

Dizemos que, a variação do fluxo do campo magnético através de uma espira condutora induz nela uma corrente elétrica, que existirá apenas enquanto o fluxo estiver variando. (HALLIDAY, RESNICK, 2016).

Para ilustrar o conceito de indução eletromagnética, podemos idealizar um experimento envolvendo uma espira circular conectada a um amperímetro. Aproximando ou afastando um ímã da espira, é possível observar a variação na corrente elétrica indicada pelo amperímetro. Esse experimento demonstra como a variação do campo magnético em torno da espira induz uma corrente elétrica, conforme descrito pela Lei de Faraday-Lenz. A Figura 5 ilustra o esquema desse experimento.

Figura 5 - Experimento de movimento relativo de ímã com espira conectada a um amperímetro.



Fonte: Santo, J. C.F. (2022).

Podemos perceber pelo experimento de aproximação e afastamento os seguintes dados.

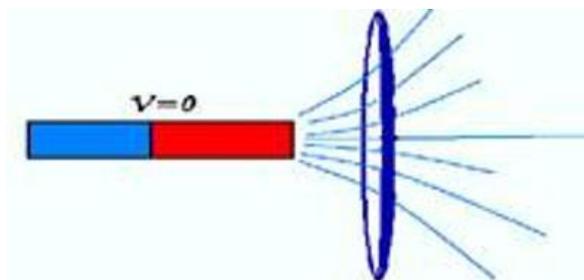
Se o ímã está em repouso, o amperímetro não registra corrente na espira. Com o ímã parado não há variação do fluxo.

A partir do momento que o ímã começa a se aproximar, o amperímetro registra corrente. Neste caso, está havendo variação do fluxo.

Afastando o ímã da espira, o amperímetro, novamente registra corrente, entretanto, seu ponteiro vai para o outro lado, registrando um valor negativo. Também, enquanto há fluxo variando.

Nos momentos em que o ímã fica parado, ou seja, toda vez que o movimento relativo entre o ímã e a espira é zero, não existe corrente induzida como mostra a figura 6.

Figura 6 - Ímã e espira com movimento relativo nulo



Fonte: Bocafoli, F. (2022).

As correntes induzidas na aproximação e no afastamento do ímã têm sentidos opostos.

Outra constatação é que os valores da corrente induzida são tanto maiores quanto maior é a velocidade de aproximação ou afastamento do ímã. À vista disso, a corrente induzida não depende propriamente de \vec{B} , mas sim da rapidez com que \vec{B} varia em relação ao tempo.

A indução eletromagnética pode ser provocada pelo afastamento ou pela aproximação tanto do ímã como da espira. Basta, para tanto, que haja movimento relativo, não importando qual dos dois o causou.

Experimentos representando a variação do fluxo magnético usando a variação da área e do ângulo θ podem ser feitos sem dificuldade. Em todos esses casos o fluxo varia causando na espira uma corrente induzida na qual verifica-se os mesmos princípios.

Podemos agora enunciar a Lei de Faraday como é encontrada nos livros didáticos do ensino universitário.

Podendo ser escrita na forma

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (\text{lei de Faraday}) \quad (3)$$

“O módulo da força eletromotriz \mathcal{E} induzida em uma espira condutora é igual à taxa de variação com o tempo do fluxo magnético Φ_B que atravessa a espira”. (HALLIDAY, RESNICK, 2016, p.250).

Como vamos ver adiante, a força eletromotriz induzida em uma espira se opõe à variação do fluxo, de modo que matematicamente o sinal negativo na expressão acima indica essa oposição.

2.5 A Lei de Lenz

A Lei de Lenz é um princípio fundamental da física que complementa a Lei da Indução de Faraday ao descrever a direção da corrente induzida em um circuito elétrico. Segundo essa lei, a corrente induzida em um circuito devido a uma variação do fluxo magnético através desse circuito gerará um campo magnético que se opõe à mudança no fluxo magnético original. Essa oposição é uma manifestação do princípio da conservação de energia.

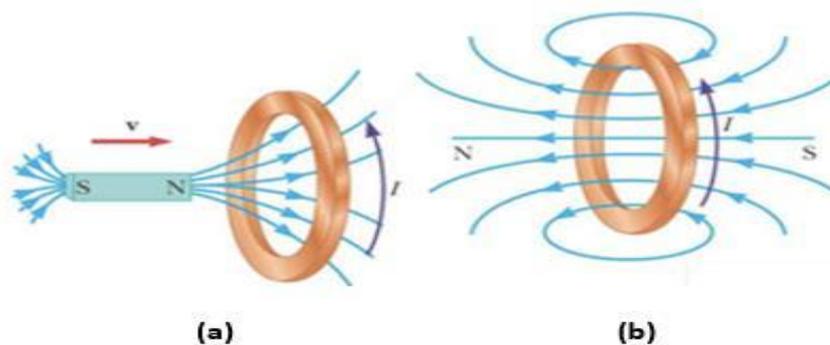
Este princípio pode ser entendido como uma manifestação do princípio da conservação de energia. Halliday, Resnick e Walker (2013) explicam que a Lei de Lenz assegura que a energia não seja criada nem destruída, mas transformada de uma forma para outra. Por exemplo,

se um ímã é movido em direção a uma espira, a corrente induzida na espira gera um campo magnético que se opõe ao movimento do ímã, exigindo trabalho para continuar movendo o ímã, o que resulta na conversão de energia mecânica em energia elétrica.

“A corrente induzida em uma espira tem um sentido tal que o campo magnético produzido pela corrente se opõe ao campo magnético que induz a corrente”. (HALLIDAY, RESNICK, 2016, P. 251).

Vamos abordar a lei de Lenz com dois experimentos abaixo. Na figura 7(a), está ocorrendo movimento relativo de aproximação entre um ímã e uma espira circular condutora.

Figura 7 - Movimento relativo de aproximação entre um ímã e espira.



Fonte: Simões, M. A. (2019).

Na aproximação o fluxo magnético Φ_B na espira está aumentando. Devido a isso, conseguimos definir:

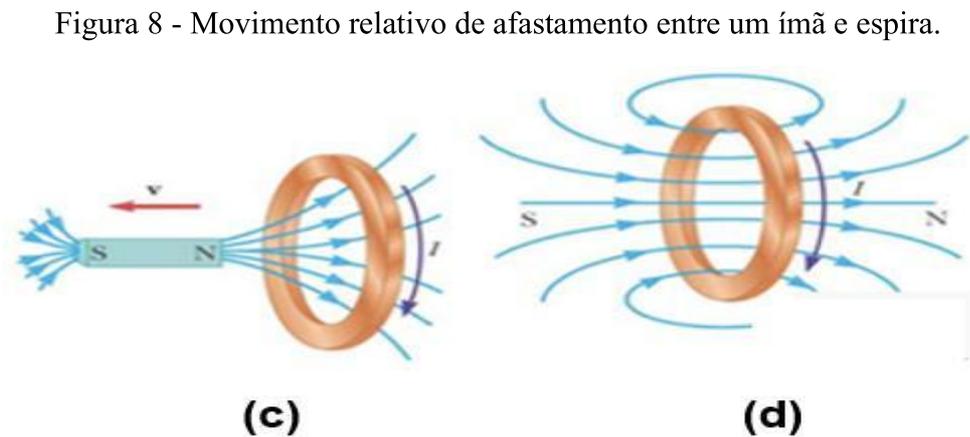
Sempre que houver movimento relativo de aproximação entre um ímã e uma espira, o fluxo do campo magnético indutor aumentará, independente do polo do ímã voltado para a espira.

Para se opor a esse aumento do fluxo indutor, surge, na espira, uma corrente induzida i induzida que gera um campo magnético induzido $\vec{B}_{\text{induzido}}$ que produz um fluxo induzido contrário ao fluxo indutor (figura 7 (b)). Nessa situação, a espira fica polarizada magneticamente, isto é, apresentará os polos norte e sul.

As linhas do campo magnético induzido $\vec{B}_{\text{induzido}}$ gerado por i_{induzida} , como sempre, saem do polo norte (induzido) e vão para o sul (induzido). Portanto, percebe-se que a face da espira voltada para o ímã será um polo N induzido magneticamente. Desta maneira, terá uma repulsão magnética entre o polo Norte do ímã e o polo Norte induzido da espira.

Perceba que a aproximação não será espontânea, pois alguém terá que exercer força contra as forças repulsivas para conseguir aproximar. O trabalho motor útil, realizado pela força exercida por alguém, representa a energia (mecânica) entregue ao sistema que se converte em energia elétrica. Percebemos o princípio da conservação da energia. (HALLIDAY, RESNICK, 2016).

A figura 8(c) mostra o movimento relativo de afastamento entre um ímã e uma espira circular condutora.



Fonte: Simões, M. A. (2019).

Durante o afastamento, percebe-se que o fluxo magnético gerado pelo ímã atravessando a espira está diminuindo.

Do mesmo modo que o caso anterior podemos definir:

Sempre que houver movimento relativo de afastamento entre um ímã e uma espira, o fluxo do campo magnético indutor Φ_B diminuirá, independente do polo do ímã voltado para a espira.

Para opor-se a essa variação, de diminuição do fluxo indutor, surge uma corrente induzida i_{induzida} na espira que produz um campo induzido $\vec{B}_{\text{induzido}}$ que gera um fluxo induzido a favor do fluxo indutor. Esse fluxo induzido soma-se, então, ao indutor, tentando evitar a variação, isto é, a redução do fluxo total.

Percebe-se, que a corrente induzida “tenta” que o fluxo total através do anel não se altere. A espira polariza-se magneticamente, apresentando polos Norte e Sul induzidos.

Na face da espira voltada para o ímã, um polo sul (S) induzido, surge, tentando impedir o afastamento do ímã. Alguém precisa realizar um trabalho, que se converte em energia elétrica, sendo a maior parte dissipada em efeito joule.

Percebemos com os dois experimentos acima que o fluxo de $\vec{B}_{induzido}$ sempre se opõe à variação do fluxo de \vec{B} , mas isso não significa que \vec{B} e $\vec{B}_{induzido}$ tem sempre sentidos opostos. Nota-se ao se afastar o ímã da espira na figura 8, o fluxo Φ_B produzido pelo ímã tem o mesmo sentido que antes, para a direita, mas diminuindo, e o $\vec{B}_{induzido}$ também para a direita de modo a se opor à diminuição do Φ_B . Nesse exemplo, portanto, \vec{B} e $\vec{B}_{induzido}$ tem o mesmo sentido. (HALLIDAY, RESNICK, 2016).

Portanto, definido o fluxo de indução através de um condutor, a força eletromotriz média induzida nesse condutor, em determinado intervalo de tempo Δt , é dada pela seguinte expressão, que traduz a Lei de Faraday - Lenz nos livros de ensino médio, como

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} \quad (\text{lei de Faraday - Lenz}) \quad (4)$$

onde $\Delta\Phi$ é a variação do fluxo indutor durante o intervalo de tempo Δt (LUZ. A. M. R.; ÁLVARES, B. A. 2015).

Essa expressão mostra que a força eletromotriz induzida, bem como a corrente induzida se o condutor constituir um circuito fechado, é tanto mais intensa quanto mais rápida é a variação do fluxo indutor. Percebemos que a lei de Lenz está implícita na lei de Faraday através do sinal de menos (-), que nesta aparece. Uma observação é que se a taxa de variação $\Delta\Phi/\Delta t$ for constante no tempo, a força eletromotriz média induzida (\mathcal{E}_m) coincidirá com a induzida num instante qualquer (\mathcal{E}) (HEWITT, 2015).

Conforme abordado na sequência didática descrita nesta dissertação. Observa-se que grande parte deste conteúdo exige dos alunos um elevado nível de abstração, especialmente ao tratar do fluxo magnético e, subsequentemente, da Lei de Lenz, que muitas vezes é apresentada apenas como um sinal em uma equação. Embora existam experimentos físicos e online disponíveis para trabalhar a Lei de Faraday, o ensino da Lei de Lenz ainda carece de experimentos que a demonstrem de maneira eficaz.

De acordo com Young e Freedman (2012), a Lei de Faraday é frequentemente ensinada por meio de demonstrações experimentais que ilustram a indução eletromagnética, como a movimentação de um ímã através de uma bobina conectada a um galvanômetro. Essas atividades práticas ajudam os alunos a visualizar como a variação do campo magnético gera uma corrente elétrica, facilitando a compreensão do conceito de força eletromotriz induzida.

Knight (2017) enfatiza que a Lei de Lenz é essencial para explicar a direção da corrente induzida e deve ser apresentada de forma que os alunos compreendam seu papel na conservação de energia. No entanto, muitas vezes, essa lei é reduzida a um mero sinal negativo na equação da força eletromotriz, sem uma exploração prática adequada. Isso pode dificultar a compreensão completa por parte dos estudantes, que não conseguem visualizar a oposição da corrente induzida à mudança no fluxo magnético.

A abordagem das Leis de Faraday e Lenz no currículo escolar brasileiro é fundamentada em diretrizes claras estabelecidas pelo Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD), pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e pelos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs). Estas leis são essenciais para o ensino de eletromagnetismo na disciplina de Física, sendo abordadas de maneira a promover uma compreensão profunda e aplicada dos conceitos científicos.

O PNLD assegura que os materiais didáticos utilizados nas escolas públicas sejam de alta qualidade e estejam alinhados com os objetivos educacionais nacionais. Nos livros aprovados pelo PNLD, as Leis de Faraday e Lenz são apresentadas com uma combinação de teoria, exemplos práticos e atividades experimentais.

A BNCC estabelece as competências e habilidades que os estudantes devem desenvolver ao longo da educação básica. Para o ensino de Física no ensino médio, a BNCC destaca a importância de compreender os fenômenos eletromagnéticos e suas aplicações tecnológicas. As Leis de Faraday e Lenz são abordadas no contexto de transformação de energia, enfatizando a capacidade dos alunos de aplicar esses conceitos em situações práticas e problemas reais (BRASIL, 2018). A BNCC promove uma abordagem investigativa, onde os estudantes são incentivados a realizar experimentos e a formular hipóteses, seguindo o método científico.

Os PCNs, que foram uma das primeiras diretrizes curriculares nacionais, também enfatizam a importância do ensino das Leis de Faraday e Lenz. Os PCNs sugerem uma abordagem que integra teoria e prática, permitindo que os alunos vejam a aplicação dos conceitos científicos em contextos do dia a dia (BRASIL, 2002). Os documentos recomendam o uso de atividades experimentais e projetos investigativos para tornar o aprendizado mais significativo e contextualizado.

As Leis de Faraday e Lenz nos currículos brasileiros é fundamentada em teorias educacionais construtivistas, como as propostas por David Ausubel, que enfatiza a aprendizagem significativa através da integração de novos conhecimentos com os já existentes

(AUSUBEL, 2003). A aplicação prática e a experimentação, promovidas tanto pelo PNLD quanto pela BNCC e PCNs, são consistentes com a teoria de aprendizagem experiencial de John Dewey, que destaca a importância da interação ativa dos estudantes com o conteúdo (DEWEY, 1996).

O objetivo deste trabalho é contribuir para a compreensão da Lei de Lenz por meio do desenvolvimento e aplicação de um experimento que ilustre tanto a Lei de Faraday quanto a Lei de Lenz de forma integrada. Mazur (2014) sugere que experimentos bem elaborados são cruciais para o ensino eficaz desses conceitos, pois permitem que os alunos façam conexões entre a teoria e as observações práticas. Ao proporcionar uma experiência educacional mais completa, esperamos que os alunos desenvolvam uma compreensão mais profunda e intuitiva das leis de Faraday e Lenz, reconhecendo a interdependência desses princípios no fenômeno da indução eletromagnética.

3 REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO

3.1 O contexto

O ensino de Física no Brasil tem sido amplamente discutido em diversos contextos, refletindo as preocupações e desafios enfrentados por educadores e formuladores de políticas educacionais. Um dos principais pontos de debate é a necessidade de tornar o ensino mais atraente e relevante para os estudantes, considerando a rápida evolução tecnológica e científica (BRASIL, 2018). A abordagem tradicional, muitas vezes centrada na memorização de fórmulas e conceitos abstratos, tem se mostrado insuficiente para engajar os alunos e desenvolver um entendimento profundo e aplicável da Física.

Diversos estudiosos, como enfatizam Moreira e Massoni (2017), apontam para a importância de metodologias ativas de ensino, que promovam a participação ativa dos estudantes no processo de aprendizagem. Essas metodologias incluem o uso de experimentos práticos, projetos interdisciplinares e o uso de tecnologias digitais para simulações e visualizações de fenômenos físicos. Além disso, a contextualização dos conteúdos com situações do cotidiano dos alunos pode facilitar a compreensão e a aplicação dos conceitos aprendidos.

A educação deve iniciar um processo de aprendizagem contínua que permita a crianças, jovens e adultos alcançarem excelência em suas habilidades cognitivas e sociais, transformando-os em profissionais dedicados, críticos e especializados em suas áreas de atuação. Para isso, é essencial que a escola ofereça condições adequadas para o processo de formação contínua e continuada, atendendo a todos aqueles que desejam crescer como pessoas e profissionais (FREIRE, 1996; GATTI, 2009).

No contexto atual, é evidente que o papel do professor vai além da simples transmissão de conhecimento. Conforme destaca Libâneo (2013), os educadores precisam constantemente buscar métodos e estratégias pedagógicas inovadoras que possam ser aplicadas em sala de aula, incentivando os alunos a desenvolver e reformular seus pensamentos. Esse processo é fundamental para formar cidadãos críticos e responsáveis, capazes de enfrentar os desafios da sociedade contemporânea.

Uma das maiores dificuldades enfrentadas pelos alunos no ensino médio está relacionada com a falta de compreensão dos assuntos da disciplina de Física. Apesar de todo o avanço tecnológico e as metodologias ativas estarem numa grande crescente o ensino de física precisa ser debatido. Segundo Moreira (2018, p.1):

Esse ensino está em crise. A carga horária semanal que chegou a 6 horas-aula por semana, hoje é de 2 ou menos. Aulas de laboratório praticamente não existem. Faltam professores de Física nas escolas e os que existem são obrigados a treinar os alunos para as provas, para as respostas corretas, ao invés de ensinar Física. A interdisciplinaridade e a transdisciplinaridade são confundidas com não disciplinaridade e tiram a identidade da Física.

Para Rosa (2005), o ensino atual de Física no Brasil tem se restringido, em sua maioria, a resolução de exercícios em preparação ao vestibular. Basta observarmos os livros e apostilas recheados de exercícios preparatórios para as provas de vestibular e que, na sua essência, preponderam pela memorização e pelas soluções algébricas.

Muitas escolas enfrentam dificuldades significativas devido à falta de espaços estruturados adequados para acomodar os alunos. As salas de aula são frequentemente pequenas e, em muitas delas, há uma superlotação que compromete a qualidade do ensino (Gatti, 2009). Além disso, não há espaços dedicados para aulas experimentais. Quando os professores desejam realizar atividades de laboratório, essas práticas muitas vezes precisam ser improvisadas em algum espaço disponível ou até mesmo na própria sala de aula, utilizando recursos próprios (LIBÂNEO, 2013).

Essa falta de infraestrutura adequada para aulas práticas de Física limita consideravelmente a capacidade dos educadores de proporcionar uma educação completa e envolvente. Segundo Nardi (2018), a ausência de laboratórios equipados impede que os alunos experimentem e visualizem os fenômenos físicos, o que é essencial para a compreensão profunda dos conceitos científicos. A improvisação de atividades experimentais, embora criativa, não substitui a necessidade de espaços adequados e bem equipados para o ensino eficaz.

A necessidade de melhores condições estruturais é uma questão crítica para a melhoria do ensino de Física nas escolas. Conforme Silva (2019), investimentos em infraestrutura escolar são fundamentais para oferecer um ambiente de aprendizagem que favoreça tanto o desenvolvimento teórico quanto prático dos alunos. Espaços bem equipados para aulas experimentais são essenciais para que os estudantes possam aplicar os conceitos aprendidos e desenvolver habilidades críticas e analíticas.

Neste trabalho, buscamos desenvolver uma sequência didática que associa atividades experimentais com metodologias ativas, reconhecendo a importância fundamental dos experimentos no ensino de Física. As atividades experimentais desempenham um papel crucial na educação científica, pois permitem que os alunos observem diretamente os fenômenos

físicos, facilitando a compreensão de conceitos abstratos e complexos (HOFSTEIN e LUNETTA, 2004).

Hodson (1990), destaca que a integração de atividades práticas no currículo de Física contribui significativamente para a construção do conhecimento científico, promovendo um aprendizado mais significativo e duradouro. Ao envolver os estudantes em experimentos, eles se tornam participantes ativos no processo de aprendizagem, desenvolvendo habilidades críticas e analíticas essenciais para a formação de um pensamento científico.

A escolha das atividades experimentais como recurso pedagógico para este trabalho visa proporcionar uma experiência educacional mais rica e envolvente, que não só facilita a assimilação dos conteúdos teóricos, mas também prepara os alunos para aplicarem esses conhecimentos em contextos reais (LIBÂNEO, 2013). Assim, esperamos contribuir para a formação de estudantes mais críticos, criativos e bem-preparados para enfrentar os desafios da ciência e da tecnologia.

Segundo Oliveira (2010), os experimentos contribuem para despertar e incentivar a atenção dos estudantes durante as aulas, é de grande importância que durante o desenvolvimento das atividades experimentais o professor exerça uma postura questionadora, e faça o uso de estratégias para manter a atenção dos alunos durante a atividade proposta, estimulando-os a participarem da atividade.

No entanto, é necessário ter atenção no uso dos experimentos em sala de aula, para que não se tornem apenas ilustrativos ou demonstrativos. É preciso avaliar a eficácia do uso da experimentação no ensino-aprendizagem, esse ponto tem sido discutido e repensado por vários pesquisadores e professores.

Borges (2002), destaca que manusear aparatos experimentais não garante que os objetivos educacionais sejam alcançados, fazendo-se necessário uma redefinição dos objetivos em relação aos mesmos.

O ensino tradicional caracteriza-se por uma abordagem que promove a aprendizagem passiva, baseada na memorização de regras, fórmulas e procedimentos pré-determinados. Esse modelo de ensino enfatiza a transmissão de conteúdo de forma linear, onde o uso de materiais e experimentos era muitas vezes considerado uma perda de tempo, visto como atividades que poderiam prejudicar o andamento das aulas (HODSON, 2014).

No entanto, discussões sobre a didática da Física têm incentivado a utilização de experimentos de forma demonstrativa, com o objetivo de auxiliar na memorização e compreensão dos conceitos científicos (ABRAHAMS & REISS, 2012). Essa mudança visa

transformar o ensino de Física em uma experiência mais interativa e envolvente, permitindo que os alunos visualizem os fenômenos estudados e compreendam melhor os princípios teóricos.

Apesar disso, muitos professores ainda utilizam experimentos no ensino-aprendizagem da Física como um meio de parecerem mais eficazes, sem perceber que, ao fazê-lo de maneira superficial, podem estar apenas reproduzindo o modelo tradicional de ensino (BENNETT, 2019). Esta abordagem pode resultar em dificuldades adicionais para os alunos, que continuam a tratar os experimentos como meras ilustrações de conceitos previamente memorizados, em vez de oportunidades para desenvolver habilidades críticas e analíticas (BYBEE, 2015).

Para evitar esse retrocesso, é essencial que os educadores integrem os experimentos de forma significativa no processo de ensino-aprendizagem, utilizando-os não apenas como demonstrações, mas como ferramentas para fomentar a investigação científica e o pensamento crítico (OSBORNE & DILLON, 2016). Dessa forma, o ensino de Física pode evoluir para um modelo mais ativo e participativo, beneficiando o desenvolvimento integral dos alunos.

Para Tamir (1989), muitas dessas atividades práticas fogem do contexto e conceitos físicos que são necessários naquele momento; para os estudantes não fazem sentido ou não são relevantes, uma vez que estão roteirizadas, a montagem e a resolução já estão previamente determinadas; os estudantes apenas operam, coletando os dados, para em seguida aplicarem em fórmulas decoradas; utilizando praticamente todo o tempo nos cálculos, não sobrando tempo para uma análise e interpretação. Muitas das vezes os estudantes manipulam os dados, uma vez que já sabem o que precisam fazer para chegarem na resposta certa ou a que o professor espera. Sá e Borges (2001), concordam que:

Outra problemática na utilização do experimento didático ocorre em relação aos roteiros previamente estabelecidos pelos professores, donde estão procedimentos a serem seguidos pelos estudantes, muitas vezes os mesmos não conseguem ter clareza acerca dos propósitos pedagógicos subjacentes às atividades propostas.

Vários trabalhos envolvendo experimentação no ensino de ciências vem sendo desenvolvidos e publicados. A experimentação como amparo metodológico no ensino de Física, é apontada pelos professores como uma estratégia que contribui nas aulas, ajudando na compreensão dos alunos em relação aos conteúdos trabalhados na disciplina, inclusive na de Física. Brasil (2008, p. 26), afirma que:

A experimentação faz parte da vida na escola ou no cotidiano de todos nós. As atividades experimentais devem partir de um problema, de uma questão a ser respondida. Cabe ao professor orientar os alunos na busca das respostas. As questões propostas devem propiciar oportunidade para que os alunos elaborem hipóteses, testem-nas, organizem os resultados obtidos, reflitam sobre o significado esperados e inesperados e usem as conclusões para a construção do conceito pretendido.

Portanto, faz-se necessário seu uso em sala de aula, porém com atenção e objetivos pré-definidos a serem alcançados, de modo que ajude os alunos a desenvolverem a aprendizagem, sobretudo no ensino de física.

3.2 Metodologias ativas

Metodologias ativas é uma concepção educativa que incentiva os processos educacionais crítico-reflexivos, por meio dos quais o educando participa de modo comprometido com o processo de aprendizado (SOBRAL; CAMPOS, 2012).

O objetivo das metodologias ativas é fazer com que o aluno seja o protagonista e desenvolva as potencialidades que contribuirão para a sua autonomia. Para Freire (2010, p.26), “a prática pedagógica deve ser inovadora, de modo que o aluno se torne protagonista do seu próprio crescimento e que possa desenvolver um educando autônomo”.

Morán (2015), deixa claro que as escolas responsáveis por mostrar novos caminhos estão alterando o modelo disciplinar. Optando por modelos mais centrados em aprender ativamente com problemas, desafios relevantes, jogos, atividades e leituras, combinando tempos individuais e tempos coletivos; projetos pessoais e projetos de grupo. E para essa mudança se faz necessário uma mudança no currículo, na interação dos professores, na organização didática, dos espaços e tempos.

Na opinião de Berbel (2011), as metodologias ativas apoiam-se em formas de desenvolver o processo de aprender, utilizando experiências reais ou simuladas, visando às condições de solucionar, com sucesso, desafios advindos das atividades essenciais da prática social, em diferentes contextos.

A inovação pedagógica se faz necessária no ensino dos dias atuais já pensando em uma preparação do aluno para o futuro. O professor deve ser auxiliador no processo de aprendizagem, por isso, as metodologias ativas são de grande valia para o êxito desse objetivo. Barbosa e Moura (2013), nos mostram que os princípios das metodologias ativas de aprendizagem como práticas de ensino favorecem o aluno nas atividades de ouvir, ver, perguntar, discutir, fazer e ensinar.

Podemos perceber que, as metodologias ativas aplicadas ao ensino de física, fará com que o aluno aprenda através da dúvida, do questionamento, deixando de lado o papel de mero receptor e resolvidor de testes matemáticos, tornando-se construtor do próprio conhecimento, percebendo sua importância nesse processo de construção. Além de desenvolver nos alunos habilidades e conhecimentos por si mesmos, mostrando que o conhecimento é construído e não pronto como era pensado quando se tinha apenas o ensino tradicional que visava na decoreção de inúmeras fórmulas matemáticas.

Essa metodologia deixa evidente o papel do professor e a sua participação ao utilizar esse tipo de método em seu plano de aula. Portanto, podemos afirmar que elas colocam o aluno como o centro, desenvolvem a autonomia, criam uma reflexão para ser debatidas em grupos (trabalho em equipe) e se pautam em problematização da realidade e tudo isso, com o professor sendo mediador.

Na próxima seção faremos uma sucinta explanação do referencial teórico abrangido na elaboração da sequência didática. Entendemos que se faz necessário aplicar uma metodologia de aprendizagem ativa para o ensino de eletromagnetismo. Para isso, lançamos mão da metodologia POE (Predict – Observe – Explain) desenvolvida por White e Gustone, pesquisadores australianos construtivistas.

3.3 Metodologia POE (Previsão –Observação - Explicação)

Esta metodologia foi desenvolvida na Universidade de Pittsburgh e inicialmente foi denominada de DOE (demonstre, observe, explique) (NEDELSKY, 1961). Foi proposta por Nedelsky (1961), e depois idealizada por White e Gunstone (1992), já como metodologia POE, tratando-se de uma ferramenta de avaliação formativa, fazendo uso de demonstração juntamente de um experimento qualitativo proposto pelo professor em aulas teóricas (GUNSTONE, 1992).

Para Santos e Sasaki (2015), essa metodologia é utilizada como uma estratégia de promoção de aprendizagem em física e química. Muitos trabalhos já estão sendo publicados utilizando e comprovando a eficiência do método, fazendo uso de simulações computacionais e vídeos, uso de demonstração juntamente de um experimento qualitativo pelo professor em aulas teóricas. Citada por Barros (1994) consta de três etapas distintas:

I. A primeira etapa do processo experimental é a previsão. Antes de iniciar o experimento, os alunos devem ser divididos em grupos ou trabalhar individualmente para discutir o problema proposto pelo professor. Nesse momento, é essencial que os alunos troquem experiências

peçoais e prevejam o resultado esperado ou formulem hipóteses sobre o tema em questão. Para realizar essas previsões, os alunos utilizam conhecimentos já adquiridos em sala de aula, escrevendo livremente suas ideias sobre as questões formuladas e justificando suas previsões. É fundamental a participação ativa do professor nesta etapa para evitar a desmotivação dos alunos e garantir que eles se sintam encorajados a responder ao problema proposto (Leme, 2015).;

II. Na segunda etapa, a da OBSERVAÇÃO, os alunos realizam o experimento definido, observando o que ocorre, anotando estas observações e comparando com a predição que foi feita na primeira etapa. É neste momento que pode ocorrer um conflito cognitivo entre o que foi previsto e o que foi observado (HAMEED; HACKLING; GARNETT, 1993);

III.A EXPLICAÇÃO, terceira etapa, é o momento em que os alunos irão descrever possíveis semelhanças e/ou diferenças entre as suas respostas da predição com aquilo que observaram durante a realização do experimento, tentando explicar o fenômeno, comprovando ou não a hipótese inicial. É nesta terceira etapa que a participação individual contribui para a resolução do problema lançado pelo professor, possibilitando que cada aluno organize suas descobertas dentro de um modelo conceitual (OLIVEIRA, 2003).

Para Santos e Sasaki (2015), ela é aplicada da seguinte maneira:

no início de cada aula, primeiramente busca-se através de uma situação real descobrir as ideias individuais dos alunos e as suas razões sobre aquele evento específico – previsão. Em seguida, os alunos descrevem o que é visto no fenômeno a ser analisado - observação. Por fim, os estudantes devem discutir em grupo e conciliar qualquer conflito entre a previsão e a observação – explicação.

Para Oliveira (2003), a terceira etapa, a explicação, é a mais importante. É neste instante que surge o elemento novo, isto é, a resolução do problema inicial, através da interação e das contribuições apresentadas entre os componentes do grupo com os dados da predição e da observação.

A metodologia POE diz que:

Predizer é entendido como a formulação de hipóteses, [...] muitas vezes construídas a partir das discussões anteriores, ou mesmo decorrentes das concepções alternativas dos estudantes. (...) **Observar** está voltado a questões de retomada de experiências vividas, seja ela uma reflexão individual, ou compartilhada com os demais colegas. Nas atividades experimentais, a capacidade de observação dos eventos é uma habilidade fundamental, pois o autocontrole diante do objeto de observação apresenta-se como indispensável na aprendizagem. [...] **Explicar** refere-se à retomada das hipóteses iniciais e o

confronto com novos conhecimentos. Saber explicitar ideias e formas de pensamento é fundamental para a construção do conhecimento. (ROSA e PINHO-ALVES, 2008, p.7).

A metodologia POE é ancorada em duas características principais. A primeira é promover a elicitación das ideias prévias dos aprendizes, isto é, proporcionar situações e mecanismos que estimulem o aluno a expressar as suas concepções debatendo-as com os colegas de grupo e depois apresentá-las de forma organizada, por escrito. A segunda é possibilitar uma aprendizagem ativa, isto é, transferir o foco da aula do professor que descreve e explica fenômenos, geralmente abstratos, para os próprios alunos que se tornam protagonistas do processo de aprendizagem (SANTOS; SASAKI, 2015).

É importante que a sequência do prever, observar, explicar seja seguida para que a atividade proposta tenha seus objetivos alcançados. Assim é possível que os alunos ao trabalharem em grupos possam compartilhar opiniões, previsões e interpretações (TAO; GUNSTONE, 1999).

Essa metodologia POE faz com que o aluno desenvolva seu pensamento, já que ele terá que explicar, argumentar com suas palavras, o experimento de um fenômeno real. O professor tem o papel de mediador, contextualizando o tema, procurando apresentar um fenômeno real que pode ser na forma de experimento, vídeo ou animação. Cabe ao docente acender a discussão de ideias, propor a interação dos alunos e posteriormente criar um espaço para analisar e debater as respostas.

Para Santos e Sasaki (2015), no decorrer das aulas exploram-se as ideias prévias dos alunos para desenvolvê-las e melhor compreendê-las. À vista disso, espera-se que ao se aplicar essa metodologia, surjam disparidades entre as previsões e o resultado observado do experimento, de modo que se possa discutir com os alunos sobre as hipóteses levantadas e sobre as concepções que o levaram a tais hipóteses.

Ainda, de acordo com Santos e Sasaki (2015), é dever do professor contextualizar o tema. Ele conhece a turma, então se faz necessário apresentar um fenômeno real, que esteja de acordo com a matéria, podendo ser um experimento físico, um experimento por vídeo ou animação. O professor deve elaborar um problema em sua atividade, seja experimental, em vídeo ou qualquer outro recurso didático, que produza um conflito cognitivo no estudante. Ou seja, o problema proposto deve apresentar um resultado diferente do previsto pelo estudante. O objetivo de se criar este conflito cognitivo é promover o aumento do engajamento dos alunos nas atividades e estimular a discussão e troca de significados na elaboração de uma nova explicação cientificamente aceita para os resultados observados com a realização do

experimento. Ao longo da atividade, o professor, deverá conduzir os alunos, estimulando a discussão de ideias, organizar a interação entre eles e finalmente debater as diferentes respostas, criando assim, o conflito cognitivo no estudante.

A metodologia POE, quando usada como uma metodologia ativa de ensino, tem seus resultados potencializados quando na etapa de explicação, utiliza-se um experimento de analogia ponte. Esse experimento, de analogia ponte, visa apresentar ao estudante uma outra situação problema com conceitos físicos semelhantes ao problema que gerou o conflito cognitivo, com o objetivo de promover a aprendizagem desses novos conhecimentos e que a partir disso, o aluno consiga reformular uma explicação cientificamente aceita sobre os fenômenos observados no experimento anterior e em seguida fazer a reconciliação dos significados dos conceitos envolvidos no processo do conflito cognitivo. Esse recurso de usar analogias é muito comum no ensino das Ciências (DUARTE, 2005), com o objetivo de ajudar os alunos à compreensão de conceitos considerados mais abstratos (LEITE & DUARTE, 2005).

Desse modo, este trabalho tem como objetivo apresentar uma proposta para o ensino de conteúdos de Física, utilizando a metodologia POE (Previsão, Observação e Explicação) aliada à experimentação, aplicada especificamente ao tema de Eletromagnetismo: Lei de Faraday – Lenz. Este tema é frequentemente considerado abstrato pelos alunos, e sua abordagem tradicional, onde o professor simplesmente define e explica o assunto, tende a transformar o aluno em um mero receptor de informações. Tal abordagem pedagógica é vista atualmente como ineficiente, especialmente em uma sociedade que está em constante transformação (SILVA, 2020; ALMEIDA, 2019).

4 O PRODUTO EDUCACIONAL E A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

4.1 A escolha da pesquisa

O ensino de eletromagnetismo, na maioria das vezes, acontece com uma maior ênfase no terceiro ano do ensino médio entre o penúltimo e último bimestre. Nesse momento as escolas estão se preparando para terminar o calendário anual, os alunos começam a ter um ritmo mais intenso de estudo para as provas de vestibulares. Na disciplina de física, com poucas aulas na grade, é necessário que o professor escolha os temas que dará tempo para ser ministrado e muitas das vezes serão os assuntos que aparecem com frequência nas provas de vestibulares. A partir disso, para tornar as aulas mais atrativas e para que os alunos conseguissem entender os conceitos de Lei de Faraday e Lei de Lenz com mais propriedade do que apenas decorar as fórmulas, pensamos em desenvolver a pesquisa dentro desses conceitos.

A pandemia de COVID-19, que teve início em 2020, trouxe desafios significativos para o sistema educacional, afetando profundamente o ensino de Física. A necessidade de distanciamento social e a transição abrupta para o ensino remoto impuseram obstáculos tanto para professores quanto para alunos. Durante esse período, as limitações tecnológicas e a falta de preparo para o ensino a distância resultaram em dificuldades na manutenção da qualidade educacional e na eficácia do aprendizado (GOMES, 2021; SANTOS, 2021).

Especificamente, o ensino de Física, que muitas vezes depende de atividades práticas e experimentais, foi particularmente impactado. A impossibilidade de realizar experimentos presenciais em laboratórios escolares comprometeu a compreensão dos conceitos físicos por parte dos alunos. Em muitos casos, os professores tiveram que recorrer a simulações online e outras ferramentas digitais, que, embora úteis, não substituem plenamente a experiência prática e o engajamento proporcionado pelos experimentos físicos (FERREIRA, 2020).

Além disso, a pandemia exacerbou as desigualdades educacionais, uma vez que nem todos os alunos tiveram acesso igualitário a recursos tecnológicos necessários para o ensino remoto, como computadores e conexão à internet de qualidade. Essa desigualdade impactou negativamente a aprendizagem e o desempenho acadêmico de muitos estudantes, especialmente aqueles de comunidades menos favorecidas (COSTA, 2021).

Em resposta a esses desafios, o trabalho propõe o uso da metodologia POE (Previsão, Observação e Explicação) com experimentação no tema de Eletromagnetismo: Lei de Faraday – Lenz. Esta abordagem visa tornar o ensino de Física mais interativo e eficaz, mesmo em contextos de ensino híbrido ou remoto, oferecendo uma alternativa pedagógica que pode mitigar algumas das dificuldades impostas pela pandemia (SILVA, 2020).

Entretanto, considera-se que o produto desenvolvido permanece aplicável no contexto do ensino presencial, apresentando-se como uma alternativa ao método tradicional no ensino das Leis de Faraday e Lenz. A metodologia POE (Previsão, Observação e Explicação) pode ser utilizada não apenas em atividades experimentais, mas também com uma variedade de outros recursos pedagógicos. Dessa forma, a metodologia se adapta a diferentes contextos e necessidades educativas (SILVA, 2020).

Os vídeos produzidos como parte deste trabalho estão disponíveis gratuitamente na plataforma YouTube, permitindo que professores interessados possam reproduzir ou adaptar esta sequência didática em suas práticas pedagógicas. Este acesso facilitado visa promover a disseminação de práticas inovadoras no ensino de Física, contribuindo para uma educação mais interativa e eficaz (GOMES, 2021).

4.2 O contexto da aplicação

A sequência didática (SD) foi aplicada nas turmas do terceiro ano do ensino médio regular de uma escola da rede federal de ensino, o Colégio de Aplicação João XXIII da Universidade Federal de Juiz de Fora, no período de Novembro a Dezembro de 2021. Essa SD foi direcionada para alunos com faixa etária entre 17 e 18 anos.

Foram realizados 10 encontros de forma remota, por meio da plataforma MOODLE, disponibilizada pelo Colégio de Aplicação João XXIII da Universidade Federal de Juiz de Fora. Essa plataforma já estava sendo utilizada pelos alunos durante a pandemia de COVID-19 para as aulas das disciplinas da grade curricular. Os encontros ocorreram nos turnos da manhã e da tarde, aproveitando os horários regulares de aulas de Física ministrados pelo professor regente da turma, que também atuou como orientador desse trabalho.

O Colégio de Aplicação João XXIII possuía três turmas de terceiro ano, totalizando 66 alunos. No entanto, nem todos os alunos conseguiram participar regularmente de todas as aulas. Durante a aplicação da sequência didática, encontramos vários problemas, como quedas na conexão de internet, alunos auxiliando em tarefas domésticas e até mesmo trabalhando em empregos informais devido às circunstâncias enfrentadas nesses tempos.

Ao final da sequência, decidimos analisar as respostas dos alunos que conseguiram concluir dentro do prazo estabelecido e que mantiveram regularidade nas aulas, participando ativamente nos chats e utilizando o microfone. Essa amostra consistiu de um terço dos alunos, ou seja, foram estudadas as respostas de 22 estudantes. Optamos por selecionar essa amostra

para que fosse possível realizar um estudo sobre a evolução conceitual que os alunos alcançaram ao participar de todas as etapas da sequência didática, refletindo o potencial real dessa sequência em promover a aprendizagem significativa dos conceitos de eletromagnetismo. Para efeito de comparação, podemos afirmar que tivemos uma turma de terceiro ano que participou efetivamente do processo.

Foi atribuído um valor de dez pontos para os alunos que participaram das duas sequências didáticas, respondendo ao que foi solicitado. A divisão dessa valorização foi de cinco pontos para a primeira SD e cinco pontos para a segunda SD.

Os outros quarenta e quatro alunos também receberam pontuações, pois participaram e entregaram as respostas, porém com atrasos na entrega. No entanto, estes alunos não foram incluídos na análise do trabalho devido aos atrasos substanciais, de até um dia, na entrega das respostas. Consideramos que esses atrasos poderiam ter possibilitado a troca de mensagens entre os colegas que entregaram as respostas durante o período de abertura de cada questão na aula.

É importante ressaltar que essa pontuação foi dada como uma forma de valorizar a participação e criar engajamento entre os alunos. A valorização da participação ativa é fundamental para incentivar a adesão às atividades propostas e promover um ambiente de aprendizagem mais dinâmico e colaborativo (DEMO, 2015). Além disso, ao recompensar o cumprimento dos prazos, busca-se desenvolver nos alunos um senso de responsabilidade e compromisso com suas atividades acadêmicas (OLIVEIRA & SASSERON, 2020).

A sequência didática desenvolvida foi planejada para ser aplicada ao longo de 10 aulas, divididas em duas partes. A primeira parte abordou a Lei de Faraday, enquanto a segunda parte tratou da Lei de Lenz. Essa divisão seguiu a lógica de ensino estabelecida pelos materiais didáticos aos quais os alunos têm acesso. Além disso, essa divisão foi necessária devido às configurações distintas exigidas pelo aparato experimental utilizado na criação dessa sequência didática.

Adicionalmente, a sequência didática foi concebida para ser aplicada após os estudantes terem tido um contato inicial com o conteúdo de indução magnética. Isso se deve ao fato de que esta atividade é investigativa, requerendo que os alunos realizem previsões. É crucial que eles tenham elementos para desenvolver suas hipóteses, especialmente porque, na época, estávamos em ensino remoto. Portanto, essa sequência foi planejada com o objetivo de promover uma maior participação dos estudantes, envolvendo-os em atividades que reforcem os conteúdos trabalhados em sala de aula.

Cada aula foi planejada com uma duração de 50 minutos, mas devido à situação daquele momento e às possíveis dificuldades de conexão dos alunos, foram reservados 40 minutos para o desenvolvimento do trabalho. Isso foi feito levando em consideração a possibilidade de problemas de conexão e a eventual lentidão da plataforma utilizada. Dessa forma, ajustamos o tempo disponível para garantir que as atividades pudessem ser concluídas dentro das limitações do ambiente virtual.

As questões das sequências didáticas foram disponibilizadas através da própria plataforma de aula, com um tempo programado para abertura e fechamento. Isso significa que cada questão tinha um prazo pré-definido para ser respondida. Além disso, as questões eram liberadas gradualmente à medida que a turma finalizava as questões anteriores. Essa medida foi adotada para garantir que a próxima questão não influenciasse na resposta da anterior, conforme preconizado pela metodologia utilizada.

A escolha desse modelo de aplicação das questões foi baseada no fato de que os alunos já estavam familiarizados com a ferramenta, uma vez que todas as atividades do ensino remoto eram solicitadas e realizadas por meio desse sistema. Portanto, utilizamos a plataforma como meio de garantir um fluxo adequado de trabalho e assegurar que os alunos pudessem se concentrar em cada questão individualmente, sem interferências externas.

4.3 O produto educacional

A sequência didática desenvolvida neste trabalho utilizou um aparato experimental chamado EXPINEL. Através do EXPINEL, foram gravados vídeos que demonstraram as fenomenologias do eletromagnetismo. Devido ao contexto pandêmico, os alunos não puderam realizar a manipulação física do experimento. Portanto, optou-se pela gravação dos vídeos, garantindo que todos os alunos tivessem acesso a eles por meio de plataformas digitais. Dessa forma, mesmo sem a possibilidade de manipulação direta, os alunos puderam aprender e compreender os fenômenos abordados nesta sequência didática.

O EXPINEL é um aparato educacional projetado para demonstrar os princípios de indução eletromagnética, conforme estabelecido pelas Leis de Faraday e Lenz. Este kit inclui uma série de componentes eletrônicos montados de maneira a facilitar a visualização e a compreensão dos fenômenos eletromagnéticos. Na caixa principal do EXPINEL, encontram-se dispostos uma ponte de diodos, resistores combinados em série e resistores combinados em paralelo.

A ponte de diodos, também conhecida como retificador de onda completa, é utilizada para converter corrente alternada (CA) em corrente contínua (CC). Esta configuração é composta por quatro diodos dispostos de forma a permitir que a corrente flua em uma única direção, independentemente da polaridade da tensão de entrada. No EXPINEL, a ponte de diodos é crucial para demonstrar como a indução eletromagnética pode ser utilizada para gerar corrente contínua a partir de uma fonte alternada.

Resistores em série são utilizados para aumentar a resistência total do circuito, o que resulta em uma diminuição da corrente total que flui através do circuito, conforme descrito pela Lei de Ohm. Esta configuração é útil quando se deseja limitar a corrente para proteger componentes sensíveis ou controlar a quantidade de corrente em um determinado ramo do circuito (FLOYD, 2008). Ao aumentar a resistência, a corrente diminui, o que pode evitar sobrecargas e danos aos componentes eletrônicos.

Por outro lado, resistores em paralelo são utilizados para diminuir a resistência total do circuito, permitindo um aumento da corrente total disponível. A combinação de resistores em paralelo proporciona múltiplos caminhos para a corrente, reduzindo a resistência total e, conseqüentemente, aumentando a corrente total no circuito. Isso é vantajoso quando é necessário fornecer mais corrente a diferentes partes do circuito sem aumentar a tensão de alimentação. Por exemplo, ao reduzir a resistência total, a corrente aumenta, permitindo que dispositivos que necessitam de mais corrente funcionem de maneira eficiente (HAYT & KEMMERLY, 2011).

O EXPINEL consiste basicamente em um circuito retificador que transforma a corrente e tensão alternadas de entrada em uma corrente retificada e tensão variável, alimentando a primeira bobina. O campo magnético variável produzido por esta bobina pode ser conduzido por uma barra de material ferromagnético até uma segunda bobina, onde temos um LED conectado. Assim, podemos observar os fenômenos relacionados à indução magnética na segunda bobina, como o acendimento do LED ao ligarmos o equipamento e a intensificação de seu brilho à medida que aproximamos a segunda bobina da primeira. Com o auxílio de uma câmera lenta, também podemos observar que os LEDs brilham alternadamente devido aos sentidos opostos entre as correntes elétricas em cada bobina. Uma descrição mais completa do EXPINEL pode ser encontrada no Apêndice A.

4.4 A sequência didática da Lei de Faraday

Aqui, apresentaremos as duas sequências didáticas elaboradas e aplicadas aos alunos. Como mencionado anteriormente, utilizamos cinco aulas para a primeira sequência, que é dividida em duas etapas, com base no referencial teórico POE. A primeira sequência foi subdividida em três etapas, abrangendo cada uma delas uma parte da metodologia POE. Desenvolvemos perguntas com o objetivo de despertar o interesse e promover a discussão sobre os conteúdos de eletromagnetismo, abordando os temas de Fluxo magnético e Lei de Faraday.

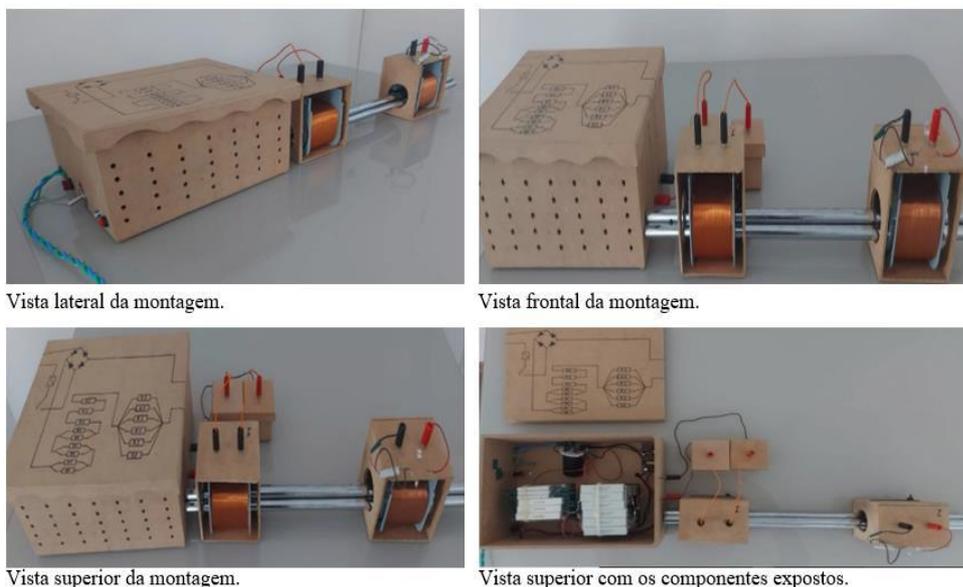
A primeira etapa é a do PREDIZER, na qual iniciamos com o comando 1.

Comando 1. O link abaixo dá acesso a uma filmagem de um aparato experimental denominado de EXPINEL (Experimento de Indução Eletromagnética). Clique nele e assista ao vídeo.

https://youtu.be/K_rDXQVubA4

Nesse momento os alunos recebiam acesso a um link, que os levavam até um vídeo onde as partes do EXPINEL eram mostradas, bem como, sua configuração inicial, ainda desligado, com a primeira configuração. Nesse vídeo era exposto à estrutura física do aparato, como mostra a figura 9.

Figura 9 - Primeira configuração – EXPINEL.



Fonte: A autoria própria.

Todas as imagens da figura 9 foram capturadas do vídeo ao qual os alunos tiveram acesso no primeiro comando. Em seguida, na mesma aula, foi feita uma explanação básica sobre o funcionamento do produto experimental, esclarecendo os principais pontos que estavam além da compreensão dos estudantes, como por exemplo, sobre a tensão de entrada de 127V, sobre a transformação da corrente alternada de entrada em uma corrente retificada e variável, com

menor valor de tensão elétrica na saída, que é direcionada para a primeira bobina. A partir disso, eles tiveram acesso à primeira questão.

QUESTÃO 1. *Ao ligar O EXPINEL, com a configuração que foi mostrado no vídeo, ou seja, com a primeira e a segunda bobina com posições fixas e separadas por uma distância, o que você acha que vai acontecer? Faça um breve relatório embasado em seus conhecimentos sobre eletromagnetismo justificando sua resposta.*

Obs: Se em sua resposta você for utilizar expressões matemáticas ou desenhos, pode ficar à vontade para fazê-la de forma manuscrita, digitalizá-la e anexar como arquivo de imagem, ou outro formato (pdf ou word), na questão.

Essa questão tem o intuito de levantar as previsões dos alunos a partir da observação do aparato. Busca-se obter o conhecimento prévio do aluno, criando interesse e incentivando-os a tentar prever o que está por vir, utilizando os conhecimentos científicos adquiridos até aquele momento. Seguindo esse mesmo pedido, após obtermos as respostas para essa primeira questão, disponibilizamos a segunda questão.

QUESTÃO 2. *Faça agora um relato embasado em seus conhecimentos sobre eletromagnetismo indicando o que vai acontecer se ligarmos o EXPINEL e aproximarmos a segunda bobina da primeira.*

Obs: Se em sua resposta você for utilizar expressões matemáticas ou desenhos, pode ficar à vontade para fazê-la de forma manuscrita, digitalizá-la e anexar como arquivo de imagem, ou outro formato (pdf ou word), na questão.

Essa questão e a próxima já direcionam a atenção do aluno para uma suposição. Sem observar o fenômeno, apenas com a observação do aparato desligado, o aluno é solicitado a fazer uma previsão do que poderia acontecer caso ele realizasse a ação proposta. Após obter as respostas, foi disponibilizada a terceira questão.

QUESTÃO 3. *Suponha que ao ligá-lo o led acenda e, com o EXPINEL LIGADO, a BOBINA 2 irá em direção a BOBINA 1, o LED na BOBINA 2 terá alguma modificação? Vai apagar? Vai diminuir de brilho ou aumentar? Por quê?*

Obs: Se em sua resposta você for utilizar expressões matemáticas ou desenhos, pode ficar à vontade para fazê-la de forma manuscrita, digitalizá-la e anexar como arquivo de imagem, ou outro formato (pdf ou word), na questão.

Podemos perceber que o conflito cognitivo proposto por essas questões está relacionado ao fato de o LED acender, mesmo quando as bobinas estão separadas e sem nenhuma ligação elétrica entre si, e o aumento do brilho do LED à medida que elas são aproximadas. Espera-se

que os estudantes, em um primeiro momento, tenham dificuldades em relacionar o acendimento e o aumento do brilho do LED ao fenômeno da indução magnética.

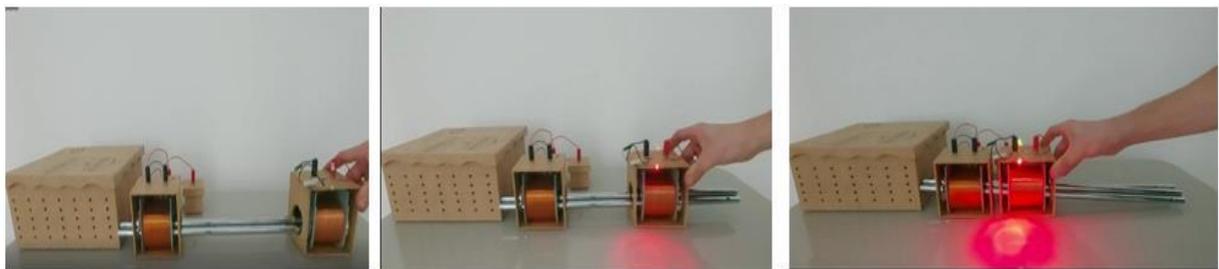
Após essas questões, entramos na etapa da OBSERVAÇÃO do fenômeno, que é a nossa segunda etapa. Nesse momento, o aluno recebe um novo comando.

Comando 2. O vídeo a seguir, mostra o experimento em execução. Clique no link, e assista ao vídeo, observando atentamente ao fenômeno. Anote suas observações.

<https://youtu.be/efqg5X9cG8E>

O vídeo disponibilizado nessa etapa mostra o fenômeno acontecendo. É um vídeo rápido que apresenta as perguntas da PREVISÃO, ou seja, o funcionamento do EXPINEL. A figura 10 foi capturada do vídeo disponibilizado.

Figura 10 - Segundo momento - observação do fenômeno



EXPINEL ligado. Antes da aproximação. EXPINEL ligado. Durante a aproximação. EXPINEL ligado. Aproximação máxima.

Fonte: Autoria própria.

Em seguida, após assistirem o vídeo, mais uma questão é disponibilizada.

QUESTÃO 4. *Depois de ver a filmagem do experimento funcionando, você acertou na previsão? Se não, o que aconteceu que você não previu?*

Conforme constatamos na questão 4, ela retoma a previsão feita anteriormente, mas agora com base na observação. Nessa questão, os alunos têm a oportunidade de corrigir suas previsões anteriores. O objetivo é criar um conflito cognitivo, no qual eles possam comparar suas previsões com a observação real do fenômeno.

Dando sequência, é liberada a próxima questão.

QUESTÃO 5. *Esquematize (desenhe) o experimento visto pela filmagem. Utilize simbologias aprendidas em circuitos elétricos. Como fontes, fios, bobinas, resistores e o Led.*

Obs: Os desenhos e esquemas podem ser feitos de forma manuscrita e digitalizados para serem anexados como arquivos (jpg, word ou pdf) na resposta.

Essa última questão tem o objetivo de retomar o conteúdo aprendido sobre circuitos elétricos. Por meio dela, os alunos têm a oportunidade de aplicar o conhecimento adquirido e utilizar simbologias que são de extrema importância para o seu entendimento.

Dando sequência, entramos agora na terceira etapa, a EXPLICAÇÃO científica. Nessa etapa, os alunos participaram de uma aula expositiva que fez uso de uma simulação no programa interativo PHET, baseada na Lei de Faraday. Além disso, foi disponibilizado no chat e na plataforma o material de apoio e o link para que eles pudessem acessar essa simulação.

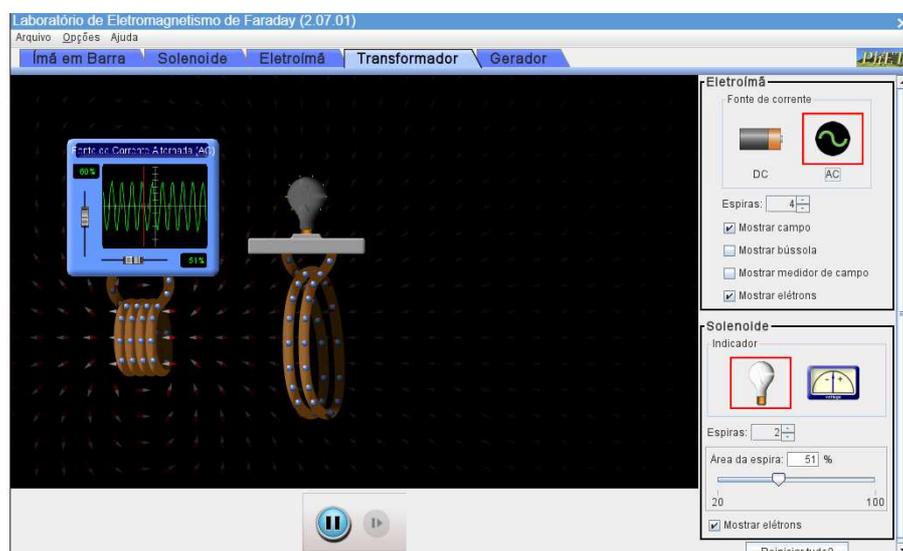
O material de apoio, em PDF, sobre eletromagnetismo – Lei de Faraday foi disponibilizado para os alunos através da plataforma moodle do colégio, para que eles conseguissem acompanhar a aula expositiva que fez uso da simulação interativa.

Segue o link da plataforma PHET que os alunos tiveram acesso.

https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/faraday/latest/faraday.html?simulation=faraday&locale=pt_BR

Durante a explicação dessa aula, os alunos foram orientados a interagir com o simulador, podendo alterar as configurações disponíveis na simulação. Ao mesmo tempo, a tela da aula era compartilhada com eles para que pudessem fazer sugestões sobre o que fazer. Para cada configuração apresentada, uma explicação era fornecida, sempre relacionando-a ao experimento EXPINEL e buscando conceitos científicos para facilitar a compreensão do fenômeno da Lei de Faraday. A figura 11 mostra exemplos das configurações que foram utilizadas para a discussão do fenômeno.

Figura 11- Simulação PHET - Lei de Faraday



Fonte: Simulador PHET (2023).

Essa atividade de simulação consiste no experimento de analogia-ponte, cujo objetivo é auxiliar os estudantes a formular uma explicação cientificamente correta para o fenômeno observado. O simulador mostra o movimento dos elétrons dentro do fio condutor da bobina, ilustrando principalmente o fenômeno da indução da corrente elétrica, que cria um fluxo magnético no sentido oposto (conforme a Lei de Lenz) de forma visualmente clara.

Dessa forma, esse simulador contribui para a discussão e, principalmente, fornece detalhes sobre a Lei de Lenz, que será abordada na segunda parte da sequência didática. Após essa intervenção, a sexta questão foi disponibilizada aos alunos.

QUESTÃO 6. *A partir do que foi visto com o simulador e com o EXPINEL, explique como foi possível, sem ligações diretas entre a bobina 1 e 2, o LED da bobina 2 ser aceso e ainda ao aproximar ir aumentando de brilho?*

Essa questão solicita aos alunos uma EXPLICAÇÃO científica. Após passarem pelas etapas de previsão e observação, além de terem participado de uma aula expositiva simulada com o auxílio de materiais de apoio e do simulador PHET, os alunos são desafiados a explicar cientificamente o fenômeno observado. Essa questão incentiva os alunos a refletirem sobre suas previsões, observações e os novos conhecimentos adquiridos durante a discussão da aula expositiva, permitindo que eles confrontem suas ideias e consigam fornecer uma explicação científica dos fenômenos abordados no problema.

Para concluir a terceira parte da sequência didática, foi realizada uma aula expositiva sobre a Lei de Faraday, seguida por uma discussão sobre o experimento com o EXPINEL. A aula começou com uma explicação teórica da Lei de Faraday, abordando como a variação do fluxo magnético induz uma força eletromotriz (FEM). Em seguida, foi abordado a configuração do EXPINEL mostrado no primeiro vídeo.

Foi solicitado aos alunos para pensarem nas previsões com as observações reais e observações virtuais do simulador, discutindo possíveis correções conceituais. Essa abordagem combinou teoria, prática e simulação, promovendo uma compreensão integrada e robusta dos conceitos de indução eletromagnética, eficaz mesmo no contexto de ensino à distância durante a pandemia.

Em seguida, a última questão dessa etapa foi disponibilizada para os alunos.

QUESTÃO 7. *Após a execução da atividade no simulador e a discussão sobre a indução eletromagnética realizada em sala, complemente ou reformule sua resposta dada a questão 6, caso você tenha identificado que cometeu algum erro.*

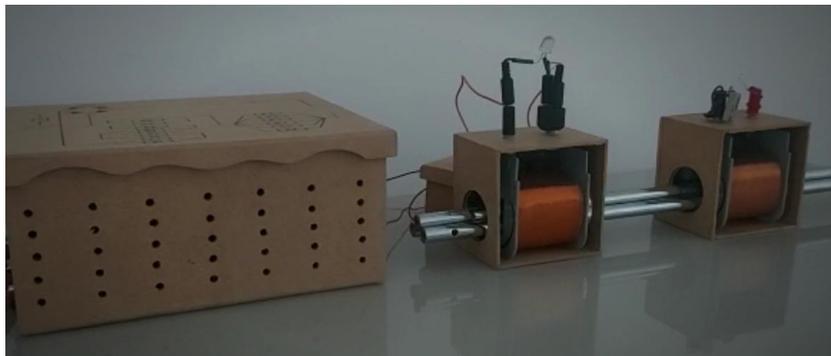
Questão 6. A partir do que foi visto com o simulador e com o EXPINEL, explique como foi possível, sem ligações diretas entre a bobina 1 e 2, o LED da bobina 2 ser aceso e ainda ao aproximar ir aumentando de brilho?

A inclusão da sétima questão se faz necessária, pois pode haver algum aluno que tenha fornecido uma resposta que está distante do esperado cientificamente. Essa questão incentiva o estudante a reformular sua resposta e chegar a uma explicação científica adequada do fenômeno abordado, contribuindo para consolidar ainda mais seu aprendizado nesse conteúdo.

4.5 A sequência didática da Lei de Lenz

Para encerrar o tema de eletromagnetismo, aplicamos uma segunda sequência, agora baseada no princípio da Lei de Lenz. Essa segunda sequência, aplicada nas últimas cinco aulas, é essencial para completar a compreensão dos assuntos relacionados à Lei de Faraday-Lenz. Para abordar esse tema com o auxílio do experimento EXPINEL, foi necessário modificar a configuração física do aparato. A figura 12 apresenta essa nova montagem.

Figura 12 - EXPINEL com a nova configuração. Um Led em cada bobina. Aparelho desligado.



Fonte: Autoria própria.

Na bobina 1 foi inserido um LED vermelho como pode ser observado na figura 12. Agora temos as duas bobinas, 1 e 2, equipadas com LEDs. A configuração de conexão permanece a mesma, com apenas a bobina 1 sendo conectada à caixa principal por meio de conectores, como mostrado na figura 12. Essa configuração é necessária, pois ao ligarmos o dispositivo, os LEDs brilharão alternadamente devido à Lei de Lenz.

Novamente, começamos com a primeira etapa dessa segunda sequência, que é a observação com o aparelho ainda desligado. Os alunos receberam o primeiro comando.

Comando 1. Fizemos agora, uma alteração na montagem experimental do EXPINEL na qual adicionamos um LED na bobina 1. Ele foi inserido da mesma maneira que o LED da bobina 2. O link abaixo é de um vídeo que mostra a nova configuração do experimento. Assista-o.

<https://youtu.be/NEDqK2AYpxk>

Nesse vídeo, os alunos puderam revisitar as partes do EXPINEL e, em seguida, visualizaram a figura 12. Ao final do vídeo, eles receberam a primeira questão da etapa de PREDIÇÃO.

QUESTÃO 1. *Agora, ao ligar o EXPINEL, o que você acha que irá acontecer? O LED ligado na bobina 1 vai acender? Por quê?*

O objetivo dessa questão é, mais uma vez, levantar as possíveis causas que ocorrerão quando o aparelho for ligado. Ela questiona o aluno e o incentiva a escrever com base nos conhecimentos que já adquiriu até o momento. Espera-se que o aluno relate seus conhecimentos prévios por meio de sua resposta.

Após responderem à primeira questão, os alunos receberam a segunda questão.

QUESTÃO 2: *O LED da bobina 1 vai interferir no brilho do LED da bobina 2? Sim ou não? Justifique sua resposta.*

Ainda na etapa de predição, essa questão tem o objetivo de questionar os alunos e incentivá-los a criar hipóteses sobre o que pode acontecer. Neste momento, espera-se que os alunos sejam capazes de responder que ambos os LEDs irão brilhar quando o aparelho for ligado, pois eles já analisaram essa situação na sequência didática anterior sobre a Lei de Faraday.

Em seguida a esta questão, apresentamos aos alunos um vídeo do documentário "Viagem na Eletricidade", conforme mostra o próximo comando dado a eles.

Comando 2. O link a seguir conduz a um vídeo que explica a forma de produção da energia elétrica nas usinas, a produção da corrente e da tensão alternada que recebemos em nossas residências. Clique sobre o link e assista ao vídeo.

<https://youtu.be/yzfAvZ3ACXo>

Posteriormente a assistirem o vídeo, disponibilizamos a questão três aos alunos.

QUESTÃO 3. *Vimos que a produção de energia elétrica em uma usina hidroelétrica ocorre devido a um campo magnético variável o que produz uma corrente alternada. A frequência de oscilação desse campo é de 60 Hz, o que produz uma corrente que altera o seu sentido de propagação 60 vezes a cada segundo. Sendo o EXPINEL um aparelho que funciona*

com corrente alternada, o que você acha que ocorre com o brilho dos LEDs das bobinas 1 e 2? Eles brilham continuamente? Eles piscam simultaneamente e com uma determinada frequência? Ou eles brilham alternadamente e com uma determinada frequência? Faça um relato justificando suas respostas com base em seus conhecimentos.

Essa pergunta, como podemos observar, ainda se enquadra na etapa de PREVISÃO, porém, já aborda o conteúdo da Lei de Lenz. Além de se referir a um tema já discutido em sala de aula, ela investiga o conhecimento cotidiano dos alunos, embasada no vídeo sobre a produção de energia elétrica apresentado. Mesmo no mundo moderno, onde a questão da eletricidade é frequentemente abordada para promover o consumo sustentável, muitos alunos não compreendem o método de geração e distribuição de energia nas usinas. Esse vídeo explana esses assuntos de maneira sucinta e lúdica. Além disso, o vídeo traz elementos que auxiliam os estudantes a compreender a situação apresentada com a nova configuração experimental do EXPINEL, que gera um conflito cognitivo relacionado à alternância com que os LEDs piscam.

Embora o vídeo forneça subsídios aos estudantes para analisar a situação, o conflito cognitivo proposto com essa reformulação do experimento pode ser muito difícil de superar em um primeiro momento, uma vez que envolve um fenômeno mais abstrato e de difícil observação em nosso cotidiano. Por esse motivo, espera-se que a maioria dos estudantes, inicialmente, responda que os LEDs piscam simultaneamente ou que permanecem acesos de forma contínua, uma vez que a frequência de 60 Hz causa a sensação de que uma lâmpada em nossa casa ou, nesse caso, os LEDs da bobina, estão constantemente acesos.

Dando continuidade à aplicação, após os alunos responderem à questão anterior, eles receberam um segundo comando. Agora, entramos na fase de OBSERVAÇÃO do fenômeno.

Comando 2. Em seguida você vai ter acesso a mais dois pequenos vídeos do EXPINEL em funcionamento. Assista-o.

VÍDEO 01. https://youtu.be/ebMVP_fmG_0

VÍDEO 02. https://youtu.be/TiIlQuo_0X0

A figura 13 ilustra o que os alunos observaram através do VÍDEO 01.

Figura 13 - EXPINEL ligado - Segunda configuração.



EXPINEL com a segunda configuração ligado.

EXPINEL - Vista frontal.

Fonte: Autoria própria.

A figura 14 apresenta duas imagens que foram retiradas do VÍDEO 02 ao qual os alunos tiveram acesso. O VÍDEO 02 foi gravado em câmera lenta, em modo SLOW MOTION, para abordar corretamente o fenômeno e permitir que os alunos pudessem observá-lo em funcionamento de maneira mais clara.

Figura 14 - EXPINEL ligado e filmado em câmera lenta.



Câmera SLOW MOTION. Tempos diferentes nas imagens.

Fonte: Autoria própria.

Após a exibição desse vídeo, os alunos receberam a quarta questão.

QUESTÃO 4. *Através do vídeo você deve ter conseguido perceber que ao ser gravado com câmera lenta (SLOW MOTION) os LED'S se alternavam de brilho. Por que só foi possível ver essa alternância com câmera lenta?*

Essa questão tem o objetivo de contextualizar o fenômeno físico da Lei de Lenz com o que os alunos observaram e com a função da gravação do vídeo em câmera lenta. Considerando que os alunos possuem smartphones com essa função de gravação, a questão foi proposta para analisar se todos os alunos estavam familiarizados com o efeito de gravar em câmera lenta e compreendiam sua utilidade na observação do fenômeno.

Após obter as respostas da questão anterior, liberamos a quinta questão, ainda na etapa de OBSERVAÇÃO.

Questão 5. Depois de observar o experimento em funcionamento, você concluiu que suas previsões estavam certas ou erradas? O que ocorreu de forma diferente do que você previu?

A questão 5 tem o objetivo de fazer com que o aluno reflita sobre sua previsão e sua observação, criando novamente um conflito cognitivo. Espera-se que o aluno discuta, relate e confronte suas hipóteses com o fenômeno observado, analisando se suas previsões estavam corretas ou não.

Após recebermos todas as respostas da segunda etapa, avançamos para a terceira etapa da sequência, que é a EXPLICAÇÃO científica. Foi disponibilizado aos alunos um material de apoio, tanto pela plataforma quanto pelo chat, para acompanharem a explicação do fenômeno. Mais uma vez, utilizamos o site de simulação PHET, cujo link também foi enviado pelos mesmos canais de comunicação, para auxiliar na compreensão do conteúdo.

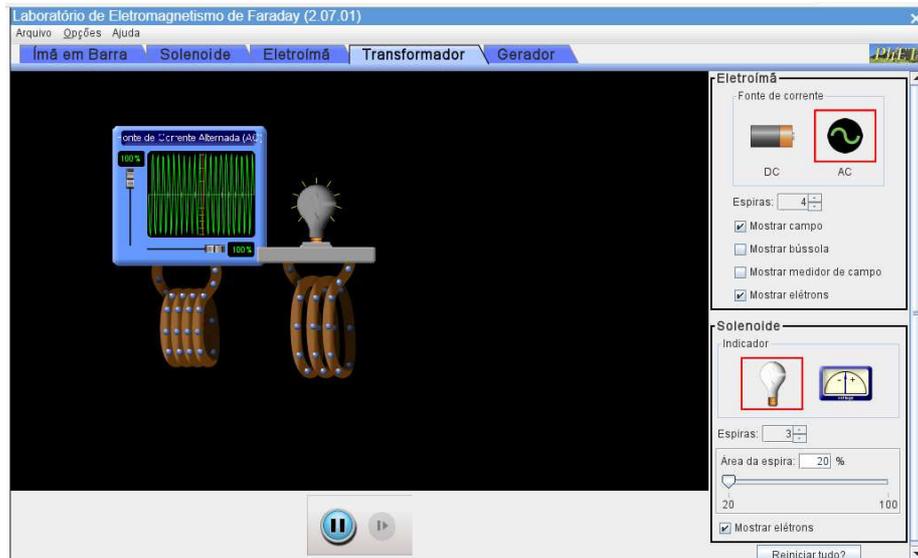
O simulador utilizado tem como objetivo proporcionar uma representação virtual do fenômeno apresentado pelo aparato experimental. Ele retrata objetos e figuras presentes nos livros didáticos, ou seja, aborda problemas ideais da disciplina. Dessa forma, o simulador permite aos alunos explorarem e interagirem com esses conceitos de maneira virtual, enriquecendo sua compreensão e facilitando a visualização dos fenômenos abordados. O link para acesso ao simulador é disponibilizado a seguir.

[https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/faraday/latest/faraday.html?simulation=faraday
&locale=pt_BR](https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/faraday/latest/faraday.html?simulation=faraday&locale=pt_BR)

Os alunos acompanharam a aula expositiva e, mais uma vez, foi solicitado que abrissem o simulador em seus computadores para que pudessem manipular e modificar a estrutura dos componentes. A tela do professor estava sendo compartilhada com as configurações necessárias para que pudessem realizar o experimento virtual e acompanhar a discussão.

O objetivo desse momento era discutir a Lei de Lenz, explicar o sentido de oposição da corrente induzida. Essa atividade, realizada com o simulador, é o experimento de analogia-ponte, que permite aos alunos estabelecer conexões com o experimento EXPINEL e compreender os conceitos físicos subjacentes. A figura 15 retrata uma das configurações utilizadas pelos alunos.

Figura 15 - Configuração para a Lei de Lenz.



Fonte: Simulador PHET - FÍSICA (2023).

Essa simulação permite que o aluno visualize a corrente induzida na segunda bobina (aquela representada com a lâmpada na figura 15), bem como sua variação de sentido. Além disso, é possível observar que a corrente induzida produz um fluxo magnético no sentido oposto ao da primeira bobina (aquela representada com a fonte AC na figura 15). Essa é a principal vantagem de utilizar esse simulador durante a aula, pois permite que o aluno compreenda o fenômeno físico de uma maneira que não seria possível com um experimento real.

Em continuação, os alunos receberam a questão 6.

QUESTÃO 6. *Com base em seus conhecimentos sobre eletromagnetismo e na atividade realizada com o simulador, responda a seguinte questão:*

Vimos que enquanto um LED se acende outro se apaga e vice-versa, por que isso acontece? Explique com suas palavras o motivo desse fenômeno.

Essa questão retoma o problema inicial, porém, agora os alunos precisam reformular suas respostas, adequando-as de acordo com a abordagem científica. Nesta fase, espera-se que os alunos tenham estruturado seu pensamento de forma a chegar a uma conclusão efetiva sobre o fenômeno observado. É nesse momento que eles percebem e se apropriam do conhecimento.

Prosseguindo, iniciamos mais uma aula expositiva para abordar o tema da Lei de Lenz, retomando a Lei de Faraday e fazendo a explicação com base no aparato experimental utilizado, o EXPINEL. Nessa aula, apresentamos a linguagem matemática associada à Lei de Lenz, ou seja, na Lei de Faraday, a Lei de Lenz é simbolizada por um sinal negativo. Além disso, discutimos fisicamente o motivo desse sinal ser utilizado.

Por fim, após a aula expositiva, disponibilizamos a última questão aos alunos.

QUESTÃO 7. *Após as discussões trazidas em sala de aula, volte na questão 6 e verifique se há necessidade de complementação da sua resposta. Se houver, reformule sua resposta argumentando pelo que foi visto e discutido na aula expositiva.*

Questão 6. Vimos que enquanto um LED se acende outro se apaga e vice-versa, por que isso acontece? Explique com suas palavras o motivo desse fenômeno.

O objetivo dessa última questão é permitir que os alunos confrontem sua resposta anterior com a resposta atual, analisando a necessidade de fazer alterações. Dessa forma, podemos identificar se houve uma aprendizagem efetiva do conteúdo e analisar a evolução da habilidade de escrita científica dos alunos. Espera-se que, nessa última questão, os alunos tenham compreendido e formulado corretamente a explicação científica do fenômeno em questão.

Como podemos observar, as duas sequências didáticas foram desenvolvidas seguindo a mesma estrutura de etapas, instruções e perguntas, de acordo com o referencial teórico abordado e detalhado no capítulo anterior.

5 A APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Aspectos da aplicação na sala de aula online

A aplicação deste trabalho em salas de aula online apresentou desafios e oportunidades únicas. Neste texto, serão discutidas as experiências positivas e negativas durante a implementação dessas sequências didáticas, de forma geral, no contexto da sala de aula online.

Em relação aos aspectos bem-sucedidos, uma das vantagens da aplicação em ambiente online foi a flexibilidade de acesso. Os alunos puderam participar das aulas de qualquer lugar, desde que tivessem acesso à internet. Além disso, a utilização de plataformas digitais permitiu uma maior interação entre a maioria dos alunos e o professor, por meio de chats, fóruns de discussão e recursos multimídia. Esses elementos contribuíram para uma aprendizagem mais dinâmica e participativa.

Outro aspecto positivo foi a possibilidade de utilizar recursos digitais, como vídeos e a simulação interativa do programa PHET, que pode ser considerada um experimento virtual. Esses recursos enriqueceram o conteúdo e promoveram uma compreensão mais aprofundada dos conceitos. Além disso, esses recursos foram acessados de forma assíncrona, permitindo que os alunos revisassem o material quantas vezes fossem necessárias para seu entendimento.

No entanto, também houve desafios. Um dos principais problemas enfrentados foi a instabilidade da conexão à internet, que causou interrupções nas aulas, dificultando a participação ativa de alguns alunos e prejudicando o envio de respostas por parte de alguns discentes. Além disso, foi observado que a falta de interação presencial afetou o engajamento de alguns alunos e a construção de um ambiente mais colaborativo. A ausência de contato físico com o aparato experimental e a comunicação apenas por meio de textos ou áudios dificultaram a criação de vínculos e o compartilhamento de ideias, especialmente entre aqueles alunos que têm mais dificuldades de interação ou que apresentam mais timidez.

Outro desafio foi a adaptação dos materiais e das atividades para o formato online. Discutíamos diariamente o conteúdo para garantir que o que seria apresentado tivesse uma forma clara e que as atividades propostas fossem adequadas para a plataforma digital utilizada. Além disso, foi necessário estar atento à possibilidade de sobrecarga de informações. Procuramos evitar que os alunos se sentissem sobrecarregados com a quantidade de tarefas a serem realizadas, considerando que todas as outras disciplinas também estavam com tarefas online.

A estruturação dos tempos na sequência didática (SD) referentes à Lei de Faraday e a Leis de Lenz foi pensada para atender às necessidades específicas do contexto pandêmico, onde o ensino remoto se tornou uma necessidade.

A ausência de interação presencial imediata com os professores fez com que os alunos precisassem de mais tempo para refletir sobre as questões e formular respostas detalhadas. Além disso, a desigualdade de recursos tecnológicos entre os estudantes tornou crucial a ampliação do tempo de resposta, garantindo que todos tivessem condições adequadas para completar as atividades, independentemente das limitações de seus dispositivos ou conexões à internet.

A seguir, nas Tabelas 1 e 2, mostramos como foi dividida a aplicação dessas SDs. Além disso, essas tabelas servem como sugestão de aplicação das SDs, mesmo no modo presencial.

Tabela 1 - Sugestão de divisão da sequência didática da Lei de Faraday.

Aula	Duração (min)	Etapa	Comandos e Questões	Tempo para resposta (min)
1	40	PREDIZER	Comando 1 Questão 1 Questão 2	15 min 15 min
2	40	OBSERVAÇÃO	Comando 2 Questão 4 Questão 5	20min 20 min
3	40	EXPLICAÇÃO	Atividade de Simulação	40 min
4	40		Questão 6	15 min
4/5			Aula Expositiva	40 min
5			Questão 7	25 min

Fonte: Autoria própria.

A seguir, apresento a Tabela 2, que sugere uma divisão detalhada para a aplicação da sequência didática (SD) referente à Lei de Lenz. Esta estrutura tem o objetivo de otimizar o tempo e assegurar a compreensão integral dos conceitos pelos alunos ao longo das cinco aulas planejadas.

Tabela 2 - Sugestão de divisão da sequência didática da Lei de Lenz.

Aula	Duração (min)	Etapa	Comandos e Questões	Tempo para resposta (min)
1	40	PREDIZER	Comando 1 Questão 1 Questão 2 Questão 3	15 min 10 min 15 min
2	40	OBSERVAÇÃO	Comando 2 Questão 4 Questão 5	25min 15 min
3	40	EXPLICAÇÃO	Atividade de Simulação	40 min
4	40		Questão 6	15 min
4/5			Aula Expositiva	40 min
5			Questão 7	25 min

Fonte: Autoria própria.

Em resumo, a aplicação deste trabalho em sala de aula online apresentou tanto vantagens quanto desafios. A flexibilidade de acesso, a utilização de recursos digitais e a possibilidade de interação virtual foram aspectos positivos. No entanto, problemas de conexão, falta de interação presencial e a necessidade de adaptação dos materiais dificultaram o processo de ensino e aprendizagem.

Para uma futura aplicação desta sequência didática (SD), seguiríamos os mesmos passos, porém, de forma presencial, visando envolver todos os alunos presentes e fomentar discussões de ajuda mútua entre eles.

5.2 Os critérios para análise da sequência didática

Neste capítulo, serão detalhados os critérios empregados para avaliar o aprendizado dos alunos ao longo da sequência didática aplicada. As respostas dos 22 estudantes selecionados para este estudo foram cuidadosamente analisadas e agrupadas com base em suas similaridades estruturais, levando em conta as hipóteses e explicações desenvolvidas pelos alunos para cada atividade proposta.

A análise das respostas dos alunos considerou diversos fatores, incluindo o engajamento dos estudantes com as atividades. Este engajamento é um indicador importante do sucesso da estratégia de ensino investigativa em despertar o interesse dos alunos pelo tema estudado. Segundo a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel (2003), a integração de novos conhecimentos com a estrutura cognitiva pré-existente dos alunos é fundamental para um aprendizado efetivo. Nesse contexto, a metodologia POE (Predição, Observação e Explicação) foi aplicada para incentivar os alunos a formular hipóteses e realizar investigações baseadas em seus conhecimentos prévios (LIEW & TREAGUST, 1995).

A metodologia POE é composta por três etapas principais: predição, onde os alunos formulam hipóteses; observação, onde realizam experimentos ou assistem a demonstrações; e explicação, onde comparam os resultados observados com suas hipóteses iniciais (CARVALHO, 2013). Mesmo quando as respostas dos alunos eram cientificamente incorretas, a capacidade de elaborar hipóteses com base em seus conhecimentos prévios foi considerada um aspecto positivo, pois demonstra um entendimento inicial do fenômeno estudado (HAKE, 1998).

Outro aspecto fundamental da análise foi a evolução da escrita conceitual dos alunos durante a sequência didática, com um foco particular na escrita científica. De acordo com Moreira (2011), a evolução conceitual é um indicativo importante da aprendizagem significativa. A SD investigativa proporcionou uma oportunidade para os alunos desenvolverem suas habilidades de escrita científica, sendo suas respostas analisadas para identificar evidências de aprimoramento conceitual e metodológico ao longo do processo.

Para facilitar a análise, as respostas dos alunos foram classificadas em grupos com base em suas semelhanças. Essa classificação permitiu avaliar a evolução conceitual dos estudantes de maneira sistemática. As respostas foram agrupadas conforme os seguintes critérios:

1. Respostas corretas com fundamentação científica adequada: Demonstram entendimento claro e correto dos conceitos.
2. Respostas parcialmente corretas com alguma fundamentação: Indicativas de um entendimento inicial, mas com algumas falhas conceituais.
3. Respostas incorretas com tentativa de fundamentação: Apesar de incorretas, mostram esforço em formular hipóteses baseadas em conhecimentos prévios.
4. Respostas em branco ou escreveram que não souberam responder.

A análise detalhada dessas respostas permitiu observar a evolução do entendimento dos alunos e a eficácia da sequência didática investigativa em promover a aprendizagem significativa e o desenvolvimento de habilidades científicas.

Para se adequar ao tema desse trabalho, foram criados os seguintes grupos seguindo os critérios já apresentados:

Grupo 1 – Respostas embasadas em conceitos do eletromagnetismo e totalmente corretas;

Grupo 2 – Respostas embasadas em conceitos do eletromagnetismo e parcialmente corretas;

Grupo 3 – Respostas embasadas em concepções alternativas errôneas;

Grupo 4 – Não souberam responder ou deixaram em branco.

A partir desse momento, apresentaremos as respostas dos discentes alocadas em cada grupo mencionado. E para termos uma visualização de dados, criamos uma comunicação eficaz e fazemos comparação de dados, optamos por fazer gráficos que vão expressar em números a quantidade e a porcentagem das respostas agrupadas.

5.3 A primeira sequência didática: A Lei de Faraday

Começamos com a primeira questão que tinha o objetivo de levantar as previsões dos alunos a respeito de o que aconteceria quando o experimento apresentado no vídeo fosse realizado.

QUESTÃO 1. *Ao ligar O EXPINEL, com a configuração que foi mostrado no vídeo, ou seja, com a primeira e a segunda bobina com posições fixas e separadas por uma distância, o que você acha que vai acontecer? Faça um breve relatório embasado em seus conhecimentos sobre eletromagnetismo justificando sua resposta.*

Obs: Se em sua resposta você for utilizar expressões matemáticas ou desenhos, pode ficar à vontade para fazê-la de forma manuscrita, digitalizá-la e anexar como arquivo de imagem, ou outro formato (pdf ou word), na questão.

A seguir estão representadas uma resposta considerada correta e outra considerada parcialmente correta desenvolvida para comparar com a resposta do aluno.

Resposta Correta

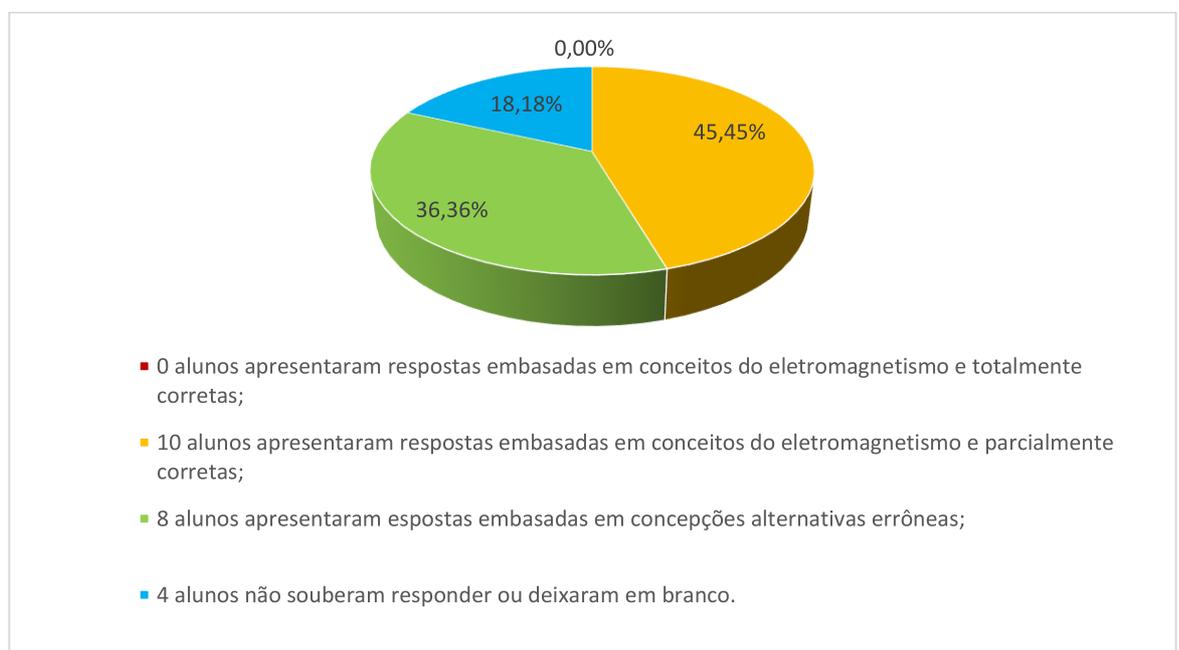
Ao ligar o EXPINEL com a configuração mostrada no vídeo, espera-se que ocorra indução eletromagnética. A corrente alternada na primeira bobina gera um campo magnético variável, que induz uma corrente na segunda bobina, conforme as Leis de Faraday e Lenz. Esse processo resulta na iluminação dos LEDs conectados à segunda bobina, demonstrando a indução de corrente elétrica através da variação do campo magnético.

Resposta Parcialmente Correta

Ao ligar o EXPINEL, espera-se que a corrente na primeira bobina crie um campo magnético que afete a segunda bobina. Embora a interação específica possa depender da distância entre as bobinas, é provável que haja alguma indução de corrente na segunda bobina devido ao campo magnético gerado pela primeira.

Ao analisarmos as respostas dadas não identificamos alunos que responderam corretamente à previsão. Portanto, o **Grupo 1-** Respostas embasadas em conceitos do eletromagnetismo e totalmente corretas, não obteve porcentagem. Podemos observar a divisão em análise quantitativa, divididas por porcentagem, na figura 16.

Figura 16 - Divisão quantitativa de alunos por grupo em porcentagem. Questão 1.



Fonte: Autoria própria.

A seguir, apresentamos algumas respostas dos estudantes que representam, de forma geral, um padrão de respostas de um grupo à **QUESTÃO 1**. Todas as demais respostas, alocadas nos respectivos grupos, apresentam elementos semelhantes em suas estruturas, como, por

exemplo, estudantes que utilizaram os mesmos conhecimentos prévios para formular suas hipóteses. A numeração dos alunos coincide com as numerações dos grupos correspondentes.

Grupo 1 — aluno do grupo 1.

Grupo 2 — aluno do grupo 2.

Grupo 3 — aluno do grupo 3.

Grupo 4 — aluno do grupo 4.

Aluno do grupo 2. “Ligando o EXPINEL com a configuração do vídeo, acho que haverá a geração de um campo magnético no fio, por conta da passagem de cargas elétricas, por conta desse campo magnético, eletricidade aparecerá nas bobinas, induzida pelo campo magnético do fio, através do campo elétrico induzido por eletromagnetismo.”

Pela resposta do **aluno do grupo 2**, percebemos que ele já possui algum conhecimento sobre os conceitos abordados no conteúdo, ele menciona os componentes mostrados no vídeo e a produção de um campo magnético através da corrente elétrica que circula pela bobina. Ele também tem noção de que o contrário também possa ocorrer, como o campo magnético criar uma corrente elétrica. Porém, este último conceito da indução magnética ainda não está bem consolidado para ele, portanto ele não consegue explicar como o campo magnético da bobina 1 irá induzir uma corrente elétrica na bobina 2. Além disso, ele parece confuso ao relacionar os termos físicos e os conceitos de eletromagnetismo. Dessa forma, podemos considerar que ele acerta parcialmente sua previsão.

Aluno do grupo 3 “A corrente elétrica irá correr pelo sistema e se dividirá nos resistores até chegar nos leds para ascendê-los.”

A resposta do **aluno do grupo 3** mostra uma concepção espontânea interessante que devemos explorar, que é o fato do estudante achar que as barras de material ferromagnético que ligam as bobinas constituem uma ligação elétrica entre elas. Essa concepção espontânea vem dos conhecimentos prévios dos estudantes sobre circuitos elétricos, onde para cada componente ser energizado e funcionar corretamente, temos que ter uma ligação por meio de fios condutores entre eles e a fonte de tensão. Ela nos revela uma confusão nos conceitos aprendidos em eletricidade. Ele menciona fenômenos relacionados à eletrodinâmica, mas não ao eletromagnetismo.

O aluno 4 deu a seguinte resposta:

Aluno do grupo 4 “Não sei dizer”.

A resposta do **aluno do grupo 4** também traz elementos interessantes. É possível que o aluno realmente não tenha ainda conhecimentos básicos de eletricidade e magnetismo, mas também é possível que ele tenha conhecimentos de eletricidade e tenha certeza de que não se trata deste fenômeno, ou seja, ele sabe que como as bobinas não estão ligadas uma à outra por fios condutores, a corrente elétrica de uma não passará para a outra. Porém, como ele não tem conhecimentos de eletromagnetismo ele não consegue formular uma previsão.

Não obtivemos nenhuma resposta em branco.

Percebemos que a turma respondeu à primeira questão proposta de maneira satisfatória, uma vez que o objetivo era levantar previsões observando apenas os componentes do experimento, sem ainda executá-lo. A figura 16 nos mostra que o grupo selecionado para análise se dividiu em previsões experimentais com ideias parcialmente corretas e concepções errôneas que eles trouxeram da matéria anterior, que era de eletrodinâmica. O grupo de respostas classificadas como parcialmente corretas apresentou alguns conceitos de eletromagnetismo, como a produção de um campo magnético através de uma corrente elétrica, mas não conseguiu prever o que de fato aconteceria na outra bobina. Por outro lado, as concepções alternativas errôneas trouxeram conceitos de eletrodinâmica, supondo que de alguma forma haveria passagem de corrente elétrica para a outra bobina através das barras de material ferromagnético.

Seguindo a SD, os alunos receberam a questão 2 e em seguida a questão 3, que tinham o objetivo de questionar os alunos e incentivá-los a criar hipóteses sobre o que pode acontecer, porém, em outra situação na qual a bobina 2 seria aproximada da bobina 1.

QUESTÃO 2. *Faça agora um relato embasado em seus conhecimentos sobre eletromagnetismo indicando o que vai acontecer se ligarmos o EXPINEL e aproximarmos a segunda bobina da primeira.*

Obs: Se em sua resposta você for utilizar expressões matemáticas ou desenhos, pode ficar à vontade para fazê-la de forma manuscrita, digitalizá-la e anexar como arquivo de imagem, ou outro formato (pdf ou word), na questão.

Apresentamos um modelo de respostas que julgamos correta e parcialmente corretas para a **QUESTÃO 2**.

Resposta Correta:

Ao aproximar a segunda bobina da primeira no EXPINEL, a intensidade do campo magnético através da segunda bobina aumenta devido à diminuição da distância. Conforme a Lei de Faraday, essa variação intensificada do fluxo magnético induz uma maior força

eletromotriz (fem) na segunda bobina, resultando em um aumento da corrente elétrica induzida. Consequentemente, o LED conectado à segunda bobina brilhará mais intensamente.

Resposta Parcialmente Correta:

Ao aproximar a segunda bobina da primeira, espera-se que o campo magnético da primeira bobina influencie mais a segunda bobina. Isso pode resultar em uma maior indução de corrente na segunda bobina, fazendo com que o LED conectado a ela brilhe mais.

E, em seguida, a **QUESTÃO 3**, com os modelos de respostas correta e parcialmente correta.

QUESTÃO 3. *Suponha que ao ligá-lo o led acenda e, com o EXPINEL LIGADO, a BOBINA 2 irá em direção a BOBINA 1, o LED na BOBINA 2 terá alguma modificação? Vai apagar? Vai diminuir de brilho ou aumentar? Por quê?*

Obs: Se em sua resposta você for utilizar expressões matemáticas ou desenhos, pode ficar à vontade para fazê-la de forma manuscrita, digitalizá-la e anexar como arquivo de imagem, ou outro formato (pdf ou word), na questão.

Resposta Correta:

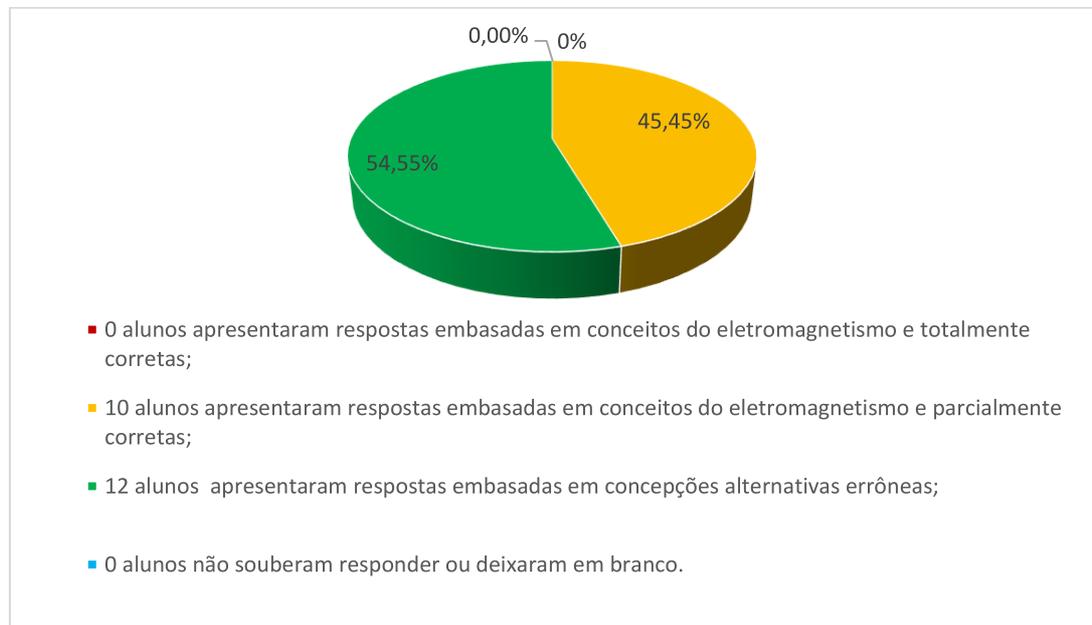
Ao ligar o EXPINEL e aproximar a bobina 2 da bobina 1, o LED na bobina 2 aumentará de brilho. Isso ocorre porque a aproximação reduz a distância entre as bobinas, intensificando o campo magnético na bobina 2. Conforme a Lei de Faraday, essa intensificação aumenta a força eletromotriz induzida, resultando em um aumento da corrente elétrica e, portanto, no brilho do LED.

Resposta Parcialmente Correta:

Com o EXPINEL ligado e a bobina 2 sendo movida em direção à bobina 1, é provável que o LED na bobina 2 aumente de brilho. Isso se deve ao fato de que a proximidade das bobinas pode aumentar a indução de corrente, resultando em maior luminosidade do LED.

A **QUESTÃO 3** é um complemento da **QUESTÃO 2**, buscando previsões e criando suposições, como já mencionado no capítulo anterior. Portanto, para essas duas questões, apresentamos as respostas agrupadas nos grupos mencionados anteriormente.

Figura 17 - Divisão quantitativa de alunos por grupo em porcentagem – Questões 2 e 3.



Fonte: Autoria própria.

Como podemos observar, os 4 alunos que responderam não saber dizer na **QUESTÃO 1** agora conseguiram prever um acontecimento para as **QUESTÕES 2 e 3**. Ao analisar as respostas, notamos que nenhum dos alunos respondeu corretamente as questões e que os mesmos dez alunos que estavam no **grupo 2** para a primeira questão permaneceram nesse grupo. O grupo que sofreu mudanças foi o **grupo 3**, que passou de oito para doze alunos."

Seguem as respostas que representam os grupos aqui mencionados.

Aluno do grupo 2. QUESTÃO 2: "Ao ligarmos o EXPINEL e aproximarmos a segunda bobina da primeira, a intensidade do campo elétrico das bobinas irá aumentar, pois ao aumentar o número de bobinas, se aumenta, por consequência a intensidade de campo elétrico, pois há mais interação com o campo magnético produzido pelo fio, ao encostar as 2 bobinas a eletricidade caminhará entre as bobinas, possivelmente haveria também uma consequência magnética, com campos magnéticos produzidos pelas bobinas interagindo entre si e com o campo magnético do fio."

Aluno do grupo 2. QUESTÃO 3: "Ao led da bobina 1 vai acender com o EXPINEL ligado e uma bobina atrair a outra, o led da bobina 2 deve aumentar de brilho, pois a indução de um campo elétrico será maior, pois ela estará em movimento relativo ao campo magnético do fio, gerando mais eletricidade nas bobinas, de modo que o led, recebendo mais energia, aumente seu brilho."

Aluno do grupo 3. QUESTÃO 2: “As duas bobinas estão ligadas por ddps alternadas, então o led começaria a piscar.”

Aluno do grupo 3. QUESTÃO 3: “Ao aproximar da bobina 1, o led da bobina 2 irá acender conforme se aproxima, e as duas lâmpadas começarão a piscar alternadamente.”

Vemos que o **aluno do grupo 2** argumenta com conceitos físicos baseados no que é aprendido em eletromagnetismo, porém se confunde ao colocar sua explicação do que aconteceria. Percebemos que ele consegue entender o que está acontecendo no experimento, mas ainda assim não chega em uma conclusão correta, mostrando em sua fala sinais de dúvidas.

Na **QUESTÃO 3**, que cria uma suposição para o brilho do LED, o **aluno do grupo 2** relata ter conhecimento teórico, mas não cita diretamente o que é pedido. Além disso, em uma parte de sua resposta, ele menciona um movimento relativo entre a bobina 2 e um campo magnético. O aluno, provavelmente, está ciente de que a bobina 1 cria um campo magnético e que a bobina 2 tem um movimento relativo em relação a esse campo magnético. Essa interpretação também sugere que essa aproximação resultaria no aumento do brilho do LED. No entanto, ele se confunde ao concluir sua resposta, pois ainda acredita que para acender o LED é necessário o campo elétrico, ou seja, algo de natureza elétrica, o que não está de acordo com o experimento apresentado inicialmente, uma vez que são utilizados núcleos de ferro, conforme mostrado no vídeo.

Já o **aluno do grupo 3** traz o assunto de eletrodinâmica para tentar explicar sua previsão, como pode ser notado em sua resposta da **QUESTÃO 2**. No entanto, ele mostra dificuldade em conciliar os assuntos e apresentar uma explicação adequada para o que é solicitado. O mesmo pode ser observado em sua resposta da **QUESTÃO 3**, embora nessa pergunta de suposição, o aluno tenha conseguido elaborar uma previsão, mas ainda com erros conceituais e não conseguindo seguir exatamente o comando da questão. Outro fato que podemos afirmar é que essas questões cumpriram com o objetivo proposto, que era criar previsões desenvolvendo conflitos cognitivos. Quando o aluno assiste ao vídeo e verifica que o LED da bobina 2 está aceso, ele procura explicar o acendimento desse LED através de contato, uma vez que, na matéria de circuitos elétricos, o mesmo LED acendia através de ligações diretas. Portanto, nesse momento, cria-se um conflito na mente dos alunos, o qual é perceptível ao lermos suas respostas.

Após as duas primeiras questões, chegamos à etapa de OBSERVAÇÃO. Novamente, os alunos receberam um novo comando, seguido pela **QUESTÃO 4**.

Ao analisar a próxima questão:

QUESTÃO 4. *Depois de ver a filmagem do experimento funcionando, você acertou na previsão? Se não, o que aconteceu que você não previu?*

Como modelos de respostas esperadas, uma totalmente correta e a outra parcialmente correta.

Resposta Correta:

Após assistir à filmagem do experimento, constatei que minha previsão estava correta. Eu previ que a aproximação da segunda bobina à primeira resultaria em um aumento do brilho do LED devido ao aumento da indução eletromagnética. O experimento confirmou que, conforme a Lei de Faraday, a maior proximidade intensificou o campo magnético e, conseqüentemente, a corrente induzida na segunda bobina, resultando em um LED mais brilhante.

Resposta Parcialmente Correta:

Após assistir à filmagem do experimento, percebi que minha previsão não estava totalmente correta. Embora eu tenha acertado que haveria alguma mudança no brilho do LED ao aproximar as bobinas, não previ corretamente a magnitude dessa mudança. A indução eletromagnética foi mais intensa do que eu esperava, resultando em um aumento significativo do brilho do LED, o que eu não havia antecipado completamente.

Podemos observar que a **QUESTÃO 4** retoma a previsão feita anteriormente, mas desta vez a partir da observação. Nessa etapa, os alunos conseguiram corrigir o que foi previsto anteriormente. Ao analisar as respostas dos alunos, pudemos agrupá-las em grupos que abrangiam as respostas na nova etapa de OBSERVAÇÃO do fenômeno.

Grupo 1 – Respostas embasadas em conceitos do eletromagnetismo e totalmente corretas;

Grupo 2 – Respostas embasadas em conceitos do eletromagnetismo e parcialmente corretas;

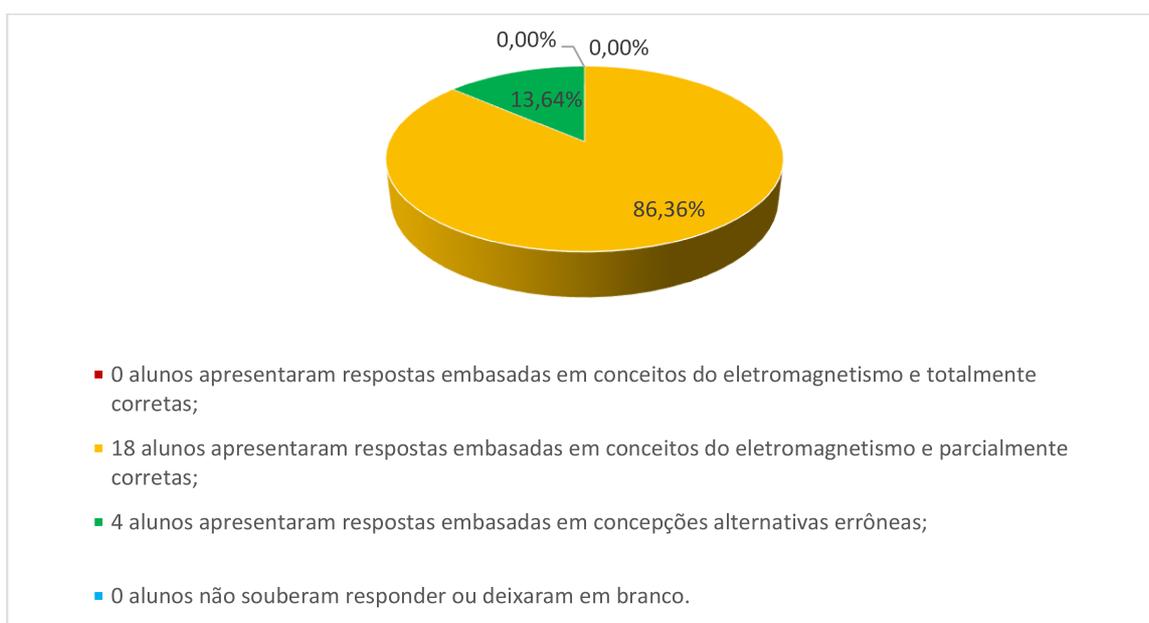
Grupo 3 – Respostas embasadas em concepções alternativas errôneas;

Grupo 4 – Não souberam responder ou deixaram em branco.

Não foi constatada nenhuma resposta que estivesse cientificamente correta; no entanto, já havia respostas que se encaminhavam para isso. Decidimos mantê-las no Grupo 2 nessa

etapa. Portanto, o Grupo 1 manteve-se com porcentagem nula, assim como não obtivemos respostas como "não sei" ou em branco, e, por isso, o Grupo 4 também ficou com porcentagem nula. A figura 18 mostra a distribuição desses dois grupos.

Figura 18 - Divisão quantitativa de alunos por grupo em porcentagem – Questão 4.



Fonte: Autoria própria.

Seguem as respostas dos **alunos dos grupos 2 e 3** que representam os **grupos 2 e 3**, respectivamente.

Aluno do grupo 2: “Na questão anterior, disse que o LED da Bobina 2 aumentaria a intensidade do seu brilho com a aproximação da Bobina 2 em relação a Bobina 1. E isso, pelo visto, foi o que aconteceu, conforme mostrado neste vídeo do experimento funcionando.”

Aluno do grupo 3: “não, pois ambas as bobinas possuem a mesma carga e por isso sua proximidade fez com que elas se repelissem aumentando o brilho do led”

Percebemos nas respostas acima os conceitos do conteúdo sendo mencionados. **O aluno do grupo 2** consegue explicar o que viu com seus argumentos e envolve conceitos ligados à explicação científica do fenômeno. Já o **aluno do grupo 3**, porém, ao formular sua resposta, mostra equívocos conceituais. Conseguimos perceber, através de sua resposta, que ele busca explicar o ocorrido utilizando conceitos de carga, atração e repulsão, que são conteúdos já estudados anteriormente. Novamente, essa questão gera um conflito cognitivo nos alunos, desta vez entre o ato de prever e observar os vídeos disponibilizados nesta etapa. Com base nas respostas obtidas aqui, podemos notar que muitos alunos revisaram suas previsões após assistir

aos vídeos. Isso é evidente quando analisamos os números no gráfico, pois eles reformularam suas respostas com base nas observações feitas durante o experimento, embora ainda não tenham conseguido fornecer uma resposta completamente correta. A porcentagem de respostas parcialmente corretas cresceu, enquanto o número de alunos com concepções errôneas diminuiu.

Dando sequência:

QUESTÃO 5. *Esquematize (desenhe) o experimento visto pela filmagem. Utilize simbologias aprendidas em circuitos elétricos. Como fontes, fios, bobinas, resistores e o Led.*

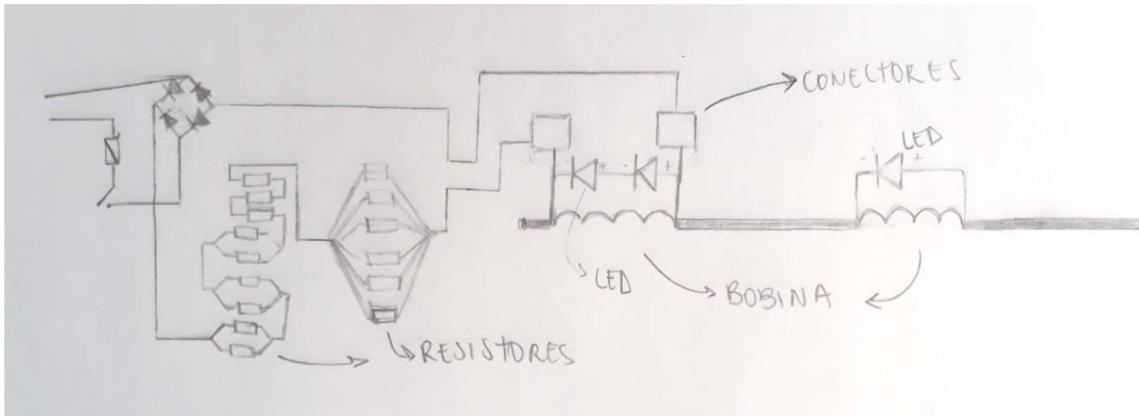
Obs: Os desenhos e esquemas podem ser feitos de forma manuscrita e digitalizados para serem anexados como arquivos (jpg, word ou pdf) na resposta.

Resposta:

Espera-se que o aluno elabore um desenho esquemático do EXPINEL, reproduzindo fielmente os elementos apresentados nas imagens e vídeos disponibilizados. O esquema deve incluir todos os componentes principais, como LEDs, bobinas e ligações elétricas, utilizando simbologias padrão de circuitos elétricos. A precisão na reprodução desses elementos é fundamental para a compreensão correta dos princípios de eletromagnetismo demonstrados pelo experimento.

Essa questão solicita aos alunos esquemas de ligação para verificar sua compreensão do aparato experimental e relembrar conteúdos previamente aprendidos. A seguir, apresentamos um desenho enviado por meio da plataforma digital, selecionado como exemplo representativo dos obtidos durante o estudo (Figura 19). Este desenho foi escolhido por conter componentes significativos para a análise, embora outros desenhos submetidos pelos alunos apresentem componentes semelhantes que corroboram os resultados discutidos.

Figura 19 - Desenho ilustrativo do esquema de ligação do EXPINEL.



Fonte: Autoria própria.

Como podemos observar, o aluno demonstrou a capacidade de reproduzir o esquema de conexão do aparato experimental, utilizando as simbologias previamente aprendidas no conteúdo anterior, que tratava de circuitos elétricos. Nesse conteúdo, os alunos adquirem conhecimentos sobre o funcionamento de um circuito elétrico e familiarizam-se com as representações de componentes como LEDs, resistores, fios, baterias e conectores. É evidente que o aluno aplicou esses conhecimentos ao desenhar o esquema acima.

Além disso, o aluno empregou os esquemas de ligação em série e paralelo de maneira adequada, como podemos notar pelo fato de ter colocado o LED em paralelo com a bobina, que correspondia à configuração real do aparato experimental. A próxima questão disponibilizada é a **QUESTÃO 6**.

QUESTÃO 6. *A partir do que foi visto com o simulador e com o EXPINEL, explique como foi possível, sem ligações diretas entre a bobina 1 e 2, o LED da bobina 2 ser aceso e ainda ao aproximar ir aumentando de brilho?*

Seguem as respostas consideradas correta e parcialmente correta:

Resposta Correta:

A partir das observações com o simulador e o EXPINEL, foi possível acender o LED da bobina 2 sem ligações diretas com a bobina 1 devido ao fenômeno da indução eletromagnética. Quando a corrente alternada passa pela bobina 1, ela gera um campo magnético variável que, ao atravessar a bobina 2, induz uma corrente elétrica nesta última. Conforme a Lei de Faraday, a intensidade da corrente induzida na bobina 2 aumenta à medida que a bobina 2 se aproxima da bobina 1, devido à maior intensidade do campo magnético, o que resulta no aumento do brilho do LED.

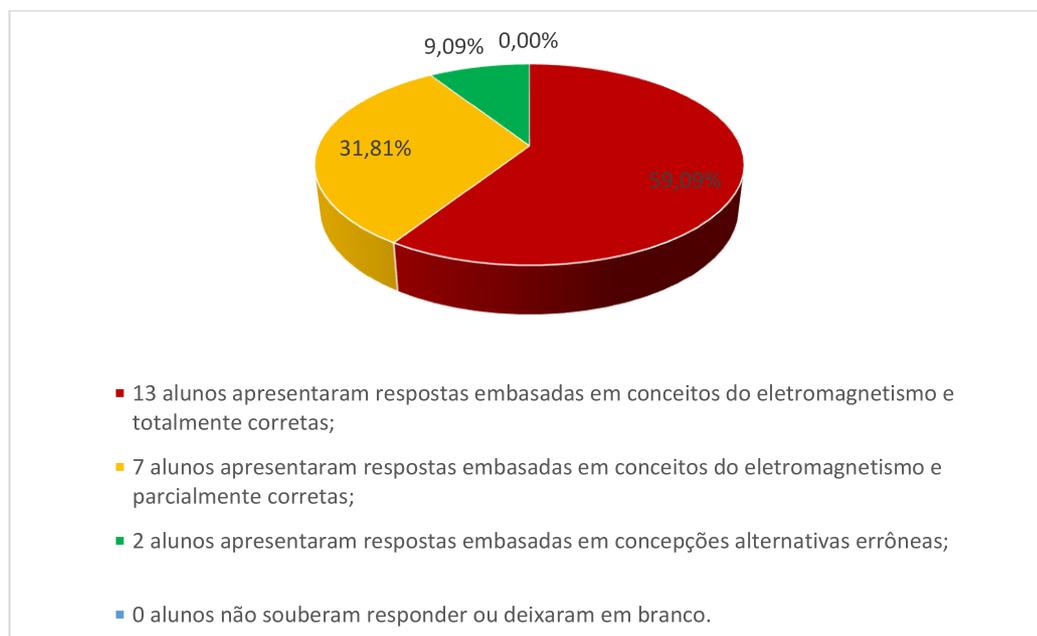
Resposta Parcialmente Correta:

O LED da bobina 2 foi aceso porque a corrente na bobina 1 cria um campo magnético que influencia a bobina 2. Sem conexões diretas, esse campo magnético pode ainda induzir corrente na bobina 2. Ao aproximar as bobinas, o campo magnético fica mais forte na bobina 2, fazendo o LED brilhar mais.

Essa questão faz parte da última etapa desta atividade de aprendizagem, a etapa de EXPLICAÇÃO. Essa questão foi disponibilizada após a atividade envolvendo o simulador PHET, chamado "Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday". No entanto, o professor não forneceu uma explicação para o fenômeno ocorrido durante o experimento com o EXPINEL. O propósito desta atividade era servir como analogia-ponte para que os estudantes tivessem mais recursos para reformular suas hipóteses de forma autônoma.

Temos que destacar que o intuito da **QUESTÃO 6** era mesmo criar um confronto de ideias, visto que ela foi aplicada após a aula com o simulador, que é usado como uma analogia ponte. O simulador foi usado em aula para proporcionar ao aluno mais subsídios para que ele pudesse construir seu conhecimento e elaborar uma resposta cientificamente correta, sem ainda ocorrer a explicação do fenômeno pelo professor. Ela questiona novamente os alunos sobre o experimento, porém agora faz uso de uma analogia com o simulador, incentivando os alunos a explicarem cientificamente o fenômeno e aprimorarem suas respostas anteriores. A figura 20 apresenta a divisão quantitativa das respostas obtidas, já agrupadas, para essa questão.

Figura 20 - Divisão quantitativa de alunos por grupo em porcentagem – Questão 6



Fonte: Autoria própria.

Esperávamos que, após essa aula, já teríamos alunos com respostas cientificamente corretas, o que foi constatado, uma vez que obtivemos 59% de alunos no grupo 1. Além disso, tivemos 31,81% de respostas parcialmente corretas. De forma que, respostas com concepções alternativas errôneas a respeito do experimento tivemos apenas 9,09%.

É possível notar uma alta porcentagem de respostas totalmente e parcialmente corretas apenas com base nas observações feitas pelos estudantes durante o experimento de analogia-ponte, sem a necessidade da explicação do professor. Isso demonstra que os alunos foram capazes de construir seu conhecimento de maneira mais ativa, o que é um dos principais objetivos das metodologias ativas e do nosso trabalho. Como exemplos das respostas que obtivemos, seguem dois modelos correspondentes aos grupos mencionados anteriormente.

Aluno do grupo 1: “Mesmo sem ligações diretas entre as bobinas, o LED da bobina 2 foi aceso, pois a bobina 1 ao ser percorrida por corrente elétrica gerou um campo magnético variável que induziu na bobina 2, uma corrente elétrica nesta. E por isso, que ao se aproximar a bobina 2 da bobina 1, o campo magnético induzido vai ficando mais intenso, por consequência a corrente elétrica da bobina 2 aumenta, aumentando o brilho do LED, já o material que liga as duas bobinas, material ferroso, ajuda a concentrar as linhas de campo.”

É interessante analisar aqui a evolução da escrita científica dos estudantes. Eles agora apresentam respostas com os conceitos corretos e completamente claras sobre o que aconteceu no experimento.

Nesse momento já temos treze alunos com respostas cientificamente corretas, desde conceitos aplicados corretamente para explicar o experimento até a escrita científica com termos aprendidos dentro do conteúdo.

Aluno do grupo 2: “O led da bobina 2 ficou aceso devido a corrente induzida que circulou por ele. Essa corrente foi gerada devido a variação do fluxo magnético da bobina 1, e de acordo com que se aproximava a bobina 1 da bobina 2, o brilho do led na bobina 2 aumentava já que a corrente nessa bobina ficava maior”.

Pode-se perceber na resposta do aluno 2 que ele consegue compreender o experimento, analisá-lo e explicá-lo usando conceitos de eletromagnetismo. No entanto, a formulação de sua resposta ainda apresenta lacunas. Ele explica o motivo do acendimento do LED e menciona sobre o aumento de brilho, mas em comparação com as respostas associadas ao Grupo 1, faltou relatar mais sobre a indução eletromagnética e apresentá-la com uma escrita mais científica. Apesar desses apontamentos, já é notável, nessa resposta, o desenvolvimento da escrita científica e o entendimento do fenômeno aqui estudado.

Aluno do grupo 3: “A barra que liga as bobinas possui propriedades de condução, fazendo com que a corrente passe de uma bobina para outra, acho que para o brilho aumentar além da conexão pela barra, a bobina 1 gera um campo magnético que induz um campo magnético na bobina 2, e como vimos depender do seu distanciamento, uma vez que ao aproximar a 2 da 1, o LED teve seu brilho aumentado.”

Notamos ainda que dois alunos apresentam uma concepção espontânea de haver alguma ligação elétrica entre as duas bobinas por meio dos núcleos de ferro. O aluno 3, que representa o grupo 3, deixa isso evidente quando menciona “a barra que liga as bobinas possui propriedades de condução”. Percebemos que ainda há erros decorrentes de concepção espontânea. É perceptível pela figura 20 que ainda temos alunos com dúvidas e dificuldades na elaboração de uma resposta científica que explique o fenômeno. A concepção espontânea relacionada às ligações em circuitos elétricos é mais difícil de ser quebrada por alguns estudantes, pois essas ideias são mais concretas para eles. Por outro lado, o entendimento do conceito de campo magnético exige um nível maior de abstração.

Prosseguindo, após a **QUESTÃO 6**, os alunos tiveram uma aula expositiva do conteúdo, baseada no material de apoio fornecido. Importante ressaltar que os alunos não foram informados sobre seus erros em momento algum durante essa aula. A aula teve como objetivo fornecer uma explicação conceitual dos pontos-chave relacionados ao fluxo magnético e à Lei de Faraday. No final dessa aula, disponibilizamos a **QUESTÃO 7**.

QUESTÃO 7. *Após as discussões trazidas em sala de aula, volte na questão 6 e verifique se há necessidade de complementação da sua resposta. Se houver, reformule sua resposta argumentando pelo que foi visto e discutido na aula expositiva.*

Questão 6. A partir do que foi visto com o simulador e com o EXPINEL, explique como foi possível, sem ligações diretas entre a bobina 1 e 2, o LED da bobina 2 ser aceso e ainda ao aproximar ir aumentando de brilho?

Sendo a **QUESTÃO 7**, a última questão da etapa de explicação, ela solicita que o aluno revise a **QUESTÃO 6** após todo o processo de visualização dos vídeos, participação na aula expositiva e utilização do simulador. O objetivo é que o aluno seja capaz de formular uma resposta cientificamente correta, conforme exemplificado a seguir:

Resposta:

A partir das observações com o simulador e o EXPINEL, foi possível acender o LED da bobina 2 sem ligações diretas com a bobina 1 devido ao fenômeno da indução

eletromagnética. Quando a corrente alternada passa pela bobina 1, ela gera um campo magnético variável que, ao atravessar a bobina 2, induz uma corrente elétrica nesta última. Conforme a Lei de Faraday, a intensidade da corrente induzida na bobina 2 aumenta à medida que a bobina 2 se aproxima da bobina 1, devido à maior intensidade do campo magnético, o que resulta no aumento do brilho do LED.

É interessante notar que os alunos que ainda tinham dúvidas conseguiram perceber seus erros e fizeram reformulações em suas respostas. Por outro lado, aqueles que acertaram concluíram que suas respostas anteriores estavam corretas. Essa conclusão pode ser observada nos modelos de respostas da **QUESTÃO 7** disponibilizados a seguir:

Aluno do grupo 1: “Em relação a questão anterior acredito que não cometi nenhum equívoco”.

Aluno do grupo 2: “Pois, de acordo com a Lei de Faraday, a força eletromotriz induzida por uma variação de fluxo magnético induzida no EXPINEL, fez com que fosse possível acender o led da bobina 2.”

Com base nos dados apresentados, é possível perceber uma evolução no aprendizado dos alunos. Ao voltarmos para a figura 19, observamos que apenas 45,45% da turma era capaz de responder à pergunta citando conceitos de eletromagnetismo, porém com dificuldades na compreensão da aplicação e com erros conceituais. E após a analogia ponte feita com a simulação computacional, 59,09% responderam de forma completamente correta e que 31,81% responderam de forma parcialmente correta.

Ao término desta primeira fase do estudo, foi possível observar que todos os alunos que participaram da amostra analisada demonstraram compreensão do conteúdo abordado. No entanto, é importante ressaltar que a pesquisa ainda estava em andamento, restando a segunda fase de desenvolvimento do produto educacional para ser concluída. Por meio das respostas qualitativas, notamos uma evolução na escrita científica, com maior formalismo. Os alunos apresentaram os conceitos físicos esperados, após terem adquirido uma base sólida de aprendizado.

5.4 A segunda sequência didática: A Lei de Lenz

Posteriormente, na segunda SD, iniciamos o trabalho com o conteúdo da Lei de Lenz, conforme mencionado no capítulo anterior. Realizamos algumas alterações no EXPINEL para disponibilizar o primeiro comando, uma modificação necessária foi inclusão de um LED

vermelho na bobina 1 como pode ser observado na figura 15. Agora temos as duas bobinas, 1 e 2, equipadas com LEDs. A configuração de conexão permanece a mesma, com apenas a bobina 1 sendo conectada à caixa principal por meio de conectores. Após assistirem ao vídeo explicativo sobre a nova configuração do experimento, os estudantes responderam à primeira questão.

QUESTÃO 1. *Agora, ao ligar o EXPINEL, o que você acha que irá acontecer? O LED ligado na bobina 1 vai acender? Por quê?*, novamente na etapa de PREVISÃO.

Para fins de comparação com as respostas dos alunos, disponibilizamos duas situações: uma resposta correta e outra parcialmente correta. Esses modelos foram elaborados com o intuito de facilitar a análise de respostas mais elaboradas, caso fossem apresentadas pelos alunos. No entanto, observamos que as respostas obtidas foram, em sua maioria, rápidas e concisas.

Resposta Correta:

Ao ligar o EXPINEL, o LED conectado à bobina 1 vai acender. Isso ocorre devido à indução eletromagnética descrita pela Lei de Lenz, que afirma que a corrente induzida em um circuito é sempre direcionada de forma a opor-se à variação do fluxo magnético que a produziu. A corrente alternada na bobina 1 gera um campo magnético variável, induzindo uma corrente que ilumina o LED.

Resposta Parcialmente Correta:

Ao ligar o EXPINEL, acredito que o LED na bobina 1 não acenderá. A indução eletromagnética pode não ser suficiente para acionar o LED diretamente sem um circuito adequado para permitir a passagem da corrente contínua necessária. Embora a Lei de Lenz indique a presença de uma corrente induzida, esta pode não ser suficiente para iluminar o LED sem a configuração correta.

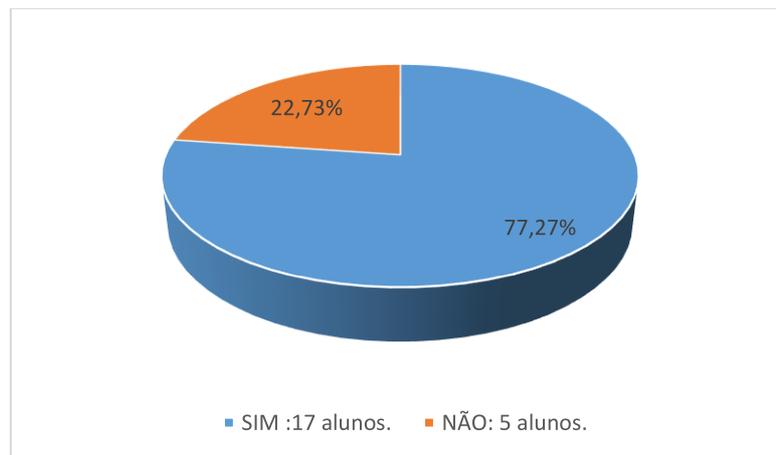
Esses modelos visam auxiliar na identificação e análise de respostas que demonstrem compreensão dos conceitos de eletromagnetismo e a aplicação da Lei de Lenz, proporcionando um critério claro para avaliar a profundidade das respostas dos alunos. Recebidas as respostas e analisadas, para fins de apresentação neste trabalho e para fins de comparação final de aprendizado, as respostas foram divididas em dois novos grupos, conforme mostrado abaixo.

Grupo 1. Alunos que responderam que “sim” e argumentaram.

Grupo 2. Alunos que responderam que “não” e argumentaram.

Esses grupos foram criados com base na análise de todas as respostas obtidas nesta etapa para a **QUESTÃO 1**. Além disso, é importante ressaltar que não foram registradas respostas em branco ou do tipo "não sei" para essa questão. Todos os alunos, após indicarem "sim" ou "não" nas respostas, apresentaram argumentos para justificar suas escolhas. Essa atitude evidencia o engajamento dos estudantes na atividade e o interesse em participar da discussão proposta pelo questionamento. O fato de todos os alunos terem se envolvido ativamente na argumentação demonstra o sucesso da abordagem investigativa, pois incentiva a participação e a reflexão dos alunos sobre o tema estudado. Essa interação enriquece o processo de aprendizado, promovendo uma compreensão mais profunda e consistente dos conceitos abordados. A figura 21 traz o percentual dos que se encaixam no grupo 1 ou no grupo 2.

Figura 21 - Quantitativo das respostas - Questão 1.



Fonte: Autoria própria.

Em seguida, seguem os exemplos das respostas que estão dentro desses dois grupos, obtidos neste primeiro momento.

Aluno do grupo 1. “Acho que, ao ligar o EXPINEL, o LED da bobina 1 irá acender e manter uma luz uniforme”.

Aluno do grupo 2. “O LED ligado na bobina 1 não irá ligar. Porque houve alterações.”

Percebemos, na resposta do aluno 2, que, devido às modificações propostas, ele interpretou que o aparato não funcionaria, revelando que não analisou cientificamente a mudança sugerida e deu uma resposta baseada no senso comum. Por outro lado, o aluno 1

afirmou que o EXPINEL funcionará e o LED da bobina 1 estará aceso. Essa análise revela que alguns alunos ficaram com dúvidas e não têm certeza do que aconteceria com o experimento após a modificação, enquanto outros demonstram compreender a alteração no aparato experimental.

Essa questão claramente cumpre seu objetivo de levantar previsões após uma pequena modificação no EXPINEL. Mesmo após os alunos terem realizado a primeira parte da SD e estarem familiarizados com o aparato, eles apresentaram opiniões divergentes, com cinco alunos ainda acreditando que o LED não ascenderia.

Essas respostas refletem a diversidade de compreensão dos alunos em relação ao experimento e sua capacidade de aplicar conceitos aprendidos para fazer previsões em situações modificadas. É importante destacar que o processo de aprendizado é contínuo, e essa atividade investigativa oferece uma oportunidade valiosa para os alunos aprimorarem suas habilidades de raciocínio científico e refinarem suas previsões com base em evidências e conhecimento adquirido. Após obter essas respostas, disponibilizamos a questão 2, que tem o papel de supor e questionar os alunos sobre a interferência ou não de um LED no outro.

QUESTÃO 2: *O LED da bobina 1 vai interferir no brilho do LED da bobina 2? Sim ou não? Justifique sua resposta.*

Ao analisar as respostas dessa segunda questão, conseguimos identificar três grupos distintos de respostas. Categoriza-se essas respostas como **subgrupos** das respostas anteriores, uma vez que estão relacionadas ao mesmo tópico e tratam do mesmo assunto.

Subgrupo 1.1. Alunos que responderam que o LED acenderia e mencionaram que haveria interferência.

Subgrupo 1.2. Alunos que responderam que o LED acenderia e afirmaram que não haveria interferência.

Subgrupo 2.1. Alunos que afirmaram que, devido ao LED não acender, não haveria interferência.

Baseado nessa nova distribuição, apresentamos os modelos de possíveis respostas para se fazer a comparação com as repostas dos alunos.

Resposta Correta:

Não, o LED da bobina 1 não vai interferir no brilho do LED da bobina 2.

Justificativa:

A bobina 1 e a bobina 2 estão acopladas magneticamente através do fenômeno da indução eletromagnética, mas não eletricamente conectadas. A corrente alternada que acende o LED na bobina 1 gera um campo magnético variável, que induz uma corrente na bobina 2 de acordo com a Lei de Faraday. No entanto, a presença do LED na bobina 1 não afeta a intensidade do campo magnético ou a corrente induzida na bobina 2, porque as duas correntes são independentes. Portanto, o brilho do LED na bobina 2 é determinado exclusivamente pela intensidade do campo magnético variável criado pela bobina 1, sem interferência do LED da bobina 1.

Resposta parcialmente correta:

Sim, o LED da bobina 1 vai interferir no brilho do LED da bobina 2.

Justificativa:

A corrente que acende o LED na bobina 1 cria um campo magnético variável. Quando essa corrente muda, o campo magnético também muda, o que pode alterar a corrente induzida na bobina 2. Como a intensidade do campo magnético afeta a força eletromotriz induzida na bobina 2, qualquer variação na corrente da bobina 1 pode potencialmente interferir no brilho do LED na bobina 2. Assim, a operação do LED na bobina 1 pode causar flutuações no brilho do LED na bobina 2 devido às mudanças no campo magnético.

Esses exemplos de respostas mostram como os alunos podem justificar suas previsões com base nos princípios da indução eletromagnética e da Lei de Lenz.

Seguem os exemplos de respostas que representam os **subgrupos**, respectivamente:

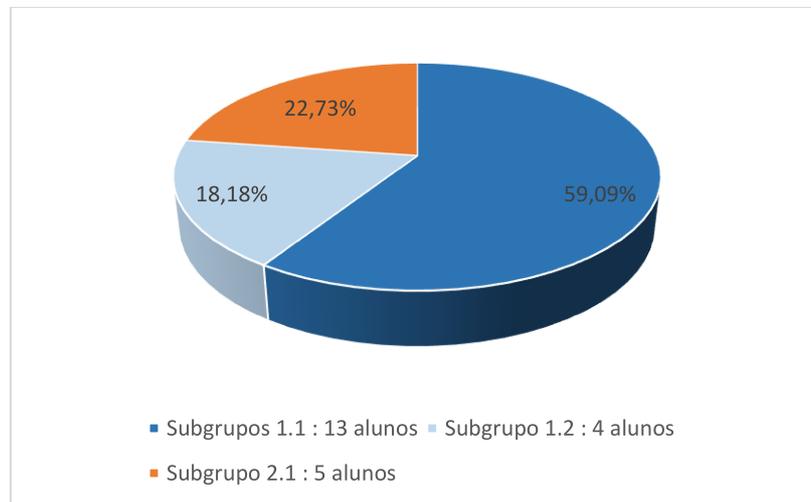
Aluno do subgrupo 1.1. “Eu acho que o LED da bobina 1 vai interferir no brilho do LED da bobina 2, porque o valor da corrente elétrica que vai passar em um não vai ser igual ao da outra.”

Aluno do subgrupo 1.2. “O LED da bobina 1 não irá interferir no da bobina 2, pois os LEDs em si não afetam um ao outro, o único modo de um afetar o outro seria os 2 estarem conectados a uma mesma bobina e terem necessidades de tensão diferentes, de modo que ligar um causaria o outro a apagar ou diminuir de brilho.”

Aluno do subgrupo 2.1. “Não, porque o LED da bobina 1 não vai ascender então não vai haver interferência.”

Para uma análise quantitativa, podemos observar a figura 22, que apresenta a nova divisão em forma de porcentagem.

Figura 22 - Análise quantitativa de alunos por subgrupo. Questão 2.



Fonte: Autoria própria.

O propósito dessas questões 1 e 2 era avaliar se eles tinham compreendido as modificações efetuadas no experimento e enfatizar a introdução de um novo LED conectado à bobina 1. Ainda na etapa de PREVISÃO, após disponibilizarmos mais um comando, liberamos a questão 3.

QUESTÃO 3. *Vimos que a produção de energia elétrica em uma usina hidroelétrica ocorre devido a um campo magnético variável o que produz uma corrente alternada. A frequência de oscilação desse campo é de 60 Hz, o que produz uma corrente que altera o seu sentido de propagação 60 vezes a cada segundo. Sendo o EXPINEL um aparelho que funciona com corrente alternada, o que você acha que ocorre com o brilho dos LEDs das bobinas 1 e 2? Eles brilham continuamente? Eles piscam simultaneamente e com uma determinada frequência? Ou eles brilham alternadamente e com uma determinada frequência? Faça um relato justificando suas respostas com base em seus conhecimentos.*

Em seguida é apresentada o modelo de resposta para comparação com as dos discentes.

Resposta Correta:

Os LEDs das bobinas 1 e 2 não brilham continuamente; eles piscam alternadamente com uma determinada frequência. Isso ocorre porque o EXPINEL funciona com corrente alternada, cuja frequência de oscilação é de 60 Hz. Esse campo magnético variável induz corrente alternada nas bobinas, mudando de direção 60 vezes por segundo. De acordo com a Lei de Lenz, a corrente induzida nas bobinas segue a variação do campo magnético, resultando

em LEDs que piscam alternadamente a uma frequência de 60 Hz, que é perceptível como um brilho intermitente.

Resposta Parcialmente Correta:

Os LEDs das bobinas 1 e 2 parecem piscar simultaneamente a uma determinada frequência. A corrente alternada no EXPINEL, com uma frequência de 60 Hz, cria um campo magnético variável que induz corrente nas bobinas. Embora seja possível que os LEDs brilhem alternadamente devido à mudança de direção da corrente, a percepção pode ser de piscamento simultâneo se as frequências estiverem sincronizadas.

Esta questão marca o encerramento desta fase, estabelecendo uma conexão entre a previsão anterior e o vídeo sobre a geração de energia elétrica que os alunos assistiram. O objetivo é fornecer aos alunos informações sobre a geração de energia elétrica, especialmente porque o vídeo utiliza animações visuais para apresentar vários conceitos de forma lúdica. Isso proporciona aos alunos as ferramentas necessárias para formular suas previsões com base no conhecimento adquirido no vídeo. Ao analisar as respostas referentes a essa questão, separamos em grupos novamente, dividindo-os da seguinte maneira:

Grupo 1 – Respostas embasadas em conceitos do eletromagnetismo e totalmente corretas;

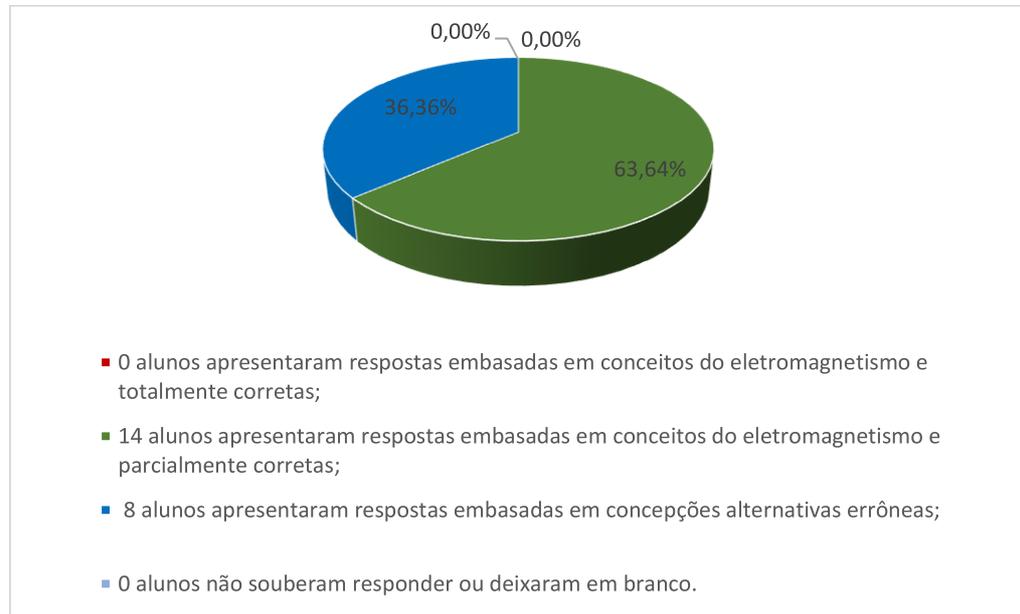
Grupo 2 – Respostas embasadas em conceitos do eletromagnetismo e parcialmente corretas;

Grupo 3 – Respostas embasadas em concepções alternativas errôneas;

Grupo 4 – Não souberam responder ou deixaram em branco.

A figura 23, mostra a divisão das respostas dentro desses grupos criados para a análise.

Figura 23 - Quantitativo de respostas. Questão 3.



Fonte: Autoria própria.

Como exemplo das respostas de cada um desses dois grupos, podemos observar os alunos 2 e 3, pois não obtivemos respostas totalmente corretas. Também não obtivemos respostas em branco nessa pergunta, reforçando mais uma vez o engajamento dos alunos na SD.

Aluno do grupo 2: “Acho que se o EXPINEL for um aparelho que funciona com corrente alternada, os LED irão brilhar alternadamente, pois estão em frequência diferentes. Isso será percebido quando aproximar as duas bobinas uma das outras, onde as LED começaram a piscar rapidamente. Como podemos ver no vídeo cada led está em uma bobina. Um tem a corrente original e a outra a corrente induzida.”

Aluno do grupo 3: “De acordo com a pergunta, a energia elétrica em uma usina hidroelétrica ocorre de acordo com um campo alternado, onde a frequência é de 60Hz. O EXPINEL, funcionando sob corrente alternada, é claro que as bolinhas 1 e 2 brilham continuamente, de maneira que a energia (corrente alternada) passa-se pelo EXPINEL”.

Podemos perceber, através da resposta do aluno 2, que ele aborda o que foi solicitado e argumenta com conceitos do conteúdo aprendido, porém se confunde, como podemos ver na parte "aproximar às duas bobinas uma das outras, onde as LEDs começarão a piscar rapidamente". Outro ponto importante que podemos observar é que o aluno menciona que os LEDs irão brilhar alternadamente devido a frequências diferentes. O aluno tem a intuição de

que os LEDs brilharão alternadamente. No entanto, neste caso, o aluno parece estar confundindo o conceito do sentido da corrente induzida, que gera a alternância no brilho, com o conceito de frequência da corrente alternada. Sua resposta revela uma pequena confusão conceitual.

Percebemos que muitos alunos responderam que os LEDs irão brilhar alternadamente de forma intuitiva. Isso ocorreu porque o termo "corrente alternada", utilizado na explicação do funcionamento do aparelho e no trecho do documentário "Viagem na Eletricidade", leva os estudantes a essa dedução. No entanto, nota-se em suas respostas que não há compreensão sobre a explicação deste fenômeno pela Lei de Lenz.

Essas respostas revelam diferentes níveis de compreensão dos alunos em relação ao fenômeno estudado. O aluno 2 demonstra ter compreendido alguns conceitos, mas ainda apresenta confusão na aplicação desses conceitos à situação proposta. O aluno 3 mostra uma tentativa de estabelecer conexões entre o experimento e o vídeo, ao citar a geração de energia elétrica e incluir dados de frequência fornecidos no vídeo. No entanto, acaba interpretando erroneamente o comportamento dos LEDs no EXPINEL. Outro ponto que merece destaque é que inicialmente esperávamos um percentual muito baixo de respostas, mesmo que parcialmente corretas. No entanto, surpreendentemente, obtivemos um percentual de 63,64% de respostas parcialmente corretas. Isso pode ser atribuído, em parte, ao vídeo de analogia-ponte que utilizamos, o qual forneceu aos estudantes informações úteis para embasar suas previsões.

Dando continuidade à aplicação da segunda parte da SD, os alunos receberam um terceiro comando, passando agora para a OBSERVAÇÃO do fenômeno. Em seguida, eles receberam a questão 4.

QUESTÃO 4. *Através do vídeo você deve ter conseguido perceber que ao ser gravado com câmera lenta (SLOW MOTION) os LED'S se alternavam de brilho. Por que só foi possível ver essa alternância com câmera lenta?*

Os modelos de respostas correta e parcialmente correta são apresentados abaixo.

Resposta Correta:

Foi possível ver a alternância de brilho dos LEDs apenas com a câmera lenta (slow motion) devido à alta frequência de oscilação da corrente alternada (60 Hz) que alimenta o EXPINEL. Os LEDs piscam a uma velocidade muito rápida para ser percebida pelo olho humano, que não consegue distinguir mudanças ocorrendo a 60 vezes por segundo. A câmera

lenta desacelera essas rápidas oscilações, permitindo que a alternância de brilho dos LEDs se torne visível.

Resposta Parcialmente Correta:

A câmera lenta permite ver a alternância de brilho dos LEDs porque desacelera o vídeo, mostrando mudanças que ocorrem rapidamente. A frequência de 60 Hz da corrente alternada faz os LEDs piscarem muito rápido para o olho humano perceber. Com a gravação em câmera lenta, essas rápidas mudanças ficam mais evidentes, mostrando que os LEDs não brilham continuamente, mas alternam.

O objetivo dessa questão era incentivar os alunos a relacionar a gravação feita por smartphones usando o efeito de câmera lenta com o fenômeno físico do experimento.

Após analisarmos as respostas referentes à **QUESTÃO 4**, organizamos os dados em grupos novamente, mantendo a seguinte divisão:

Grupo 1 – Respostas que explicam a alternância de brilho dos LEDs com base na frequência de oscilação da corrente elétrica e a limitação do olho humano em captar tais oscilações em tempo real;

Grupo 2 – Respostas que mencionam parcialmente os conceitos de frequência de oscilação da corrente elétrica, mas sem relacionar com a limitação do olho humano em captar tais oscilações em tempo real;

Grupo 3 – Respostas que apresentam concepções alternativas, como a interpretação errônea da tecnologia de gravação ou características dos LEDs, sem ligação correta com os fenômenos físicos envolvidos;

Grupo 4 – Não souberam responder ou deixaram em branco.

A seguir, são apresentadas duas respostas distintas selecionadas do grupo de 22 alunos. Estas respostas ilustram o modelo de respostas obtidas e demonstram o entendimento dos alunos sobre o motivo pelo qual a gravação foi realizada utilizando a câmera lenta.

Aluno do grupo 1. “Devido à corrente alternada o LED sofre uma variação de corrente, isso explica por que ele acende e apaga. Porém, essa alternância é extremamente rápida, imperceptível à olho nu (pois o olho humano enxerga até alguns hertz específicos). Ao colocar o vídeo em câmera lenta, o olho consegue perceber essa variação.”

Aluno do grupo 2. “Só foi possível perceber essa alternância de luminosidade, pois como as LED piscam com uma frequência alta, para nosso olho não é perceptível, não conseguíamos ver, mas com slow motion sim, pois ele grava com uma velocidade menor, se tornando possível assim ver as luzes se alternando.”

Os alunos responderam a esta questão após observarem o fenômeno no aparato experimental. Através das respostas, percebemos que todos os alunos da amostra estudada demonstraram compreensão do efeito do celular e entenderam o motivo pelo qual a gravação para visualizar o fenômeno teve que ser feita utilizando câmera lenta. Diante disso, decidimos não apresentar o gráfico com as porcentagens, uma vez que todos os alunos foram agrupados no Grupo 1. Com o objetivo da questão alcançado, avançamos para a questão 5.

QUESTÃO 5. *Depois de observar o experimento em funcionamento, você concluiu que suas previsões estavam certas ou erradas? O que ocorreu de forma diferente do que você previu?*

Para avaliar as respostas dos alunos é disponibilizado a seguir o gabarito dessa questão.

Resposta Correta:

Após observar o experimento em funcionamento, concluo que minhas previsões estavam corretas. Eu havia previsto que a alternância de brilho dos LEDs seria visível ao utilizar a câmera lenta devido à frequência de oscilação da corrente alternada. O experimento confirmou que os LEDs piscam alternadamente a uma frequência de 60 Hz, e a câmera lenta revelou essa alternância de maneira clara, exatamente como previsto.

Resposta Parcialmente Correta:

Depois de observar o experimento, percebi que minhas previsões estavam parcialmente corretas. Embora eu tenha antecipado que os LEDs piscariam, não esperava que a alternância de brilho fosse tão claramente visível apenas com a câmera lenta. Eu não previ a rapidez com que a corrente alternada mudaria a intensidade do brilho dos LEDs, o que fez com que essa alternância fosse indetectável a olho nu, mas evidente com a gravação desacelerada.

Essa questão está na etapa de OBSERVAÇÃO. É uma questão que retoma a PREVISÃO, com o intuito de fazer com que os alunos confrontem as previsões com as observações e relatem os erros e acertos obtidos. Vamos usar aqui as mesmas divisões dos grupos da primeira sequência.

Grupo 1 – Respostas embasadas em conceitos do eletromagnetismo e totalmente corretas;

Grupo 2 – Respostas embasadas em conceitos do eletromagnetismo e parcialmente corretas;

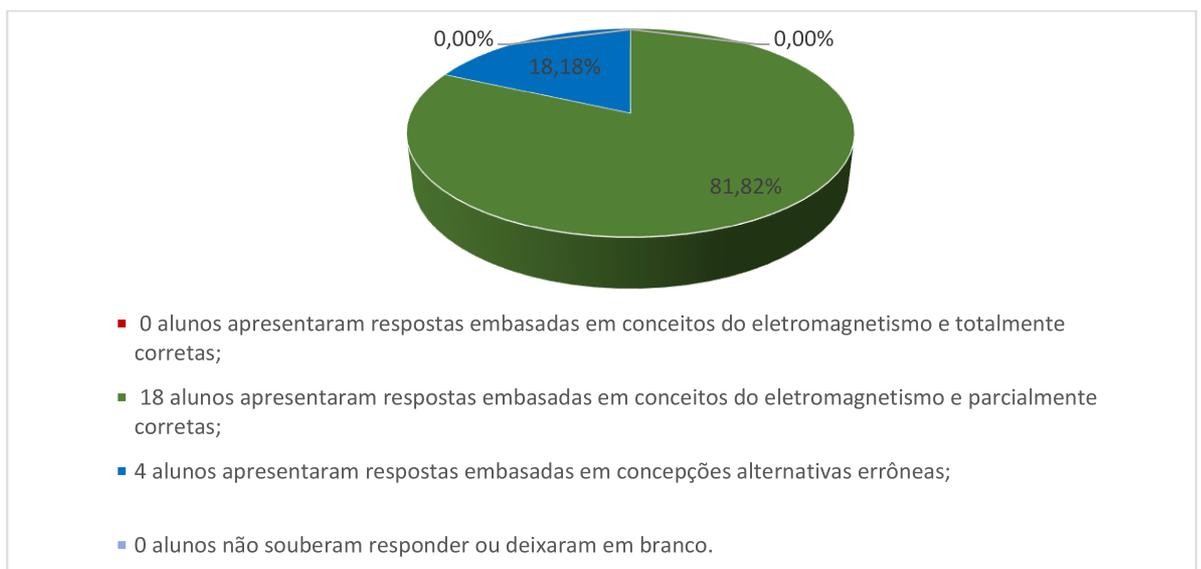
Grupo 3 – Respostas embasadas em concepções alternativas errôneas;

Grupo 4 – Não souberam responder ou deixaram em branco.

Todos os alunos fizeram modificações nas respostas; alguns adequaram-nas, mas com dificuldade em se expressarem, enquanto outros, apesar de mudarem, ainda apresentaram dificuldades com os conceitos. Novamente, não tivemos respostas em branco, mas também não consideramos nenhuma resposta totalmente correta cientificamente, pois muitas delas ainda estavam com uma escrita informal, apesar de embasadas em conceitos de eletromagnetismo.

Essas observações destacam que a atividade foi bem recebida pelos alunos, levando-os a revisar e refletir sobre suas respostas anteriores. No entanto, também evidenciam a necessidade de mais orientação e prática na elaboração de respostas cientificamente precisas e bem estruturadas. É fundamental que os alunos desenvolvam habilidades de escrita científica, onde possam comunicar seus entendimentos de forma clara e coerente, fundamentados em conceitos sólidos. Para exemplificar, a figura 24 mostra uma representação quantitativa.

Figura 24 - Divisão quantitativa e percentual. Questão 5.



Fonte: Autoria própria.

Aluno do grupo 2: “Depois de observar o experimento em funcionamento, me parece que minhas previsões estavam certas, pois afirmei que os LEDs iriam brilhar alternadamente, e não simultaneamente, pois estão em uma corrente alternada.”

Aluno do grupo 3: “Eu previ que ia brilhar alternadamente com uma determinada frequência, acho que acertei na previsão sim, pois, por a frequência ser grande não dava pra perceber que o led piscava mas também eu não disse que ele não piscava, visto que, eu falei que era uma corrente alternadamente. Que possui um gráfico de curva, quando um led tá aceso o outro apagado e assim por diante, mas sem a câmera lenta não foi possível perceber um led aceso e outro apagado, somente com a câmera lenta dá pra perceber já que a frequência varia de 40/60 Hz.”

Notamos, através da resposta do aluno 2, que ele previu corretamente o brilho alternado do LED. No entanto, percebemos que ele chegou a essa conclusão com base no termo "corrente alternada". Como mencionado anteriormente, muitos alunos responderam com base em concepções espontâneas influenciadas pelo nome do conteúdo. Ao ser questionado nesta questão, ele utiliza essa explicação. Não consideramos esta resposta totalmente correta, uma vez que não empregou outra forma de argumentação para demonstrar compreensão do propósito científico subjacente.

Quanto ao aluno 3, ele consegue estabelecer uma relação entre a previsão e a observação, percebendo que em sua resposta faltou maior detalhamento. Ao redigir sua resposta, ao tentar elaborar uma explicação conceitual correta, acaba apresentando termos que indicam dúvidas, como "eu acho que acertei...".

Essa análise das respostas dos alunos destaca aspectos positivos e áreas que precisam ser aprimoradas. O aluno 2 demonstra uma compreensão mais sólida ao relacionar os conceitos aprendidos ao experimento e ao refletir sobre suas previsões, evidenciando um progresso na construção do conhecimento.

Por outro lado, o aluno 3 mostra um avanço ao perceber pontos corretos na sua previsão inicial, porém ainda apresenta conceitos equivocados baseados em senso comum. Isso indica que há espaço para melhorar a compreensão conceitual e a aplicação dos conhecimentos adquiridos. Podemos destacar o resultado positivo que obtivemos, o qual revela que a porcentagem de respostas parcialmente corretas aumentou para 81,82% após os estudantes observarem a execução do experimento.

Na última etapa, a EXPLICAÇÃO, os alunos receberam orientação por meio de uma atividade que utilizou a simulação do PHET, conhecida como o experimento ponte. É

importante lembrar que o professor ainda não havia explicado completamente o que ocorreu no experimento. O objetivo da simulação computacional era fornecer subsídios adicionais aos estudantes para que pudessem reformular suas explicações sobre o que aconteceu durante o experimento. Isso visava ajudá-los a responder à pergunta seguinte, que foi definida como a questão 6 nesta etapa.

QUESTÃO 6. *Com base em seus conhecimentos sobre eletromagnetismo e na atividade realizada com o simulador, responda a seguinte questão:*

Vimos que enquanto um LED se acende outro se apaga e vice-versa, por que isso acontece? Explique com suas palavras o motivo desse fenômeno.

A seguir estão as respostas corretas e parcialmente correta da **QUESTÃO 6**.

Resposta Correta:

O fenômeno de alternância de brilho dos LEDs ocorre devido ao funcionamento da corrente alternada (CA) e ao princípio da indução eletromagnética. A corrente alternada muda de direção periodicamente, gerando campos magnéticos variáveis que induzem correntes opostas nas bobinas. Quando a corrente em uma bobina é máxima, ela é mínima na outra, fazendo com que um LED acenda enquanto o outro apaga. Isso se deve à Lei de Lenz, que indica que a corrente induzida se opõe à mudança no fluxo magnético, resultando na alternância observada.

Resposta Parcialmente Correta:

O fenômeno ocorre porque a corrente alternada faz os LEDs piscarem de maneira alternada. Quando a corrente passa pela primeira bobina, ela cria um campo magnético que induz uma corrente na segunda bobina. Como a corrente muda de direção rapidamente, um LED acende enquanto o outro apaga, já que a corrente induzida em cada bobina não é constante. Isso causa a alternância de brilho dos LEDs.

O objetivo dessa questão era estabelecer uma conexão entre a simulação virtual e o experimento prático (EXPINEL), permitindo que os alunos pudessem explicar o fenômeno da Lei de Lenz estudado nessa segunda montagem.

Após analisar as respostas, verificamos que os quatro alunos que estavam com dificuldade na formulação e confundindo conceitos conseguiram entender e explicar o fenômeno de forma mais precisa. Além disso, os outros alunos que estavam progredindo na

explicação também conseguiram concluir suas respostas e compreender o fenômeno de maneira mais aprofundada.

Essa observação é bastante positiva, pois indica que a SD baseada na metodologia POE e o acompanhamento pedagógico estão sendo eficazes em auxiliar os alunos a superar suas dificuldades e a avançar em seu aprendizado. A evolução demonstrada pelos quatro alunos que inicialmente enfrentavam dificuldades sugere que a abordagem adotada está ajudando-os a consolidar seus conhecimentos e aprimorar suas habilidades de expressão e compreensão dos conceitos estudados.

Da mesma forma, o progresso dos outros alunos mostra que a atividade POE está sendo bem-sucedida em aprofundar o entendimento geral do fenômeno em estudo, permitindo que eles consolidem seus conhecimentos e melhorem sua capacidade de explicar e interpretar os conceitos científicos.

Esses resultados enfatizam a importância de proporcionar um ambiente de aprendizado que promova a reflexão, o diálogo e a exploração ativa dos conteúdos. Ao fornecer suporte adequado, incentivar a participação e encorajar a análise crítica dos resultados, é possível facilitar o progresso dos alunos em seu processo de aprendizagem e promover um aprendizado significativo e duradouro.

Duas respostas de alunos distintos nesta fase corroboram com a afirmação anterior, e para mostrarmos, seguem essas respostas:

Aluno 1. “Devido a Lei de Lenz, a corrente induzida grada pela variação do fluxo magnético possui direção oposta à corrente que lhe deu origem. Dessa forma, quando um led acende o outro apaga devido ao sentido da corrente.”

Aluno 2. “Um LED se apaga e o outro se acende alternadamente, pois a corrente induzida na segunda bobina pela primeira bobina é alternada e o sentido e o fluxo dela varia, já que o fluxo da segunda bobina é contrário ao fluxo da primeira bobina que o gerou. Nos mostrando, então, que existe uma frequência de oscilação que faz com que não seja possível uma real simultaneidade do brilho.”

Essa análise das respostas é bastante positiva, pois indica que esses dois alunos conseguiram ir além da simples aplicação de fórmulas e entender a Lei de Lenz em um contexto experimental real. Eles demonstraram compreensão das implicações físicas da lei e como ela se aplica ao fenômeno estudado.

Além disso, o amadurecimento em suas respostas mostra um progresso significativo em sua capacidade de se expressar de forma clara e concisa, utilizando suas próprias palavras para

descrever o fenômeno. Isso sugere que eles estão desenvolvendo uma compreensão mais profunda do assunto e estão adquirindo confiança em sua habilidade de comunicar ideias científicas de forma eficaz.

Esses resultados destacam a importância de abordagens pedagógicas que encorajem os alunos a explorar conceitos além das fórmulas, promovendo uma compreensão mais abrangente e contextualizada da ciência. Ao permitir que os alunos apliquem conceitos em situações reais e incentivá-los a expressar suas ideias com suas próprias palavras, é possível promover um aprendizado mais significativo e duradouro. Esses avanços também podem contribuir para o desenvolvimento de habilidades críticas e analíticas, preparando os alunos para enfrentar desafios científicos de maneira mais abrangente.

Depois dessas respostas, eles tiveram mais uma aula expositiva sobre o conteúdo da Lei de Faraday-Lenz. Os alunos conseguiram compreender as equações matemáticas que representavam essas leis. Para encerrar a aplicação da Sequência Didática (SD), foi apresentada a questão 7.

QUESTÃO 7. *Após a execução da atividade no simulador e a discussão sobre a indução eletromagnética realizada em sala, complemente ou reformule sua resposta dada a questão 6, caso você tenha identificado que cometeu algum erro.*

Questão 6. A partir do que foi visto com o simulador e com o EXPINEL, explique como foi possível, sem ligações diretas entre a bobina 1 e 2, o LED da bobina 2 ser aceso e ainda ao aproximar ir aumentando de brilho?

O objetivo dessa questão era fazer com que os alunos avaliassem a necessidade de modificar a resposta da **QUESTÃO 6**, para chegar na resposta correta que tem como exemplo de resposta:

Resposta Correta:

O fenômeno de alternância de brilho dos LEDs ocorre devido ao funcionamento da corrente alternada (CA) e ao princípio da indução eletromagnética. A corrente alternada muda de direção periodicamente, gerando campos magnéticos variáveis que induzem correntes opostas nas bobinas. Quando a corrente em uma bobina é máxima, ela é mínima na outra, fazendo com que um LED acenda enquanto o outro apaga. Isso se deve à Lei de Lenz, que indica que a corrente induzida se opõe à mudança no fluxo magnético, resultando na alternância observada.

Para o grupo de alunos aqui analisados, composto pelos 22 alunos escolhidos como amostra, que participaram de toda a SD, tanto na primeira como na segunda parte, entregando as atividades sem atrasos e acompanhando fielmente as aulas, não obtivemos respostas modificadas, mas sim algumas ponderações, como exemplo seguem duas respostas.

Aluno 1: “Só queria reiterar que, assim como visto na aula de hoje, esse experimento age de acordo com a Lei de Faraday e a Lei de Lenz. Esta última falando do sentido do fluxo (mostrando que o sentido da corrente induzida é contrária ao fluxo magnético que a gerou), que explica o porquê dos LEDs alternarem o seu brilho de acordo com a frequência de oscilação causada por esse fluxo magnético alternado.”.

Aluno 2: “Após rever minha resposta na questão anterior e através das explicações na aula eu não considero que precise implementar algo em minha explicação.”.

Percebemos que os alunos aqui analisados seguiram toda a SD e, além disso, reavaliaram suas respostas, tendo a possibilidade de mudar após todas as aplicações e passos seguidos.

Durante a aplicação, alguns alunos que tiveram problemas de acesso e presença nas aulas utilizaram a **QUESTÃO 7** para modificar e corrigir suas respostas.

Na amostra selecionada e discutida nas sequências didáticas (SDs), observamos uma clara evolução científica dos alunos, tanto em termos conceituais quanto em habilidades de escrita. No que diz respeito à **QUESTÃO 2**, que trata do fenômeno, inicialmente constatamos que aproximadamente 40% dos alunos apresentavam erros conceituais e enfrentavam desafios significativos na escrita. Entretanto, à medida que avançamos para a **QUESTÃO 6**, projetada para aprofundar a compreensão dos alunos através da aplicação de um experimento virtual de analogia-ponte e desafios na escrita científica, todos os alunos alcançaram uma compreensão sólida do conceito.

Essa análise dos resultados destaca o sucesso das sequências didáticas em promover o aprendizado e o desenvolvimento dos alunos, demonstrando a eficácia da abordagem pedagógica empregada nas SDs em promover a aprendizagem, reflexão e consolidação dos conceitos.

A abordagem da metodologia POE permitiu que eles explorassem o conteúdo de forma ativa, despertando sua curiosidade e estimulando o pensamento crítico. Durante a atividade, os alunos foram desafiados a prever, observar e explicar o fenômeno em questão, criando um conflito cognitivo que os impulsionou a refletir e rever suas previsões iniciais. Ao analisar todas as respostas dos alunos, observamos um notável desenvolvimento na compreensão dos

conceitos abordados, com muitos deles sendo capazes de corrigir suas previsões e explicar o fenômeno com base em conceitos de eletromagnetismo.

Além disso, a análise dos resultados revelou um aumento significativo no número de alunos com respostas cientificamente corretas após a atividade, demonstrando que a abordagem investigativa foi eficaz na promoção do aprendizado.

Portanto, obtivemos muitos indícios de que a atividade investigativa baseada na metodologia POE foi uma estratégia pedagógica bem-sucedida, permitindo que os alunos adquirissem um aprendizado correto e mais profundo sobre o assunto em estudo. Essa abordagem proporcionou uma experiência de aprendizado ativa, desafiadora e envolvente, contribuindo para o desenvolvimento de habilidades de pensamento crítico e uma compreensão mais sólida dos conceitos estudados.

6 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Ao longo desta dissertação, buscamos aplicar a metodologia POE (Predizer-Observar-Explicar) como uma abordagem inovadora para promover a aprendizagem significativa das leis de Lenz e Faraday, em um contexto de uma experimentação realizada de forma virtual. Utilizamos o aparato experimental EXPINEL para tornar o ensino destes conteúdos considerados desafiadores devido à sua abstração mais acessível aos alunos do terceiro ano do ensino médio. Além disso, nosso objetivo foi desenvolver o pensamento crítico e a habilidade de escrita científica entre os alunos.

Os resultados obtidos ao longo deste estudo forneceram evidências substanciais do impacto positivo da metodologia POE no processo de ensino e aprendizagem. Os alunos demonstraram uma compreensão mais profunda dos conceitos científicos. Além disso, a metodologia POE nos ajudou a estimular o pensamento crítico, a capacidade de prever, observar e explicar fenômenos científicos, bem como a escrita científica.

A fase inicial, **PREVISÃO**, revelou-se fundamental na preparação dos alunos para o experimento. Ao estimular sua curiosidade e desafiá-los a fazer previsões com base em seu conhecimento prévio, que haviam adquirido apenas por meio da visualização de vídeos disponibilizados da montagem do EXPINEL, criou-se um contexto de engajamento que os incentivou a explorar conceitos científicos de maneira ativa e autônoma. Além disso, a antecipação das possíveis respostas estimulou a reflexão crítica e a formulação de hipóteses, habilidades cruciais para o pensamento científico.

A etapa subsequente, **OBSERVAÇÃO**, permitiu que os alunos adquirissem uma compreensão mais profunda dos fenômenos estudados. Ao fornecer-lhes a oportunidade de visualizar o funcionamento do EXPINEL por meio de vídeos e de analisar o fenômeno real, a metodologia POE nos ajudou a promover uma conexão direta entre a teoria e a prática. Essa experiência direta enriqueceu o aprendizado, permitindo que os alunos confrontassem suas previsões com a realidade e ajustassem seus entendimentos de acordo.

A explanação do conteúdo no final desta etapa de observação, fazendo uso da simulação computacional por meio do programa PHET, facilitou uma compreensão mais completa dos conceitos, abordando eventuais dúvidas e fornecendo contextos adicionais. O experimento de analogia ponte desempenhou um papel crucial na aplicação dessa metodologia, pois consistiu em criar uma analogia visível para os fenômenos científicos em estudo com o auxílio do EXPINEL e da simulação PHET. Isso envolveu a montagem de uma representação física que

os alunos puderam observar diretamente, resultando em uma experiência de aprendizado significativa, na qual os alunos puderam conectar a teoria à prática de maneira clara e direta.

Por fim, a fase **EXPLICAR** consolidou o processo de aprendizagem ao envolver os alunos na construção ativa de explicações baseadas em evidências. Essa etapa não apenas solidificou o conhecimento adquirido, mas também incentivou o pensamento crítico, a comunicação científica e a argumentação embasada em dados empíricos.

Os resultados da aplicação da SD demonstraram que a metodologia POE, aplicada a partir de um aparato experimental de indução eletromagnética (EXPINEL), foi capaz de favorecer a aprendizagem. Esta conclusão é justificada por diversos fatores: os dados quantitativos de desempenho dos alunos mostraram uma melhoria significativa nas avaliações pós-intervenção, e os depoimentos qualitativos destacaram um aumento no engajamento e na compreensão do conteúdo. Observou-se também o desenvolvimento de habilidades críticas, como o pensamento analítico e a resolução de problemas. Os alunos não apenas demonstraram um maior domínio dos conceitos estudados, conforme analisado nas respostas do capítulo anterior, mas também uma maior motivação intrínseca em relação ao aprendizado de ciências. Suas habilidades de investigação, resolução de problemas e pensamento crítico foram aprimoradas.

Além disso, a metodologia POE mostrou-se altamente adaptável a diferentes contextos, como foi o nosso caso, em que aplicamos essas SDs por meio online durante a pandemia COVID-19. Isso indica o seu potencial para contribuir com a educação científica em diversos níveis de ensino. Esta abordagem não apenas proporcionou uma compreensão dos conceitos científicos, mas também cultivou o pensamento independente e a capacidade dos alunos de se tornarem aprendizes ao longo da vida.

Em conclusão, a metodologia POE demonstrou ser uma ferramenta poderosa para promover a aprendizagem por meio de experimentação científica e ensino investigativo. Seu potencial para engajar os alunos, estimular sua curiosidade e desenvolver habilidades críticas e práticas é uma promissora direção para a melhoria do ensino de ciências.

O caminho para aprimorar a educação científica continua a se desdobrar, e a presente dissertação, com o produto aqui desenvolvido, baseado na metodologia POE, é uma ferramenta valiosa para aprimorar essa jornada.

REFERÊNCIAS

- ABRAHAMSON, I.; REISS, M. J. Practical Work: Its Effectiveness in Primary and Secondary Schools in England. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 49, n. 8, p. 1035-1055, 2012.
- ALMEIDA, P. *Metodologias Ativas no Ensino de Física*. Rio de Janeiro: Editora Educação, 2019.
- AULER, D.; BAZZO, W. A. *Ciência-Tecnologia-Sociedade: Desafios para a Educação*. Ijuí: Editora Unijuí, 2001.
- AUSUBEL, D. P. *Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2003.
- BARROS, S. de Souza. Pontas de prova para o diagnóstico da aprendizagem de física na escola: Um desafio para o professor. Apostila, Instituto de Física – UFRJ, 1994.
- BENNETT, J. Practical Work in School Science: Why is it Important?. *SSR*, v. 91, n. 335, p. 49-51, 2019.
- BERBEL, N. A. N. As metodologias ativas e a promoção da autonomia de estudantes. *Semina: Ciências Sociais e Humanas*, v. 32, n. 1, p. 25-40, 2011. Disponível em: http://proiac.uff.br/sites/default/files/documentos/berbel_2011.pdf. Acesso em: 27 jan. 2023.
- BOCAFOLI, F. Física e Vestibular. Rodando WordPress e Dynamic News. Disponível em: <https://fisicaevestibular.com.br/novo/eletricidade/eletrromagnetismo/fluxo-magnetico/>. Acesso em: 20 ago. 2022.
- BORGES; NICOLAU. Os Fundamentos da Física. Tecnologia do Blogger. Disponível em: <http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/>. Acesso em: 20 ago. 2022.
- BORGES, A. T. Novos Rumos para o Laboratório Escolar de Ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 19, n. 3, p. 291-313, dez. 2002.
- BRASIL. *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio*. Brasília: MEC/SEB, 2002.
- BRASIL. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- BYBEE, R. W. *The BSCS 5E Instructional Model: Creating Teachable Moments*. Arlington: NSTA Press, 2015.
- CARVALHO, A. M. P. *Ensino de Ciências por Investigação: Condições para Implementação em Sala de Aula*. São Paulo: Cengage Learning, 2013.
- CHASSOT, Á. Alfabetização científica: uma possibilidade para a inclusão social. *Revista Brasileira de Educação, ANPEd*, n. 26, p. 89-100, 2003.
- CHENG, K. H.; HWANG, G. J.; LAI, C. L. Critical research advancements of flipped learning: A review of the top 100 highly cited papers. *Interactive Learning Environments*, v. 28, n. 5, p. 646-658, 2020.

- CROUCH, C. H.; FAGEN, A. P.; CALLAN, J. P.; MAZUR, E. Classroom demonstrations: Learning tools or entertainment?. *American Journal of Physics*, v. 72, n. 6, p. 835-838, 2004.
- COSTA, A. *Desigualdade e Educação em Tempos de Pandemia*. Porto Alegre: Editora Educação Contemporânea, 2021.
- DEMO, P. *Metodologia Científica em Ciências Sociais*. São Paulo: Atlas, 2015.
- DEWEY, J. Essays. In L. Hickman (Ed.), *Collected work of John Dewey, 1882–1953: The electronic edition*. Charlottesville, VA: InteLex Corporation, 1996.
- DUARTE, M. Analogias na Educação em Ciências: Contributos e Desafios. *Revista Investigações em Ensino de Ciências*, 2005. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol10/n1/art.1.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2023.
- DUIT, R. On the role of Analogies and Metaphors in Learning Science. *Science Education*, v. 75, n. 6, p. 649-672, 1991.
- ELLIOTT, S. *Renewable Energy: Physics, Engineering, Environmental Impacts, Economics & Planning*. Oxford: Oxford University Press, 2017.
- FERREIRA, J. *Ensino de Ciências e Pandemia: Desafios e Oportunidades*. Rio de Janeiro: Editora Ciência Aberta, 2020.
- FINKELSTEIN, N. D. et al. When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, v. 1, n. 1, p. 010103, 2005.
- FLOYD, T. L. *Principles of Electric Circuits*. Prentice Hall, 2008.
- FREIRE, P. *Pedagogia da Autonomia: Saberes Necessários à Prática Educativa*. São Paulo: Paz e Terra, 2004.
- FREIRE, P. *Pedagogia da Autonomia*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2010.
- GALILI, I. Interpretation of students' understanding of the concept of electric current. *International Journal of Science Education*, v. 17, n. 3, p. 295-310, 1995.
- GATTI, B. A. A formação dos professores no Brasil: políticas e desafios. *Educação & Sociedade*, Campinas, v. 30, n. 109, p. 1355-1379, 2009.
- GOMES, M. *Educação e COVID-19: Impactos e Perspectivas*. São Paulo: Editora Acadêmica, 2021.
- HAKE, R. R. Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, v. 66, n. 1, p. 64-74, 1998.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de Física: Eletromagnetismo*. v. 3. 10. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2016.

- HAMEED, H.; HACKLING, M. W.; GARNETT, P. J. Facilitating conceptual change in chemical equilibrium using a CAI strategy. *International Journal of Science Education*, v. 15, n. 2, p. 221-230, 1993.
- HAYT, W. H.; KEMMERLY, J. E. *Engineering Circuit Analysis*. McGraw-Hill, 2011.
- HEWITT, P. G. *Física conceitual*. 12. ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2015.
- HODSON, D. A critical look at practical work in school science. *School Science Review*, v. 70, n. 256, p. 33-40, 1990.
- HODSON, D. Learning Science, Learning about Science, Doing Science: Different Goals Demand Different Learning Methods. *International Journal of Science Education*, v. 36, n. 15, p. 2534-2553, 2014.
- HOFSTEIN, A.; LUNETTA, V. N. The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century. *Science Education*, v. 88, n. 1, p. 28-54, 2004.
- LEITE, R.; DUARTE, M. Utilização de Analogias por Professores Portugueses: Contributos para a sua Compreensão. *Actas do XXI Encontro de Didáctica de las Ciências Experimentales*, San Sebastián, 8-10 de setembro de 2004.
- LEME, M. *Metodologias Ativas no Ensino de Ciências*. São Paulo: Editora Ciência Moderna, 2015.
- LIBÂNEO, J. C. *Didática*. São Paulo: Cortez, 2013.
- LIEW, C. W.; TREAGUST, D. F. A Predict-Observe-Explain teaching sequence for learning about students' understanding of heat and expansion of liquids. *Australian Science Teachers Journal*, v. 41, n. 1, p. 68-71, 1995.
- LUZ, A. M. R.; ÁLVARES, B. A. *Física – Contexto & Aplicação*. São Paulo: Scipione, 2014.
- KNIGHT, R. D. *Physics for Scientists and Engineers: A Strategic Approach with Modern Physics*. 4th ed. Boston: Pearson, 2017.
- KOZMA, R. B. The material features of multiple representations and their cognitive and social affordances for science understanding. *Learning and Instruction*, v. 13, n. 2, p. 205-226, 2003.
- MALONEY, D. P.; O'KUMA, T. L.; HIEGGELKE, C. J.; VAN HEUVELEN, A. Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism. *American Journal of Physics*, v. 69, n. S1, p. S12-S23, 2001.
- MAZUR, E. *Principles and Practice of Physics*. 1st ed. Boston: Pearson, 2014.
- MORAES, J.; RIZUTTI, B.; GONÇALVES, B. Instructional experiment on Lenz's law. *QUARKS: Brazilian Electronic Journal of Physics, Chemistry and Material Science*, v. 4, n. 1, p. 61-80, 2022. DOI: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/quarks> e-ISSN: 2674-9688. Disponível em: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/quarks>. Acesso em: 10 jan. 2024.

MORAN, J. M. Mudando a educação com metodologias ativas. In: *Convergências Midiáticas, Educação e Cidadania: aproximações jovens*. Coleção Mídias Contemporâneas, 2015.

Disponível em:

http://www2.eca.usp.br/moran/wpcontent/uploads/2013/12/mudando_moran.pdf. Acesso em: 04 mar. 2023.

MOREIRA, M. A. Uma análise crítica do ensino de Física. *Estudos Avançados*, v. 32, n. 94, set./dez. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-40142018.3294.0006>. Acesso em: 04 mar. 2023.

MOREIRA, M. A.; MASSONI, N. T. *Metodologias Ativas no Ensino de Física*. São Paulo: Editora Ciência Moderna, 2017.

MOREIRA, M. A. *Teoria da Aprendizagem Significativa: Aprendizagem Real e Significativa*. São Paulo: Centauro, 2011.

NARDI, R. *Formação de Professores de Física: Teoria e Prática*. Campinas: Editora da Unicamp, 2018.

NEDELSKY, L. *Science Teaching and Science Testing*. Chicago: University Press, 1961.

NOVAK, J. D. *Learning, Creating, and Using Knowledge: Concept Maps as Facilitative Tools in Schools and Corporations*. New York: Routledge, 2010.

OLIVEIRA, J. R. S. A perspectiva sócio-histórica de Vygotsky e suas relações com a prática da experimentação no ensino de Química. *Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, v. 3, n. 3, p. 25-45, 2010.

OLIVEIRA, T. F.; SASSERON, L. H. O Ensino de Ciências por Investigação: Estratégias e Possibilidades. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 20, n. 1, p. 15-37, 2020.

OSBORNE, J.; DILLON, J. *Good Practice in Science Teaching: What Research Has to Say*. 3rd ed. Maidenhead: Open University Press, 2016.

BRASIL. *Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio*. Brasília: MEC/Semtec, 2000.

PERKINS, K. K.; ADAMS, W. K.; POLLOCK, S. J.; FINKELSTEIN, N. D.; WIEMAN, C. E. Correlating student beliefs with student learning using the Colorado Learning Attitudes about Science Survey. *AIP Conference Proceedings*, v. 818, n. 1, p. 61-64, 2006.

PRINCE, M. Does Active Learning Work? A Review of the Research. *Journal of Engineering Education*, v. 93, n. 3, p. 223-231, 2004.

WHITE, R.; GUNSTONE, R. *Probing Understanding*. Bristol: The Falmer Press, 1992.

REDISH, E. F.; SAUL, J. M.; STEINBERG, R. N. Student expectations in introductory physics. *American Journal of Physics*, v. 66, n. 3, p. 212-224, 1998.

ROSA, C. W.; PINHO-ALVES, J. Ferramentas didáticas metacognitivas: alternativas para o ensino de Física. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 11., 2008, Curitiba. Anais [...]. São Paulo: SBF, 2008.

ROSA, C. W.; ROSA, A. B. Ensino de Física: objetivos e imposições no ensino médio. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciências*, v. 4, n. 1, 2005.

SÁ, E. F.; BORGES, O. Como os alunos e professores compreendem os propósitos de uma atividade de laboratório. In: MOREIRA, M. A.; COSTA, S. C. (Org.). *Atas do II Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. Porto Alegre: ABRAPEC, 2001.

SANTO, J. C. F. Indução Eletromagnética. Física. Disponível em: <http://educacao.globo.com/fisica/assunto/eletromagnetismo/inducacao.html>. Acesso em: 20 ago. 2022.

SANTOS, P. *Ensino Remoto e as Novas Tecnologias na Educação*. Brasília: Editora Inovação Educacional, 2021.

SANTOS, R. J.; SASAKI, D. G. G. Uma metodologia de aprendizagem ativa para o ensino de mecânica em educação de jovens e adultos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 37, n. 3, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-11173731955>. Acesso em: 20 jan. 2022.

SERWAY, R. A.; JEWETT, J. W. *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics*. 9th ed. Boston: Cengage Learning, 2013.

SERWAY, R. A.; JEWETT, J. W. *Física para Cientistas e Engenheiros*. 9. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2018.

SILVA, J.; PEREIRA, M. *Desafios no Ensino de Ciências*. São Paulo: Editora Científica, 2020.

SILVA, R. *Infraestrutura Escolar e Ensino de Ciências: Desafios e Perspectivas*. Rio de Janeiro: Editora Educar, 2019.

SILVA, R. *Transformação no Ensino de Ciências: Da Teoria à Prática*. São Paulo: Editora Acadêmica, 2020.

SIMÕES, M. A. Física Elétrica. Indução eletromagnética. Lei de Faraday. Disponível em: http://masimoes.pro.br/fisica_el/inducacao-eletromagnetica.html. Acesso em: 20 ago. 2022.

SMITH, J. *Metodologias Ativas no Ensino de Ciências: Teoria e Prática*. São Paulo: Editora Educação Contemporânea, 2019.

SOBRAL, F. R.; CAMPOS, C. J. G. Utilização de metodologia ativa no ensino e assistência de enfermagem na produção nacional: revisão integrativa. *Revista da Escola de Enfermagem da USP*, v. 46, n. 1, fev. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0080-62342012000100028>. Acesso em: 04 mar. 2023.

TAMIR, P. Training teachers to teach effectively in the laboratory. *Science Education*, v. 73, p. 59-70, 1989.

TAO, P. K.; GUNSTONE, R. F. Conceptual Change in Science through Collaborative Learning at the Computer. *International Journal of Science Education*, v. 21, n. 1, p. 39-57, 1999.

THOMPSON, J. R.; CHRISTENSEN, W. M.; WITTMANN, M. C. Preparing future teachers to anticipate student difficulties in physics in a graduate-level course in physics, pedagogy, and education research. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, v. 7, n. 1, p. 010108, 2011.

WHITE, R.; GUNSTONE, R. *Probing Understanding*. New York: The Falmer Press, 1992.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. *University Physics with Modern Physics*. 14th ed. San Francisco: Pearson, 2012.

APÊNDICE A – MANUAL DO PRODUTO



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

JOÃO VICTOR DE SOUZA MACHADO

PRODUTO EDUCACIONAL
EXPLORANDO A LEI DE FARADAY E A LEI DE LENZ POR MEIO DO
EXPERIMENTO DE INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA (EXPINEL)

JUIZ DE FORA - MG

2024

JOÃO VICTOR DE SOUZA MACHADO

PRODUTO EDUCACIONAL

**EXPLORANDO A LEI DE FARADAY E A LEI DE LENZ POR MEIO DO
EXPERIMENTO DE INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA (EXPINEL)**

Dissertação apresentada ao Polo 24 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Juiz de Fora / Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Escola Básica.

Orientador: Prof. Dr. Alysson Miranda de Freitas

JUIZ DE FORA - MG
2024

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes.	7
Figura 2 - Circuito principal.	8
Figura 3 - EXPINEL montado para funcionamento.	9
Figura 4 - EXPINEL com a nova configuração. Um Led em cada bobina. Aparelho desligado.	10

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	APRESENTAÇÃO DO EXPINEL	7
3	AS SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS	12
3.1	A sequência didática da Lei de Faraday	14
3.2	A sequência didática da Lei de Lenz	19
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	27
	REFERÊNCIAS.....	28

1 INTRODUÇÃO

Este produto foi concebido a partir do experimento de indução eletromagnética conhecido como EXPINEL. Essa iniciativa foi desenvolvida com o objetivo principal de transformar o ensino de eletromagnetismo, especialmente concentrado nas Leis de Faraday e de Lenz, direcionado aos alunos do terceiro ano do ensino médio.

O núcleo deste produto concentra-se na utilização do aparato experimental (EXPINEL), projetado para criar o interesse dos alunos e facilitar a compreensão de conceitos abstratos. O experimento serve como base para duas sequências didáticas distintas, cada uma composta por sete questões, abordando, respectivamente, os conceitos da Lei de Faraday e da Lei de Lenz.

Através do EXPINEL, foram produzidos vídeos que demonstram os fenômenos eletromagnéticos. Devido ao contexto pandêmico que envolveu este trabalho, os alunos não puderam realizar a manipulação física do experimento. Por essa razão, optou-se pela gravação dos vídeos, garantindo que todos os alunos tivessem acesso a eles por meio de plataformas digitais. Dessa forma, este produto disponibilizará todos os links necessários para a sua utilização e desenvolvimento das duas sequências didáticas.

O EXPINEL foi concebido e desenvolvido por um grupo de estudantes do Instituto Federal de Juiz de Fora (IF Sudeste MG), sob a orientação do Prof. Dr. Bruno Gonçalves. Este dispositivo experimental estava pronto, porém ainda não havia sido utilizado em sala de aula. O professor Bruno disponibilizou o EXPINEL para ser utilizado e integrado nesta sequência didática, permitindo que os alunos tivessem acesso a esta ferramenta educacional inovadora (Moraes; Rizzuti; Gonçalves, 2022).

2 APRESENTAÇÃO DO EXPINEL

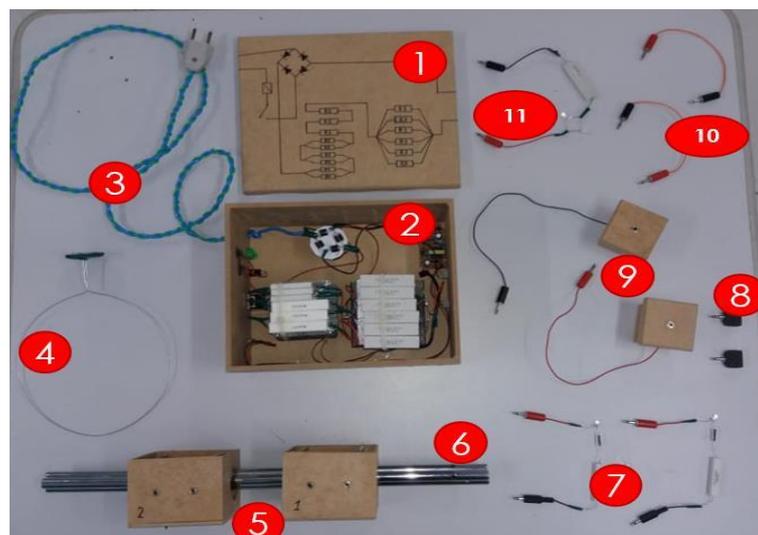
O EXPINEL (Experimento de Indução Eletromagnética) é um aparato educacional projetado para demonstrar os princípios de indução eletromagnética, conforme estabelecido pelas Leis de Faraday e Lenz. Este kit inclui uma série de componentes eletrônicos montados de maneira a facilitar a visualização e a compreensão dos fenômenos eletromagnéticos. Na tampa do EXPINEL, encontram-se dispostos uma ponte de diodos, resistores combinados em série e resistores combinados em paralelo.

A ponte de diodos, também conhecida como retificador de onda completa, é utilizada para converter corrente alternada (CA) em corrente contínua (CC). Esta configuração é composta por quatro diodos dispostos de forma a permitir que a corrente flua em uma única direção, independentemente da polaridade da tensão de entrada. No EXPINEL, a ponte de diodos é crucial para demonstrar como a indução eletromagnética pode ser utilizada para gerar corrente contínua a partir de uma fonte alternada.

Resistores em série são utilizados para aumentar a resistência total do circuito. Já os resistores em paralelo são utilizados para diminuir a resistência total do circuito. A combinação destes componentes no EXPINEL permite uma variedade de experimentos que ilustram conceitos fundamentais de eletrônica e eletromagnetismo.

O aparato conta com algumas partes que são essenciais para o seu funcionamento, vamos aqui explicar sucintamente seus componentes para termos uma compreensão desse experimento. A figura 1 mostra os componentes do EXPINEL.

Figura 1 - Componentes.



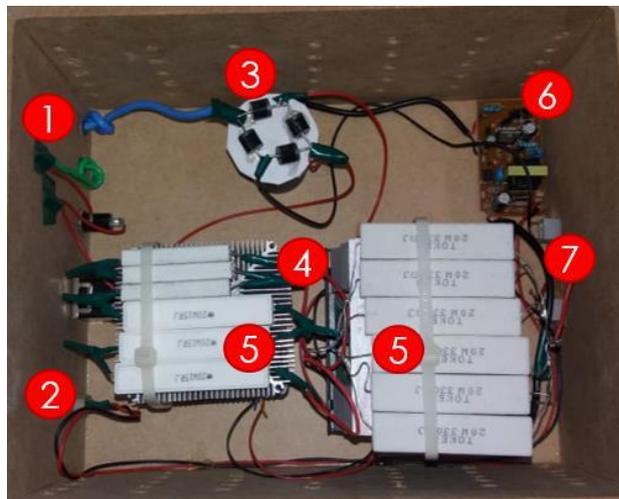
Fonte: autoria própria.

Para podermos compreender essas partes que aparecem na figura 1, segue a legenda dos seus elementos:

- 1 – Tampa da caixa com circuito principal esquematizado;
- 2 – Caixa contendo o circuito principal;
- 3 – Entrada de corrente alternada;
- 4 – Espira de exemplo;
- 5 – Bobinas;
- 6 – Núcleo de metal;
- 7 – LEDs vermelhos;
- 8 – Adaptadores P2 - P2;
- 9 – Conectores que fecham o circuito;
- 10 – Conectores P2 - P2;
- 11 – LEDs vermelho e verde.

O elemento 2 da figura 1 mostra o circuito principal que é detalhado na figura 2.

Figura 2 - Circuito principal.



Fonte: Autoria própria.

A motivo de conhecimento, segue a legenda da figura 2.

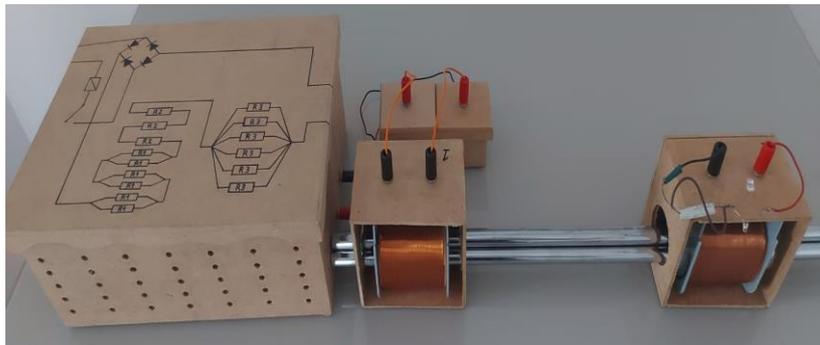
- 1 – Entrada corrente alternada;
- 2 – Luz piloto;
- 3 – Ponte de diodos;
- 4 – *Coolers* de resfriamento;

- 5 – Resistores;
- 6 – Circuito da fonte de 12V que liga os *Coolers*;
- 7 – Saída corrente retificada;

Como podemos perceber, alguns componentes eletrônicos estão além do escopo do ensino médio. No entanto, não é necessário conhecê-los em sua totalidade, uma vez que nosso foco está nos fenômenos eletromagnéticos resultantes de seu funcionamento.

No início da aplicação, o professor pode disponibilizar essas imagens para os alunos como uma forma de apresentar aos discentes e eles conhecerem um pouco sobre o aparato experimental que deu origem aos vídeos que vão assistir ao longo da SD. Na figura 3, o EXPINEL já está montado da maneira que foi usado para a gravação da primeira parte da SD, na qual abordará a Lei de Faraday.

Figura 3 - EXPINEL montado para funcionamento.



Fonte: Autoria própria.

Na figura 3, o circuito principal já está tampado, e como podemos ver, a tampa contém uma ilustração simplificada dos componentes principais. Do lado de fora, vemos as duas bobinas ligadas sendo transpassadas pelo núcleo de metal (elemento 6 da figura 1). A bobina número 1 (da esquerda da figura 3), é conectada aos conectores que fecham o circuito (elemento 9 da figura 1) conectando a bobina 1 com a saída da corrente retificada (elemento 7 da figura 2). Já a bobina 2 (da direita da figura 3) está com conexão apenas com os Leds vermelho e verde (elemento 11 da figura 1).

O circuito principal é alimentado através de corrente alternada, onde será ligado à rede de tensão alternada 127V (elemento 3 da figura 1), cuja função é abaixar a tensão e retificar, fornecendo a saída (elemento 7 da figura 2), uma corrente retificada e tensão reduzida para assim ser disponibilizada à bobina 1 como já mencionado anteriormente. É a partir dessa

configuração da figura 3 que iniciamos as gravações dos vídeos da primeira parte da SD, trabalhando a Lei de Faraday. Ao ligar o aparelho, o LED vermelho, que está na bobina 2, acenderá com pouco brilho, e à medida que aproximamos a bobina 2 da bobina 1, o brilho se intensificará.

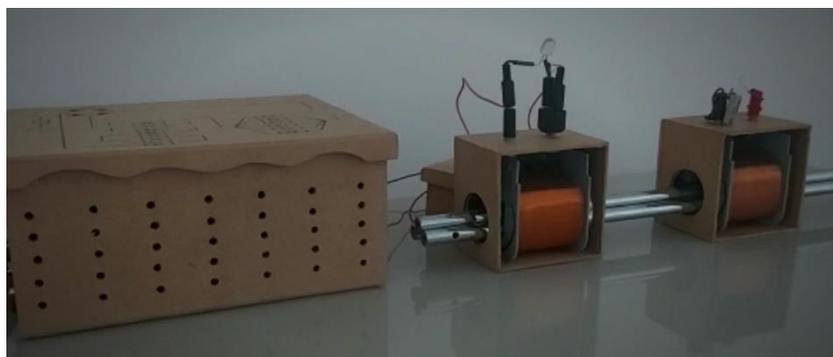
A intensificação do brilho do LED vermelho na bobina 2 ao aproximá-la da bobina 1 ocorre devido aos princípios da indução eletromagnética. Quando a bobina 2 se aproxima da bobina 1, ocorre uma variação no fluxo magnético entre elas. Essa variação no campo magnético induz uma corrente elétrica na bobina 2, de acordo com a Lei de Faraday da indução eletromagnética.

Essa corrente elétrica gerada na bobina 2 é então utilizada para alimentar o LED. À medida que a bobina 2 se move mais próxima da bobina 1, a variação do fluxo magnético aumenta, resultando em uma corrente mais intensa e, conseqüentemente, em um brilho maior do LED.

Em resumo, a intensificação do brilho do LED é resultado da geração de corrente elétrica na bobina 2 induzida pela variação do campo magnético quando as bobinas estão se aproximando. Esse fenômeno é um exemplo prático dos princípios fundamentais da indução eletromagnética na física.

Para a elaboração da segunda sequência didática e o uso do aparato experimental EXPINEL, foi necessária a sua modificação, acrescentando mais um LED, agora na bobina 1. O EXPINEL passou a ter um LED em cada bobina, conforme mostrado na figura 4.

Figura 4 - EXPINEL com a nova configuração. Um Led em cada bobina. Aparelho desligado.



Fonte: Autoria própria.

Ambas as bobinas, 1 e 2, estão equipadas com LEDs. A configuração de conexão mantém-se inalterada, com apenas a bobina 1 conectada à caixa principal por meio de conectores, conforme ilustrado na figura 4. Essa disposição é essencial, pois, ao energizar o dispositivo, os LEDs emitirão brilho alternado, seguindo os princípios da Lei de Lenz.

O objetivo dessa segunda montagem é explorar o conceito de alternância de brilho entre os LEDs, uma vez que tal fenômeno é explicado pela Lei de Lenz e não é perceptível a olho nu.

A ocorrência do brilho alternado dos LEDs ao energizar o dispositivo com as bobinas 1 e 2, conforme mencionado, está associada aos princípios da Lei de Lenz e à indução eletromagnética.

O fenômeno da alternância de brilho entre os LEDs ocorre devido aos princípios da indução eletromagnética, conforme estabelecidos pela Lei de Lenz. Quando a bobina 1 é energizada, o LED dessa bobina acenderá, e a corrente elétrica que circula ali produz um campo magnético variável que induzirá um campo magnético variável na bobina 2. A Lei de Lenz estabelece que a corrente induzida criará um campo magnético oposto ao que a gerou. Essa oposição resulta em uma corrente que flui em direção oposta na bobina 2.

A corrente induzida na bobina 2, por sua vez, alimenta o LED associado. Como as correntes na bobina 1 e bobina 2 estão em sentidos opostos, os LEDs terão brilhos alternados.

Ao gravar em câmera lenta (slow motion), a taxa de quadros por segundo (fps) da gravação é reduzida, permitindo uma visualização mais detalhada e prolongada de eventos rápidos. Isso é particularmente útil quando se trata de fenômenos de curta duração, como a alternância de brilho dos LEDs no EXPINEL. A alternância de brilho entre os LEDs ocorre em uma frequência que é rápida demais para ser percebida pelo olho humano em condições normais.

Ao gravar em câmera lenta, a taxa de quadros mais baixa permite que cada quadro capture uma parte significativa do ciclo de alternância de brilho, tornando-o visível quando reproduzido em velocidade normal. Isso proporciona uma oportunidade para observar detalhes que seriam perdidos em uma gravação comum, onde a rápida alternância pode parecer uma luz constante aos olhos humanos devido à persistência da visão.

3 AS SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS

A seguir, apresentaremos as duas sequências didáticas cuidadosamente elaboradas, recomendando a alocação de um total de dez aulas para sua aplicação. Deste montante, sugerimos dedicar cinco aulas para a primeira sequência e as outras cinco para a segunda, levando em consideração um tempo de 40 minutos por aula.

Ambas as sequências foram concebidas com base no referencial teórico POE, pois a busca pelo entendimento profundo de fenômenos complexos como os assuntos escolhidos para este trabalho, que é a Lei de Faraday e Lei de Lenz, exige uma abordagem metodológica clara e estruturada. A Metodologia POE, foi desenvolvida na Universidade de Pittsburgh e inicialmente foi denominada de DOE (demonstre, observe, explique) (NEDELSKY, 1961). Foi proposta por Nedelsky (1961), e depois idealizada por White e Gunstone (1992) já composta pelas fases de Predizer, Observar e Explicar, emerge como uma ferramenta valiosa para orientar professores em suas aulas. Este trabalho explora a essência da Metodologia POE, delineando como suas etapas proporcionam um arcabouço sólido para o processo da evolução científica do estudante. As duas sequências desenvolvidas para este trabalho foram subdivididas em três etapas, cada uma refletindo uma parte da metodologia POE (PREDIZER – OBSERVAR – EXPLICAR).

Em Barros (1994) ela é definida de três etapas distintas:

- I. A primeira etapa é a PREVISÃO. Sem iniciar o experimento, os alunos deverão ser divididos em grupos ou individualmente, discutir o problema que foi proposto pelo professor e, através da troca de experiências pessoais, predizerem o resultado a que deverão chegar ou lançarem algumas hipóteses sobre o assunto. Para tanto utilizam conhecimentos já adquiridos em sala de aula, escrevendo livremente o que pensam sobre as questões formuladas, justificando assim sua previsão. Nesta etapa é importante a participação do professor para que não ocorra a desmotivação por parte dos alunos na tentativa de responder corretamente ao problema que está sendo proposto;
- II. Na segunda etapa, a da OBSERVAÇÃO, os alunos realizam o experimento definido, observando o que ocorre, anotando estas observações e comparando com a predição que foi feita na primeira etapa. É neste momento que pode ocorrer um conflito cognitivo entre o que foi previsto e o que foi observado (HAMEED; HACKLING; GARNETT, 1993);

- III. A EXPLICAÇÃO, terceira etapa, é o momento em que os alunos irão descrever possíveis semelhanças e/ou diferenças entre as suas respostas da predição com aquilo que observaram durante a realização do experimento, tentando explicar o fenômeno, comprovando ou não a hipótese inicial. É nesta terceira etapa que a participação individual contribui para a resolução do problema lançado pelo professor, possibilitando que cada aluno organize suas descobertas dentro de um modelo conceitual (OLIVEIRA, 2003).

Quando aplicada como uma metodologia ativa de ensino, a abordagem POE revela resultados amplificados, especialmente durante a fase de explicação, quando se incorpora um experimento de analogia ponte. O propósito desse experimento é apresentar aos estudantes uma situação-problema que compartilha conceitos físicos similares àqueles que deram origem ao conflito cognitivo. Essa estratégia visa promover a assimilação de novos conhecimentos, permitindo que os alunos reformulem uma explicação cientificamente aceita sobre os fenômenos observados no experimento anterior. Posteriormente, busca-se realizar a reconciliação dos significados associados aos conceitos envolvidos no processo do conflito cognitivo.

A utilização de analogias, como a analogia ponte, é uma prática recorrente no ensino das Ciências (Duarte, 2005). Esse recurso é valioso para auxiliar os alunos na compreensão de conceitos considerados mais abstratos (Leite & Duarte, 2005). No contexto da aprendizagem científica, as analogias desempenham papéis fundamentais, conforme destacado por Duit (1991) sob uma perspectiva construtivista. Estas ferramentas educacionais têm a capacidade de:

- a) abrir novas perspectivas, sendo cruciais na aprendizagem durante mudanças conceituais;
- b) facilitar a compreensão de conceitos mais abstratos, ressaltando suas semelhanças;
- c) auxiliar na visualização de conceitos abstratos;
- d) estimular maior interesse dos alunos, motivando sua participação ativa;
- e) permitir a consideração dos conhecimentos prévios dos alunos, revelando concepções "alternativas" nas áreas já ensinadas.

Em síntese, a integração da Metodologia POE com a estratégia de analogia ponte se destaca como uma abordagem eficaz no ensino das Ciências, proporcionando uma via dinâmica e interativa para a compreensão de conceitos complexos e abstratos. Essa combinação promove uma aprendizagem mais profunda e significativa, permitindo que os alunos transcendam conflitos cognitivos e construam uma compreensão mais sólida do mundo científico.

Cada etapa é composta por comandos, links e questões. Embora sugeramos um tempo mínimo de 10 minutos para cada questão, reconhecemos que o professor, conhecendo sua turma, pode ajustar esse período conforme a necessidade, seja encurtando ou estendendo.

Durante a execução das sequências, é essencial que o professor incorpore o uso de simulações. Portanto, é crucial que o programa PHET esteja funcionando corretamente nos computadores dos alunos. Caso necessário, o docente pode autorizar o uso de celulares, dada a facilidade de utilização, assegurando uma experiência fluida e eficiente. Estamos comprometidos em proporcionar um ambiente de aprendizado dinâmico e acessível, destacando a importância da interação entre o conteúdo teórico e a aplicação prática.

3.1 A sequência didática da Lei de Faraday

Etapa do **PREDIZER**.

Objetivo: Estimular os estudantes a elaborarem hipóteses sobre o acendimento do LED na bobina 2 para nos fornecer informações sobre seus conhecimentos prévios.

Comando 1. *O link abaixo dá acesso a uma filmagem de um aparato experimental denominado de EXPINEL (Experimento de Indução Eletromagnética). Clique nele e assista ao vídeo.*

https://youtu.be/K_rDXQVubA4

PRIMEIRA QUESTÃO:

QUESTÃO 1. *Ao ligar O EXPINEL, com a configuração que foi mostrado no vídeo, ou seja, com a primeira e a segunda bobina com posições fixas e separadas por uma distância, o que você acha que vai acontecer? Faça um breve relatório embasado em seus conhecimentos sobre eletromagnetismo justificando sua resposta.*

Obs: Se em sua resposta você for utilizar expressões matemáticas ou desenhos, pode ficar à vontade para fazê-la de forma manuscrita, digitalizá-la e anexar como arquivo de imagem, ou outro formato (pdf ou word), na questão.

Resposta Correta

Ao ligar o EXPINEL com a configuração mostrada no vídeo, espera-se que ocorra indução eletromagnética. A corrente alternada na primeira bobina gera um campo magnético variável, que induz uma corrente na segunda bobina, conforme as Leis de Faraday e Lenz. Esse processo resulta na iluminação dos LEDs conectados à segunda bobina, demonstrando a indução de corrente elétrica através da variação do campo magnético.

Resposta Parcialmente Correta

Ao ligar o EXPINEL, espera-se que a corrente na primeira bobina crie um campo magnético que afete a segunda bobina. Embora a interação específica possa depender da distância entre as bobinas, é provável que haja alguma indução de corrente na segunda bobina devido ao campo magnético gerado pela primeira.

SEGUNDA QUESTÃO:

QUESTÃO 2. *Faça agora um relato embasado em seus conhecimentos sobre eletromagnetismo indicando o que vai acontecer se ligarmos o EXPINEL e aproximarmos a segunda bobina da primeira.*

Obs: Se em sua resposta você for utilizar expressões matemáticas ou desenhos, pode ficar à vontade para fazê-la de forma manuscrita, digitalizá-la e anexar como arquivo de imagem, ou outro formato (pdf ou word), na questão.

Resposta Correta:

Ao aproximar a segunda bobina da primeira no EXPINEL, a intensidade do campo magnético através da segunda bobina aumenta devido à diminuição da distância. Conforme a Lei de Faraday, essa variação intensificada do fluxo magnético induz uma maior força eletromotriz (fem) na segunda bobina, resultando em um aumento da corrente elétrica induzida. Consequentemente, o LED conectado à segunda bobina brilhará mais intensamente.

Resposta Parcialmente Correta:

Ao aproximar a segunda bobina da primeira, espera-se que o campo magnético da primeira bobina influencie mais a segunda bobina. Isso pode resultar em uma maior indução de corrente na segunda bobina, fazendo com que o LED conectado a ela brilhe mais.

TERCEIRA QUESTÃO:

QUESTÃO 3. *Suponha que ao ligá-lo o led acenda e, com o EXPINEL LIGADO, a BOBINA 2 irá em direção a BOBINA 1, o LED na BOBINA 2 terá alguma modificação? Vai apagar? Vai diminuir de brilho ou aumentar? Por quê?*

Obs: Se em sua resposta você for utilizar expressões matemáticas ou desenhos, pode ficar à vontade para fazê-la de forma manuscrita, digitalizá-la e anexar como arquivo de imagem, ou outro formato (pdf ou word), na questão.

Resposta Correta:

Ao ligar o EXPINEL e aproximar a bobina 2 da bobina 1, o LED na bobina 2 aumentará de brilho. Isso ocorre porque a aproximação reduz a distância entre as bobinas, intensificando o campo magnético na bobina 2. Conforme a Lei de Faraday, essa intensificação aumenta a força eletromotriz induzida, resultando em um aumento da corrente elétrica e, portanto, no brilho do LED.

Resposta Parcialmente Correta:

Com o EXPINEL ligado e a bobina 2 sendo movida em direção à bobina 1, é provável que o LED na bobina 2 aumente de brilho. Isso se deve ao fato de que a proximidade das bobinas pode aumentar a indução de corrente, resultando em maior luminosidade do LED.

Etapa da **OBSERVAÇÃO**.

Objetivo: Orientar os alunos na coleta de dados empíricos, através da observação do fenômeno de acendimento do LED na bobina 2, com o propósito de confrontar essas observações com as hipóteses formuladas na etapa anterior.

Comando 2. *O vídeo a seguir, mostra o experimento em execução. Clique no link, e assista ao vídeo, observando atentamente ao fenômeno. Anote suas observações.*

<https://youtu.be/efqg5X9cG8E>

QUARTA QUESTÃO:

QUESTÃO 4. *Depois de ver a filmagem do experimento funcionando, você acertou na previsão? Se não, o que aconteceu que você não previu?*

Resposta Correta:

Após assistir à filmagem do experimento, constatei que minha previsão estava correta. Eu previ que a aproximação da segunda bobina à primeira resultaria em um aumento do brilho do LED devido ao aumento da indução eletromagnética. O experimento confirmou que, conforme a Lei de Faraday, a maior proximidade intensificou o campo magnético e, conseqüentemente, a corrente induzida na segunda bobina, resultando em um LED mais brilhante.

Resposta Parcialmente Correta:

Após assistir à filmagem do experimento, percebi que minha previsão não estava totalmente correta. Embora eu tenha acertado que haveria alguma mudança no brilho do LED ao aproximar as bobinas, não previ corretamente a magnitude dessa mudança. A indução eletromagnética foi mais intensa do que eu esperava, resultando em um aumento significativo do brilho do LED, o que eu não havia antecipado completamente.

QUINTA QUESTÃO:

QUESTÃO 5. *Esquematize (desenhe) o experimento visto pela filmagem. Utilize simbologias aprendidas em circuitos elétricos. Como fontes, fios, bobinas, resistores e o Led.*

Obs: Os desenhos e esquemas podem ser feitos de forma manuscrita e digitalizados para serem anexados como arquivos (jpg, word ou pdf) na resposta.

Resposta:

Espera-se que o aluno elabore um desenho esquemático do EXPINEL, reproduzindo fielmente os elementos apresentados nas imagens e vídeos disponibilizados. O esquema deve incluir todos os componentes principais, como LEDs, bobinas e ligações elétricas, utilizando simbologias padrão de circuitos elétricos. A precisão na reprodução desses elementos é fundamental para a compreensão correta dos princípios de eletromagnetismo demonstrados pelo experimento.

Etapa da EXPLICAÇÃO.

Objetivo: Orientar os alunos na busca pela compreensão e interpretação dos resultados observados, incluindo o acendimento do LED na bobina 2 e seu aumento de brilho pela aproximação. Almeja-se permitir que os estudantes desenvolvam uma narrativa coesa, conectando suas observações à teoria inicial de forma consistente.

Atividade de simulação computacional com o uso da plataforma PHET.

https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/faraday/latest/faraday.html?simulation=faraday&locale=pt_BR

SEXTA QUESTÃO:

QUESTÃO 6. *A partir do que foi visto com o simulador e com o EXPINEL, explique como foi possível, sem ligações diretas entre a bobina 1 e 2, o LED da bobina 2 ser aceso e ainda ao aproximar ir aumentando de brilho?*

Resposta Correta:

A partir das observações com o simulador e o EXPINEL, foi possível acender o LED da bobina 2 sem ligações diretas com a bobina 1 devido ao fenômeno da indução eletromagnética. Quando a corrente alternada passa pela bobina 1, ela gera um campo magnético variável que, ao atravessar a bobina 2, induz uma corrente elétrica nesta última. Conforme a Lei de Faraday, a intensidade da corrente induzida na bobina 2 aumenta à medida que a bobina 2 se aproxima da bobina 1, devido à maior intensidade do campo magnético, o que resulta no aumento do brilho do LED.

Resposta Parcialmente Correta:

O LED da bobina 2 foi aceso porque a corrente na bobina 1 cria um campo magnético que influencia a bobina 2. Sem conexões diretas, esse campo magnético pode ainda induzir corrente na bobina 2. Ao aproximar as bobinas, o campo magnético fica mais forte na bobina 2, fazendo o LED brilhar mais.

Após a **SEXTA QUESTÃO**, o docente deve ministrar uma aula expositiva, de aproximadamente 30 minutos, retomando os conceitos vistos com o EXPINEL e o simulador, e apresentando a linguagem matemática associada aos conteúdos.

SÉTIMA QUESTÃO:

QUESTÃO 7. *Após a execução da atividade no simulador e a discussão sobre a indução eletromagnética realizada em sala, complemente ou reformule sua resposta dada a questão 6, caso você tenha identificado que cometeu algum erro.*

Questão 6. A partir do que foi visto com o simulador e com o EXPINEL, explique como foi possível, sem ligações diretas entre a bobina 1 e 2, o LED da bobina 2 ser aceso e ainda ao aproximar ir aumentando de brilho?

Resposta:

A partir das observações com o simulador e o EXPINEL, foi possível acender o LED da bobina 2 sem ligações diretas com a bobina 1 devido ao fenômeno da indução eletromagnética. Quando a corrente alternada passa pela bobina 1, ela gera um campo magnético variável que, ao atravessar a bobina 2, induz uma corrente elétrica nesta última. Conforme a Lei de Faraday, a intensidade da corrente induzida na bobina 2 aumenta à medida que a bobina 2 se aproxima da bobina 1, devido à maior intensidade do campo magnético, o que resulta no aumento do brilho do LED.

3.2 A sequência didática da Lei de Lenz

Etapa do **PREDIZER**.

Objetivo: Estimular os estudantes a formular hipóteses sobre o acendimento do LED, tanto na bobina 1 quanto na bobina 2, considerando possíveis interferências entre eles e a alternância nos acendimentos. O intuito é obter informações valiosas sobre os conhecimentos prévios dos alunos.

Comando 1. Fizemos agora, uma alteração na montagem experimental do EXPINEL na qual adicionamos um LED na bobina 1. Ele foi inserido da mesma maneira que o LED da bobina 2. O link abaixo é de um vídeo que mostra a nova configuração do experimento. Assista-o.

<https://youtu.be/NEDqK2AYpxk>

PRIMEIRA QUESTÃO:

QUESTÃO 1. Agora, ao ligar o EXPINEL, o que você acha que irá acontecer? O LED ligado na bobina 1 vai acender? Por quê?

Resposta Correta:

Ao ligar o EXPINEL, o LED conectado à bobina 1 vai acender. Isso ocorre devido à indução eletromagnética descrita pela Lei de Lenz, que afirma que a corrente induzida em um circuito é sempre direcionada de forma a opor-se à variação do fluxo magnético que a produziu. A corrente alternada na bobina 1 gera um campo magnético variável, induzindo uma corrente que ilumina o LED.

Resposta Parcialmente Correta:

Ao ligar o EXPINEL, acredito que o LED na bobina 1 não acenderá. A indução eletromagnética pode não ser suficiente para acionar o LED diretamente sem um circuito adequado para permitir a passagem da corrente contínua necessária. Embora a Lei de Lenz indique a presença de uma corrente induzida, esta pode não ser suficiente para iluminar o LED sem a configuração correta.

SEGUNDA QUESTÃO:

QUESTÃO 2: O LED da bobina 1 vai interferir no brilho do LED da bobina 2? Sim ou não? Justifique sua resposta.

Resposta Correta:

Não, o LED da bobina 1 não vai interferir no brilho do LED da bobina 2.

Justificativa:

A bobina 1 e a bobina 2 estão acopladas magneticamente através do fenômeno da indução eletromagnética, mas não eletricamente conectadas. A corrente alternada que acende o LED na bobina 1 gera um campo magnético variável, que induz uma corrente na bobina 2 de acordo com a Lei de Faraday. No entanto, a presença do LED na bobina 1 não afeta a intensidade do campo magnético ou a corrente induzida na bobina 2, porque as duas correntes são independentes. Portanto, o brilho do LED na bobina 2 é determinado exclusivamente pela intensidade do campo magnético variável criado pela bobina 1, sem interferência do LED da bobina 1.

Resposta parcialmente correta:

Sim, o LED da bobina 1 vai interferir no brilho do LED da bobina 2.

Justificativa:

A corrente que acende o LED na bobina 1 cria um campo magnético variável. Quando essa corrente muda, o campo magnético também muda, o que pode alterar a corrente induzida na bobina 2. Como a intensidade do campo magnético afeta a força eletromotriz induzida na bobina 2, qualquer variação na corrente da bobina 1 pode potencialmente interferir no brilho do LED na bobina 2. Assim, a operação do LED na bobina 1 pode causar flutuações no brilho do LED na bobina 2 devido às mudanças no campo magnético.

Comando 2. *O link a seguir conduz a um vídeo que explica a forma de produção da energia elétrica nas usinas, a produção da corrente e da tensão alternada que recebemos em nossas residências. Clique sobre o link e assista ao vídeo.*

<https://youtu.be/yzfAvZ3ACXo>

TERCEIRA QUESTÃO:

QUESTÃO 3. *Vimos que a produção de energia elétrica em uma usina hidroelétrica ocorre devido a um campo magnético variável o que produz uma corrente alternada. A frequência de oscilação desse campo é de 60 Hz, o que produz uma corrente que altera o seu sentido de propagação 60 vezes a cada segundo. Sendo o EXPINEL um aparelho que funciona com corrente alternada, o que você acha que ocorre com o brilho dos LEDs das bobinas 1 e 2? Eles brilham continuamente? Eles piscam simultaneamente e com uma determinada*

frequência? Ou eles brilham alternadamente e com uma determinada frequência? Faça um relato justificando suas respostas com base em seus conhecimentos.

Resposta Correta:

Os LEDs das bobinas 1 e 2 não brilham continuamente; eles piscam alternadamente com uma determinada frequência. Isso ocorre porque o EXPINEL funciona com corrente alternada, cuja frequência de oscilação é de 60 Hz. Esse campo magnético variável induz corrente alternada nas bobinas, mudando de direção 60 vezes por segundo. De acordo com a Lei de Lenz, a corrente induzida nas bobinas segue a variação do campo magnético, resultando em LEDs que piscam alternadamente a uma frequência de 60 Hz, que é perceptível como um brilho intermitente.

Resposta Parcialmente Correta:

Os LEDs das bobinas 1 e 2 parecem piscar simultaneamente a uma determinada frequência. A corrente alternada no EXPINEL, com uma frequência de 60 Hz, cria um campo magnético variável que induz corrente nas bobinas. Embora seja possível que os LEDs brilhem alternadamente devido à mudança de direção da corrente, a percepção pode ser de piscamento simultâneo se as frequências estiverem sincronizadas.

Etapa da OBSERVAÇÃO.

Objetivo: Orientar os alunos na coleta de dados empíricos, por meio da observação detalhada do fenômeno de acendimento do LED nas bobinas 1 e 2. Simultaneamente, utilizar a gravação em SLOW MOTION para verificar a alternância de acendimento entre os LEDs. O propósito é confrontar essas observações com as hipóteses formuladas na etapa anterior, promovendo uma análise mais minuciosa e embasada.

Comando 2. *Em seguida você vai ter acesso a mais dois pequenos vídeos do EXPINEL em funcionamento. Assista-o.*

VÍDEO 01. https://youtu.be/ebMVP_fmG_0

VÍDEO 02. https://youtu.be/TiIQuo_0X0

QUARTA QUESTÃO:

QUESTÃO 4. *Através do vídeo você deve ter conseguido perceber que ao ser gravado com câmera lenta (SLOW MOTION) os LED'S se alternavam de brilho. Por que só foi possível ver essa alternância com câmera lenta?*

Resposta Correta:

Foi possível ver a alternância de brilho dos LEDs apenas com a câmera lenta (slow motion) devido à alta frequência de oscilação da corrente alternada (60 Hz) que alimenta o EXPINEL. Os LEDs piscam a uma velocidade muito rápida para ser percebida pelo olho humano, que não consegue distinguir mudanças ocorrendo a 60 vezes por segundo. A câmera lenta desacelera essas rápidas oscilações, permitindo que a alternância de brilho dos LEDs se torne visível.

Resposta Parcialmente Correta:

A câmera lenta permite ver a alternância de brilho dos LEDs porque desacelera o vídeo, mostrando mudanças que ocorrem rapidamente. A frequência de 60 Hz da corrente alternada faz os LEDs piscarem muito rápido para o olho humano perceber. Com a gravação em câmera lenta, essas rápidas mudanças ficam mais evidentes, mostrando que os LEDs não brilham continuamente, mas alternam.

QUINTA QUESTÃO:

Questão 5. Depois de observar o experimento em funcionamento, você concluiu que suas previsões estavam certas ou erradas? O que ocorreu de forma diferente do que você previu?

Resposta Correta:

Após observar o experimento em funcionamento, concluo que minhas previsões estavam corretas. Eu havia previsto que a alternância de brilho dos LEDs seria visível ao utilizar a câmera lenta devido à frequência de oscilação da corrente alternada. O experimento confirmou que os LEDs piscam alternadamente a uma frequência de 60 Hz, e a câmera lenta revelou essa alternância de maneira clara, exatamente como previsto.

Resposta Parcialmente Correta:

Depois de observar o experimento, percebi que minhas previsões estavam parcialmente corretas. Embora eu tenha antecipado que os LEDs piscariam, não esperava que a alternância de brilho fosse tão claramente visível apenas com a câmera lenta. Eu não previ a rapidez com que a corrente alternada mudaria a intensidade do brilho dos LEDs, o que fez com que essa alternância fosse indetectável a olho nu, mas evidente com a gravação desacelerada.

Etapa da EXPLICAÇÃO:

Objetivo: Guiar os alunos na busca pela compreensão e interpretação dos resultados observados, englobando o acendimento dos LEDs em ambas as bobinas e a alternância de acendimento, tal como percebido na gravação em câmera lenta. O intuito é facultar aos estudantes a construção de uma narrativa coesa, estabelecendo conexões entre suas observações e a teoria inicial de forma consistente e embasada.

Atividade de simulação computacional com o uso da plataforma PHET.

https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/faraday/latest/faraday.html?simulation=faraday&locale=pt_BR

SEXTA QUESTÃO:

QUESTÃO 6. *Com base em seus conhecimentos sobre eletromagnetismo e na atividade realizada com o simulador, responda a seguinte questão:*

Vimos que enquanto um LED se acende outro se apaga e vice-versa, por que isso acontece? Explique com suas palavras o motivo desse fenômeno.

Resposta Correta:

O fenômeno de alternância de brilho dos LEDs ocorre devido ao funcionamento da corrente alternada (CA) e ao princípio da indução eletromagnética. A corrente alternada muda de direção periodicamente, gerando campos magnéticos variáveis que induzem correntes opostas nas bobinas. Quando a corrente em uma bobina é máxima, ela é mínima na outra, fazendo com que um LED acenda enquanto o outro apaga. Isso se deve à Lei de Lenz, que indica que a corrente induzida se opõe à mudança no fluxo magnético, resultando na alternância observada.

Resposta Parcialmente Correta:

O fenômeno ocorre porque a corrente alternada faz os LEDs piscarem de maneira alternada. Quando a corrente passa pela primeira bobina, ela cria um campo magnético que induz uma corrente na segunda bobina. Como a corrente muda de direção rapidamente, um LED acende enquanto o outro apaga, já que a corrente induzida em cada bobina não é constante. Isso causa a alternância de brilho dos LEDs.

Aula expositiva retomando os conceitos vistos com o EXPINEL e o simulador, e apresentando a linguagem matemática associada aos conteúdos.

SÉTIMA QUESTÃO:

QUESTÃO 7. *Após as discussões trazidas em sala de aula, volte na questão 6 e verifique se há necessidade de complementação da sua resposta. Se houver, reformule sua resposta argumentando pelo que foi visto e discutido na aula expositiva.*

Questão 6. Vimos que enquanto um LED se acende outro se apaga e vice-versa, por que isso acontece? Explique com suas palavras o motivo desse fenômeno.

Resposta Correta:

O fenômeno de alternância de brilho dos LEDs ocorre devido ao funcionamento da corrente alternada (CA) e ao princípio da indução eletromagnética. A corrente alternada muda de direção periodicamente, gerando campos magnéticos variáveis que induzem correntes opostas nas bobinas. Quando a corrente em uma bobina é máxima, ela é mínima na outra, fazendo com que um LED acenda enquanto o outro apaga. Isso se deve à Lei de Lenz, que indica que a corrente induzida se opõe à mudança no fluxo magnético, resultando na alternância observada.

Segue, na Tabela 1, uma sugestão detalhada de divisão para a aplicação da primeira sequência didática (SD) referente à Lei de Faraday. Esta estrutura visa otimizar o tempo e assegurar a compreensão integral dos conceitos pelos alunos ao longo das cinco aulas planejadas.

Tabela 1- Sugestão de divisão da sequência didática da Lei de Faraday.

Aula	Duração (min)	Etapa	Comandos e Questões	Tempo para resposta (min)
1	40	PREDIZER	Comando 1 Questão 1	15 min
			Questão 2	15 min
			Questão 3	10 min
2	40	OBSERVAÇÃO	Comando 2 Questão 4	20min
			Questão 5	20 min
3	40	EXPLICAÇÃO	Atividade de Simulação	40 min
4	40		Questão 6	15 min
4/5			Aula Expositiva	40 min
5			Questão 7	25 min

Fonte: Autoria própria.

A seguir, apresento a Tabela 2, que sugere uma divisão detalhada para a aplicação da sequência didática (SD) referente à Lei de Lenz. Esta estrutura tem o objetivo de otimizar o tempo e assegurar a compreensão integral dos conceitos pelos alunos ao longo das cinco aulas planejadas.

Tabela 2 - Sugestão de divisão da sequência didática da Lei de Lenz.

Aula	Duração (min)	Etapa	Comandos e Questões	Tempo para resposta (min)
1	40	PREDIZER	Comando 1 Questão 1	15 min
			Questão 2	10 min
			Questão 3	15 min
2	40	OBSERVAÇÃO	Comando 2 Questão 4	25min
			Questão 5	15 min
3	40	EXPLICAÇÃO	Atividade de Simulação	40 min
4	40		Questão 6	15 min
4/5			Aula Expositiva	40 min
5			Questão 7	25 min

Fonte: Autoria própria.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O produto educacional apresentado foi concebido com base na metodologia POE (Predizer-Observar-Explicar), uma abordagem inovadora que visa promover a aprendizagem significativa. Desenvolvido especificamente para um contexto de experimentação virtual, utilizando o aparato experimental denominado EXPINEL e incorporando a técnica de analogia ponte, esse método foi aplicado não apenas para tornar o ensino de Física mais acessível, focando nos desafiantes temas da Lei de Faraday e Lei de Lenz, mas também para cultivar o pensamento crítico e a habilidade de escrita científica entre os estudantes.

A implementação deste produto educacional, conforme descrito, representa um desafio, uma vez que requer que os alunos tenham acesso a ferramentas virtuais e demonstrem comprometimento em suas respostas. O papel do docente é crucial, devendo estar atento para não interferir nas respostas dos alunos e garantir a execução de cada etapa desenvolvida.

Os resultados obtidos ao longo da aplicação devem oferecer evidências substanciais do impacto positivo da metodologia POE no processo de ensino e aprendizagem. É esperado que os alunos demonstrem uma compreensão aprofundada dos conceitos científicos, indo além da simples memorização. Além disso, a metodologia POE visa estimular o pensamento crítico, desenvolver a capacidade de prever, observar e explicar fenômenos científicos, ao mesmo tempo em que aprimora suas habilidades de escrita científica.

Cada etapa do produto educacional foi cuidadosamente planejada para desenvolver no discente as habilidades necessárias para a compreensão dos temas escolhidos. O objetivo é proporcionar uma experiência de aprendizado envolvente, instigando a curiosidade dos alunos e incentivando uma abordagem ativa e reflexiva em relação aos conceitos científicos apresentados. A aplicação bem-sucedida deste produto tem o potencial não apenas de facilitar a compreensão desses conceitos desafiantes, mas também de preparar os alunos para abordagens críticas e autônomas em suas jornadas acadêmicas.

REFERÊNCIAS

BARROS, S. de Souza. Pontas de prova para o diagnóstico da aprendizagem de física na escola: Um desafio para o professor. Apostila, Instituto de Física – UFRJ, 1994.

DUARTE, M. Analogias na Educação em Ciências: Contributos e Desafios. Revista Investigações em Ensino de Ciências, 2005. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol10/n1/art.1.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2023.

DUIT, R. On the role of Analogies and Metaphors in Learning Science. *Science Education*, v. 75, n. 6, p. 649-672, 1991.

HAMEED, H.; HACKLING, M. W.; GARNETT, P. J. Facilitating conceptual change in chemical equilibrium using a CAI strategy. *International Journal of Science Education*, v. 15, n. 2, p. 221-230, 1993.

LEITE, R.; DUARTE, M. Utilização de Analogias por Professores Portugueses: Contributos para a sua Compreensão. Actas do XXI Encontro de Didáctica de las Ciências Experimentales, San Sebastián, 8-10 de setembro de 2004.

MORAES, J.; RIZUTTI, B.; GONÇALVES, B. Instructional experiment on Lenz's law. *QUARKS: Brazilian Electronic Journal of Physics, Chemistry and Material Science*, v. 4, n. 1, p. 61-80, 2022. DOI: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/quarks>. e-ISSN: 2674-9688. Disponível em: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/quarks>. Acesso em: 10 jan. 2024.

NEDELSKY, L. *Science Teaching and science testing*. Chicago: University of Chicago Press, 1961.

OLIVEIRA, J. R. S. A perspectiva sócio-histórica de Vygotsky e suas relações com a prática da experimentação no ensino de Química. *Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, v. 3, n. 3, p. 25-45, 2010.

WHITE, R.; GUNSTONE, R. *Probing Understanding*. Bristol: The Falmer Press, 1992.