

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CATALÃO
INSTITUTO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 02

Isaque Alcântara Santana

Ensino Investigativo do Eletromagnetismo pela Abordagem ISLE



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CATALÃO

INSTITUTO DE FÍSICA

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

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA)

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

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

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

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação ou Tese?

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

2. Nome completo do autor

ISAQUE ALCÂNTARA SANTANA

3. Título do trabalho

ENSINO INVESTIGATIVO DO ELETROMAGNETISMO PELA ABORDAGEM ISLE.

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

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

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

Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

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

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



Documento assinado eletronicamente por **EDUARDO SERGIO DE SOUZA, Orientador(a)**, em 01/12/2025, às 14:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Isaque Alcântara Santana, Usuário Externo**, em 01/12/2025, às 15:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufcat.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0271078** e o código CRC **5A1B5735**.

Isaque Alcântara Santana

Ensino Investigativo do Eletromagnetismo pela Abordagem ISLE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física em Rede, do Instituto de Física, da Universidade Federal de Catalão (UFCAT), como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Educação Básica. Linha de pesquisa: Física no Ensino Médio.

Orientador: Professor Doutor Eduardo Sérgio de Souza

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

Santana, Isaque Alcântara
Ensino Investigativo do Eletromagnetismo pela Abordagem ISLE /
Isaque Alcântara Santana. - 2025.
191 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Sérgio de Souza.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Catalão, Instituto
de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física em Rede,
Catalão, 2025.

Bibliografia. Anexos. Apêndice.
Inclui siglas, abreviaturas, lista de figuras.

1. Abordagem Investigativa. 2. ISLE. 3. Habilidades Científicas. 4.
Ensino de Física. I. Souza, Eduardo Sérgio de, orient. II. Título.

CDU 53:37

ATA DE DEFESA DE TESE

Ata nº 3 da sessão de Defesa de Dissertação de Mestrado de **Isaque Alcântara Santana**, que confere o título de **Mestre** em **ENSINO DE FÍSICA**, na área de concentração em **FÍSICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA**. Aos **DIA 27 DE AGOSTO DE 2025**, a partir das **14:00** horas, em **local REMOTO**, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação de Mestrado intitulada “**Ensino Investigativo do Eletromagnetismo pela Abordagem ISLE**”. Os trabalhos foram instalados pelo orientador, Professor Doutor **Eduardo Sérgio de Souza (IF/UFCAT)** com a participação dos demais membros da banca examinadora: Professor Doutor **Denis Rezende de Jesus (IF/UFCAT)**, membro titular interno, Professora Doutora **Nilva Lúcia Lombardi Sales (UFSCAR)**, membro titular externo. Durante a arguição, **não houve/houve** sugestão de alteração do título do trabalho. A banca examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da dissertação, tendo sido o candidato **aprovado** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor **Eduardo Sérgio de Souza (IF/UFCAT)**, presidente da banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos membros da banca examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **EDUARDO SERGIO DE SOUZA, Orientador(a)**, em 02/12/2025, às 13:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **DENIS REZENDE DE JESUS, Professor(a) do Magistério Superior**, em 02/12/2025, às 14:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Nilva Lúcia Lombardi Sales, Usuário Externo**, em 02/12/2025, às 15:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufcat.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0271821** e o código CRC **5189D7A7**.

DEDICATÓRIA

Dedico aos meus pais, aos alunos
participantes desta pesquisa e todos que
maneira direta ou indireta contribuíram para
consolidação deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao refletir sobre esta jornada acadêmica, percebo que não estive sozinho. Muitas pessoas contribuíram de maneiras significativas para que este trabalho pudesse ser concluído. Por isso, expresso minha sincera gratidão a todos que estiveram ao meu lado, me apoiando e incentivando. Agradeço...

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), pois o presente trabalho foi realizado com o apoio desta instituição com código de financiamento 001.

Ao meu orientador, professor Dr. Eduardo Sérgio de Souza, pelo seu apoio experiente, paciência, incentivo e por estar sempre à disposição quando solicitado. Sua orientação contribuiu para transformar minhas ideias neste projeto significativo.

À Deus por ter me dado forças, saúde e disposição para enfrentar as adversidades desta jornada.

À minha namorada, Eunice Gonçalves, por todo amor, carinho e estímulo. Mesmo com minha ausência frequente devido aos estudos, o seu apoio, sua compreensão e seu encorajamento foi um alívio durante os momentos de pressão acadêmica.

Aos meus pais, que mesmo diante das dificuldades financeiras, se esforçaram para que todos os filhos tivessem iguais oportunidades para se dedicarem aos estudos.

Aos professores e amigos Ocione Pereira e Marianna Carrijo, pois foram os incentivadores para meu ingresso no Mestrado Profissional em Ensino de Física.

Aos professores Dr. Denis Rezende de Jesus e Dr. Jalles Franco Ribeiro da Cunha do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física (MNPEF) – da Regional Catalão da Universidade Federal de Goiás pelas contribuições prestadas a esta Dissertação durante o exame de qualificação.

A todos os professores e profissionais que contribuíram para minha formação acadêmica. Suas aulas e orientações foram essenciais para o desenvolvimento das habilidades necessárias para este projeto e para minha trajetória acadêmica.

Ao Colégio Estadual da Polícia Militar pela oportunidade de desenvolver esta pesquisa no ambiente escolar. E, em especial, aos estudantes que concordaram em participar da pesquisa. A disposição e o comprometimento destes alunos foi de total relevância para o resultado desta pesquisa.

RESUMO

Neste trabalho são apresentados uma proposta de ensino de eletromagnetismo por uma abordagem investigativa e os resultados da sua aplicação em uma escola pública da educação básica. O estudo em questão objetiva avaliar o aprendizado dos conceitos de eletromagnetismo por meio das habilidades científicas adquiridas pelos estudantes ao utilizar uma abordagem em que os estudantes aprendem física da mesma maneira que os cientistas a praticam, ou seja, por meio da investigação, experimentação e colaboração. Para tanto, é utilizado a abordagem de ensino Investigative Science Learning Environment (Ambiente de Aprendizagem por Investigação Científica), criado por Eugenia Etkina, conhecido como ISLE. Dessa maneira, a fim de implementar esta abordagem no ensino de física, foi elaborado um conjunto de atividades experimentais investigativas abordando assuntos relacionados ao eletromagnetismo que se materializou por meio do Produto Educacional que foi aplicado numa turma de 2º ano, composta de 31 alunos, em uma das unidades do Colégio Estadual da Polícia Militar pertencente ao município de Aparecida de Goiânia – GO. A pesquisa foi realizada no primeiro semestre de 2024, onde inicialmente foi apresentado aos alunos a abordagem ISLE. Logo em seguida foi aplicado o conjunto de atividades experimentais investigativas elaboradas. Por meio dessas atividades experimentais, os estudantes, trabalhando em grupos de cinco a seis pessoas, puderam: fazer observações, identificar o padrão nos experimentos realizados e propor hipóteses para este padrão, estabelecer previsões com base nas hipóteses e testarem as previsões e hipóteses estabelecidas em experimentos testes. Para a coleta de dados, foi adotado a observação direta, as anotações dos estudantes, a exposição oral, as hipóteses e conclusões. Os resultados desta pesquisa mostram um engajamento promissor dos estudantes na realização das atividades práticas investigativas, bem como uma motivação acentuada na participação em comparação às aulas expositivas tradicionais. Além disso, mostram que, sem ajuda direta do professor, os grupos foram capazes de propor explicações para aquilo que observavam. No entanto, por meio da análise das habilidades científicas desenvolvidas, utilizando-se de uma avaliação formativa fundamentada no uso de rubricas, observou-se que tiveram dificuldades em estabelecer previsões com base nas hipóteses propostas para testarem estas previsões e hipóteses em experimentos testes.

Palavras-chave: abordagem investigativa; ISLE; habilidades científicas; ensino de física, aprendizagem

ABSTRACT

In this work, an investigative approach to teaching electromagnetism is proposed, and the results of its application in a public high school setting are reported. The objective of the study is to evaluate students' understanding of electromagnetism concepts by analyzing the scientific skills they develop when engaging in an instructional method that mirrors the practices of scientists—namely, through investigation, experimentation, and collaboration. For this purpose, the Investigative Science Learning Environment (ISLE), developed by Eugenia Etkina, was adopted as the pedagogical framework. To implement this approach in physics education, a series of investigative experimental activities addressing topics related to electromagnetism was designed. These activities were consolidated into an Educational Product, which was applied to a second-year high school class consisting of 31 students at a State Military Police School located in Aparecida de Goiânia, Goiás. The study was conducted during the first semester of 2024. Initially, students were introduced to the ISLE methodology, followed by the application of the developed experimental activities. Through these activities, students—working collaboratively in groups of five to six—were encouraged to make observations, identify patterns in experimental data, formulate hypotheses to explain these patterns, and make predictions based on their hypotheses. Subsequently, they tested their predictions and hypotheses through further experimentation. Data collection involved direct observation, analysis of students' written notes, oral presentations, formulated hypotheses, and final conclusions. The findings indicate a high level of student engagement with the investigative practical activities, as well as a noticeable increase in motivation and participation when compared to traditional lecture-based instruction. Moreover, the results suggest that students were capable of independently proposing explanations for observed phenomena without direct teacher intervention. However, analysis of the scientific skills developed—based on a formative assessment framework employing rubrics—revealed that students experienced difficulties both in generating predictions derived from their hypotheses and in designing effective experiments to test them.

Keywords: investigative approach; ISLE; scientific skills; physics education; learning

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ciclo ISLE: os principais elementos e suas conexões lógicas	27
Figura 2 – Exemplo de problema que envolve a capacidade de representar informações de várias maneiras	40
Figura 3 – Representação de um campo vetorial por meio das linhas de campo	56
Figura 4 – Fluxo de um campo vetorial através de uma superfície	57
Figura 5 – Linhas de campo magnético de um ímã em forma de barra	59
Figura 6 – Experimento de Michael Faraday de indução eletromagnética	60
Figura 7 – Regra da mão direita	62
Figura 8 – Layout da sala de aula para aplicação do produto educacional	66
Figura 9 – Apresentação da abordagem ISLE aos estudantes	69
Figura 10 – Ímãs posicionados com extremidades iguais	72
Figura 11 – Ímãs posicionados com extremidades diferentes	72
Figura 12 – Bússola utilizada no experimento	73
Figura 13 – Experimento de Oersted	74
Figura 14 – Experimento de força magnética.....	75
Figura 15 – Montagem de um pêndulo indutor conectado ao galvanômetro	76
Figura 16 – Montagem do pêndulo indutor conectado ao LED	77
Figura 17 – Respostas a pergunta: Você já participou de alguma aula de Física na qual você realizou experimentos?	82
Figura 18 – Respostas a pergunta: Qual o seu ponto de vista a respeito de aulas em que você é estimulado(a) a investigar um problema realizando experimentos propostos pelo professor?	83
Figura 19 – Respostas a pergunta: Na exposição das ideias do seu grupo para os demais alunos da sala, você sentiu medo de estar errado?	83
Figura 20 – Respostas a pergunta: você considera que os colegas do seu grupo o ajudaram na hora de tirar alguma dúvida levantada pelos demais alunos	84
Figura 21 – Respostas a pergunta: Considere a seguinte escala: 0 (zero) não fiquei motivado e 10 fiquei muito motivado. Como você classificaria a sua motivação durante aulas investigativas experimentais?	86
Figura 22 – Registro dos estudantes realizando o experimento observacional 1	94
Figura 23 – Registro dos estudantes realizando o experimento observacional 2	96
Figura 24 – Estudantes realizando o experimento observacional 4 (indução eletromagnética)	97
Figura 25 - Hipótese e previsão apontadas pelo grupo 2 no experimento observacional 1 ...	100
Figura 26 - Hipótese e previsão organizada pelo grupo 2 a fim de realizarem o experimento teste	101
Figura 27 – Hipótese e previsão apontadas pelo grupo 3 no experimento observacional 1 ...	101
Figura 28 – Hipótese e previsão organizada pelo grupo 3 a fim de realizarem o experimento teste	102
Figura 29 – Hipótese e previsão apontadas pelo grupo 2 no experimento observacional 4 (indução eletromagnética)	102
Figura 30 – Hipótese e previsão apontadas pelo grupo 3 no experimento observacional 4 (indução eletromagnética)	103
Figura 31 – Hipótese e previsão apontadas pelo grupo 2 para realizar o experimento teste de indução eletromagnética	103
Figura 32 – Hipótese e previsão apontadas pelo grupo 3 para realizar o experimento teste de indução eletromagnética	104

Figura 33 – julgamento das hipóteses realizada pelo grupo 2 sobre o experimento teste de interação entre ímãs	105
Figura 34 – julgamento das hipóteses realizada pelo grupo 3 sobre o experimento teste de interação entre ímãs	105
Figura 35 – julgamento das hipóteses feitas pelo grupo 2 sobre o experimento teste de indução eletromagnética.....	105
Figura 36 – julgamento das hipóteses feitas pelo grupo 3 sobre o experimento teste de indução eletromagnética.....	106

LISTAS DE QUADROS

Quadro 1 – Níveis de investigação	42
Quadro 2 – Graus de liberdade de professor (P) e alunos (A) em atividades experimentais ...	42
Quadro 3 – Equações de Maxwell	54
Quadro 4 – Proposta de uma sequência didática para o ensino de eletromagnetismo	67
Quadro 5 – Respostas a pergunta: O que você mais gostou das aulas?.....	86
Quadro 6 – Resposta à pergunta: Utilize as linhas abaixo para escrever sobre aspectos negativos da metodologia de ensino utilizada pelo professor. Escreva no mínimo 3 linhas....	87
Quadro 7 – Resposta à pergunta: Utilize as linhas abaixo para escrever sobre aspectos positivos da metodologia de ensino utilizada pelo professor. Escreva no mínimo 3 linhas.....	88
Quadro 8 – Habilidades científicas aferidas pela rubrica A	91
Quadro 9 – Habilidades científicas aferidas pela rubrica B	91
Quadro 10 – Observações realizadas pelos grupos: Experimento observacional 1 – interação entre ímãs com nomes diferentes: norte – sul.....	92
Quadro 11 – Observações realizadas pelos grupos: Experimento observacional 1 – interação entre ímãs e bússola.....	93
Quadro 12 – Registro das observações realizadas pelos grupos: experimento observacional 2 (Experimento de Oersted) – Sentido convencional da corrente	95
Quadro 13 – Registro das observações realizadas pelos grupos: Experimento observacional 3 (Força magnética) – sentido convencional da corrente	96
Quadro 14 – Registro das observações realizadas pelos grupos: Experimento observacional 3 (Força magnética) – sentido da corrente invertida	97
Quadro 15 – Resultados do experimental observacional 4 – Indução eletromagnética: ímã oscilante.....	98
Quadro 16 – Resultados do experimental observacional 4 – Indução eletromagnética: bobina oscilante.....	98
Quadro 17 – Resultados do experimental observacional 4 – Indução eletromagnética: LED substituindo o galvanômetro.....	99
Quadro 18 – Habilidades científicas aferidas pela rubrica F	107
Quadro 19 – Rubricas de avaliação da capacidade científica A.....	118
Quadro 20 – Rubricas de avaliação da capacidade científica B	119
Quadro 21 – Rubricas de avaliação da capacidade científica C	120
Quadro 22 – Rubricas de avaliação da capacidade científica F	121

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAPT	Associação Americana de Professores de Física
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
ENEM	Exame Nacional do Ensino Médio
ISLE	Investigative Science Learning Environment
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PCN+	Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 O ENSINO POR INVESTIGAÇÃO.....	20
2.1 Ambiente de Aprendizagem por Investigação Científica – ISLE	24
2.1.2 Elementos do processo ISLE e suas conexões lógicas	26
2.1.3 Fundamentos teóricos do ISLE	29
2.1.4 Projeto de currículo, organização de classe.....	35
2.2 O ensino por investigação e o grau de liberdade intelectual.....	41
3 DIÁLOGO COM A LITERATURA	44
4 A CONSTRUÇÃO TEÓRICA DO ELETROMAGNETISMO.....	48
4.1 Relato histórico da eletricidade e do magnetismo	48
4.2 As equações de Maxwell do eletromagnetismo	54
4.2.1 A lei de Gauss (eletrostática).....	57
4.2.2 A lei de Gauss (magnetostática)	58
4.2.3 A lei de Faraday.....	60
4.2.4 A lei de Ampère e lei de Ampère-Maxwell.....	61
4.3 Força de Lorentz.....	63
5 METODOLOGIA E RELATO DE APLICAÇÃO	64
5.1 Metodologia da pesquisa	64
5.2 Os participantes, o ambiente e a organização da classe.....	64
5.3 Descrição do produto educacional e sua aplicação.....	66
5.3.1 Aplicação do produto educacional	68
5.3.2 Coleta de dados.....	70
5.4 Experimentos observacionais e seus objetivos	71
5.4.1 Experimento observacional 1: Interação magnética entre ímãs e entre ímãs e bússola ..	71
5.4.2 Experimento observacional 2: Experimento de Oersted – relação entre campo magnético e corrente elétrica.....	73
5.4.3 Experimento observacional 3: força magnética sobre um condutor retilíneo percorrido por uma corrente elétrica e submetido a um campo magnético	74
5.4.4 Experimento observacional 4: Indução eletromagnética.....	75

6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	78
6.1 Objetivo específico 1 - Desenvolvimento dos materiais didáticos	78
6.2 Objetivo específico 2 – O impacto do trabalho colaborativo na aprendizagem e na motivação.....	80
6.3 Objetivo específico 3 – Impacto da aprendizagem aferidos pelas habilidades científicas	89
6.3.1 Os experimentos observacionais e as habilidades científicas aferidas	90
6.3.2 Os experimentos testes e as habilidades científicas aferidas	99
6.3.4 A comunicação científica e as habilidades científicas aferidas	106
7 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	109
REFERÊNCIAS	113
ANEXO A – RUBRICA PARA HABILIDADES CIENTÍFICAS	118
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA ABORDAGEM ISLE	122
APÊNDICE B – PRODUTO EDUCACIONAL	124

1 INTRODUÇÃO

Estudos recentes destacam desafios significativos no ensino de física nas escolas de ensino médio brasileiras. Os principais problemas incluem baixos salários dos professores, falta de equipamentos de laboratório e métodos de ensino tradicionais que levam ao desinteresse dos alunos (Silva et al., 2018). Além disso, dificuldades com operações matemáticas, redução de horas de aula de física e treinamento inadequado de professores dificultam a implementação de tópicos modernos de física (Goulart; Leonel, 2022). As escolas públicas enfrentam desafios específicos, incluindo infraestrutura precária e escassez de profissionais qualificados (Fonseca; Costa, 2023). A análise dos resultados do ENEM (Exame Nacional do Ensino Médio) revela dificuldades persistentes na compreensão de conceitos básicos de mecânica, fenômenos térmicos e óptica geométrica, com muitos alunos retendo concepções não científicas, apesar de décadas de pesquisa sobre essas questões (Barroso; Rubini; Da Silva, 2018).

Diante deste cenário, traçou-se como pergunta norteadora deste estudo: como professores da educação básica, que atuam ministrando a disciplina de Física, podem despertar o interesse dos estudantes pela disciplina e contribuir para a melhora da compreensão de conceitos básicos relacionados a este componente curricular?

Mourão e Sales (2018) destacam a importância das discussões sobre metodologias de ensino em ciências no sentido de mudar o cenário de práticas de ensino com aulas conteudistas e meramente expositivas. Ele destaca que nessa prática de ensino o aluno é tido como um sujeito passivo no processo de ensino-aprendizagem, mas a agregação de outras metodologias mais dinâmicas, como os chamados métodos ativos, é capaz de modificar esse cenário. Para Silva (2020), as metodologias ativas são aquelas que enfatizam o papel ativo exercido pelo aprendiz nas escolhas e ritmo do seu processo de aprendizagem, cabendo ao professor o papel de mediador desse processo.

Guedes (2017) sugere a realização de experimentos durante as aulas a fim de torná-las mais atrativas, nas quais os alunos podem participar do processo, abordando assim uma metodologia ativa. No entanto, conforme nos orienta o documento normativo da educação básica, a Base Nacional Comum Curricular – BNCC (Brasil, 2008), o uso de experimentos em sala de aula não deve se limitar a mera manipulação de objetos ou realização de experimentos em laboratório. Ao contrário, deve-se desenvolver habilidades investigativas onde os estudantes sejam progressivamente estimulados na

realização cooperativa de atividades investigativas, bem como no compartilhamento dos resultados dessas investigações.

Nessa concepção, uma metodologia de ensino que possibilita ao estudante uma atuação ativa no processo de ensino e aprendizagem e que esteja em acordo com a BNCC é o ensino por investigação. Diante das diferentes abordagens de ensino por investigação, encontramos na literatura o Ambiente de Aprendizagem por Investigação Científica¹ (Investigative Science Learning Environment), criado por Eugenia Etkina, conhecido como ISLE. Nesta abordagem, Etkina propõe que os estudantes aprendam física da mesma maneira que os cientistas a praticam, ou seja, por meio da investigação, experimentação e colaboração.

Embora seja uma abordagem conhecida, principalmente nas escolas norte-americanas e países europeus, no Brasil encontra-se poucos registros da utilização desta abordagem na educação básica. Dessa forma, encontramos nesta abordagem uma oportunidade de aplicar os fundamentos teóricos do ISLE na educação básica brasileira.

Analisando a história do eletromagnetismo, verificamos a importância da investigação, experimentação e colaboração dos cientistas envolvidos na construção dos fundamentos teóricos relacionados a esta área da física. Sendo assim, escolhemos esse eixo temático para investigar como o ISLE pode contribuir para a melhora da compreensão de conceitos básicos relacionados ao eletromagnetismo e melhora da motivação dos estudantes para participação nas aulas.

Dessa maneira, para responder à questão colocada, definiu-se como objetivo geral, analisar como a implementação de uma sequência didática investigativa, inspirada nos fundamentos teóricos do ISLE, pode contribuir para a compreensão de conceitos básicos sobre o eletromagnetismo e para a melhora da motivação dos estudantes.

A partir desta proposta investigativa, estabelecemos como objetivos específicos:

- i) desenvolver materiais didáticos e experimentais que possam ser utilizados por professores de física para integrar a abordagem ISLE em suas aulas de eletromagnetismo;
- ii) compreender como o trabalho em grupo e a troca de conhecimentos entre os estudantes durante a realização dos experimentos e atividades propostas podem contribuir para uma compreensão mais profunda dos conceitos de eletromagnetismo e também para motivação dos estudantes para sua aprendizagem;
- iii) avaliar o impacto da abordagem

¹ Tradução nossa.

ISLE na aprendizagem de eletromagnetismo por meio da aquisição de habilidades científicas investigativas.

O texto desta dissertação se estrutura de maneira que na seção 2, “O Ensino por Investigação”, disserta-se sobre a construção histórica do ensino por investigação. Em seguida destaca-se as características que os pesquisadores do ensino por investigação consideram relevante para uma abordagem investigativa, mostrando que o ISLE possui tais características para assim ser considerada como uma abordagem de ensino por investigação. Nesta mesma seção é apresentada a abordagem ISLE, seus elementos, suas conexões lógicas e seus fundamentos teóricos.

Na seção 3, “Diálogo com a literatura”, é apresentado um diálogo com a literatura da aplicação da abordagem ISLE nas escolas secundárias estrangeiras e nas escolas brasileiras priorizando os artigos dos últimos sete anos.

Na seção 4, “Construção teórica do eletromagnetismo”, é feita uma abordagem histórica dos conceitos elétricos e magnéticos destacando a importância da experimentação, investigação e da colaboração científica para a construção de uma teoria que explicasse os fenômenos elétricos e magnéticos. Em seguida é adotada uma abordagem matemática por meio das equações de Maxwell, do eletromagnetismo.

Na seção 5, “Metodologia e Relato de Aplicação”, analisamos a metodologia contemplada durante a pesquisa, os participantes da pesquisa, descrição do desenvolvimento do produto educacional e o relato de sua implementação em sala de aula.

Na seção 6, “Resultados e discussões”, analisamos e apresentamos os resultados obtidos desta pesquisa destacando o desenvolvimento de algumas habilidades científicas adquiridas pelos estudantes durante o processo investigativo.

E, por fim, na seção 7, “Conclusão e considerações finais”, analisamos os principais pontos abordados durante toda a pesquisa, apontando sugestões futuras para pesquisas sobre a abordagem ISLE.

2 O ENSINO POR INVESTIGAÇÃO

Discussões sobre metodologias de ensino de ciências são sempre relevantes, pois é comum encontrar cenários de práticas de ensino com aulas conteudistas e meramente expositivas, onde o aluno é tido como um sujeito passivo no processo de ensino-aprendizagem. Isso não significa dizer que essa abordagem deve ser abolida. Porém, a mesma pode ser melhorada com a agregação de outras metodologias mais dinâmicas, como os chamados métodos ativos (Mourão; Sales, 2018).

Já é bem consolidado na literatura que metodologias ativas são aquelas que enfatizam o papel ativo exercido pelo aprendiz nas escolhas e ritmo do seu processo de aprendizagem, cabendo ao professor o papel de facilitador, orientador, consultor ou mediador desse processo. Isto é, diminui-se o protagonismo do professor como único responsável pelo processo de ensino e confere este ao aprendiz (Silva, 2020). Nessa concepção encontramos na literatura várias propostas de metodologias ativas, tais como, aprendizagem baseada em problemas, estudos de caso, exposições dialogadas, mesas-redondas (Paiva et al., 2016), sala de aula invertida, instrução por pares, ensino por investigação (Etkina; Brookes; Planinsic, 2019). Diante das inúmeras abordagens de metodologias ativas destaca-se, no ensino de ciências da natureza (física, química e biologia), o Ensino por Investigação.

Zômpero e Laburú (2016, p. 7) esclarecem que o ensino por investigação não é novo, como bem ilustram alguns autores, mas é de difícil implementação em uma cultura escolar que predomina o ensino para testagem, ou seja, onde os estudantes devem apenas memorizar mecanicamente fórmulas, equações, reações, definições, taxonomias. Destaca-se que a alfabetização científica, no século XX, em países da Europa e Estados Unidos, começou a ser debatido mais profundamente (Santos, 2007, p. 474). Nesse período, influenciados pelas ideias do filósofo e pedagogo americano John Dewey (1859-1952), já se tinha a preocupação de estimular atividades investigativas sendo essas atividades investigativas denominadas de *inquiry* (Zômpero; Laburú, 2016, p. 13).

Santos (2007, p. 475) sustenta que, no Brasil, a preocupação com a inovação curricular no ensino de ciências ocorreu por volta dos anos de 1950 com a tradução dos projetos americanos e produção de kits para os professores utilizarem nos laboratórios; criação de centros de ensino de ciências na década de 1960, culminando com o início da produção de materiais por educadores brasileiros. Ela ainda argumenta que esta inovação,

embora tardia, contribuiu para que o ensino por investigação pudesse ser incorporado nos documentos orientadores do ensino fundamental por meio dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), em 1997, no ensino médio por meio do Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM), em 2000 e, por fim, em 2008, na educação básica (Ensino fundamental e Médio) por meio do documento normativo denominado Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (Brasil, 2008).

Embora o termo ensino por investigação seja comum nas áreas de ciências da natureza, as pesquisas desenvolvidas desde o século XIX contribuíram para que existissem várias denominações para utilização de atividades investigativas no ensino. Zômpero e Laburú (2016, p. 22) destacam algumas delas, tais como: ensino por descoberta, resolução de problemas, projetos de aprendizagem, ensino por investigação. Dentro dessas denominações há também diversas conceituações e abordagens, no entanto, uma abordagem comumente adotada é de que a investigação utilizada no ensino não é utilizada para formar futuros cientistas, mas com a finalidade de desenvolver habilidades cognitivas, realização de procedimentos como elaboração de hipóteses, anotação e análise de dados e o desenvolvimento da capacidade de argumentação (Zômpero e Laburú, 2016, p. 22).

Gil-Perez e Valdes Castro (1996) *apud* Zômpero e Laburú (2016) apontam as características que as atividades de investigação devem apresentar.

[...] As atividades de investigação devem apresentar as seguintes características: apresentar aos alunos situações problemáticas abertas em nível de dificuldade adequado à zona de desenvolvimento potencial dos educandos; favorecer a reflexão dos alunos sobre a relevância das situações-problema apresentadas; possibilitar a emissão de hipótese como procedimento indispensável à investigação científica; proporcionar a elaboração de um planejamento da atividade experimental; contemplar as implicações CTS do estudo realizado; proporcionar momentos para comunicação do debate das atividades desenvolvidas; potencializar a dimensão coletiva do trabalho científico (Perez, G.; Castro, V. (1998) *apud* Zômpero; Laburu, 2016, p. 23).

Nesse aspecto, importa sublinhar a visão de Sasseron (2013) sobre o mesmo assunto.

É possível dizer que toda investigação científica envolve um problema, o trabalho com dados, informações e conhecimentos já existentes, o levantamento e o teste de hipóteses, o reconhecimento de variáveis e o controle destas, o estabelecimento de relações entre as informações e a construção de uma explicação (Sasseron, 2013, p. 43).

Nessa mesma linha de pensamento Azevedo (2004, p. 21) afirma que uma atividade de investigação, para assim ser considerada, deve levar o aluno a refletir, discutir, explicar, relatar e não apenas limitar-se a manipular objetos e observar fenômenos. Isso significa, segundo Zômpero e Laburú (2016, p. 25), que as práticas investigativas devem contemplar alguns momentos de: proposta do problema, preferencialmente em forma de pergunta que estimule a curiosidade científica do estudante; levantamento de hipóteses que devem ser emitidas pelos alunos por meio de discussões; coleta de dados; análise dos dados, utilização de gráficos, textos, para que os alunos expliquem os dados e a conclusão na qual os estudantes formulam respostas ao problema inicial, a partir dos dados obtidos e analisados.

Podemos ainda considerar como referência os países norte-americanos e a Europa uma vez que o Ensino por Investigação é uma metodologia bastante discutida e consagrada nos documentos oficiais (Scarpa; Silva, 2013, p.135). Nesse sentido, é importante citar o documento “Investigação e os Padrões Nacionais de Ciências: Um Guia para Ensino e Aprendizagem” (Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning), elaborado em 2000 utilizado em países norte-americanos (Munford; Lima, 2007) o qual cabe destacar cinco características essenciais que se aplicam a todos os níveis de ensino referendados por esse documento:

- 1) Os alunos são envolvidos por questões cientificamente orientadas; 2) Aprendizagem dá prioridade à evidência, o que lhes permite desenvolver e avaliar explicações que abordam questões orientadas cientificamente; 3) Os alunos formulam explicações a partir de evidências para abordar questões cientificamente orientadas; 4) Os alunos avaliam suas explicações à luz de explicações alternativas, particularmente aquelas que refletem compreensão científica; 5) Os alunos comunicam e justificam as explicações propostas (National Research Council, 2000, p. 24 *apud* Moraes, 2021).

No que se refere à Educação Básica – Educação Infantil, Ensino Fundamental e Ensino Médio – no Brasil, o Ensino por Investigação está previsto no documento normativo nomeado de Base Nacional Comum Curricular – BNCC. Este documento diz que ao longo do Ensino Fundamental, a área de Ciências da Natureza – Física, Química e Biologia – tem um compromisso com o desenvolvimento do letramento científico, que envolve a capacidade de compreender e interpretar o mundo (natural, social e tecnológico), mas também de transformá-lo com base nos aportes teóricos e processuais da ciência. No Ensino Médio, propõe que os estudantes ampliem as habilidades investigativas desenvolvidas no Ensino Fundamental, apoiando-se em análises

quantitativas e na avaliação e na comparação de modelos explicativos, além de esperar que eles aprendam a estruturar linguagens argumentativas.

Sobre o processo investigativo a BNCC diz:

Nessa perspectiva a área de Ciências da Natureza, por meio de um olhar articulado de diversos campos do saber, precisa assegurar aos alunos do Ensino Fundamental o acesso à diversidade de conhecimentos científicos produzidos ao longo da história, bem como a aproximação gradativa aos principais processos, práticas e procedimentos da investigação científica (Brasil, 2008, p.273).

Além disso, é importante ressaltar uma das competências gerais previstas na BNCC sobre as habilidades almejadas que estudantes desenvolvam:

Competência 2: Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas (Brasil, 2008, p. 9).

Ainda sobre o processo investigativo a BNCC enfatiza que é imprescindível que os estudantes sejam progressivamente estimulados e apoiados no planejamento e na realização cooperativa de atividades investigativas, bem como no compartilhamento dos resultados dessas investigações.

Embora o documento normativo para Educação Básica propor que o processo investigativo deve ser entendido como elemento central na formação dos estudantes, ela nos deixa uma alerta sobre o estímulo à realização cooperativa de atividades investigativas, quando afirma que:

Isso não significa realizar atividades seguindo, necessariamente, um conjunto de etapas pré-definidas, tampouco se restringir à mera manipulação de objetos ou realização de experimentos em laboratório. (Brasil, 2008, p. 274).

Em concordância com a BNCC, Munford e Lima (2007, p. 97-98), afirmam que uma atividade experimental, muitas vezes, não apresenta características essenciais da investigação, e que atividades que não são práticas podem ser até mais investigativas do que aquelas experimentais, dependendo da situação. Outro autor que defende essa perspectiva é Azevedo (2004, p.21) a qual sugere que uma atividade de investigação, para assim ser considerada, deve levar o aluno a refletir, discutir, explicar, relatar e não apenas limitar-se a manipular objetos e observar fenômenos. Etkina, Brookes e Planinsic (2019, local. 1-1_3) compartilham o mesmo pensamento ao afirmar que práticas tradicionais de

experimentos que fornecem instruções passo a passo para os alunos não envolvem os alunos no desenvolvimento de novos conceitos; concentram-se principalmente na “verificação da teoria” que os alunos já aprenderam.

Em suma, o que podemos perceber pela literatura estudada é de que a simples realização de experimentos não significa a prática do processo investigativo. Uma aula com características investigativas favorece a construção do conhecimento por meio do diálogo, interação aluno-aluno, aluno-professor, realização de procedimentos como: elaboração de hipóteses, análise de dados, argumentação e compartilhamento de informação.

Nessa percepção, Munford e Lima (2007, p. 92) afirmam que o Ensino de Ciências por Investigação, pretende sugerir outras formas de apresentar as aulas de Ciências, diferentes daquelas que têm sido mais comuns nas escolas, dentre elas, o professor fazendo anotações no quadro, seguidas de explicações e os estudantes anotando e ouvindo-o dissertar sobre um determinado tópico de conteúdo. No entanto, diferente daquilo que se espera, encontramos experimentos que são inseridos de modo que não propicia ao aprendiz a oportunidade de dialogar e questionar suas dúvidas, a respeito dos conceitos físicos estudados frustrando a aprendizagem pretendida (Pereira; Fusinato, 2015, p. 123).

Pensando nisso, levanta-se a questão: como planejar aulas onde o processo investigativo deve ser entendido como elemento central? Em busca dessa resposta, Eugenia Etkina, em 1993, desenvolveu a abordagem de ensino, Investigative Science Learning Environment (ISLE), a qual propõe que os estudantes aprendam física da mesma maneira que os cientistas a praticam, ou seja, por meio da investigação, experimentação e colaboração. Na seção seguinte pretendemos aprofundar sobre os aspectos gerais dessa abordagem.

2.1 Ambiente de Aprendizagem por Investigação Científica – ISLE

O ISLE é uma abordagem de ensino, que tem como elemento central o processo investigativo. Esta abordagem refere-se a um ambiente onde professores organizam as situações de aprendizagem, geralmente atividades experimentais, nos quais os estudantes trabalham de maneira colaborativa e aprendem fazendo, discutindo e descobrindo juntos, em vez de assimilar ou adquirir conhecimento exposto pelo professor.

Esta abordagem de ensino foi proposta, em 1993, por Eugenia Etkina. Ex-professora de física do Ensino Médio na União Soviética, Eugênia Etkina, atual professora de Pós-Graduação em Educação da Rutgers University, recebeu em 2014 da Associação Americana de Professores de Física (AAPT), a medalha Milikan, concedida a educadores que fizeram contribuições significativas para o ensino de física. Embora seja a pessoa que propôs o ISLE, esta abordagem de ensino foi enriquecida posteriormente por sua colaboração com Alan Van Heuvelen, Gorazd Planinsic e David Brookes.

Etkina, Brookes e Planinsic (2019) enfatizam três características principais desta abordagem, que espelham um ambiente investigativo e ao mesmo tempo permitem que os alunos desenvolvam conhecimentos de física tradicionalmente valorizados (conceitos normativos). A primeira característica está relacionada ao fato de que os alunos desenvolvem conceitos de física normativa com suas próprias ideias. A segunda trata-se da capacidade dos alunos de representar processos físicos de várias maneiras para ajudá-los a desenvolver ferramentas produtivas para o raciocínio qualitativo e para a resolução de problemas. E, por fim, a terceira característica que é o trabalho colaborativo, em grupos de três a quatro pessoas, onde compartilham suas descobertas, projetos e soluções em uma discussão com a sala.

As características apontadas estão presentes quando os alunos executam repetidamente os processos apontados pelos autores.

Os alunos desenvolvem conceitos de física normativa como suas próprias ideias, passando repetidamente pelo seguinte processo: (a) Observando fenômenos pré-selecionados (geralmente experimentos, mas também podem ser simulações ou dados coletados anteriormente, fotos, vídeos ...) e procurando padrões; (b) Desenvolvendo explicações/modelos/relações matemáticas para esses padrões; (c) Usando essas explicações/modelos/relações para fazer previsões sobre os resultados dos experimentos de teste que eles propõem; (d) Decidindo se os resultados dos experimentos de teste correspondem às previsões; (e) Revisando os modelos/relações, se necessário, e finalmente chegando aos modelos/relações de física normativa; (f) Aplicando-os para fins práticos, resolução de problemas, construção de dispositivos, determinação de valores de grandezas físicas etc (Etkina; Brookes; Planinsic, 2019, local. 1-1_3, tradução nossa).

Tal como referido sobre o processo investigativo observa-se o alinhamento das características presentes no ISLE com o que é proposto pela BNCC.

Nesse aspecto, outro ponto destacado pela BNCC e que está presente na abordagem ISLE e importa sublinhar é sobre as atividades propostas em sala de aula.

[...] pressupõe organizar as situações de aprendizagem partindo de questões que sejam desafiadoras, estimulem o interesse e a curiosidade científica dos

alunos e possibilitem definir problemas, levantar, analisar e representar resultados; comunicar conclusões e propor intervenções (Brasil, 2008, p. 274).

Diante da importância das características do processo investigativo apontado pela BNCC e a presença desses elementos investigativos na abordagem ISLE, na próxima seção iremos abordar com mais profundidade seus fundamentos.

2.1.2 Elementos do processo ISLE e suas conexões lógicas

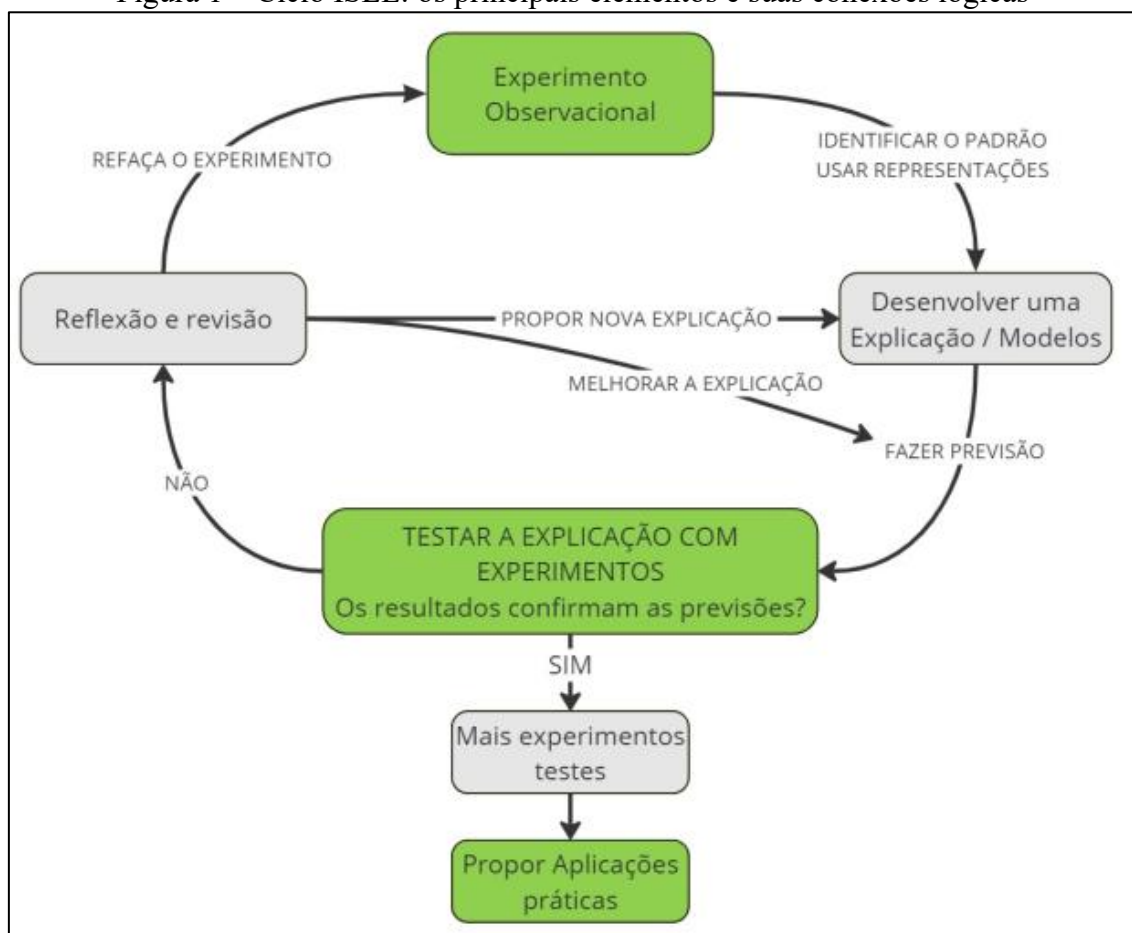
No decorrer da abordagem de um tema por meio do ISLE há distintas etapas do ciclo, não necessariamente rígidas, que devem ser consideradas, sendo elas: realizar o experimento proposto pelo professor, elaborar hipóteses sobre o(s) fenômeno(s) observado(s), elaborar um plano experimental para testar suas hipóteses ou testar suas hipóteses por meio do experimento teste disponibilizado pelo professor, analisar e verificar a confirmação ou rejeição das hipóteses testadas e por fim propor aplicações da(s) ideia(s) testada(s).

Para cumprimento destas etapas do ciclo a sugestão é que os alunos trabalhem em grupos, de 3 a 4 pessoas. O grupo deve registrar suas observações do experimento, procurar padrões nestas observações e analisar o experimento de várias maneiras para ajudar a produzir explicações qualitativas ou quantitativas (quando se tratar de experimentos que colete dados quantitativos) que justifiquem as suas observações.

Sobre o papel do professor, ele atua nessa abordagem promovendo a autonomia dos estudantes na construção do conhecimento de física através da experimentação direta e da reflexão sobre os resultados. O docente atua como facilitador do processo de aprendizagem, incentivando a investigação e a descoberta dos princípios físicos pelos próprios alunos.

O diagrama a seguir, conforme a Figura 1, sintetiza a proposta dos elementos do ciclo ISLE e suas conexões lógicas.

Figura 1 – Ciclo ISLE: os principais elementos e suas conexões lógicas



Fonte: Adaptado de Etkina e Van Heuvelen (2007)

Observa-se que os elementos do ciclo ISLE estão agrupados em três categorias: observacional, teste e aplicação. Para fins didáticos, enumeramos as etapas dos elementos do ciclo ISLE e explicamos a seguir, utilizando as palavras dos criadores desta abordagem Etkina, Brookes e Planinsic. Entretanto, cabe ressaltar que embora as setas no diagrama representem uma progressão de etapas lógicas, em qualquer etapa é possível voltar e revisitar a etapa anterior ou examinar as suposições. O processo ISLE não é de forma alguma linear ou mesmo cíclico.

A primeira etapa (realizar a atividade experimental), o professor deve: iniciar a aula apresentando a prática experimental a ser realizada e orientar os grupos a descreverem o resultado do experimento (somente o relato do padrão que foi observado e não a hipótese para explicar o padrão observado – basicamente eles devem responder à pergunta: o que aconteceu?). Nesta fase, o professor assume o papel de instrutor, guiando as práticas investigativas sem oferecer conceitos de física prontos.

Na segunda etapa, o professor solicita aos alunos que proponham hipóteses que expliquem os padrões encontrados. Ou seja, o grupo deve formular perguntas sobre o que eles conseguem observar do experimento (Por que isso ocorre? Como/quando ocorre?), sobre a lógica do padrão observado (Quando realizo isso...aquilo acontece, ou seja, elaborar hipóteses sobre o padrão observado). Deve-se incentivar a discussão dentro de cada grupo para que eles possam trocar ideias e aprimorar suas hipóteses. Eles devem desenvolver explicações/modelos/relações matemáticas (quando se tratar de experimentos quantitativos) para esses padrões. Em síntese, os alunos reúnem dados sobre o fenômeno, identificam padrões interessantes e apresentam várias explicações para o porquê de o fenômeno estar acontecendo. É importante ressaltar que, inicialmente, todas as ideias são aceitáveis, para incentivá-los a pensarem sobre o problema em questão. Em seguida, cada grupo apresenta as hipóteses sobre o padrão observado a fim de que os demais grupos tenham conhecimento da análise. Essa partilha de conhecimento entre grupos é essencial, pois não apenas fortalece o entendimento coletivo, mas também impulsiona a exposição de diferentes pontos de vista e promove um ambiente de aprendizado compartilhado.

A terceira etapa (realizar experimento(s) teste(s)): após apresentação das hipóteses, o docente deve incentivar cada grupo a elaborar um plano experimental para testar suas hipóteses/explicações para o modelo que eles construíram, ou seja, eles devem “prever” qual será o resultado do experimento teste se uma determinada hipótese for verdadeira (o professor pode sugerir uma prática experimental para testar as previsões/padrão elaboradas por eles caso os grupos não consigam propor um experimento teste). Basicamente na elaboração do plano experimental eles devem realizar um raciocínio hipotético-dedutivo: Se esta explicação estiver correta, e eu fizer isso e aquilo (realizar um experimento de teste), então isso e aquilo deverá acontecer (previsão baseada na hipótese que o grupo propôs). Se o resultado do experimento teste estiver de acordo com o previsto, a hipótese ainda não foi refutada, caso contrário, a hipótese estará rejeitada.

A quarta etapa consiste em verificar a confirmação ou rejeição da(s) hipótese(s). Com o plano experimental em mãos (aquele elaborado pelos grupos ou disponibilizado pelo docente) deve-se acompanhar os grupos na análise dos resultados observados nos experimentos testes, além de promover/incentivar a discussão sobre os padrões

observados e a relação entre os resultados e as hipóteses iniciais. As ideias que não são eliminadas são testadas novamente com mais experimentação, se necessário.

Observa-se pelo diagrama da Figura 1, que no caso de uma incompatibilidade (experimentos testes com as hipóteses), inicia-se o processo de revisões a qual há três caminhos distintos a se seguir: o primeiro, refazer o experimento proposto uma vez que os dados coletados não foram suficientes; o segundo, propor uma nova explicação, ou seja, o experimento teste invalidou as suposições/hipóteses pressupostos pelo grupo; terceiro, revisar a explicação uma vez que foi verificado algo a mais do que estava previsto pelas hipóteses. Destaca-se nesse processo de revisão, qualquer um dos experimentos pode se tornar um experimento observacional quando ocorre um resultado inesperado.

E por fim, a quinta etapa (proposta de aplicação da ideia testada): finalizado os testes experimentais, com base na conclusão dos grupos é o momento para os grupos proporem como utilizar as descobertas para resolver problemas do mundo real, por exemplo, aplicações daquelas descobertas no cotidiano. Novamente é o momento de promover a comunicação e o compartilhamento de resultados entre os grupos ou a turma. Deve-se incentivar as apresentações orais ou outras formas de compartilhar as descobertas a fim de integrar as ideias que eles estabeleceram para resolver problemas do mundo real ou aplicações no mundo real.

Encerrado o ciclo proposto pelo ISLE é o momento do(a) docente integrar, ou seja, acrescentar os conceitos teóricos relacionados ao tema estudado com as descobertas realizadas pelos estudantes por meio dos experimentos. O professor deve nomear (se possível) à ideia inventada (dar nome ao experimento, dar nome a teoria), sintetizando os achados dos alunos usando uma linguagem científica adequada.

Embora tenha sido descrito com detalhes as etapas do ISLE, mostrando-o como um exemplo de aprendizado baseado em investigação, é importante ainda descrevê-lo com base nos fundamentos teóricos estruturados por Etkina e seus colaboradores. Isso será feito na seção seguinte.

2.1.3 Fundamentos teóricos do ISLE

Etkina, Brookes e Planinsic (2020, p. 4) apontam que o ISLE possui duas intencionalidades centrais. A primeira intencionalidade é desenvolver no estudante a

habilidade de pensar e agir como cientista e por consequência promover uma compreensão profunda dos conceitos de física. A segunda intencionalidade é utilizar a física para ajudar os alunos a crescerem e capacitá-los no processo, isto é, melhorar o bem-estar, a motivação, o senso de pertencimento e a perseverança do aluno. Isso significa que as decisões que o docente toma ao planejar, executar e avaliar devem dar suporte ao crescimento intelectual e emocional do aluno.

Etkina, Brookes e Planinsic (2020, p. 3-4) enfatizam que as intencionalidades centrais do ISLE estão alinhadas aos pensamentos dos teóricos educacionais: MacMillan, Garrison e Paul Cobb. De acordo com MacMillan e Garrison (1988) *apud* Etkina, Brookes e Planinsic (2020) o ensino é uma atividade intencional que envolve crenças e valores na qual os professores estão envolvidos no processo. Nesse sentido as atividades devem ser cuidadosamente projetadas, levando em conta os objetivos de aprendizagem, as características dos alunos e o contexto em que a educação ocorre, sendo, portanto, reflexivas e orientadas para resultados significativos no processo de aprendizagem. Já Cobb (2007), sugere que a estrutura curricular a ser lecionada não deve basear-se em uma única perspectiva teórica, mas sim numa construção flexível e adaptativa de ideias e práticas, combinando várias teorias e abordagens para criar um ambiente de aprendizagem que atenda melhor às necessidades dos alunos. Essa combinação de perspectivas teóricas é denominada pelo autor de bricolagem (Cobb, 2007, p. 29).

Sob essas circunstâncias, a questão central é identificar quais atividades de física são consideradas autênticas e relevantes para os alunos e como motivá-los nessa prática autêntica (situações em que os alunos precisam empregar raciocínios e práticas análogas às empregadas por físicos ao resolver problemas).

Etkina, Brookes e Planinsic (2019, 2020) afirmam que aprender física e ciência em geral pode ser visto a partir de quatro perspectivas principais que formam a base da bricolagem teórica adotada do ISLE e consequentemente estão relacionadas com as atividades autênticas de física: i) A perspectiva inicial está relacionada com a aprendizagem ativa envolvendo os alunos em atividades geradoras de conhecimento que reproduzem processos semelhantes àquilo que os físicos praticam. Ou seja, relacionando teoria e experimento; ii) a segunda relaciona-se com a habilidade de coordenar múltiplas representações, permitindo que a cognição seja movida do cérebro do aluno para um espaço compartilhado e seja distribuída entre vários indivíduos; iii) a terceira destaca o aspecto sociocultural da aprendizagem, sendo este o motivo para se propor que as

atividades sejam em pequenos grupos; iv) e a última perspectiva com a capacidade de desenvolver confiança e mentalidade de crescimento nos alunos destacando o ISLE como um ambiente adaptado para que cada aluno alcance o progresso em seu próprio ritmo. A seguir daremos destaque a essas perspectivas principais sob a ótica de Etkina e seus colaboradores.

A perspectiva inicial está relacionada com a interação entre teoria e experimento. Para envolver os alunos no processo de uma prática autêntica de física é necessário um modelo simplificado da progressão lógica real das atividades dos físicos. Um modelo simplificado dessa progressão lógica que os autores do ISLE consideram é que os cientistas constroem conhecimento usando evidências empíricas e reprodutíveis utilizando raciocínio indutivo e hipotético-dedutivo e valorizando ideias que podem ser experimentalmente testáveis – isso significa que essas ideias podem ser rejeitadas por um experimento diferente –, trabalham de forma colaborativa e colegiada. Nesse entendimento, Etkina, Brookes e Planinsic (2020, p. 5, tradução nossa) entendem que: “É esse compromisso epistemológico (gerador de conhecimento) e suas conexões lógicas que formam o núcleo do que os alunos fazem quando se envolvem em atividades em uma sala de aula estruturada em torno da abordagem ISLE”.

No ISLE, segundo Etkina, Brookes e Planinsic (2020, p. 5) os alunos reproduzem essa prática da experimentação e desenvolvimento da teoria de duas maneiras e isso acontece quando veem como novas ideias de física se desenvolvem naturalmente a partir da necessidade de explicar algo que ainda não é compreendido. Isso colabora para desmistificar o mito de que novas ideias somente podem ser criadas por alguns gênios, brilhantes e criativos. E a outra maneira quando os alunos devem gerar múltiplas explicações e usá-las para fazer previsões para os possíveis resultados de um experimento teste. Segundo os autores, essas duas maneiras além de humanizar o processo da construção do conhecimento por estarem reproduzindo práticas semelhantes aos físicos, elas criam naturalmente um ambiente seguro e positivo para que os alunos expressem e explorem suas próprias ideias, mesmo que às vezes elas sejam refutadas por meio de experimentos testes. Sobre os resultados dos experimentos testes, os autores afirmam que:

Os alunos não se sentem constrangidos quando o resultado do experimento teste não corresponde a uma previsão baseada em sua explicação: eles aprendem que descartar explicações é parte integrante do “jogo” da ciência (Etkina; Brookes; Planinsic, 2020, p. 5, tradução nossa).

A segunda perspectiva, está relacionada com as múltiplas representações. Etkina, Brookes e Planinsic (2020, p. 5) sugerem que uma estrutura cognitiva produtiva pode ser desenvolvida se considerarmos a física como uma atividade representacional. Alinhados com Airey e Linder (2017), os autores do ISLE justificam que “fazer” física é um ato de coordenar múltiplas representações (recursos semióticos) que podem ser: esboços, experimentos reais, gráficos, diagramas, imagens, equações, palavras etc. Logo, dentro da física as múltiplas representações são entendidas como as várias formas de representar um conceito, um fenômeno.

Na concepção de Airey e Linder (2017, p. 96), a semiótica social é uma construção ampla, onde toda comunicação em um grupo social específico é vista como sendo realizada por meio de recursos semióticos e os significados específicos atribuídos a esses recursos semióticos são negociados dentro do próprio grupo social e muitas vezes se desenvolvem por um período longo. Significa dizer que, a comunicação não se limita apenas à linguagem falada ou escrita.

Logo, a aprendizagem por meio da semiótica social acontece quando os indivíduos constroem e negociam significados ao interagir com os recursos semióticos de um grupo social. Esse processo de negociação e adaptação de significados permite que as pessoas compreendam e internalizem novos conceitos, promovendo a aprendizagem dentro de contextos específicos. Dessa forma, o conhecimento é compartilhado e construído coletivamente, adaptando-se às necessidades e experiências do grupo social.

Ao aplicar a ideia da semiótica social no ensino de física Van Heuvelen (1991, p. 891) sugere que, para aprender a pensar como físicos, os alunos devem ser ensinados a abordar a resolução de problemas usando múltiplas representações de uma maneira semelhante aos que os físicos a praticam. Sendo assim, é importante que professores e alunos compartilhem o mesmo significado das representações, no entanto, havendo conflito de associações dessas representações é necessário comunicarem entre si para renegociar o significado compartilhado (Etkina; Brookes; Planinsic, 2020, p. 6).

Em termos práticos, pode-se exemplificar o que diz Van Heuvelen (1991) e Etkina, Brookes e Planinsic (2020), utilizando a representação da palavra “peso”. Quando físicos falam sobre “peso”, no contexto restrito à física, o significado atribuído à peso refere-se a uma força devido a ação de um campo gravitacional. Em conflito com isso, os alunos associam o termo “peso” à equivalência de “massa”. Logo, é necessário a comunicação entre os pares envolvidos para renegociar o significado compartilhado,

reconhecendo mutuamente os contextos em que a palavra “peso” pode ativar ou não diferentes associações.

Dessa maneira, por meio das representações, podemos compreender melhor a presença de alguns elementos no sistema de aprendizagem baseado no ISLE. Estes elementos podem ser descrito da seguinte forma: 1) os alunos formulam suas próprias explicações para fenômenos observados, baseando-se em experiências anteriores (ao elaborar essas explicações, usam sua própria linguagem, o que permite a conexão de novas ideias a redes de memória existentes); 2) os alunos não preveem os resultados de experimentos observacionais (eles começam com experiências concretas e ativam conhecimentos relevantes que já possuem em seus cérebros para explicar suas observações). Muitas vezes, precisam ajustar ou modificar ideias antigas, em vez de descartá-las, avaliando sua aplicabilidade por meio de experimentos testes. A experimentação é crucial para validar suas ideias; 3) Os alunos utilizam ferramentas de representação (recursos semióticos), como esboços e imagens, para conectar fenômenos a equações matemáticas. Esses recursos ajudam na visualização e avaliação de soluções para problemas; 4) Os alunos se agrupam para compartilhar ideias, isso que permite que a cognição seja movida do cérebro do indivíduo para um espaço compartilhado e seja distribuída entre vários indivíduos;

Percebe-se que o uso das representações fomenta uma compreensão mais profunda, uma aprendizagem ativa e por meio desse processo, os alunos desenvolvem habilidades críticas para o pensamento científico.

A terceira perspectiva está relacionada com o aspecto social da aprendizagem da física. Etkina, Brookes e Planinsic (2019, 2020) entendem que aprender física é uma atividade sociocultural que envolve pessoas compartilhando, debatendo e testando suas ideias em interações com outras pessoas. Os autores entendem que é muito mais difícil aprender e melhorar algo sozinho sem estar socialmente engajado com outras pessoas, por isso o ISLE propõe o trabalho colaborativo.

No entanto, para entendermos o aspecto social do processo da aprendizagem é necessário nos perguntar como os físicos constroem o conhecimento (Etkina; Brookes; Planinsic, 2019, local. 3-1_4) e dentro dessa perspectiva, Thomas Kuhn, filósofo da ciência, enfatiza que o conhecimento científico é uma construção coletiva e, assim como a linguagem, ele não pertence a indivíduos isolados, mas é criado, validado e

compartilhado por um grupo e sem essa estrutura comunitária, a ciência perderia seu caráter organizado e confiável (Kuhn, 1998, p. 256-257).

Diante disso, dentro da abordagem ISLE, os alunos são vistos como participantes de uma comunidade de aprendizes, trabalhando para objetivos compartilhados e transformando sua participação ao longo do tempo. Ao propor que as atividades sejam em pequenos grupos e que ocorra o compartilhamento de informações ao longo do ciclo ISLE, a intenção é maximizar as capacidades cognitivas dos alunos explorando a inteligência coletiva e que ao final do ciclo possam compartilhar o mesmo significado dos recursos semióticos utilizados.

Etkina, Brookes e Planinsic (2020) nos orienta que para criar as condições de maneira que a inteligência coletiva de um grupo se manifeste em sala de aula, é necessário fazer mais do que simplesmente dizer aos alunos para trabalharem em grupos e esperar que eles colaborem de maneira eficaz. Ou seja, é necessário o professor ouvir as ideias compartilhadas e trazê-las para primeiro plano na comunidade de aprendizagem. Ao fazer isso o docente pode ajudar a dar vozes a alunos excluídos fazendo assim enxergarem o valor de suas ideias, bem como ajudar a comunidade em geral a ver o valor dessas ideias. Entretanto, embora o papel do professor seja ajudar a liderar a comunidade de aprendizes, os alunos precisam ter uma oportunidade de autodireção.

Em resumo, a terceira perspectiva da abordagem ISLE sugere que as atividades propostas sejam realizadas em pequenos grupos que envolvidos no ciclo descrito na Figura 1, utilizem o raciocínio indutivo e hipotético-dedutivo para construir suas próprias ideias, compartilhem suas ideias por meio de várias representações. Nesse ciclo, o professor, monitora cuidadosamente o trabalho em grupo, certificando-se de que todos tenham voz, mas sem impor aos alunos suas próprias ideias e os alunos planejam seus próprios experimentos (quando possível) e fazem seus próprios julgamentos sobre o sucesso desses experimentos (Etkina; Brookes; Planinsic, 2019, local 3-1_4).

A quarta e última perspectiva está relacionada com a capacidade de desenvolver confiança e mentalidade de crescimento nos alunos. Etkina, Brookes e Planinsic (2020, p. 7) afirmam que a motivação se torna ainda mais importante em um ambiente baseado em investigação, como uma sala de aula ISLE, pois os alunos estão sendo desafiados a descobrir as coisas por si mesmos, em vez de receber a resposta. Eles justificam que pesquisas mostram que a motivação para superar dificuldades e resolver problemas desafiadores está relacionada à mentalidade da pessoa. Se uma pessoa acredita que as

habilidades intelectuais são fixas, ela evita um problema difícil. Se uma pessoa acredita que as habilidades intelectuais podem crescer com o tempo, ela vê os problemas difíceis como um desafio e uma oportunidade.

Sobre motivar alunos, Pozo e Crespo afirmam que:

O ensino deve tomar como ponto de partida os interesses dos alunos, buscar a conexão com seu mundo cotidiano com a finalidade de transcendê-lo, de ir além, e introduzi-los, quase sem que eles percebam, na tarefa científica. Não se deve supor que, para aprender ciência, os alunos devem ter desde o começo as atitudes e os motivos dos cientistas; na verdade, é preciso projetar um ensino que gere essas atitudes e os motivos (Pozo; Crespo, 2009, p. 43)

Diante dessa perspectiva, ter uma mentalidade de crescimento é um dos fatores motivacionais para o aprendizado, pois estimula a pessoa a perseverar e superar as dificuldades. Sendo assim, é importante que dentro da abordagem ISLE o aluno tenha oportunidades de melhorar seu desempenho, refazendo sempre que necessário a tarefa atribuída ajudando-o a desconectar seu desempenho na tarefa de suas crenças sobre suas habilidades focando no autoaperfeiçoamento e não na comparação social.

Pelas razões citadas na quarta perspectiva é que na abordagem ISLE o conteúdo de física está explicitamente conectado às experiências cotidianas dos alunos e a maioria dos experimentos observacionais que eles realizam se relacionam com algo com o qual estão familiarizados. Para melhorar a motivação e desenvolver a mentalidade de crescimento, os alunos do ISLE são incentivados a reenviar suas tarefas várias vezes até que desenvolvam o domínio. O sistema ISLE se concentra especificamente nas etapas em que os alunos podem ser bem-sucedidos; descrevendo suas observações em palavras simples, sugerindo possíveis explicações e fazendo previsões (ou seja, descrevendo os resultados de experimentos de teste) (Etkina; Brookes; Planinsic, 2019, local 3-1_5).

Desse ponto de vista percebe-se o caráter inclusivo da abordagem ISLE. É um ambiente adaptado para que cada aluno alcance o progresso em seu próprio ritmo, ou seja, é ofertado várias oportunidades de aprenderem o mesmo conceito.

2.1.4 Projeto de currículo, organização de classe

Diante dos fundamentos teóricos expostos, é necessário ainda pensarmos sobre como elaborar materiais curriculares e planos de aulas que estejam em acordo a esses fundamentos teóricos. Com intuito de auxiliar o professor nesse processo, Etkina,

Brookes e Planinsic (2020, p. 9) propõem quatro perguntas fundamentais pertinentes para direcionar os professores na elaboração de materiais adaptados ao ISLE: 1) Qual é a ideia (modelo, mecanismo, relação etc.) que queremos que nossos alunos construam? 2) Que habilidades científicas queremos que eles desenvolvam e pratiquem ao fazê-lo? 3) O que os alunos farão para construir essa ideia e como eles vão fazer isso? 4) Que evidência nos convencerá de que os alunos construíram a ideia (modelo, mecanismo, relação etc.)?

Observa-se que a primeira pergunta foca na ideia central que os alunos devem entender (pode ser um modelo científico, relação entre conceitos etc.), isto é, foca na construção do conhecimento. A segunda pergunta aborda quais habilidades de pensamento crítico e científico os alunos devem cultivar durante o aprendizado, ou seja, nas habilidades científicas, destacando a importância do pensar como cientistas. A terceira pergunta se concentra nas atividades específicas que os alunos realizarão para desenvolver essa ideia, isto é, nos métodos de aprendizagem, enfatizando a natureza prática do aprendizado. E por fim, a última pergunta investiga como os educadores saberão se os alunos realmente entenderam e converteram em conhecimento a atividade aplicada, isto é, nas evidências de compreensão, sugerindo a necessidade de uma avaliação clara e objetiva.

As quatro perguntas fundamentais norteiam de uma maneira geral como deve-se pensar ao planejar os materiais baseados em ISLE, no entanto, os autores consideram outras perguntas relevantes que devem ser realizadas, agora sendo feitas para guiar a investigação e o aprendizado ativo dos alunos. Nas palavras dos autores devemos perguntar:

Que fenômeno do cotidiano poderia motivar os alunos a investigarem a ideia? Que experimentos observacionais simples os alunos observarão ou realizarão? Que padrões eles poderiam notar? Que representações eles usarão para encontrar os padrões? Eles precisam de ajuda extra com uma nova representação ou o que já sabem é suficiente? Que explicações, modelos ou relações eles inventarão para explicar o padrão e que dicas os ajudarão a incluir as explicações cruciais? Como eles testarão essas explicações? Que equipamentos eles podem precisar para testar os experimentos? Quando eles não conseguirem rejeitar uma das explicações ou modelos, como eles combinarão o novo modelo com outros conhecimentos que têm para aplicações práticas? Quais aplicações práticas permitiriam que os alunos conectassem o que estão aprendendo ao mundo real de maneira significativa? Como e o que os alunos devem fazer para demonstrar que aprenderam o conceito e dominaram os processos de raciocínio? (Etkina; Brookes; Planinsic, 2020, p. 9-10, tradução nossa).

É importante ressaltar que, embora os autores nos demonstrem o caminho para elaborar materiais pedagógicos utilizados na abordagem ISLE, Etkina e demais

pesquisadores colaboradores dessa abordagem, disponibilizam inúmeros materiais², tais como, guia de implementação do ISLE, livro didático, propostas de experimentos e inúmeros artigos publicados sobre a aplicação do ISLE em vários eixos temáticos e que podem ser aproveitados e adaptados por professores que assim desejarem.

É fundamental entender que o material adaptado por si mesmo não é suficiente para termos a aplicação de uma atividade na abordagem ISLE. A organização da classe e a avaliação dessas atividades propostas é de igual importância.

Sobre a organização da classe Etkina, Brookes e Planinsic (2020, p. 10) sugerem que a sala de aula seja projetada para ser flexível e interativa, centrada em experimentos e discussões em grupo. O layout sugerido é o formato de estúdio, ou seja, um espaço aberto que permita ser reorganizado facilmente para trabalhos em grupo, onde o instrutor pode alternar entre atividades práticas, discussões em grupo e debates com a classe toda. Os alunos trabalham em grupos, geralmente usando quadros brancos para compartilhar suas descobertas, promovendo uma interação constante entre os colegas e facilitando o compartilhamento de múltiplas perspectivas. Os alunos são incentivados a aplicar o conhecimento a problemas práticos e conectá-lo ao mundo real, enquanto o instrutor atua como facilitador do processo de construção de ideias e aprendizado colaborativo.

Diferente de uma sala de aula tradicional, o ISLE sugere o uso do livro didático em casa em vez de utilizá-lo em sala de aula. Essa inversão é justificada pois um livro didático representa o conhecimento compilado, o ponto final do processo científico e, portanto, pertence ao final do processo de aprendizagem de um conceito específico Etkina, Brookes e Planinsic (2020, p. 10).

2.1.5 A avaliação no contexto do ISLE

Etkina, Brookes e Planinsic (2020, p. 11) ressaltam a importância de alinhar a avaliação com os objetivos de aprendizagem no contexto da abordagem ISLE. Eles destacam dois pontos principais: a) avaliar o processo de “fazer” física e b) proporcionar oportunidades de melhoria para os alunos.

Segundo os autores no que se refere – avaliar o processo de “fazer” física – significa que nesse ponto a avaliação deve ser capaz de aferir não apenas o resultado, mas

² Página da internet para acesso aos materiais propostos pelo ISLE - <https://www.islephysics.net/>

também o processo de aprendizado dos alunos, ou seja, a capacidade de levantar, analisar e representar resultados, além de, comunicar conclusões e propor intervenções. Isso é feito por meio do uso de rubricas. As rubricas são descrições das habilidades científicas que esperam que os alunos desenvolvam. A autora disponibiliza na página da internet do ISLE modelos de rubricas³ que podem ser utilizadas pelos professores.

E, em relação – a proporcionar oportunidades de melhoria para os alunos – significa que a avaliação deve ser formativa, ou seja, fornecer feedback durante o processo de aprendizagem, permitindo que os alunos melhorem continuamente. Este ponto está relacionado à ideia de que, numa comunidade científica, a revisão constante é crucial para o progresso, o que também reflete o conceito de avaliação formativa na educação, ou seja, a ideia de avaliação formativa é vista como natural no contexto científico, já que o progresso na ciência depende desse tipo de revisão contínua.

As avaliações formativas propostas no ISLE estão alinhadas às ideias de Paul Black e Dylan William. Segundo Black e Wiliam (1998) *apud* Etkina, Brookes e Planinsic (2020, p. 11) as atividades de avaliação formativa são todas as atividades realizadas por professores e por seus alunos na avaliação de si mesmos, que fornecem informações a serem usadas como feedback para modificar as atividades de ensino e aprendizagem nas quais eles estão envolvidos. Nessa mesma linha de raciocínio estão as reflexões de Silva et al. (2020, p. 2): “Na avaliação formativa, ocorre o acompanhamento progressivo do estudante, ajudando-o no desenvolvimento de suas capacidades cognitivas, ao mesmo tempo em que fornece informações sobre o seu desempenho”.

Caseiro e Gebran (2008) consideram que se a verdadeira função social da escola é a formação integral do indivíduo através do desenvolvimento de suas competências e habilidades, visando prepará-lo para o exercício efetivo da cidadania, é necessário que se supere a avaliação tradicional no sentido de se adotar a avaliação formativa.

Nessa perspectiva, as atividades de avaliação formativa proposta no ISLE são utilizadas para ajudar a alcançar os objetivos do “processo científico”, ou seja, para desenvolver as habilidades esperadas de um processo investigativo. Etkina et al. (2006) utilizam o termo “habilidades científicas” para descrever alguns dos procedimentos, processos e métodos mais importantes que cientistas usam ao construir conhecimento na resolução de problemas experimentais. A aquisição dessas habilidades oferecem um

³ As rubricas estão disponíveis no site: <https://sites.google.com/site/scientificabilities/rubrics>

parâmetro do que o estudante foi capaz de realizar durante o processo de investigação (Morais, 2021). Podemos fazer uma analogia das rubricas com as competências e habilidades a serem desenvolvidas pelos estudantes com base na BNCC. Ou seja, aquilo que se espera que o estudante adquira de conhecimento por meio da atividade desenvolvida pelo professor.

Analisando a história da física, a taxonomia das habilidades cognitivas e recomendações de educadores de ciências, Etkina e um grupo de pesquisa em ensino de física e astronomia desenvolveram uma lista de habilidades científicas a serem adquiridas na abordagem ISLE. São elas:

(a) a capacidade de representar informações de várias maneiras; (b) a capacidade de usar equipamentos científicos para conduzir investigações experimentais e coletar dados pertinentes para investigar fenômenos, testar hipóteses ou resolver problemas práticos; (c) a capacidade de coletar e representar dados para encontrar padrões e fazer perguntas; (d) a capacidade de conceber múltiplas explicações para os padrões e modificá-los à luz de novos dados; (e) a capacidade de avaliar o projeto e os resultados de um experimento ou uma solução para um problema; (f) a capacidade de comunicar (Etkina et al., 2006, p. 1-2; Etkina; Brookes; Planinsic, 2019, local. 4-1_2, tradução nossa).

O mesmo grupo de pesquisa propõe atribuir as rubricas acumulação de pontos como forma de implementar a avaliação formativa e a autoavaliação, a fim de identificar a presença das habilidades científicas nos estudantes. Segundo Etkina et al. (2006), as rubricas são uma das maneiras de ajudar o aluno a ver as metas de aprendizado e desempenho, autoavaliar seu trabalho e modificá-los para atingir as metas.

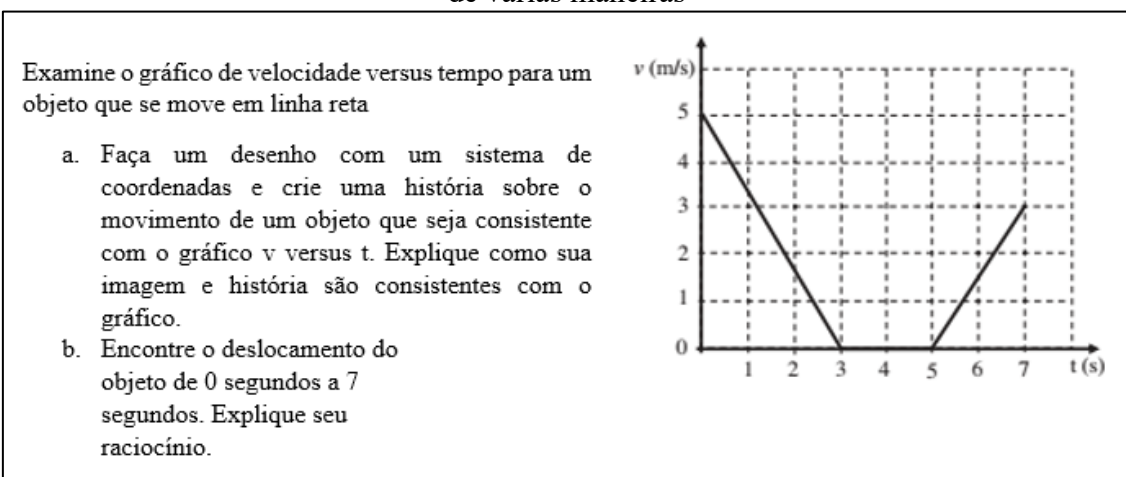
Sendo assim, as rubricas foram desenvolvidas para avaliar as habilidades científicas. Essas rubricas possuem descritores que detalham sub-habilidades específicas, permitindo que se atribuam pontuações descritivas aos trabalhos dos alunos. A preferência por descrições em vez de pontuações numéricas se deve à percepção de que as primeiras têm um impacto mais positivo no aprendizado.

As rubricas, com suas escalas que variam de "faltando" a "adequada", servem a diferentes públicos: a) alunos, pois oferecem diretrizes claras para a realização de experimentos e autoavaliação do trabalho; b) professores, pois são utilizadas para avaliação formativa durante tarefas e para classificar relatórios e exames práticos; c) práticas experimentais, pois fornecem metas para a criação de experiências laboratoriais que atendam a sub-habilidades específicas; d) pesquisadores, pois ajudam a monitorar a evolução das habilidades científicas dos alunos ao longo do tempo.

Pode-se estabelecer como exemplo a “habilidade de representar informações de várias maneiras”. Essa habilidade, pode ser dividida nas seguintes sub-habilidades: i) a habilidade de extrair as informações da representação corretamente; ii) a habilidade de construir novas representações a partir de representações anteriores; iii) a habilidade de avaliar a consistência de diferentes representações e modificá-las quando necessário; iv) a habilidade de usar representações para resolver problemas; v) diagrama de força; vi) diagrama de movimento; vii) esboço; viii) gráfico de barras de energia; ix) matemático. Assim sendo, o professor a fim de avaliar essas sub-habilidades ao aplicar uma atividade experimental ou exercícios em sala/casa, avalia da seguinte forma: (0) Faltando; (1) Não adequado; (2) precisa de alguma melhoria; (3) Adequada. Por meio desse feedback o aluno fará sua autoavaliação e será oportunizado refazer a atividade a fim de melhorar as sub-habilidades deficientes.

Na Figura 2, temos um exemplo utilizado por Etkina, Brookes e Planinsic (2020) para ilustrar de forma prática a “habilidade de representar informações de várias maneiras” em uma situação problema.

Figura 2 – Exemplo de problema que envolve a capacidade de representar informações de várias maneiras



Fonte: Adaptado de Etkina, Brookes e Planinsic (2020).

Diante do sistema de avaliação por rubricas, os alunos recebem sua nota com base em um sistema de acumulação de pontos, avaliando: (0) Faltando, (1) Não adequado, (2) precisa de alguma melhoria, (3) Adequada. No entanto, sempre oportunizando o aluno a melhorar por meio do feedback utilizando as rubricas. Essa estratégia tem uma mensagem muito importante que os autores enfatizam:

O fato de a estrutura do ISLE encorajar os alunos a melhorarem e reenviar seus trabalhos sem punição envia uma mensagem muito forte: todos podem aprender física e o fato de demorar mais tempo a fazê-lo não é culpa do aluno. Este aspecto das salas de aula baseadas em ISLE conecta a visão ISLE ao design universal (Etkina; Brookes; Planinsic, 2019, local. 7-1_4).

Diante do exposto, observa-se que o ciclo ISLE incorpora práticas semelhantes àquilo que os físicos praticam em contextos de investigação científica. Tais práticas tornam-se evidentes na medida em que o ISLE promove um ambiente que favorece a investigação, a experimentação e a colaboração. Ademais, esse ambiente oportuniza aos estudantes a possibilidade de aprimorarem continuamente suas produções, à semelhança do que ocorre em comunidades científicas, nas quais o processo de revisão constitui uma etapa natural e indispensável.

2.2 O ensino por investigação e o grau de liberdade intelectual

No ensino por investigação é importante observar o nível de autonomia que os estudantes devem ter ao realizar as atividades propostas. Isto é, até que ponto os estudantes podem levantar hipóteses, formular perguntas, escolher caminhos de investigação, interpretar resultados e refletir criticamente sobre suas descobertas.

No âmbito dessa discussão, Tamir (1991) *apud* Borges (2002) propõe categorizar as atividades investigativas em quatro níveis de investigação. No nível 0, caracterizado por atividades fechadas, ou seja, o professor fornece o problema, os procedimentos e aquilo que se deseja observar/verificar, ficando a cargo dos estudantes coletar dados e confirmar ou não as conclusões. No nível 1, o problema e os procedimentos são definidos pelo professor, através de um roteiro, por exemplo, e, ao estudante, cabe coletar os dados indicados e obter as conclusões. No nível 2, apenas a situação-problema é dada, ficando para o estudante decidir como e que dados coletar, fazer as medições requeridas e obter conclusões a partir deles. No nível 3, o nível mais aberto de investigação, o qual o estudante deve fazer tudo, desde a formulação do problema até chegar às conclusões. O Quadro 1 sintetiza os níveis de investigação propostos pelos autores.

Quadro 1 – Níveis de investigação

Nível de investigação	Problemas	Procedimentos	Conclusões
Nível 0	Dados	Dados	Dados
Nível 1	Dados	Dados	Em aberto
Nível 2	Dados	Em aberto	Em aberto
Nível 3	Em aberto	Em aberto	Em aberto

Fonte: Adaptado de Borges (2002)

Nota: O termo “dados” significa que o professor fornece ao aluno as informações; já o termo “em aberto” significa que a obtenção de informações fica por conta do aluno.

Inspirada nos trabalhos de Pella (1969) e o de Borges (2002), Carvalho (2018), faz uma releitura de seus trabalhos em Carvalho (2010) e propõe sistematizar em 5 graus de liberdade possíveis que o professor e/ou material didático oferece aos alunos. Os graus de liberdade de I a V envolvem a possibilidade de o professor (P) ou o aluno (A) realizarem as seguintes tarefas: proposição do problema; formulação de hipóteses; elaboração de plano de trabalho; obtenção de dados; conclusões. O Quadro 2 sintetiza a ideia proposta pela autora ao mesclar as propostas de Pella (1969) e Borges (2002).

Quadro 2 – Graus de liberdade de professor (P) e alunos (A) em atividades experimentais

	Graus de liberdade				
	Grau 1	Grau 2	Grau 3	Grau 4	Grau 5
Problema	P	P	P	P	A
Hipóteses	P	P/A	P/A	A	A
Plano de trabalho	P	P/A	A/P	A	A
Obtenção de dados	A	A	A	A	A
Conclusões	A	A/P/Classe	A/P/Classe	A/P/Classe	A/P/Classe

Fonte: Adaptado de Carvalho (2018, p. 768)

É importante destacar o que a autora apresenta sobre os graus de liberdade intelectual, pois é a partir deles que ela diferencia o ensino por investigação das práticas experimentais tradicionais, sendo este último denominado de ensino diretivo. O grau 1 e grau 2 de liberdade intelectual são denominados de ensino diretivo, ou seja, o professor é o centro do processo e o estudante tem um papel mais passivo. No grau 1, o professor apresenta o problema, as hipóteses e todos os procedimentos a serem seguidos, deixando aos alunos apenas a execução mecânica da atividade — as chamadas “receitas de cozinha”. Como as conclusões já são conhecidas, os alunos tendem a ajustar seus dados para chegar ao resultado esperado, o que limita sua liberdade intelectual e pode levá-los a desconfiar dos próprios dados. No grau 2 há maior abertura do professor. As hipóteses

e procedimentos são apresentados pelo professor, no entanto, são discutidos com os alunos, permitindo certa reflexão sobre o porquê das ações propostas. Ainda assim, é a resposta do professor que guia o processo.

Do grau 3 ao grau 5, Carvalho (2018) classifica-os em ensino por investigação, diferenciando-os pelas tarefas executadas pelo professor e/ou aluno. No grau 3 de intelectual, o professor apresenta o problema, mas as hipóteses são discutidas com os alunos, que também definem como realizar a experiência, sob supervisão. Diferentemente dos graus anteriores (1 e 2), aqui o aluno assume o papel ativo no raciocínio. Mesmo que um grupo erre, esse processo pode gerar mais aprendizagem, pois eles precisam rever e reconstruir seu próprio raciocínio para identificar onde houve erro. No grau 4 de liberdade intelectual, os alunos já têm maturidade para trabalhar de forma investigativa, tomando decisões em grupo para resolver problemas. O professor ainda exerce papel essencial: ele propõe o problema, orienta quando solicitado e discute as conclusões. E, por fim, o grau 5, em que todas as tarefas são propostas pelo aluno, ou seja, ele escolhe o problema a investigar e realiza por conta própria as demais etapas de: propor hipóteses, desenvolver o plano de trabalho, obter os dados e apresentar as conclusões. Neste caso, a autora afirma ser muito raro no ensino fundamental e médio.

As ideias propostas no ISLE por Etkina, Brookes e Planinsic (2019) aproximam-se em grande parte daquilo que expõe Carvalho (2018), uma vez que no ISLE o professor apresenta o problema e o plano de trabalho, que pode ser por meio de um experimento, e as demais tarefas são realizadas pelos alunos e o professor supervisiona todo o processo. Entendemos que a diferença do ISLE é que ele prevê o uso de dois graus de liberdade intelectual. O grau 3 de liberdade intelectual para a realização dos experimentos observacionais, àqueles o qual os grupos devem realizar de acordo o problema proposto pelo professor e são instigados a elaborar hipóteses/explicações sobre aquilo que observam. E o grau 5 de liberdade intelectual, onde os grupos devem pensar em algum experimento para testarem as hipóteses estabelecidas pelos grupos, ou seja, o problema, hipóteses, plano de trabalho e conclusões nesta etapa devem ser propostas pelos estudantes. No entanto, em concordância com Carvalho (2018), Etkina também reconhece que esse grau de liberdade intelectual nem sempre é alcançado, por isso ela sugere que o professor pode propor algum experimento para que as hipóteses estabelecidas pelos grupos possam ser testadas.

3 DIÁLOGO COM A LITERATURA

A abordagem ISLE têm sido utilizada há mais de trinta anos para ensinar física a alunos do ensino médio, estudantes universitários, bem como futuros professores (Etkina; Brookes; Planinsic, 2019) em vários países, no entanto, é uma abordagem metodológica pouco conhecida na realidade da comunidade de ensino de Física no Brasil (Lima et al., 2021). Esses longos anos de sua utilização tem resultados centenas de artigos publicados por Etkina e seus colaboradores, além de pesquisadores que ao conhecer essa abordagem se interessam em utilizá-las em salas de aulas e publicam os resultados de suas pesquisas.

Dentre os inúmeros trabalhos desenvolvidos, este diálogo como a literatura visa dar destaque aos resultados das pesquisas da abordagem ISLE aplicadas com estudantes da educação básica, mas também, considera alguns resultados no ensino universitário, analisando a eficácia pedagógica da proposta do ISLE, a motivação dos estudantes e o desenvolvimento de habilidades científicas. Sendo assim, diante das inúmeras pesquisas, delimitou-se os artigos publicados em periódicos nacionais, internacionais dos últimos sete anos.

Na pesquisa intitulada “Exploring active learning in physics with ISLE-based modules in high school”, tradução livre para o português “Explorando a aprendizagem ativa em física com módulos baseados em ISLE no ensino médio”, Tufino, Onorato e Oss (2023), pesquisadores da Universidade de Trento, Itália, realizam uma crítica ao uso de laboratórios tradicionais que muitas das vezes são vistos como interativos, pois há o envolvimento com vários equipamentos e trabalho em grupo, mas segundo estes autores os laboratórios, nas universidades e na educação básica italianas, são em sua maioria estilo de confirmação, caracterizados por instruções passo a passo e resultados pré-determinados. Tal situação assemelha-se à realidade da educação básica e universitária do Brasil.

Tufino, Onorato e Oss (2023), apresentam resultados para mudar essa realidade por meio da pesquisa de integração da metodologia ISLE e novas tecnologias digitais utilizando um laboratório digital, denominados pelos pesquisadores de “iOlabs”.

Ao avaliar a eficácia pedagógica da integração do ISLE com ferramentas digitais para coleta e análise de dados em experimentos de física, Tufino, Onorato e Oss (2023) afirmam que embora não tenha sido feita nenhuma comparação direta com os métodos de ensino tradicionais, o envolvimento e o feedback observados dos alunos sugerem um

impacto positivo nos resultados da aprendizagem, mesmo dentro das limitações da curta duração das intervenções. Além disso, os autores destacam na avaliação das habilidades dos alunos, por meio do uso de rubricas descritivas, que os resultados indicam uma tendência positiva, com a maioria dos alunos demonstrando bons níveis de competências técnicas, conhecimento conceitual e familiaridade com o processo ISLE sendo os níveis mais elevados em turmas próximo da terminalidade do ensino médio.

Buggé (2023) pesquisadora da Rutgers University, Nova Jersey, encontrou resultados semelhantes aos de Tufino, Onorato e Oss (2024) ao utilizar a abordagem ISLE na educação secundária (equivalente à educação básica no Brasil). Na pesquisa intitulada “Improving scientific abilities through lab report revision in a high school investigative science learning environment classroom”, tradução livre para o português “Melhorando as habilidades científicas por meio da revisão de relatórios de laboratório em uma sala de aula com ambiente de aprendizagem por investigação científica do ensino médio”, a pesquisadora mostra que a abordagem ISLE além de colaborar para o desenvolvimento das capacidades científicas dos alunos, a avaliação formativa, por meio das rubricas, ajuda a promover o crescimento dos alunos neste ambiente, uma vez que a oportunidade que os estudantes tem de revisar os trabalhos escritos proporciona aos alunos exposições adicionais que são necessárias para apoiar o desenvolvimento de suas habilidades científicas.

Na pesquisa intitulada de “A investigação da aprendizagem para a docência e para a pesquisa e a utilização da abordagem de ensino ISLE”, Morais (2021) apresenta os indícios de aprendizagem do professor no contexto da aplicação do produto educacional utilizando a abordagem ISLE, sendo as inferências sobre o aprendizado para a docência e para a pesquisa analisados por meio da ferramenta analítica Focos da Aprendizagem do Professor Pesquisador – FAPP.

Para o desenvolvimento de sua pesquisa, Morais (2021) desenvolveu um conjunto de atividades fundamentada na abordagem ISLE para investigação do tema Ácidos e Bases – Escala de pH, inserido na disciplina de Ciências da Natureza. Nestes estudos, foram selecionadas duas turmas de 9º ano do Ensino Fundamental – Anos Finais, pertencentes a uma escola pública, situada na cidade de Londrina, Paraná. Nos resultados, a autora considera que a elaboração e a aplicação do conjunto de atividades inspirado no ciclo ISLE foram importantes para as evidenciações do aprendizado para a docência e para a pesquisa, mostrando a contribuição do ISLE para exercício da docência e pesquisa.

No que se refere a aprendizagem dos alunos, Moraes (2021) destaca o engajamento dos estudantes na realização das atividades, no entanto, a autora relata a mudança repentina das aulas presenciais para aulas remotas, em razão da pandemia de COVID, sendo este um fator que ocasionou um número reduzido de estudantes que participaram e desenvolveram o conjunto de atividades propostas, e, conseqüentemente desfavoreceu a análise da aprendizagem de todos os estudantes. Mas, com os poucos alunos participantes, os resultados mostraram que os estudantes não estavam acostumados com a abordagem utilizada, mostrando o pouco envolvimento do público pertencente ao ensino fundamental com metodologias que abordam a investigação científica.

Encontramos ainda na literatura brasileira trabalhos de pesquisadores no sentido de divulgar a abordagem ISLE (Lima et al., 2021) e a adaptação de experimentos e roteiros experimentais que atendam essa abordagem (Oliveira et al., 2021; Tavares; Silva; Chesman, 2022).

No artigo intitulado “ISLE – investigative science learning environment: uma possível abordagem metodológica ativa para o ensino de física”, Lima et al. (2021), apresenta, em português, os fundamentos do ISLE, com objetivo de tornar mais conhecida esta abordagem metodológica ativa pouco conhecida pela comunidade de ensino de Ciências no Brasil. O professor e pesquisador Dr. João Paulo Camargo de Lima, um dos autores deste artigo, pôde conhecer a abordagem ISLE diretamente de Eugenia Etkina em razão de sua estada na *Rutgers University – The State University of New Jersey* em New Brunswick.

Oliveira et al. (2021) e Tavares, Silva e Chesman (2022), por meio de artigos publicados em periódicos nacionais, nos apresenta experimentos portáteis que foram produzidos a partir de pesquisas relacionadas com os estudos da metodologia para o ensino de física recorrendo à abordagem ISLE. Os autores enfatizam que o ensino por investigação, independente da abordagem utilizada, encontra desafios na sua implementação em razão de várias dificuldades, entre elas o fato dos roteiros dos equipamentos experimentais se limitarem a descreverem sequências de tarefas a serem observadas. Sendo assim é apresentado, o Experimento Portátil, que facilita a operação de experimentação pelo professor e aluno, tornando o aluno protagonista, pois permite que o próprio aluno controle toda a sua experimentação com roteiros adaptados a abordagem ISLE.

Encontramos também no ensino universitário a utilização do ISLE. Na pesquisa realizada por Parreira (2017), ela mostra os resultados da utilização desta abordagem na disciplina de Mecânica, nos cursos de engenharia da PUC-Minas. Os resultados de sua pesquisa mostra que 77% dos participantes da pesquisa avaliaram que este tipo de abordagem contribui melhor para sua aprendizagem. No entanto, do ponto de visto estatístico a autora relata que o ganho de aprendizagem obtido foi semelhante ao de cursos convencionais, com a vantagem da mudança atitudinal a qual Parreira (2017), presume que isso terá impacto positivos em futuras disciplinas cursadas pelos estudantes.

Com base nas pesquisas realizadas, vimos a implementação do ISLE em diferentes ambientes (ensino fundamental, ensino médio, ensino universitário). A nível internacional, Tufino, Onorato e Oss (2024) mostra o dinamismo do ISLE ao utilizar recursos de laboratório virtual (iOlab) para uso desta abordagem. Buggé (2023) enfatiza a importância das rubricas para promover o crescimento dos alunos neste ambiente devido as oportunidades que os estudantes têm de revisar os trabalhos escritos. No Brasil, Moraes (2021) reflete sobre o pouco envolvimento dos alunos do ensino fundamental com os métodos de investigação científica destacando a dificuldade com esse tipo de metodologia, consequentemente com a abordagem ISLE. Já no ensino universitário, Parreira (2017) destaca o grau de satisfação dos alunos pela abordagem utilizada e a mudança de atitude dos estudantes perante a realização das atividades propostas, embora sua pesquisa demonstrou haver ganho de aprendizagem semelhante ao de cursos convencionais.

Diante dos artigos analisados nos últimos sete anos não encontramos pesquisas sobre a abordagem ISLE realizado com públicos pertencentes ao ensino médio. Visto que seus fundamentos teóricos estão em acordo com os documentos normativos educacionais brasileiros assim como Lima et al. (2021), Oliveira et al. (2021) e Tavares, Silva e Chesman (2022), acreditamos que o ISLE possa contribuir para melhor qualidade do ensino de física, logo, entendemos que esta abordagem é a escolha adequada para ser utilizada numa sequência didática investigativa no ensino de eletromagnetismo.

4 A CONSTRUÇÃO TEÓRICA DO ELETROMAGNETISMO

Nesta seção, busca-se apresentar um relato histórico sobre a eletricidade e magnetismo, destacando a importância da experimentação, investigação e da colaboração científica para a construção de uma teoria que explicasse os fenômenos elétricos e magnéticos. Em seguida, será abordada a formulação matemática do eletromagnetismo clássico representados por meio das quatro equações de Maxwell e força de Lorentz.

4.1 Relato histórico da eletricidade e do magnetismo

Historiadores das ciências retratam que os fenômenos de eletricidade e magnetismo eram de conhecimento na antiguidade. Pires (2011, p. 266) afirma que os gregos, sec. VI a.C, tinham conhecimentos de vários fenômenos que hoje chamamos de “fenômenos elétricos”, entre eles a capacidade do âmbar de atrair pequenos objetos, folhas secas por exemplo, quando esfregado em lã. Conheciam também os magnetos naturais, no entanto, como os gregos não aceitavam a ideia de ação à distância, eles propuseram que haveria uma entidade interveniente e não observável para explicar os fenômenos “elétricos” e “magnéticos”. Clegg (2019) diz que estes fenômenos eram conhecidos como fenômenos naturais estranhos muito antes de haver qualquer ideia do que poderia estar acontecendo, cada um considerado totalmente separado do outro. Yoav Ben-Dov corrobora, ao afirmar que:

Certos fenômenos elétricos e magnéticos são conhecidos desde a Antiguidade. Os gregos conheciam a existência de uma pedra – que chamavam de magnês, a partir da Magnésia, a cidade da Ásia Menor de onde ela provinha – que possuía a propriedade de atrair os metais. Sabiam também que o âmbar (έλεκτρον em grego) friccionado com um tecido seco atrai corpos de pequeno tamanho, como um pedaço de algodão (Ben-Dov, 1996, p. 96).

Thomas Kuhn ao analisar a história da eletricidade enfatiza que no século XVII havia uma variedade de teorias sobre a eletricidade. Essas teorias estavam alinhadas com as filosofias mecânicas da época que tentavam entender a natureza em termos de uma visão mecânico-corpúscular. Vários experimentadores são citados como contribuintes dessas teorias, entre eles, Francis Hauksbee, Stephen Gray, John Theophilus Desaguliers, Charles Du Fay, Pieter Von Musschenbrook, Jean-Antoine Nollet, William Watson, Benjamin Franklin e outros (Kuhn, 1998, p. 33; Pires, 2011, p. 266). Um grupo de

cientistas, entre eles Benjamin Franklin, defendia a ideia de que a eletricidade não era criada por atrito, mas transferida de um objeto para outro sendo que a quantidade total de eletricidade permanecia constante. Logo, propunha uma teoria que considerava a carga elétrica (termo ainda não utilizado nessa época) como um fluido transferível (Clegg, 2019; Kuhn, 1998; Pires, 2011).

Sobre o magnetismo, no século XIII, o estudioso Peter de Maricourt escreveu uma carta detalhada sobre magnetismo, descrevendo polos magnéticos, atração, repulsão e alguns detalhes sobre a construção de bússolas. Seu trabalho prático foi superado no século XVII pelo livro “De Magnete” publicado por William Gilbert, que explorou como a Terra age como um ímã, usando ímãs esféricos para entender a inclinação da agulha da bússola (Clegg, 2019).

Diante desse cenário outros cientistas deram continuidade aos estudos sobre os fenômenos elétricos e magnéticos. No século XVIII, destaca-se alguns cientistas que publicaram seus trabalhos e inspiraram os demais a continuarem seus estudos, entre eles: John Michell; Joseph Priestley; Henry Cavendish e Daniel Bernoulli; Charles Augustin Coulomb; Luigi Galvani; Alessandro Volta e outros (Ben-Dov, 1996, p. 97; Pires, 2011, p. 267).

Nesse período, compreendido no século XVIII, a eletricidade e magnetismo se estruturavam como uma nova teoria a ser estudada e compreendida carente de compreensão teórica e matemática. Joseph Louis Lagrange, matemático italiano; Pierre-Simon Laplace, matemático, físico e astrônomo francês; Siméon Denis Poisson, matemático e físico francês são alguns que se destacaram na abordagem matemática desses fenômenos elétricos e magnéticos. Em 1824, Poisson já tinha uma teoria publicada de magnetostática, sendo generalizada e expandida em 1828 por George Green (Pires, 2011, p. 267).

Enquanto a matemática se fazia presente na quantificação dos fenômenos elétricos e magnéticos, uma nova descoberta surpreende a comunidade científica. Por volta de 1820, o dinamarquês Hans Christian Orsted, observou que a passagem de uma corrente elétrica por um fio condutor desviava uma agulha imantada situada nas proximidades (Chaib; Assis, 2007b; Pires, 2011, p. 270). Contudo, essa descoberta mostrava que ao contrário do que o modelo de força newtoniano sugeria, a agulha se orientava não paralelamente, mas perpendicularmente ao fio condutor (Ben-Dov, 1996, p. 99). Esses resultados experimentais estabeleceram a relação entre magnetismo e eletricidade.

Nos relatos de Oersted ele apenas apresentou os resultados experimentais e não determinou as leis quantitativas para o fenômeno, mas seu trabalho estimulou vários cientistas em busca de compreendê-los, entre eles os físicos franceses André Marie Ampere, Jean-Baptiste Biot e Félix Savart. Ampere, foi o primeiro a apresentar seus estudos quantitativos sobre o experimento de Oersted. Ele apresenta para a Academia de ciência de Paris diversos resultados experimentais de seus estudos nas reuniões de 18 e 25 de setembro, assim como em 2 e 9 de outubro de 1820 (Chaib; Assis, 2007a; Martins, 1986).

Os experimentos de Oersted e os estudos da comunidade científica da época despertaram o interesse para a aplicação prática da eletricidade e magnetismo. Thomas Alva Edison, Georg Simon Ohm, Gustav Kirchhoff e Karl Friedrich Gauss foram alguns físicos e matemáticos contemporâneos de Oersted que contribuíram para a aplicação prática da eletricidade em tecnologias. Edison financiou o desenvolvimento de muitos dispositivos importantes de grande interesse industrial envolvendo eletricidade (Paula, 2012, p. 275). Os estudos de Ohm foram importantes para a compreensão e aplicação de fenômenos relacionados a circuitos elétricos, formulando a lei que leva o seu nome (Ribeiro, 2014). Kirchhoff, estabeleceu as leis que permitiram calcular corrente, tensão e resistência em redes elétricas (leis de Kirchhoff) e estendeu a teoria do físico alemão Georg Simon Ohm, generalizando as equações que descreviam o fluxo da corrente elétrica para o caso de condutores elétricos em três dimensões (Ribeiro, 2015). Gauss escreveu sobre o magnetismo terrestre realizando medições da intensidade do campo magnético terrestre e estabeleceu a lei de Gauss para o magnetismo (Souza, 2024).

Neste período de muita produção científica e aplicação das recentes descobertas sobre eletricidade e magnetismo entra em cena o jovem Michael Faraday. Brian Clegg (2019) ao relatar aspectos da vida de Faraday, destaca que, aos quatorze anos, este passou a trabalhar em uma loja de encadernação pertencente a George Riebau. Aproveitando o tempo livre, Faraday dedicou-se ao estudo autodidata de física por meio da leitura dos livros que chegavam à oficina para encadernação. Ressalta-se que o acesso a essas obras, aliado à participação nas palestras promovidas por um grupo de autoaperfeiçoamento — a City Philosophical Society —, despertou nele o desejo de ingressar no então restrito universo da ciência. Posteriormente, Faraday teve a oportunidade de atuar como assistente de laboratório, em um posto temporário, junto ao principal cientista da Royal Institution, Humphry Davy. Essa experiência foi decisiva para abrir-lhe portas e

possibilitar que, mesmo sem formação acadêmica formal, prosseguisse com entusiasmo seus estudos no campo experimental. Este fato, de não possuir formação acadêmica, contribuiu para que nesta época pudesse avançar na discussão sobre o conceito de campo, que foi muito importante nesse período. Convém pontuar ainda que ele foi o responsável por denominar os fenômenos elétricos e magnéticos de eletromagnetismo, popularizando esse termo. Sobre o surgimento do eletromagnetismo, Brian Clegg diz que:

Estamos agora bem-posicionados para avançar na descoberta da eletricidade atual – eletricidade que flui de um lugar para outro – graças à pilha elétrica de 1799 do físico italiano Alessandro Volta (cuja coleção foi chamada de bateria), e à descoberta do dinamarquês Hans Christian Oersted, em 1820, de que correntes elétricas produzem um efeito magnético. Estes foram os precursores do notável trabalho sobre eletricidade e magnetismo que Michael Faraday faria. Faraday percebeu que os dois estavam fortemente interligados e popularizou o termo “eletromagnetismo”, concebido para o estudo combinado de Oersted (Clegg, 2019, p. 37, tradução nossa).

Michael Faraday, ainda jovem, em 1821 publicou um artigo sobre o movimento circular de um fio em torno de um ímã, princípio que formou base para o motor elétrico. Em 1831, estimulado pela evidência de que a eletricidade fluindo através de um fio poderia gerar uma corrente em outro fio não conectado, comunicando-se de alguma forma através do espaço, faz outra importante descoberta. Nessa época ele foi capaz de demonstrar a geração de eletricidade movendo um ímã permanente através de uma bobina, criando um gerador elétrico básico. Para essa demonstração ele construiu um par de bobinas de arame, enrolando cada pedaço longo e isolado de arame nas laterais retas de um aro de ferro alongado. Ele esperava ver um fluxo constante de eletricidade na segunda bobina, de alguma forma vazando através dela através do aro de metal, quando ele ligou o primeiro. Em vez disso, houve apenas um curto fluxo de corrente na segunda bobina quando a primeira bobina foi ligada ou desligada, o que logo desapareceu (Clegg, 2019).

Embora fosse um brilhante físico experimental, Michael Faraday tinha sua habilidade matemática limitada, ele foi incapaz de fornecer equações para descrever o efeito. Sua explicação se baseava nas “linhas de força” pois sabia-se que limalhas de ferro espalhadas sobre uma folha de papel e colocadas acima de um ímã, os minúsculos pedaços de metal se juntavam em linhas curvas que forneciam um mapa do poder invisível do ímã. Embora as linhas de força de Faraday foram de certa forma visionárias, ele teve receio de revelar todas as suas implicações, sendo compartilhada apenas em 1846 em uma palestra

dando sua primeira visão da natureza inseparável da luz, da eletricidade e do magnetismo (Clegg, 2019).

Ciente das produções científicas da época, um jovem matemático, James Clerk Maxwell se interessa pelos trabalhos de Michael Faraday. Certo de que as ideias Michael Faraday eram sólidas, Maxwell procurou uma maneira de fornecer uma base matemática a fim de transformar os resultados experimentais numa estrutura matemática que permitisse compreendê-lo e utilizá-lo de maneira prática. Em 1856, em seu artigo “On Faraday's Lines of Force” (Sobre as linhas de forças) Maxwell começa a matematização da visão de Faraday (Clegg, 2019).

Maxwell não parou por aí. Conforme aponta Clegg (2019) seu modelo anterior que tratava a eletricidade e o magnetismo como fluidos só era viável para campos que não se moviam, agora era preciso lidar com geradores e motores elétricos, coisas comuns, decorrente do trabalho de Faraday, Maxwell teve que lidar com o movimento. No artigo publicado em 1861 “On Physical Lines of Force” (Sobre linhas de força físicas), Maxwell apresenta um modelo mecânico para os fenômenos eletromagnéticos baseado na ideia de uma substância (que podia ser parte de matéria ordinária ou éter), pressão e vórtices. Nas palavras de Pires:

Maxwell mostrou como as forças agindo entre magnetos e correntes podiam ser explicadas mecanicamente, fazendo a suposição de que a cada ponto do meio as pressões eram diferentes em direções diferentes (o meio difere portanto de um fluido ordinário). A direção da pressão mínima ocorre ao longo das linhas de força, e a diferença entre a maior e a menor pressão é proporcional ao quadrado da intensidade da força naquele ponto. Usando esse modelo, ele chegou à equação (relacionado a densidade de corrente com o rotacional de B) que ele havia deduzido no artigo anterior a partir da lei de Ampere. Mostrou, também, que a velocidade de um ponto na circunferência de cada vórtice deveria ser proporcional à intensidade magnética, e que a densidade (da substância) dos vórtices era proporcional do meio para a indução magnética (Pires, 2011, p. 280).

Brian Clegg diz que, embora Maxwell tivesse considerado “*On Physical Lines of Force*” completo com as duas primeiras partes, ele decidiu estendê-lo para adicionar uma terceira seção em 1862, que incluía a corrente de deslocamento e as ondas eletromagnéticas. Brian Clegg ainda reforça que, Faraday estava preparado para dar um passo além de Maxwell, pois enquanto Maxwell acreditava que seu modelo de células e esferas representava o éter, Faraday acreditava que os campos de eletricidade e magnetismo se estendiam pelo espaço vazio sem a necessidade de um éter. Mas, de

qualquer forma, ambos perceberam que a luz era uma vibração nesses campos, Faraday no conceito visionário e Maxwell com o apoio matemático do seu modelo mecânico.

Finalmente em dezembro de 1864, Maxwell apresentou à Royal Society seu novo e inovador modelo matemático do eletromagnetismo, “A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field” composto de mais de vinte equações que explicava os fenômenos eletromagnéticos (Pires, 2011, p. 285).

A teoria de Maxwell, embora inovadora, foi recebida com perplexidade pelo público da Royal Society devido à sua natureza matemática complexa, uma mudança significativa em relação à abordagem anteriormente mais filosófica da física. Mesmo os principais físicos da época, como William Thomson, achavam difícil compreendê-la. Michael Faraday expressou em uma carta a Maxwell a necessidade de traduzir ideias matemáticas complexas para uma linguagem mais acessível, antecipando o crescente interesse pela divulgação científica (Clegg, 2019).

Pires (2011) registra que com a morte de Maxwell, em 1879, a sua teoria não era compreendida nem sequer aceita amplamente. Coube sobretudo a três cientistas ingleses e um alemão (George Francis FitzGerald, Oliver Heaviside, Oliver Lodge, Heinrich Hertz), denominados por J. Hunt de “seguidores de Maxwell” ou “os maxwellianos”, a tarefa de desenvolver e estabelecer o que hoje conhecemos como a teoria de Maxwell, representada por suas quatro equações do campo eletromagnético (Hunt, 2015).

Conforme destaca Hunt (2015), os trabalhos de Lodge e FitzGerald sobre reflexão, refração e efeito Kerr fortaleceu a teoria eletromagnética da luz de Maxwell. Enquanto FitzGerald e Lodge eram professores de física, Oliver Heaviside, que se juntaria a eles era um técnico telegrafista que aplicava a física em seu trabalho. Hunt, enaltece a importância de Heaviside ao dizer que com o tempo ele emergiu como o mais sagaz e influente estudante da teoria de Maxwell, sendo ele que de fato moldou na forma do que agora é universalmente conhecido como as “equações de Maxwell” sendo guiado por questões provenientes da telegrafia, particularmente aquelas que envolviam a propagação eletromagnética (Hunt, 2015, p. 76). Quanto a Heinrich Hertz, um de seus maiores feitos foi produzir as primeiras ondas de rádio confirmando a previsão matemática de Maxwell.

Os relatos históricos nos mostram que a teoria eletromagnética foi um trabalho de inúmeros pesquisadores que se dedicaram aos aprofundamentos dos estudos dos fenômenos elétricos e magnéticos por volta de início do século XVIII até o final do século XIX estimulados por uma sucessão de descobertas experimentais. É interessante notar o

que os resultados experimentais de Oersted, em 1820, promoveu na comunidade científica da época. Em 1846 ainda não havia uma teoria matemática unificada para explicar os fenômenos eletromagnéticos, mas a busca da comunidade científica estava incessante a fim de que se pudesse explicar os fenômenos do eletromagnetismo. Esta tentativa proporcionou o surgimento de várias leis quantitativas, além de inúmeras aplicações e desenvolvimento tecnológico. Todo esse processo nos mostram a construção do eletromagnetismo por meio da investigação, experimentação e da colaboração dos pesquisadores envolvidos.

4.2 As equações de Maxwell do eletromagnetismo

Conforme relato histórico, as equações de Maxwell, embora de difícil compreensão matemática na época de sua publicação, foi capaz de explicar os fenômenos eletromagnéticos conhecidos até então por meio de um conjunto vinte equações que relacionavam os campos elétricos e magnéticos. No entanto, com empenho da comunidade científica, destaque para os pesquisadores G.F FitzGerald, Oliver Heaviside, Oliver Lodge, Heinrich Hertz, a teoria de Maxwell passou a ser mais conhecida, aceita pela comunidade científica e simplificada matematicamente. Estas equações são, atualmente, conhecidas como "Equações de Maxwell" e podem ser escritas de duas maneiras: na forma integral ou diferencial. O Quadro 3 nos mostra a escrita usual dessas equações.

Quadro 3 – Equações de Maxwell

Nome	Forma integral	Forma diferencial
Lei de Gauss (eletrostática)	$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q_{env}}{\epsilon_0}$	$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{1}{\epsilon_0} \rho$
Lei de Gauss (magnetostática)	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$	$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$
Lei de Faraday	$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\phi_B}{dt}$	$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$
Lei de Ampère- Maxwell	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt} + \mu_0 i_{enc}$	$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$

Fonte: Adaptado de Halliday, Resnick e Walker (2016) e Machado (2002)

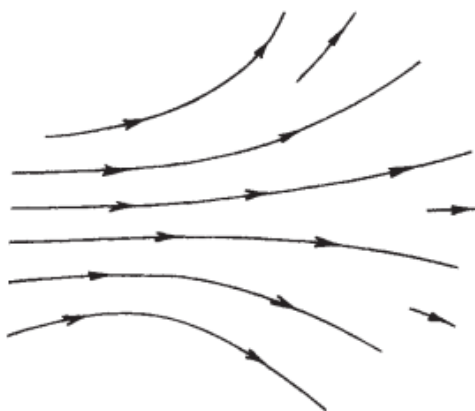
Tendo em vista a relação das equações de Maxwell com campos elétricos e magnéticos é necessário compreendermos o conceito de campo adotado por ele em seguida uma versão de campo com a linguagem científica atualizada. Pires (2011, p. 285) afirma que em termos de conceito físico, ao propor sua teoria, Maxwell definiu o campo eletromagnético como aquela parte do espaço que contém e envolve corpos em condições elétricas e magnéticas, podendo esse campo eletromagnético estar preenchido por qualquer tipo matéria ordinária (qualquer substância) ou uma substância etérea que preenche todo o espaço e permeia todos os corpos, e esse campo é capaz de ser colocado em movimento e transmitir esse movimento de uma parte para outra. Importante ressaltar que essa visão, da existência do éter, era coerente com a física da época, mas no final do sec. XIX e início do sec. XX, quando comprovou-se que campos elétricos e magnéticos não precisam de um meio para se propagar, a existência do éter foi descartada.

Em linguagem atualizada, compreende-se o campo elétrico com uma propriedade inseparável de uma carga elétrica fonte, sendo que, uma de suas propriedades é de intermediar a interação entre duas cargas elétricas exercendo uma força na região de influência do campo (Halliday; Resnick; Walker, 2016; Hewitt, 2015). Já o campo magnético está relacionado com a carga elétrica e seu movimento. Significa dizer que as distorções do campo elétrico, causadas pelo movimento de carga, produz um campo magnético (Hewitt, 2015, p. 456).

Em termos matemáticos, podemos generalizar um “campo”, segundo Feynman, Leighton e Sands (2008), como qualquer quantidade física que pode assumir diferentes valores para diferentes pontos do espaço. Dessa maneira os vetores ($\vec{E}$) ou ($\vec{B}$), que são vistos como funções vetoriais de x , y , z e t , são denominados de campo uma vez que podem ser especificados em cada ponto do espaço. Em termos gráficos, os vetores podem ser desenhados em diferentes pontos do espaço, indicando a direção, o sentido e a intensidade do campo utilizando linhas de campo, tangentes aos vetores em cada ponto, que mostram a direção do campo. Nesta representação, a intensidade do campo é sugerida pela densidade das linhas: mais próximas para campos fortes e mais afastadas para campos fracos. Essa convenção, ainda que aproximada, ajuda a traduzir graficamente a relação entre a densidade das linhas e a intensidade do campo (Feynman; Leighton; Sands, 2008).

A Figura 3 nos ajuda a compreender de maneira genérica a representação das linhas de campo.

Figura 3 – Representação de um campo vetorial por meio das linhas de campo



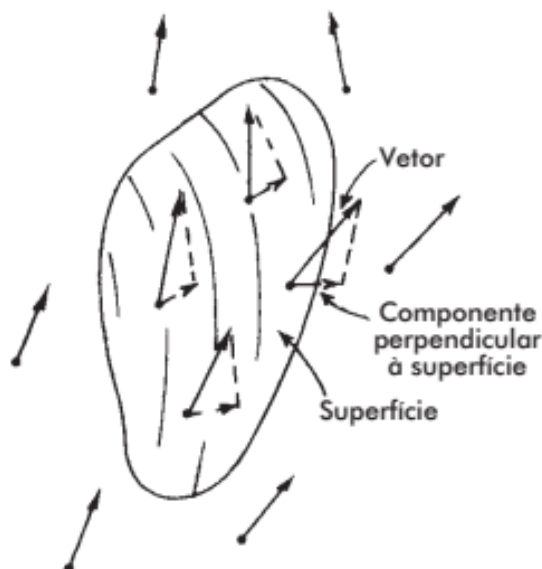
Fonte: Feynman, Leighton e Sands (2008)

Feynman, Leighton e Sands (2008) nos fazem refletir sobre duas propriedades matematicamente importantes destes campos vetoriais. A primeira diz respeito a ideia de fluxo em campos vetoriais. Ele explica que o fluxo representa a quantidade de um campo "escoando" através de uma superfície, calculado como a componente normal média do vetor vezes a área da superfície. Traduzindo em linguagem matemática, temos a equação (1).

$$\text{Fluxo} = (\text{componente normal média}) \times (\text{área da superfície}) \quad (1)$$

Ressalta-se que no caso de um campo elétrico, o fluxo é uma analogia matemática, já que o campo não corresponde a um movimento físico e essa definição se aplica tanto a superfícies fechadas quanto abertas, com o fluxo elétrico sendo útil para descrever o comportamento do campo em diferentes contextos. As representações gráficas (como linhas ou setas) ajudam a visualizar a magnitude e direção desses campos conforme vemos na Figura 4.

Figura 4 – Fluxo de um campo vetorial através de uma superfície



Fonte: Feynman, Leighton e Sands (2008)

A segunda propriedade destacada por Feynman, Leighton e Sands (2008) é o conceito de circulação em campos vetoriais. A circulação em campos vetoriais descreve a presença de movimento rotacional ao redor de um circuito fechado. Usando o exemplo de um fluido generalizam que para qualquer campo vetorial, independentemente de haver movimento físico, a circulação ao redor de uma curva fechada é calculada como a média da componente tangencial do vetor ao longo da curva multiplicada pelo comprimento da curva (Feynman; Leighton; Sands, 2008, local 1-6). Matematicamente, esta ideia pode ser expressa por:

$$\text{Circulação} = (\text{componente tangencial média}) \times (\text{distância percorrida}) \quad (2)$$

Diante destas duas ideias – fluxo e circulação – faremos a seguir a interpretação matemática das leis de Maxwell para o eletromagnetismo.

4.2.1 A lei de Gauss (eletrostática)

A lei de Gauss para eletrostática é considerada uma forma alternativa para a lei de Coulomb uma vez que esta é a lei experimental, proposta por Charles August de Coulomb, por trás da lei de Gauss. Logo, é pertinente analisarmos a lei de Coulomb.

Proposta em 1785, a lei de Coulomb, permite calcular a força entre duas cargas pontuais Q e q que estão em repouso a uma distância r uma da outra (Griffiths, 2011, p.43; Nussenzweig, 2015, p. 6). Matematicamente, em termos de vetores e considerando que estas cargas estejam no vácuo, podemos escrever:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qQ}{r^2} \hat{r} \quad (3)$$

A constante ϵ_0 é chamada de permissividade do espaço livre. Em unidades no SI, com força em newtons (N), distância em metros (m) e carga em coulombs (C),

$$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{N.m^2} \quad (4)$$

Partindo da ideia de campo vetorial, neste caso elétrico, a lei de Gauss estabelece a relação entre a carga elétrica contida em uma superfície imaginária fechada, chamada de superfície gaussiana, e o fluxo elétrico que atravessa esta superfície. Nas palavras de Feynman, Leighton e Sands (2008), a lei de Gauss para eletricidade descreve o fluxo do campo eletromagnético. Esta lei nos mostra que a integral (o fluxo de campo elétrico através da superfície, onde o vetor $d\vec{s}$ representa um elemento orientado de área) é proporcional à carga elétrica q_{env} envolvida pela superfície (Halliday; Resnick; Walker, 2016, p. 344). Em linguagem matemática temos que:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q_{env}}{\epsilon_0} \quad (5)$$

Importante ressaltar que o círculo no sinal de integral indica que a integração do produto escalar, deve ser realizada para uma superfície fechada. Por fim, temos que a análise da equação da lei de Gauss nos mostra que é possível detectar a presença de carga dentro de uma superfície fechada considerando o fluxo do campo através desta superfície (Nussenzweig, 2015, p. 27). Em síntese, a lei de Gauss nos mostra que é possível associar a intensidade do campo elétrico com a quantidade de carga elétrica e, também, se soubermos, as características do campo elétrico nas proximidades da carga é possível determinarmos a carga elétrica.

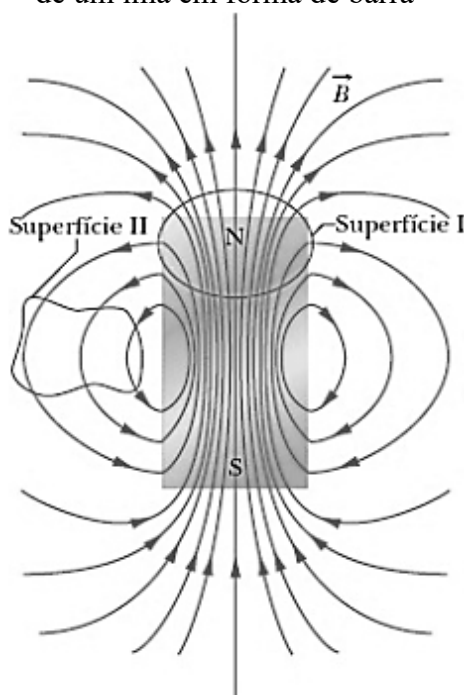
4.2.2 A lei de Gauss (magnetostática)

Segundo Halliday, Resnick e Walker (2016, p. 344), a lei de Gauss para campos magnéticos é um modo formal de afirmar que os monopolos magnéticos não existem. De acordo com essa lei, o fluxo magnético Φ_B através de qualquer superfície gaussiana é zero:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0 \quad (6)$$

O fluxo magnético através da superfície ser sempre zero é justificado pelo fato de a superfície não poder envolver uma “carga magnética” (monopolo magnético), já que essa entidade não existe, sendo assim, a estrutura magnética mais simples que pode existir é o dipolo magnético (Halliday; Resnick; Walker, 2016, p. 344). Na Figura 5 visualizamos que as linhas de campo magnético são sempre curvas fechadas e, além disso, nos mostra duas superfícies gaussianas I e II. Ao considerarmos o fluxo magnético nestas superfícies gaussianas, dado pela equação (2), concluímos serem zero. Essa conclusão é possível pois as linhas de campo magnético que penetra na superfície gaussiana I e II serem as mesmas que saem destas superfícies.

Figura 5 – Linhas de campo magnético de um ímã em forma de barra



Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2016, p. 344)

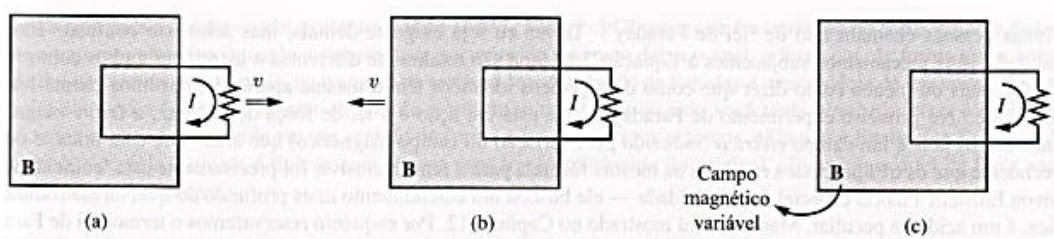
4.2.3 A lei de Faraday

A lei de indução de Faraday afirma que toda variação de fluxo magnético no tempo induz um campo elétrico, que pode ser calculado usando a lei de indução de Faraday:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\phi_B}{dt} \quad (7)$$

Para explicar, a lei da indução de Faraday, Griffiths (2011, p. 208) nos relata três experimentos realizados por Michael Faraday em 1831 que são representados pela Figura 6.

Figura 6 – Experimento de Michael Faraday de indução eletromagnética



Fonte: Griffiths (2011, p. 209)

Experimento 1: Neste experimento, Faraday puxou uma espira de fio para a direita através de um campo magnético, conforme Figura 6 (a), onde percebeu que por ela passara uma corrente elétrica.

Experimento 2: Neste experimento, Faraday moveu o ímã para a esquerda, mantendo a espira parada, conforme Figura 6 (b). Novamente, uma corrente passou pela espira.

Experimento 3: Finalmente com ambos, a espira e o ímã em repouso, conforme Figura 6 (c), ele mudou a intensidade do campo (Faraday usou um eletromagneto e variou a corrente na bobina). Novamente, uma corrente passou por ela.

A conclusão de Michael Faraday para tais acontecimentos é de que um campo magnético que varia induz um campo elétrico dado pela equação (7), o qual $\vec{E}$ é o campo elétrico induzido em uma curva fechada pela variação do fluxo magnético ϕ_B envolvido pela curva.

Importante ressaltar que a indução pode acontecer no sentido oposto, ou seja, um fluxo elétrico variável pode induzir um campo magnético (Halliday; Resnick; Walker, 2016, p. 345). A equação que governa a indução de um campo magnético é quase

simétrica da equação (7). Essa equação, que recebe o nome de “Lei de indução de Maxwell”, em homenagem ao cientista inglês James Clerk Maxwell, pode ser escrita na forma:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\varphi_E}{dt} \quad (8)$$

Na equação (8), $\vec{B}$ é o campo magnético induzido ao longo de uma curva fechada pela variação do fluxo elétrico φ_E na região envolvida pela curva.

Cabe ainda ressaltar, a importância das descobertas de Faraday no estudo de campos elétricos e magnéticos. As descobertas dele nos dizem que existem dois tipos de distintos de campos elétricos: os que são atribuídos diretamente às cargas elétricas e os que estão associados a mudanças nos campos magnéticos (Griffiths, 2011, p. 211-212).

4.2.4 A lei de Ampère e lei de Ampère-Maxwell

Para compreendermos a lei de Ampère-Maxwell é importante analisarmos primeiramente o que diz a lei de Ampère para assim entendermos os ajustes realizados por Maxwell na lei de Ampère denominada atualmente de Lei de Ampère-Maxwell.

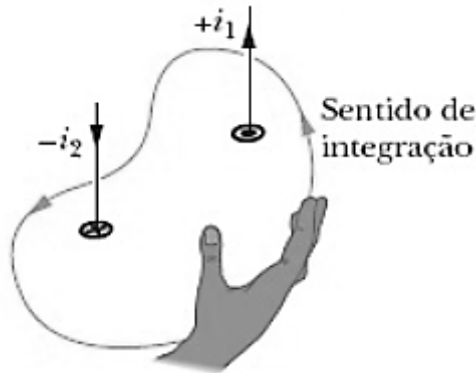
Por meio da lei de Gauss, utilizando a simetria adequada sabemos que é possível obter o campo elétrico total associado a qualquer distribuição de cargas, ou seja, uma superfície fechada. De maneira similar, por meio da lei de Ampère, é possível obter o campo magnético total associado a qualquer distribuição de correntes somando os campos elementares $d\vec{B}$ produzidos por todos os elementos de corrente $id\vec{l}$ da distribuição (Halliday; Resnick; Walker, 2016, p. 241). Para tal fim, utilizamos a lei de Ampere, dada por:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i_{enc} \quad (9)$$

Na equação (9) o círculo no sinal de integral indica que a integração do produto escalar, deve ser realizada para uma curva fechada, conhecida como amperiana e a corrente i_{enc} é a corrente total encerrada pelo circuito amperiano (Griffiths, 2011, p. 156-157). O sentido em volta do circuito a ser a seguido é dado pela regra da mão direita: os

dedos da mão direita indicam o sentido de integração em volta do contorno e o polegar define o sentido positivo da corrente elétrica, conforme representado na Figura 7.

Figura 7 – Regra da mão direita



Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2016, p. 242)

Maxwell verificou que a lei de Ampère demonstrava-se verdadeira para correntes estacionárias, no entanto, apresentava uma falha teórica que Maxwell a corrigiu (Griffiths, 2011, p.224) para correntes não-estacionárias. Dessa maneira podemos reescrever a equação (9) acrescido com fator de correção de Maxwell, equação (8), da seguinte maneira:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt} + \mu_0 i_{enc} \quad (10)$$

É interessante observar que o fator de correção implica na simetria: como um campo magnético variável induz um campo elétrico (Lei de indução de Faraday), então, um campo elétrico variável induz um campo magnético (Lei de indução de Maxwell). Observa-se ainda que o fator de correção não altera no que se refere à magnetostática, ou seja, quando a corrente é estacionária (Griffiths, 2011, p. 224). Quando existe uma corrente e o fluxo elétrico não está variando (como no caso de um fio percorrido por uma corrente constante), a “Lei de Ampère-Maxwell”, equação (10), se reduz a “Lei de Ampère”, equação (9); quando o fluxo elétrico está variando e a corrente é zero (como na região entre as placas de um capacitor que está sendo carregado), “Lei de Ampère-Maxwell”, equação (10) se reduz a “A lei de indução de Maxwell”, equação (8).

4.3 Força de Lorentz

Segundo Machado (2002, p. 241), uma carga elétrica em movimento que está numa região em que existe um campo magnético $\vec{B}$, fica sujeita à ação de uma força magnética produzida pelo campo externo. Os resultados experimentais, mostram que a força magnética $\vec{F}_B$ pode ser determinada por:

$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B} \quad (11)$$

Ressalta-se que na equação (11), $\vec{F}_B$ representa a força magnética que age sobre uma carga elétrica q e $\vec{v}$ a velocidade que essa carga se move neste campo magnético $\vec{B}$. Em termos vetoriais é interessante notabilizar que a força $\vec{F}_B$ é sempre perpendicular a $\vec{v}$ e $\vec{B}$. Em termos do módulo da força magnética, observamos que ela será zero quando o produto vetorial $\vec{v} \times \vec{B}$ for zero, isto é, quando $\vec{v}$ e $\vec{B}$ forem paralelos, e será máxima quando $\vec{v}$ e $\vec{B}$ forem perpendiculares. Outra situação explícita pela equação (11) é de que a força magnética pode ser zero se a carga (partícula) estiver em repouso ou se o valor da carga for zero.

No entanto, sabemos que quando uma carga está imersa num campo elétrico $\vec{E}$, a força elétrica que age sobre ela, segundo, Machado (2002, p. 276) é dada pela expressão:

$$\vec{F}_E = q \cdot \vec{E} \quad (12)$$

Logo, a força total que uma partícula contendo uma carga q pode sofrer diretamente pelo fato de possuir uma carga elétrica é dada pela soma da força elétrica com a magnética. Dessa forma, temos a força eletromagnética ou força de Lorentz:

$$\vec{F} = q \cdot (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad (13)$$

Temos assim a base do eletromagnetismo clássico representados pelas equações de Maxwell e força de Lorentz.

5 METODOLOGIA E RELATO DE APLICAÇÃO

Esta seção descreve como a pesquisa foi realizada, esclarecendo a abordagem metodológica escolhida, os participantes da pesquisa, o ambiente, a organização da classe, descrição do desenvolvimento do produto educacional e o relato de sua implementação em sala de aula.

5.1 Metodologia da pesquisa

A pesquisa em educação em ciências visa a produção de conhecimentos resultante da busca de respostas a perguntas sobre ensino, aprendizagem, currículo e contexto educativo em ciências tendo estas pesquisas em ensino utilizado predominantemente, dois enfoques: o qualitativo e o quantitativo (Moreira; Rosa, 2016). No entanto, ao se pensar na pesquisa em educação, a abordagem qualitativa tem sido mais utilizada devido à sua natureza e características específicas. Isso acontece porque ao analisar o processo educativo, o pesquisador se vale do ambiente natural como fonte de dados, sendo ele próprio um instrumento chave na pesquisa participando ativamente do processo como um todo, de forma a analisar os dados e buscar o significado que os sujeitos dão para suas vivências (Rodrigues; Oliveira; Santos, 2021). Nas palavras de Moreira e Rosa sobre uma pesquisa qualitativa, temos que:

[...] uma interpretação dos significados atribuídos pelos sujeitos a suas ações em uma realidade socialmente construída, através de observação participativa, isto é, o pesquisador fica imerso no fenômeno de interesse. Os dados obtidos por meio dessa participação ativa são de natureza qualitativa e analisados correspondentemente. As hipóteses são geradas durante o processo investigativo. O pesquisador busca universais concretos alcançados através do estudo profundo de casos particulares e da comparação desse caso com outros estudados também com grande profundidade. Através de uma narrativa detalhada, o pesquisador busca credibilidade para seus modelos interpretativos (Moreira; Rosa, 2016, p. 6-7).

Assim, como este trabalho tem foco principal na investigação da aprendizagem dos estudantes, durante e após a aplicação de uma sequência didática proposta, através da interação do professor com os sujeitos da pesquisa, será utilizado o enfoque qualitativo.

5.2 Os participantes, o ambiente e a organização da classe

O público-alvo foram 31 alunos do 2º ano do Ensino Médio, do turno matutino, do Colégio Estadual da Polícia Militar, situado na cidade de Aparecida de Goiânia – GO. Nesta escola, o turno matutino, funciona das 7h00 às 12h15min, e os estudantes participaram de seis aulas de 50 minutos. Cabe ressaltar que, há um intervalo de 15 minutos para os alunos lancharem, das 09h30min às 09h45min.

A escolha da turma, de 2º ano do ensino médio, para a aplicação do produto educacional fundamentou-se no fato de os estudantes ainda não terem sido introduzidos aos conteúdos de eletricidade e magnetismo no ensino médio. Considerando-se que a proposta se estrutura como uma sequência didática de caráter investigativo, entendeu-se ser metodologicamente mais apropriado selecionar uma turma sem contato prévio com os conceitos formais de eletromagnetismo.

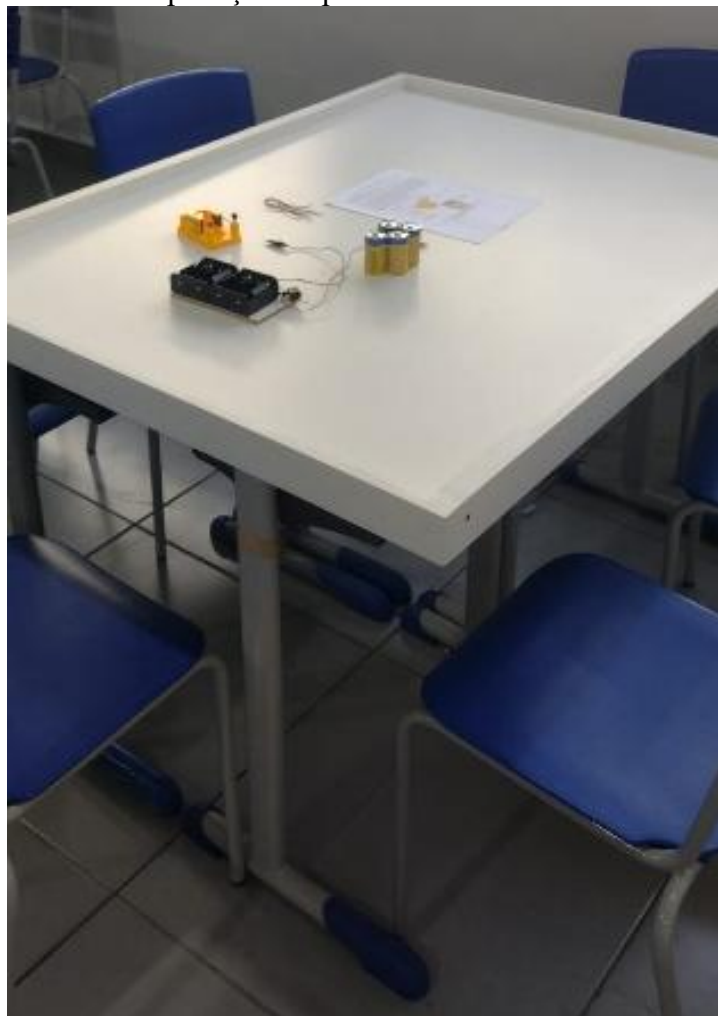
Além disso, sabemos que o eletromagnetismo está presente em tecnologias e fenômenos que fazem parte do cotidiano dos alunos — como o funcionamento de motores, ímãs, alto-falantes, cartões magnéticos, redes elétricas e comunicações — e, por isso, oferece um campo fértil para investigações autênticas. A abordagem ISLE potencializa essa oportunidade ao propor que os estudantes construam seu entendimento a partir da observação de fenômenos reais, formulação de hipóteses e testagem sistemática de suas ideias. Portanto, foi apropriado escolher estudantes que nunca tiveram contato prévio com esse conteúdo para analisar se por meio de práticas investigativas eles conseguiriam associar suas descobertas com aplicações práticas no cotidiano.

Entendemos que a abordagem ISLE potencializa essa oportunidade ao propor que os estudantes construam seu entendimento a partir da observação de fenômenos reais, formulação de hipóteses e testagem sistemática de suas ideias.

No período da aplicação do produto educacional o laboratório de física estava passando por reformas de maneira que não pode ser utilizado. Por outro lado, a instituição, dispunha de uma sala temática onde aconteciam as aulas de robótica sendo este o ambiente utilizado para aplicação do produto educacional. Nos dias da aplicação, os alunos foram direcionados para este ambiente.

A organização da classe foi estruturada da maneira como os autores sugerem, em formato de estúdio. Não foram necessárias grandes alterações no layout da sala uma vez que a sala de aula utilizada para ensino de robótica atendia as sugestões dos autores, conforme nos mostra a Figura 8.

Figura 8 – Layout da sala de aula para aplicação do produto educacional



Fonte: produzido pelo autor (2024)

Nota: A figura nos mostra que é possível comportar seis estudantes à mesa. Na mesa há espaço para realização dos experimentos sugeridos permitindo a visualização por todos os membros dos grupos.

Para trabalhar com o quantitativo de experimentos disponíveis, foi necessário formar os grupos com cinco a seis estudantes, sendo este número superior ao quantitativo sugeridos pelos autores do ISLE. Neste quesito, os autores sugerem grupos menores com três a quatro pessoas.

5.3 Descrição do produto educacional e sua aplicação

O Produto Educacional que propomos neste trabalho tem por finalidade proporcionar um guia didático-instrucional para implementação de uma proposta

investigativa como estratégia de aprendizagem para ensinar eletromagnetismo. Diante de várias abordagens encontradas na literatura do ensino investigativo, o produto educacional baseia-se na abordagem “Investigative Science Learning Environment (ISLE)”, no qual os alunos aprendem fazendo, discutindo e descobrindo juntos, enfatizando o papel ativo dos estudantes no processo de ensino aprendizagem.

A fim de fornecer o subsídio necessário no planejamento e na elaboração de uma sequência didática investigativa, o produto educacional, Apêndice B, apresenta a abordagem de ensino ISLE. Uma seção é destinada a explicar como aplicar o ISLE na sala de aula, orientando o professor nas distintas etapas (ciclos) que devem ser consideradas para aplicação dessa abordagem de ensino. Em seguida, a fim de trazer mais clareza da utilização do produto educacional, desenvolvemos uma sequência didática desta abordagem no ensino de eletromagnetismo. O Quadro 4 sintetiza esta proposta.

Quadro 4 – Proposta de uma sequência didática para o ensino de eletromagnetismo

Aulas	Atividade
Aula 01	Apresentação da abordagem ISLE Experimento de interação magnética entre ímãs
Aula 02	Experimento de interação magnética entre ímã e bússola
Aula 03	Experimentos testes; Discussão sobre os resultados experimentais e aula teórica do professor
Aula 04	Experimento de interação entre corrente elétrica e campo magnético.
Aula 05	Experimentos testes
Aula 06	Discussão sobre os resultados experimentais e aula teórica do professor
Aula 07	Experimento de Força magnética em um fio portando corrente elétrica
Aula 08	Experimentos testes
Aula 09	Discussão sobre os resultados experimentais e aula teórica do professor
Aula 10	Experimentos de Indução Eletromagnética utilizando um pêndulo indutor
Aula 11	Experimentos testes
Aula 12	Discussão sobre os resultados experimentais e aula teórica do professor

Fonte: Produzido pelo autor (2024)

Para implementação desta proposta, focado na temática do eletromagnetismo, o professor terá à disposição quatro planos de aulas prevendo toda a etapa do processo de ensino descrita passo a passo a fim de direcionar a aplicação do ISLE facilitando dessa forma o trabalho docente. Em seguida, o produto educacional, contempla quatro roteiros experimentais (experimentos observacionais) que serão entregues aos grupos para que eles realizem os experimentos, sendo que, os roteiros foram pensados de forma que os estudantes consigam realizar os experimentos por conta própria. Cabe ressaltar que os

roteiros experimentais foram elaborados estudando os materiais disponíveis pelos autores do ISLE e sendo complementados com pesquisas em livros e artigos científicos.

Além dos recursos didáticos mencionados, há também a "Folha de Experimento Teste", que deverá ser utilizada pelos grupos para elaborar experimentos e testar suas hipóteses. Caso os grupos não consigam apresentar nenhuma proposta de experimento, foi desenvolvido um conjunto de cinco sugestões de experimentos testes que o professor poderá fornecer. Se necessário, os grupos poderão utilizar estas sugestões para testarem suas hipóteses.

Importante enfatizar que a proposta da sequência didática prevê 12 aulas para sua execução, no entanto, o quantitativo de aulas pode ser adaptado a fim de que seja contemplado a exigência curricular da rede de ensino que se deseja utilizar a abordagem ISLE.

5.3.1 Aplicação do produto educacional

A aplicação do Produto Educacional aconteceu nos dias 18/04/2024 e 19/04/2024. No dia 18/04/2024 foram realizados os experimentos observacionais 1 e 2 utilizando um quantitativo de seis aulas de 50 minutos. No dia 19/04/2024, foram realizados os experimentos observacionais 3 e 4, utilizando também um quantitativo de seis aulas de 50 minutos. Nestes dias, os alunos foram direcionados para a sala de aula de robótica onde aconteceu a aplicação das atividades experimentais planejadas. Para realização das atividades foram fornecidos os subsídios necessários para desenvolvê-las: instruções, roteiros experimentais e materiais para realização das práticas experimentais.

Conforme Quadro 3, por se tratar da primeira aula da aplicação da abordagem ISLE (The Investigative Science Learning Environment), no primeiro dia da aplicação do produto educacional, foi necessário fazer a apresentação desta abordagem aos estudantes. A apresentação ocorreu por meio de slides utilizando uma TV, conforme nos mostra a Figura 9.

Figura 9 – Apresentação da abordagem ISLE aos estudantes



Fonte: produzido pelo autor (2024)

Nesta apresentação foi enfatizado o objetivo do ISLE destacando o papel do estudante, que consiste em fazer as observações minuciosas, propor o maior número possível de explicações/hipóteses/modelos para os padrões observados e do professor que assume o papel de instrutor da proposta experimental não fornecendo feedback sobre as explicações/hipóteses/modelos que os alunos construirão antes que os experimentos de teste sejam realizados.

Destaca-se que, em virtude da existência da sala de aula apropriada com os recursos tecnológicos disponíveis a serem utilizados, tais como a TV e as mesas que estivesse de acordo ao layout sugerido, não houve necessidade de se preocupar com a dinâmica de montar e desmontar os recursos didáticos ou reorganizar a sala no início e ao final do expediente. Essa dinâmica colaborou para que o tempo de aula fosse dedicado às práticas executadas.

Após apresentação da abordagem ISLE solicitou-se a formação dos grupos, sendo formados seis grupos, compostos de cinco a seis alunos. Logo em seguida, deu-se início à proposta pedagógica e à coleta de dados.

5.3.2 Coleta de dados

Creswell (2007) enfatiza que os procedimentos de coleta de dados em uma pesquisa qualitativa envolve quatro tipos básicos: i) observações: O pesquisador observa pessoas, ambientes ou interações em contextos naturais, registrando comportamentos, ações, movimentos e significados. Neste caso, o observador pode ser participante (pesquisador interage) ou não participante (apenas observa); ii) Entrevistas: o pesquisador conduz entrevistas face a face, por telefone ou por grupos focais com os participantes. Essas entrevistas envolvem poucas perguntas não-estruturadas e geralmente abertas, com intuito de extrair visões e opiniões dos participantes; iii) documentos: Uso de materiais já existentes ou produzidos durante a pesquisa, como: relatórios, diários, trabalhos escolares, registros oficiais, textos, imagens ou arquivos digitais. Este procedimento serve para complementar e avaliar diferenças de dados de outras fontes; iv) Materiais audiovisuais (artefatos e mídias): Incluem fotos, vídeos, gravações de áudio, desenhos, objetos, artefatos e qualquer registro visual ou multimodal. Esse procedimento ajuda a capturar aspectos da experiência que não aparecem em entrevistas ou documentos.

Para fins de coleta de dados, dentre os quatro procedimentos propostos por Creswell (2007), foram selecionados observações e documentos, por se mostrarem mais adequados à lógica investigativa da abordagem ISLE e aos objetos propostos nesta pesquisa. As observações permitiram acompanhar, em tempo real, o desenvolvimento das práticas investigativas dos estudantes, evidenciando como formularam hipóteses, testaram ideias, revisaram modelos e argumentaram coletivamente durante a atividade experimental. Conforme prevê o ISLE, o professor assume o papel de instrutor, guiando as práticas investigativas sem oferecer conceitos de física. Logo, o pesquisador foi um observador não participante.

Já os documentos, deu-se por meio dos registros (anotações escritas, esquemas, desenhos) nos espaços reservados nos roteiros experimentais observacionais e experimentos testes. À medida que avançavam nas etapas propostas nas atividades experimentais os registros eram realizados pelos grupos. No momento destinado a cada grupo apresentar o padrão observado, as hipóteses e a conclusão dos grupos, o pesquisador realizou ainda anotações pertinentes a fim de fornecer subsídios para análise e discussão de resultados. Todos esses registros possibilitaram analisar a evolução conceitual dos estudantes ao longo da sequência didática, oferecendo materiais ricos para

interpretação qualitativa e para compreensão da construção progressiva das habilidades científicas desenvolvidas. Assim, esses dois procedimentos alinham-se de forma direta aos objetivos da pesquisa e à natureza processual da abordagem ISLE.

Embora o questionário seja frequentemente associado a abordagens quantitativas, diversos autores reconhecem que ele também pode desempenhar um papel importante em pesquisas qualitativas quando possuem questões abertas que coletem dados qualitativos (Baptista; Cunha, 2007; Creswell, 2007; Flick, 2013). A fim de avaliar a opinião dos estudantes sobre a abordagem de ensino utilizada, foi disponibilizado o “Questionário de avaliação da abordagem de ensino”, Apêndice A, via Microsoft Forms, contendo perguntas objetivas e subjetivas possibilitando coletar informações dos participantes sobre suas experiências, opiniões e percepções sobre a abordagem ISLE as práticas experimentais utilizadas. Este formulário ficou disponível para ser respondido entre os dias 20/04/2024 e 30/04/2024. A fim de garantir que os estudantes se sentissem à vontade para responderem as perguntas com sinceridade, neste formulário os estudantes não foram identificados.

5.4 Experimentos observacionais e seus objetivos

Logo abaixo, faremos uma descrição simplificada dos experimentos observacionais. Uma explicação detalhada pode ser encontrada nos planos de aulas que faz parte do produto educacional, Apêndice B, desta dissertação.

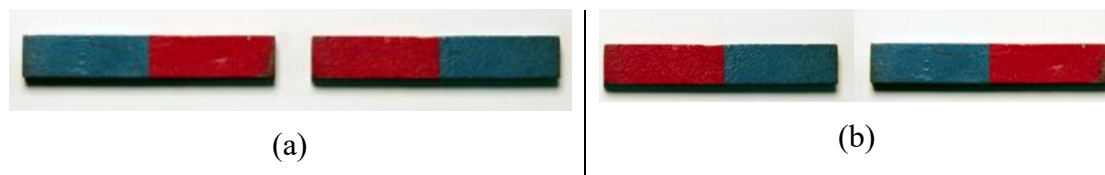
5.4.1 Experimento observacional 1: Interação magnética entre ímãs e entre ímãs e bússola

Este experimento observacional divide-se em dois: o primeiro é a “interação ímã-ímã” e o segundo é a “interação ímã e bússola.”

No primeiro experimento os estudantes devem fazer o teste de interação ímã-ímã. Seguindo as orientações contidas no roteiro, os grupos devem posicionar os dois ímãs sobre a mesa de forma que as duas extremidades vermelhas fiquem apontando uma para outra e observar como elas interagem. Em seguida, os estudantes são orientados a fazerem a inversão, a marcação azul apontando uma para a outra, e novamente observar como os

ímãs interagem. A Figura 10 nos mostra as situações experimentais que os alunos devem analisar.

Figura 10 – Ímãs posicionados com extremidades iguais



Fonte: Etkina (2019)

Nota: Em (a) dois ímãs com duas extremidades vermelhas apontam uma para outra; em (b) dois ímãs com duas extremidades azuis apontam uma para outra.

Neste mesmo experimento, ainda com os dois ímãs sobre a mesa, eles devem segurar os ímãs de forma que a extremidade vermelha de um ímã aponte para a extremidade azul do outro ímã, conforme a Figura 11, e observar como os ímãs interagem.

Figura 11 – Ímãs posicionados com extremidades diferentes



Fonte: Etkina (2019)

Nota: A extremidade vermelha de um ímã aponta para a extremidade azul do outro ímã.

Espera-se que os estudantes verifiquem nestes experimentos o padrão: na aproximação de cores iguais, entre os ímãs surge força de repulsão e, na aproximação de cores diferentes, surge entre os ímãs força de atração.

No segundo experimento os estudantes devem fazer o teste de interação entre ímã e bússola. Neste caso um dos ímãs é substituído pela bússola e os estudantes são orientados a posicionar a bússola sobre a mesa distante do ímã de maneira que a seta do marcador da bússola esteja alinhada com o norte, conforme a Figura 12.

Figura 12 – Bússola utilizada no experimento



Fonte: Produzido pelo autor (2023)

Nota: Bússola (seta verde) alinhada com o norte-sul geográfico.

Com a bússola alinhada, os grupos são orientados que aproximem a extremidade do ímã (extremidade vermelha) da seta verde do marcador da bússola observando como eles interagem. Em seguida, com a bússola na mesma posição, solicita-se que invertam o ímã, ou seja, a extremidade azul do ímã fique apontada para a seta verde do marcador da bússola e novamente façam a observação da interação entre eles.

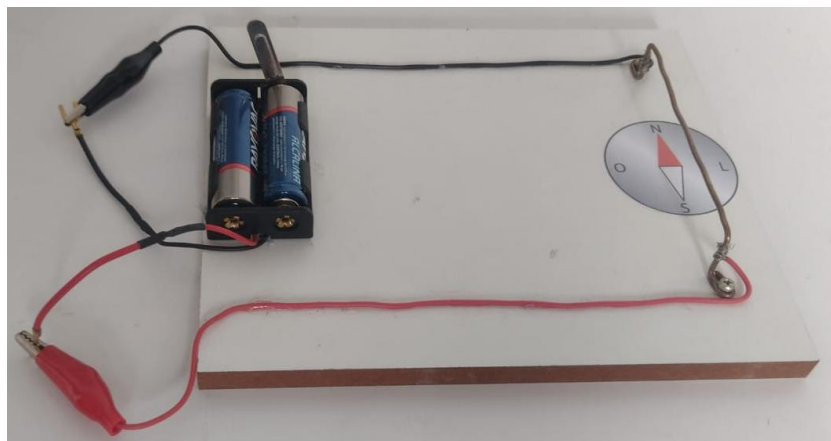
Diante das situações experimentais descritas acima, espera-se que os estudantes verifiquem que a seta verde do marcador da bússola tem sua orientação influenciada pelo ímã: distante do ímã a seta verde da bússola (agulha magnética) aponta sempre para o norte; ao aproximar o ímã com a extremidade vermelha, a seta verde do marcador da bússola inverte apontando para o sul e ao aproximar o ímã com a extremidade azul a seta verde do marcador da bússola mantém-se apontando para o norte.

5.4.2 Experimento observacional 2: Experimento de Oersted – relação entre campo magnético e corrente elétrica

Este experimento observacional tem o intuito de reproduzir um dos experimentos marcantes na história do eletromagnetismo. O intuito é que os estudantes compreendam a relação entre o magnetismo e a corrente elétrica reproduzindo o experimento de Hans Christian Oersted.

A Figura 13 mostra a reprodução do experimento. Os grupos devem posicionar a bússola na posição indicada no experimento.

Figura 13 – Experimento de Oersted



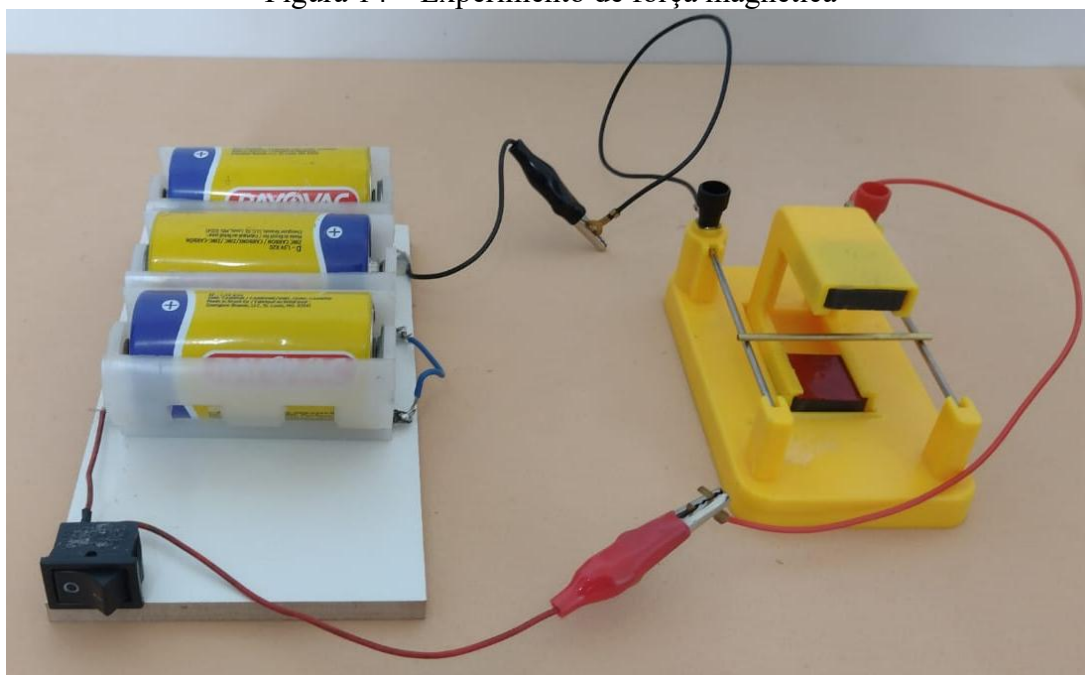
Fonte: Produzido pelo autor (2023)

Ao realizarem este experimento, ligando a chave, espera-se que os estudantes percebam a deflexão da bússola quando passar corrente elétrica no fio. Ou seja, a bússola passará a ter um comportamento similar aquele de quando estava na presença de um ímã, conforme ocorrido no “Experimento observacional 1”.

5.4.3 Experimento observacional 3: força magnética sobre um condutor retilíneo percorrido por uma corrente elétrica e submetido a um campo magnético

Neste experimento o objetivo é que os estudantes compreendam a ação da força magnética sobre um condutor retilíneo percorrido por uma corrente elétrica quando submetido a um campo magnético, denominado na física de força Lorentz ou força eletromagnética. A Figura 14 nos mostra o experimento montado.

Figura 14 – Experimento de força magnética



Fonte: Produzido pelo autor (2023)

Nota: A figura mostra o experimento montado ligado a um conjunto de baterias totalizando 4,5V de tensão elétrica. Ao ligar o interruptor será feito contato elétrico entre a barra metálica não-magnética e os trilhos metálicos não-magnéticos, passando corrente elétrica na barra.

O experimento mostra uma barra de metal não-magnética em uma região onde há um campo magnético uniforme em contato com dois trilhos metálicos paralelos, também não magnéticos, podendo deslizar sobre eles. Esses trilhos estão fixos sobre um suporte de plástico. É importante que todos os grupos posicionem o suporte que contém o ímã da mesma maneira, de forma que se tem um campo magnético uniforme de baixo para cima (saindo do “norte” indo para o “sul”) para que os resultados experimentais sejam semelhantes.

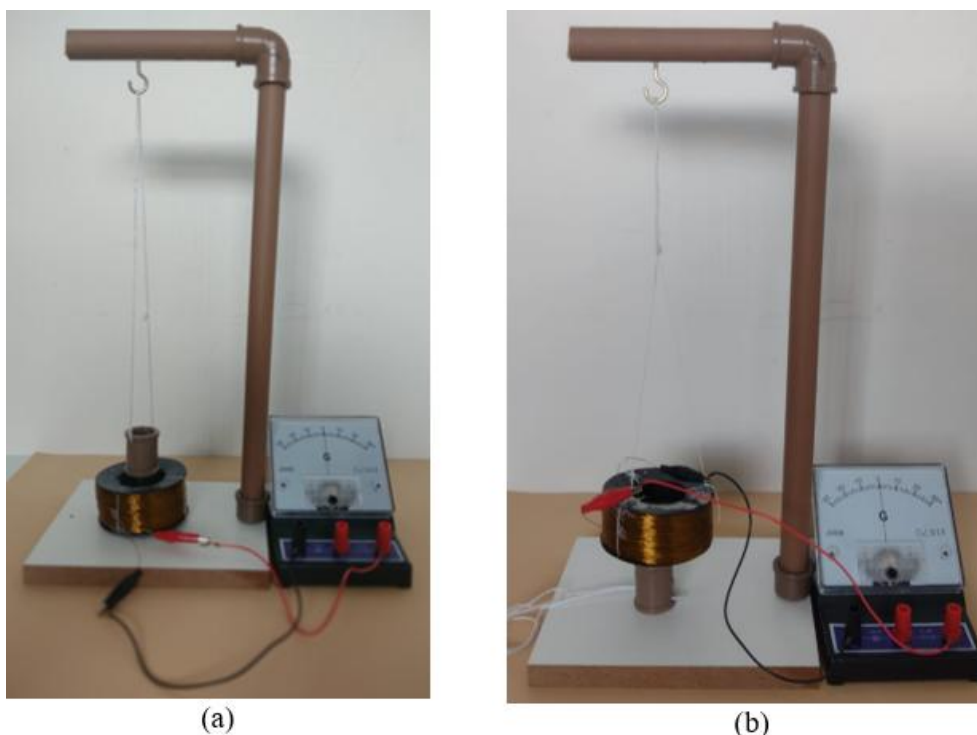
Ao ligarem a chave interruptora espera-se que os alunos percebam que a barra irá se mover para trás (o campo magnético está de baixo para cima, ao aplicar a regra da mão esquerda – regra de Fleming – o professor pode identificar o sentido da força magnética). Quando invertem os fios, conforme orientação no roteiro do experimento, haverá a inversão do sentido da corrente elétrica e consequentemente do campo magnético gerado pela corrente elétrica, espera-se que eles percebam que agora a barra irá se mover para frente.

5.4.4 Experimento observacional 4: Indução eletromagnética

Por fim, o último experimento observacional busca expandir o conhecimento que os alunos adquiriram por meio das práticas anteriores. Este experimento se baseia na realização prática que o físico inglês Michael Faraday fez por volta de 1830, onde conseguiu obter corrente elétrica a partir de campo magnético. O objetivo agora é levar o aluno a essa descoberta utilizando recursos já conhecidos, tais como, ímãs e fios esmaltados.

Para reproduzir as ideias de Michael Faraday será utilizado o dispositivo denominado, por Giacomelli, Silva, Rosa (2020), de “Pêndulo Indutor” que se constitui de um ímã que oscila sobre uma bobina. A Figura 15 nos mostra o experimento montado nas duas situações presentes no roteiro desta prática experimental.

Figura 15 – Montagem de um pêndulo indutor conectado ao galvanômetro



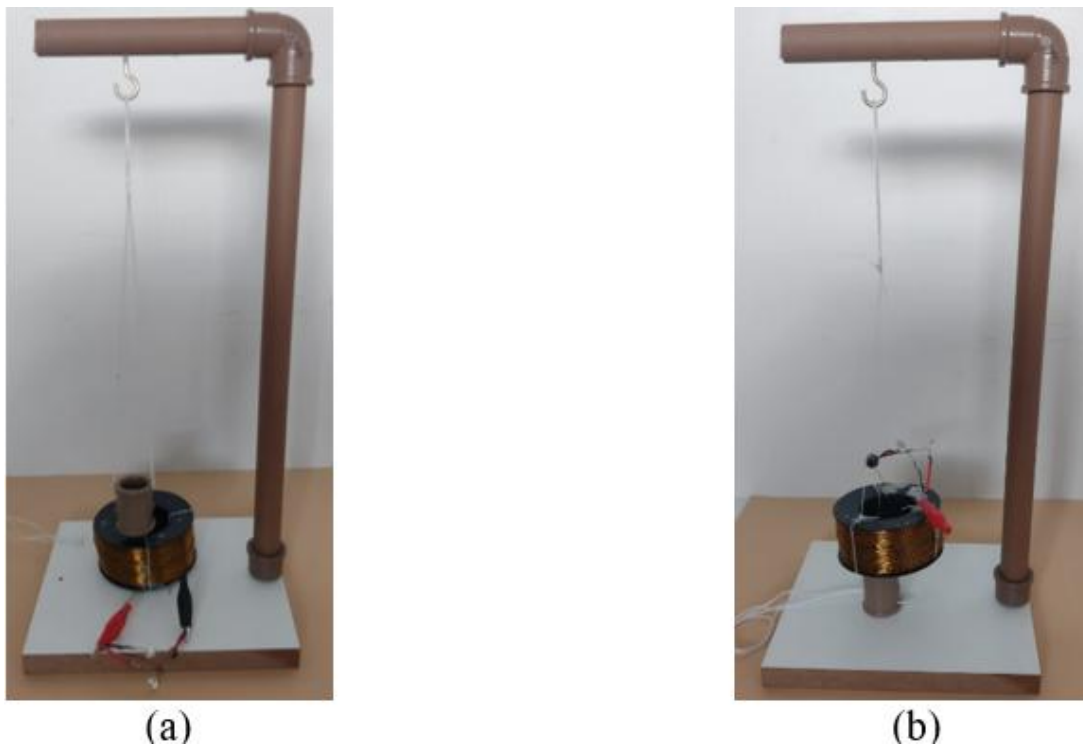
Fonte: Produzido pelo autor (2023)

Nota: Em **(a)** o ímã oscila sobre a bobina conectada ao galvanômetro e em **(b)** a bobina, conectada ao galvanômetro, oscila sobre o ímã.

Neste experimento, haverá quatro situações distintas. Primeiramente o ímã é colocado para oscilar (na forma de um pêndulo) sobre uma bobina fixa, ligada a um galvanômetro, sem que o ímã toque na bobina. Em seguida, em outra situação, a bobina ligada ao galvanômetro, é colocada para oscilar e o ímã fixo sobre a mesa. Depois solicita-

se a substituição do galvanômetro por um LED e repete-se as duas situações anteriores. A Figura 16 representa a situação descrita.

Figura 16 – Montagem do pêndulo indutor conectado ao LED



Fonte: Produzido pelo autor (2023)

Nota: Em **(a)** o ímã oscila sobre a bobina que está ligada aos LEDs e em **(b)** a bobina, ligada aos LEDs, oscila sobre o ímã.

No experimento com galvanômetro espera-se que os grupos percebam o registro de corrente elétrica no galvanômetro conforme o ímã passa (oscila) sobre a bobina. O mesmo acontece quando a bobina oscila sobre o ímã. No experimento com o LED espera-se que os estudantes consigam perceber os LEDs acendendo e apagando com a oscilação tanto do ímã quanto da bobina. Além disso, é possível que eles percebam que dependendo da velocidade de oscilação os LEDs não irão acender, fazendo com que eles estabeleçam uma relação de velocidade de oscilação e energia gerada para acender os LEDs.

6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Esta seção descreve a análise e discussão dos resultados obtidos na pesquisa. Tendo em vista uma melhor organização, a análise e a discussão dos resultados foram descritos com base nos objetivos específicos discriminados na seção 1 desta dissertação a qual de maneira sintetizada são: i) desenvolvimento dos materiais didáticos e experimentais que possam ser utilizados por professores de física para integrar a abordagem ISLE nas aulas de eletromagnetismo; ii) análise de como o trabalho em grupo e a troca de conhecimentos contribui para uma compreensão de conceitos do eletromagnetismo e também para motivação dos estudantes para sua aprendizagem; iii) avaliação do impacto da abordagem ISLE na aprendizagem de eletromagnetismo por meio da aquisição de habilidades científicas investigativas.

6.1 Objetivo específico 1 - Desenvolvimento dos materiais didáticos

O primeiro objetivo específico desta dissertação foi pensado no intuito de desenvolvermos materiais didáticos e experimentais que pode ser utilizados por professores de física para integrar a abordagem ISLE nas aulas de eletromagnetismo. Este objetivo se pauta na justificativa de que quando se trata de atividades práticas nas aulas de física encontramos inúmeras dificuldades para implementá-las. Tavares, Silva e Chesman (2022) enfatiza várias dificuldades para implementar atividades práticas, tais como, a aquisição e o manuseio dos equipamentos, a falta de infraestrutura laboratorial, pouco treinamento dos professores em atividades experimentais e ainda a escassez de equipamentos pedagógicos com roteiros e com metodologias assertivas voltadas para atividades investigativas.

Diante dos inúmeros trabalhos já produzidos pelo Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) e diversos artigos científicos publicados por periódicos nacionais e internacionais sobre experimentos de baixo custo, a aquisição, o manuseio de equipamentos e falta de infraestrutura laboratorial podem ser minimizados diante das alternativas propostas nestes trabalhos publicados. No entanto, quando se trata da falta de roteiros com metodologias assertivas voltadas para atividades investigativas verifica-se que há ainda uma lacuna a ser preenchida. Isto pode ser percebido quando nós professores, ainda hoje, confundimos que o aluno ao realizar uma prática experimental

está praticando o processo investigativo, quando na verdade uma aula com características investigativas favorece a construção do conhecimento por meio do diálogo, interação entre aluno-aluno, aluno-professor, realização de procedimentos como: elaboração de hipóteses, análise de dados, argumentação e compartilhamento de informação.

Diante disso, o produto educacional consolida o objetivo específico 1 ao disponibilizarmos aos docentes um material instrucional de como utilizar a abordagem ISLE como proposta de ensino investigativo e, além disso, aplicá-la no ensino de eletromagnetismo. Este material possui o diferencial que é disponibilizar ao professor a sequência didática prevista no produto educacional, ou seja, uma descrição do passo a passo e os detalhes de cada etapa prevista. Essa escolha, acreditamos ser assertiva, pois o professor ao utilizar o ISLE pela primeira vez isso pode surgir dúvidas que podem ser esclarecidas por meio da consulta a sequência didática da aula.

Ressalta-se que o produto educacional foi fruto da análise de vários artigos científicos disponíveis no website do ISLE e em periódicos internacionais, além dos materiais instrucionais⁴ que orientam na implementação desta abordagem de ensino. Em outro website, vinculada ao ISLE, o acesso aos vídeos de experimentos⁵, propostos pelos autores, serviu de inspiração para adaptarmos alguns experimentos a educação brasileira. Além disso, foi ainda possível obter materiais instrucionais para realização de práticas experimentais investigativas⁶ que ajudou na elaboração das propostas de experimentos observacionais e experimentos testes.

A adaptação dos experimentos foi realizada de modo que: (i) os materiais utilizados fossem de baixo custo; e (ii) o professor, ao observar os experimentos, consiga identificar facilmente os materiais empregados e reproduzi-los sem necessidade de instruções adicionais de montagem.

Os materiais utilizados — como bússolas, interruptores, fios de cobre encapados, barras magnéticas (ímãs), suportes para pilhas e garras jacaré — foram adquiridos pela internet, especificamente no website AliExpress⁷. A escolha por esse site deveu-se à variedade de produtos disponíveis e aos preços mais acessíveis. Ressalta-se ainda que

⁴ Materiais instrucionais sobre o ISLE: https://www.islephysics.net/?page_id=159

⁵ Vídeos de experimentos baseados no ISLE:

https://media.pearsoncmg.com/aw/aw_etkina_cp_2/videos/content/alg_users.php e https://media.pearsoncmg.com/aw/aw_etkina_cp_2/videos/content/videos.php

⁶ Materiais instrucionais de experimentos: <https://sites.google.com/site/scientificabilities/kits?authuser=0>

⁷ Os produtos foram adquiridos por meio das lojas: Zhizaosupply Store; WenZhou HangGu Electric Store e Eudax Official Store.

dois equipamentos foram obtidos por meio dessa plataforma: o aparato de força magnética e os galvanômetros empregados no experimento de indução magnética. Embora adquiridos pelo AliExpress, os produtos demonstraram boa qualidade, praticidade e preços acessíveis para professores interessados em obter seus próprios materiais.

Entretanto, para os professores que preferirem adquirir produtos de fabricantes de referência no Brasil, as pesquisas realizadas para esta dissertação permitiram identificar três empresas de destaque: Cidepe – Centro Industrial de Equipamentos de Ensino e Pesquisa; Fractal – empresa brasileira que produz experimentos portáteis com roteiros alinhados à abordagem ISLE (ensino por investigação); e Azeheb – Laboratórios Educacionais.

No que se refere aos fabricantes de ímãs, recomenda-se três empresas: Koimãs⁸, IMASHOP e loja do ímã. A indicação dessas empresas deve-se tanto à variedade de produtos ofertados quanto à possibilidade de identificação do sentido de magnetização e força magnética dos ímãs. Os ímãs de neodímio, utilizados no experimento de indução magnética, foram adquiridos por meio de consultas realizadas nesses websites.

6.2 Objetivo específico 2 – O impacto do trabalho colaborativo na aprendizagem e na motivação

O trabalho colaborativo no ISLE é um desafio pois em sala de aula muitos alunos podem se sentir desconfortáveis em compartilhar suas ideias em um ambiente com a classe. Com intuito de minimizar esse desconforto, a formação de grupos ocorreu sem intervenção do professor a fim de que eles se sentissem confortáveis e escolhessem com quem realizariam as atividades propostas. Dessa maneira teve-se a formação de seis grupos, sendo quatro grupos com cinco integrantes e dois grupos com seis alunos. Essa escolha demonstrou ser assertiva uma vez que assim eles se sentiram mais à vontade para comunicarem uns com os outros.

Importante destacar que o quantitativo de alunos por grupo foi maior do que é proposto por Etkina e seus colaboradores, em que sugerem grupos de três a quatro

⁸ Website de fabricantes de ímãs:

<https://koimas.com.br>

<https://www.lojadoima.com.br>

www.imashop.com.br

pessoas. Esse quantitativo maior contribuiu para o aumento da dificuldade em acompanhar os grupos nas realizações das atividades proposta, necessitando em determinados momentos quando algum grupo tinha dúvida aguardar para serem assistidos pelo professor. Neste processo de acompanhar a execução das práticas e as discussões entre integrantes dos grupos, foi possível observar que, nas aulas iniciais, houve a ausência de uma discussão mais efetiva que pôde ser melhorada com algumas intervenções feitas. Sobre esse aspecto Etkina, Brookes e Planinsic (2019, Local 3_5) sugerem que o professor deve monitorar cuidadosamente o trabalho em grupo, certificando-se de que todos tenham voz, mas sem impor aos alunos suas próprias ideias. Logo, uma das intervenções realizadas foi direcioná-los para que cada um dos integrantes dos grupos, primeiramente expressasse suas ideias; segundo, discutissem os pontos em diferentes e comuns observados e por fim sintetizassem a ideia do grupo da maneira mais conveniente, por meio das representações que julgassem apropriadas: escritas, desenhos, esquemas, gráficos etc. Outra intervenção utilizada e sugerida por Eugenia Etkina foi o compartilhamento em duplas de grupos, isto é, os grupos se levantavam de suas cadeiras e iam para o grupo mais próximos para comparar as ideias. Esta proposta de intervenção segundo os autores requer primeiro que os alunos pensem e foquem no problema do grupo e somente depois possam compartilhar suas ideias. Essa intervenção demonstrou assertiva para os grupos que se sentiam mais inseguros sobre a realização das atividades propostas.

Sabendo da importância do olhar dos estudantes sobre a abordagem utilizada, foi aplicado o “Questionário de avaliação da abordagem de ensino ISLE” a qual os alunos responderam de forma anônima. Destaca-se que embora trinta e um alunos realizaram as atividades propostas nas doze aulas utilizadas, apenas vinte e cinco responderam ao questionário.

O fato de apenas vinte e cinco alunos responderem ao questionário nos fez refletir que durante o desenvolvimento das atividades, observou-se que, enquanto estavam inseridos no ambiente escolar, os estudantes mostraram-se produtivos, realizando com empenho as tarefas propostas e demonstrando envolvimento com o processo de aprendizagem. Essa constatação levou-nos a refletir sobre a importância do contexto escolar como espaço estruturado que favorece a organização, a concentração e o cumprimento das demandas pedagógicas. Contudo, quando uma tarefa foi destinada à realização em casa — especificamente o preenchimento do questionário — verificou-se que nem todos os participantes a concluíram. Dessa forma, compreendeu-se que a

estratégia mais adequada para assegurar a participação integral dos estudantes seria a de oportunizar a execução dessa atividade no próprio ambiente escolar, onde o acompanhamento docente e a rotina de trabalho coletivo contribuem para a efetividade das ações propostas.

A fim de mapearmos se os estudantes já tinham realizado algum experimento em física, eles foram questionados com a seguinte pergunta: Você já participou de alguma aula de Física na qual você realizou experimentos? O resultado obtido, conforme registro da Figura 17 nos mostra que 68% afirmaram já ter realizado algum experimento em física.

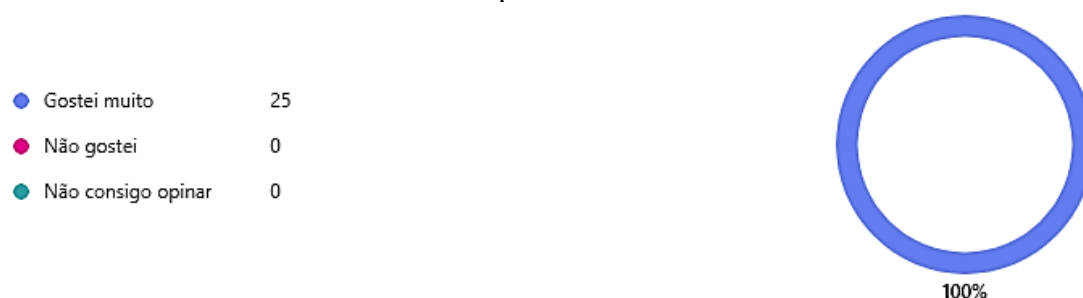
Figura 17 – Respostas a pergunta: Você já participou de alguma aula de Física na qual você realizou experimentos?



Fonte: produzido pelo autor (2025)

O resultado obtido acima pôde ser utilizado para avaliar o ponto de vista dos estudantes sobre a abordagem de ensino comparando experimentos investigativos frente aos experimentos tradicionais, àqueles onde os estudantes são estimulados a coletar dados e verificar a teoria ou até mesmo experimentos demonstrativos. Para tanto foi feita a seguinte pergunta: Qual o seu ponto de vista a respeito de aulas em que você é estimulado(a) a investigar um problema realizando experimentos propostos pelo professor? A Figura 18 mostra um resultado muito satisfatório, pois 100% dos estudantes afirmaram terem gostado muito.

Figura 18 – Respostas a pergunta: Qual o seu ponto de vista a respeito de aulas em que você é estimulado(a) a investigar um problema realizando experimentos propostos pelo professor?



Fonte: Produzido pelo autor (2025)

Como está previsto no ISLE, houve vários momentos de compartilhamento das observações realizadas pelos grupos e nestes momentos foi possível verificar timidez ou medo de se expressarem, mas o que se presenciou durante as aulas foi de que, mesmo diante do medo de se expor, os estudantes tiveram uma participação efetiva. Quando questionado sobre esse aspecto, com a seguinte pergunta: “Na exposição das ideias do seu grupo para os demais alunos da sala, você sentiu medo de estar errado?” A resposta dos estudantes, conforme Figura 19, corrobora aquilo que foi observado durante a realização das atividades.

Figura 19 – Respostas a pergunta: Na exposição das ideias do seu grupo para os demais alunos da sala, você sentiu medo de estar errado?



Fonte: Produzido pelo autor (2025)

As observações feitas em sala de aula mostraram que o layout da sala, em forma de estúdio utilizado na aplicação do produto educacional, contribuiu para evolução da comunicação dos estudantes. O fato de estarem em volta uns dos outros e próximos dos demais grupos contribuiu para que eles comunicassem entre si quando percebiam algo interessante. Esta comunicação melhor, segundo os autores do ISLE, se justifica uma vez que o fato de não precisarem ir a frente, ou seja, se comunicarem e expressarem seus

resultados de suas próprias mesas, faz com que eles se sintam mais à vontade. Isso foi percebido, pois em determinadas situações quase todos os integrantes dos grupos tentaram expressar de alguma forma suas ideias, sendo uma evolução comparada as aulas tradicionais. Esta comunicação de ideias foi mais significativa no experimento observacional 4, pois ficaram impressionados ao verem a simples movimentação relativa do ímã provocando no LED uma corrente capaz de acendê-lo.

Além do layout, Etkina enfatiza que as múltiplas explicações dadas pelos grupos, em uma linguagem simples e não técnica, contribui para que exista uma equidade perante a turma diminuindo o que Etkina denomina “armadilha do brilhantismo individual”, ou seja, as múltiplas explicações ajudam os alunos a verem que todos são capazes de propor ideias, explicações em linguagem própria para determinados fenômenos. Isto pode ser observado nas respostas dadas pelos estudantes.

O questionário também contribuiu para aferir como a interação aluno-aluno pôde colaborar para a aprendizagem dos estudantes, indo além do olhar do pesquisador. Sobre esse aspecto os estudantes foram questionados com a seguinte pergunta: “Você considera que os colegas do seu grupo o ajudaram na hora de tirar alguma dúvida levantada pelos demais alunos?” verifica-se, conforme Figura 20 que 88% concordaram que o trabalho colaborativo contribuiu para esclarecer alguma dúvida surgida durante a realização das atividades.

Figura 20 – Respostas a pergunta: você considera que os colegas do seu grupo o ajudaram na hora de tirar alguma dúvida levantada pelos demais alunos



Fonte: Produzido pelo autor (2025)

As respostas dos estudantes e as observações realizadas em sala de aula reforçam a contribuição do trabalho colaborativo para a aprendizagem dos estudantes uma vez que em vários momentos foi possível observar o debate entre integrantes dos grupos a fim de cada um explicar suas ideias sobre as observações realizadas. Etkina, Brookes e Planinsic

(2020, p. 6), associam este trabalho colaborativo ao fato de explorar o que denominam de inteligência coletiva de um grupo, ou seja, quando os alunos aprendem juntos, trocam ideias, discutem, explicam uns aos outros, constroem conhecimento em grupo – isso fortalece também o aprendizado de cada um separadamente. Cada aluno aprende mais e melhor porque está inserido em uma rede de colaboração e troca de saberes. Então, o crescimento individual não acontece isoladamente, mas enquanto os alunos participam ativamente dessa comunidade de construção de conhecimento. É um processo em que o todo fortalece as partes, e as partes, por sua vez, enriquecem o todo.

Além da contribuição do trabalho colaborativo para a aprendizagem dos estudantes, a pesquisa propôs também avaliar a motivação dos estudantes em realizar as atividades propostas. Sobre este aspecto, Etkina, Brookes e Planinsic (2020, p. 7) consideram que em um ambiente baseado em investigação, a motivação é crítica uma vez que os alunos estão sendo desafiados a descobrir as coisas por si mesmos, em vez de receberem a resposta, no entanto, consideram que a mentalidade de crescimento contribui para os alunos se sentirem motivados a ir atrás das respostas. Esta mentalidade de crescimento apontada pelos autores está relacionada ao fato de que as habilidades intelectuais não são fixas, isto é, elas podem crescer com o tempo e os problemas difíceis devem ser vistos como um desafio e uma oportunidade. Dessa maneira, o professor deve acreditar que os alunos podem aprender e os alunos devem acreditar que podem aprender caso se esforcem no processo.

Quando questionados sobre a motivação para realizar as atividades propostas, com a seguinte pergunta: “Considere a seguinte escala: 0 (zero) não fiquei motivado e 10 fiquei muito motivado. Como você classificaria a sua motivação durante aulas investigativas experimentais?”, houve uma aprovação média de 9,16, conforme a Figura 21. Estes resultados reforçam o papel motivador em razão de toda sua estrutura que o ISLE exerce conforme apontam as pesquisas de Eugenia Etkina e demais colaboradores.

Figura 21 – Respostas a pergunta: Considere a seguinte escala: 0 (zero) não fiquei motivado e 10 fiquei muito motivado. Como você classificaria a sua motivação durante aulas investigativas experimentais?



Fonte: Produzido pelo autor (2025)

Indo além das perguntas objetivas, no “Questionário de avaliação da abordagem de ensino ISLE”, os estudantes foram questionados com a seguinte pergunta dissertativa: O que você mais gostou das aulas? E aqui cabe destacar algumas respostas obtidas. Estas respostas estão registradas no Quadro 5.

Quadro 5 – Respostas a pergunta: O que você mais gostou das aulas?

Resposta	Respostas obtidas
1	Gostei que todos tiveram participação e de certa forma uma aula descontraída/diferente.
2	Gostei muito das dinâmicas e do conceito de aprender e criar hipóteses sobre algo para depois aprender a parte teórica. Gostei de montar os experimentos e testar diversas formas de fazê-lo funcionar
3	A forma como fomos estimulados a sermos curiosos e investigar diversos fenômenos físicos, buscando explicações e criando hipóteses. Além dos diversos conceitos abordados que foram ensinados. Foi uma experiência única!
4	A parte da prática e testar nossas teorias e se questionar o porquê daquilo acontece e descobrir aos poucos como ocorre e acontece.
5	Foi estar na mesma posição, mesmo que um pouco, de pesquisadores, buscar descobrir, explicar as coisas que acontecem, assim como grandes pesquisadores fizeram, e aprender a comprovar essas hipóteses, e ver como cada conhecimento anterior de física pode me ajudar a criar hipóteses e ver como a física é completa e ver como cada conceito se complementa e explicar outras coisas. Ter um pensamento mais ativo, pensar mais, e mais criticamente. E não só isso, mas também aprender com outros e suas maneiras de pensar, pois nenhum cientista trabalha sozinho para construir conhecimento.
6	A forma de como tudo o que descobrimos e algo utilizado no dia a dia ou pode ser transformado em um projeto futuro. Também gostei de como a aula foi ministrada com uma grande atenção a todas as opiniões dos alunos. Também gostei dos experimentos, fazendo com que abra a nossa mente e chame atenção para futuros cientistas
7	Gostei da forma que o professor organizou os grupos, assim cada aluno tinha sua vez de expressar sua ideia, por isso ficou muito mais fácil de pensar e aprender o conteúdo.
8	Na dinâmica em poder interagir com minhas colegas, ter a possibilidade de conversar sobre o que eu entendia, criar hipóteses e ouvir teoria das pessoas que também estavam buscando entender, me deixou bem mais intrigada e motivada na aula.

Fonte: Produzido pelo autor (2025)

As respostas selecionadas no Quadro 5 reforçam o que foi observado em sala de aula durante a aplicação do produto educacional: uma turma motivada e contribuindo entre si para construção do conhecimento. Observa-se, ainda que a organização dos grupos foi elogiada uma vez que puderam escolher os respectivos colegas de seus grupos. Gostaram do trabalho colaborativo uma vez que o diálogo com os integrantes dos grupos foi capaz de maximizar os conhecimentos individuais em saberes coletivos e ainda gostaram do fato de serem instigados a investigarem reproduzindo situações semelhantes aos cientistas.

Sabendo que poderia obter-se tanto aprovação quanto reprovação ou sugestões de melhorias na aula aplicada, os estudantes foram questionados com a seguinte pergunta: “Utilize as linhas abaixo para escrever sobre aspectos negativos da metodologia de ensino utilizada pelo professor. Escreva no mínimo 3 linhas” e é importante destacar algumas críticas que contribuiu para este pesquisador refletir sobre a melhoria do produto educacional e, também compreender com base na literatura do ISLE, o que poderia ser feito diferente. O Quadro 6 retrata que a falta de tempo e/ou quantidade de aulas foram um dos aspectos negativos mais destacados pelos estudantes e destaca-se a resposta dada pelo estudante no item 5 sobre a repetição de informação relacionada com as etapas do ISLE a qual os grupos devem apresentar suas observações.

Quadro 6 – Resposta à pergunta: Utilize as linhas abaixo para escrever sobre aspectos negativos da metodologia de ensino utilizada pelo professor. Escreva no mínimo 3 linhas

Resposta	Respostas obtidas
1	Não consigo pensar muitos em aspectos negativos, apenas que talvez não tenha dado tempo de todos fazerem os experimentos
2	A dificuldade de conseguir concluir algum experimento; A falta de atenção dos alunos visto que é em grupo e é uma aula diferente; E, também o fato de que você não sabe se está correto ou não.
3	Posso colocar como negativo a falta de tempo necessária para cada experimento e explicação, a falta de um espaço adequado e de equipamentos ideais.
4	A quantidade de aulas não foi o suficiente, teria que ter no mínimo mais uma semana e, também 1 semana todo bimestre, e deveria ter mais experimentos.
5	Considero aspectos negativos a repetição de informação, pois era necessário os alunos falar o que acontecia nos acontecimentos mesmo que os resultados sempre fossem os mesmos. Acredito que isso tenha consumido maior parte do tempo sendo algo não muito necessário.

Fonte: Produzido pelo autor (2025)

Diante do exposto no Quadro 6, pode-se verificar, tanto pela opinião dos estudantes quanto pelas observações em sala de aula, que as doze aulas foram insuficientes para realização das práticas de maneira mais proveitosas, no entanto, obteve resultados importantes sobre a aprendizagem dos estudantes conforme será abordado na

seção seguinte que fará a análise das habilidades científicas aferidas por meio da realização das atividades. Sobre a repetição de informação, o ISLE sugere que o professor pode resumir as descobertas de diferentes grupos e fornecer uma visão geral, se necessário, apenas depois que os alunos compartilharem suas ideias (Etkina; Brookes; Planinsic, 2020, p. 11). Logo, essa repetição demonstra ser importante para analisar como cada grupo consegue descrever as observações, mesmo obtendo resultados iguais, mas utilizando linguagens/representações diferentes. Entende-se que é algo que não é bom ser suprimido.

Outra pergunta foi realizada, no entanto, agora sobre os aspectos positivos e convém destacar as respostas de alguns estudantes, conforme observa-se no Quadro 7.

Quadro 7 – Resposta à pergunta: Utilize as linhas abaixo para escrever sobre aspectos positivos da metodologia de ensino utilizada pelo professor. Escreva no mínimo 3 linhas.

Resposta	Descrição da resposta
1	A questão de separar a sala em grupos, deixando que justássemos a nosso critério, todos grupos terem todos os materiais sem faltar nada, fazendo relação do experimento com o dia a dia
2	A aula é mais interativa e social proporcionando uma Física menos "chata"; O professor ajuda á todos os grupos e tira a maioria das dúvidas; E os experimentos não são tão complicados de se realizarem.
3	Acho interessante essa forma de ensino, pois influência e encoraja o aluno a testar novas habilidades e testar seu conhecimento, pensando, criando e utilizando diversas maneiras de solucionar aquele experimento.
4	Gostei da ideia de inicialmente fazer o experimento e instigar a curiosidade dos estudantes e a troca de ideias nos motivando a pensar e dar uma resposta
5	Fácil compreensão do que é proposto, interação entre aluno e professor é extremamente boa para a harmonia da sala de aula, o aluno fica mais motivado e interessado pela matéria através dessa metodologia.
6	Ele explicou muito bem, deu todo o suporte na hora dos experimentos, nos instigou a pensar, respondeu todas as nossas dúvidas com excelência, deu a todos a oportunidade de falar e de perguntar, além disso destacou aspectos importantes que cada um falou contribuindo com a nossa comunicação e nossa construção juntos de conhecimento.
7	Facilita a aprendizagem, melhora o desvio de atenção. Todo mundo até os mais tímido acabam participando, traz essa proposta de ver o conteúdo dado na escola na vida real, o aluno aprende não só o conteúdo na teoria mas prática também, e a sua importância pra sociedade.

Fonte: Produzido pelo autor (2025)

As respostas apresentadas no Quadro 7 serviram para este pesquisador compreender: a importância de não interferir na formação dos grupos, pois conforme relata a resposta 1 e 7, isso foi positivo. Às vezes, nós professores, interferimos na formação de grupos uma vez na sala de aula tradicional é comum formação de grupos para que possuem muitas conversas paralelas. Na abordagem ISLE é importante não interferir uma que é importante os estudantes terem intimidade uns com os outros para

melhor interação. Outro fator percebido é que os estudantes quando encorajados descobrem que são capazes para realizarem as atividades propostas. A resposta dada no item 3, 4 e 6, por exemplo, evidencia o quanto é importante instigá-los a investigarem os problemas. Estes fatos estão relacionados àquilo que Eugenia Etkina denomina de mentalidade de crescimento, ou seja, é necessário acreditar que os alunos são capazes, pois isso motiva os estudantes a enfrentarem as dificuldades e a superá-las, sendo este um fator motivador para o ISLE.

Diante das análises realizadas compreende-se que trabalho colaborativo, em todo o processo do ISLE, se comporta como meio motivador: a organização da sala, a interação aluno-professor, interação aluno-aluno, escolhas adequadas de experimentos. Destaca-se o importante papel do professor, sendo ele o responsável por manter a motivação em sala por meio de incentivos, escolhas de experimentos em nível adequado e ao final quando fornecer uma linguagem científica adequada conseguir relacionar as descobertas dos estudantes com a física ensinada em sala. Esse paralelo das descobertas com a física ensinada em sala de aula é motivador, pois foi perceptível a alegria dos estudantes ao analisar suas descobertas e perceberem aproximações, semelhanças aos conceitos físicos ensinados que lhes foram ensinados posteriormente.

6.3 Objetivo específico 3 – Impacto da aprendizagem aferidos pelas habilidades científicas

O impacto da aprendizagem dos estudantes do ISLE foi aferido por meio das habilidades científicas adquiridas. Para isso foi utilizada os modelos de rubricas disponibilizadas no website do ISLE⁹ a qual por meio delas foram selecionadas àquelas que seriam avaliadas no decorrer da aplicação do produto educacional. Esta pesquisa focou em avaliar as habilidades e sub-habilidades da: RUBRICA A: a capacidade de representar informações de várias maneiras; RUBRICA B: capacidade de projetar e conduzir um experimento observacional; RUBRICA C: capacidade de projetar e conduzir um experimento para testar uma ideia/hipótese/explicação ou relação matemática; RUBRICA F: capacidade de comunicar ideias científicas. No “ANEXO A – RUBRICA PARA HABILIDADES CIENTÍFICAS” tem-se as rubricas consolidadas de maneira

⁹ Modelos de rubricas: <https://sites.google.com/site/scientificabilities/rubrics?authuser=0>

mais detalhadas utilizadas para avaliar a aquisição das habilidades científicas dos estudantes durante a aplicação do produto educacional.

A adoção das rubricas justifica-se, em primeiro lugar, pelo fato de terem sido elaboradas por Eugenia especificamente para avaliar competências científicas desenvolvidas no contexto do ISLE, tais como a capacidade de gerar explicações e modelos, planejar investigações, testar hipóteses, argumentar com base em evidências e comunicar-se cientificamente. Em segundo lugar, sua utilização mostra-se pertinente porque possibilita a avaliação sistemática de cada etapa do processo investigativo, a identificação de avanços individuais e coletivos, a oferta de feedback direto e formativo, bem como a mensuração de habilidades práticas e cognitivas relacionadas ao método científico.

6.3.1 Os experimentos observacionais e as habilidades científicas aferidas

Os estudantes realizaram quatro experimentos observacionais, conforme plano experimental disponibilizados no “APÊNDICE B – PRODUTO EDUCACIONAL”. Em todos os experimentos observacionais, na etapa inicial, foi solicitado que os grupos fizessem o registro de suas observações daquilo que eles visualizaram a qual poderia ser por escrito, esquemas, desenhos, esboços, mas sem tentarem fornecer uma explicação para aquilo que eles observassem. Basicamente foi solicitado que eles fizessem a pergunta: “o que aconteceu?”, e em seguida descrevessem a resposta utilizando a maneira que achassem conveniente.

Além da observação direta feito pelo pesquisador analisou-se as anotações dos estudantes a qual por meio das respostas registradas foi possível avaliar as capacidades científicas¹⁰ do grupo em: representar informações de várias maneiras, dadas pela rubrica A, conforme o Quadro 8 e a capacidade de projetar e conduzir um experimento observacional, dadas pela rubrica B, conforme o Quadro 9.

¹⁰ Algumas rubricas foram suprimidas por não fazer parte das habilidades que seriam avaliadas no conjunto de atividades experimentais.

Quadro 8 – Habilidades científicas aferidas pela rubrica A

RUBRICA A: Capacidade de representar informações de várias maneiras				
Capacidade científica	Ausente	Inadequado	Precisa melhorar	Adequado
A4 É capaz de usar representações para resolver problemas	Nenhuma tentativa é feita para resolver o problema.	O problema foi resolvido corretamente, mas nenhuma representação além da matemática foi usada.	O problema é resolvido corretamente, mas há apenas duas representações: matemática e palavras explicando a solução.	O problema é resolvido corretamente com pelo menos três representações diferentes (esboço, representação física e matemática ou esboço, palavras e matemática, ou alguma outra combinação)
A7 Esboço	Nenhuma representação é construída.	O esboço foi desenhado, mas está incompleto, sem quantidades físicas rotuladas, ou faltam informações importantes, ou contém informações erradas, ou faltam eixos de coordenadas.	O esboço não contém informações incorretas, mas não contém nenhuma ou poucas etiquetas com as quantidades fornecidas. Os subscritos estão ausentes ou inconsistentes. A maioria dos itens principais está desenhada.	O esboço contém todos os itens principais com rotulagem correta de todas as grandezas físicas e possui subscritos consistentes; os eixos são desenhados e rotulados corretamente.

Fonte: Adaptado de Etkina et al. (2006) e Etkina, Brookes e Planinsic (2019)

Quadro 9 – Habilidades científicas aferidas pela rubrica B

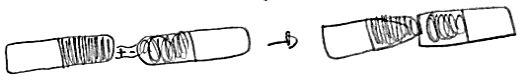
RUBRICA B: Capacidade de projetar e conduzir um experimento observacional				
Capacidade científica	Ausente	Inadequado	Precisa melhorar	Adequado
B1 É capaz de identificar o fenômeno a ser investigado	Nenhum fenômeno é mencionado.	A descrição do fenômeno a ser investigado é confusa ou não é o fenômeno de interesse.	A descrição do fenômeno é vaga ou incompleta.	O fenômeno a ser investigado é claramente declarado.
B2 É capaz de projetar um experimento confiável que investigue o fenômeno	O experimento não investiga o fenômeno.	O experimento pode não produzir nenhum padrão interessante.	Alguns aspectos importantes do fenômeno não serão observáveis.	O experimento pode gerar padrões interessantes relevantes para a investigação do fenômeno.
B5 É capaz de descrever o que é observado sem tentar explicar, tanto em palavras quanto por meio de uma imagem da configuração experimental.	Nenhuma descrição é mencionada.	Uma descrição está incompleta. Não há esboço rotulado. Ou as observações foram ajustadas para corresponder às expectativas.	A descrição está completa, mas misturada com explicações ou padrões. O esboço está presente, mas é difícil de entender.	Descreve claramente o que acontece nos experimentos, tanto verbalmente quanto por meio de um esboço. Fornece outras representações quando necessário (tabelas e gráficos).
B9 É capaz de conceber uma explicação para um padrão observado	Não há nenhuma tentativa de explicar o padrão observado.	Uma explicação é vaga, não pode ser testada ou contradiz o padrão.	Uma explicação contradiz o conhecimento prévio ou o raciocínio é falho.	Uma explicação razoável é apresentada. Ela é testável e explica o padrão observado.

Fonte: Adaptado de Etkina et al. (2006) e Etkina, Brookes e Planinsic (2019)

Constata-se, de um modo geral, a preferência dos grupos em utilizar a escrita para representar as observações realizadas com pouco uso de múltiplas representações, tais como: desenhos, esquemas, esboços. No entanto, é importante mencionar o uso de

esboços e desenhos dos grupos 5 e 6 nos experimentos observacionais 1 e 2. No Quadro 10 temos registros das observações feitas pelos grupos quando fizeram a interação entre ímãs com nomes diferentes (norte – sul).

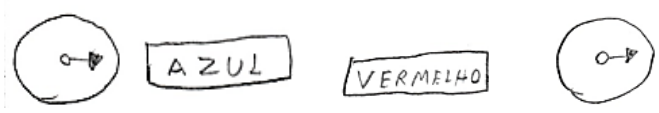
Quadro 10 – Observações realizadas pelos grupos: Experimento observacional 1 – interação entre ímãs com nomes diferentes: norte – sul

Grupo	Observações realizadas (Interação entre ímãs norte-sul)
1	Eles se juntam nas cores opostas
2	Hipótese: observamos, que ao apontar extremidades diferentes os ímãs se atraem por possuírem cargas diferentes de magnetismo.
3	Observamos que ao juntar azul e vermelho eles se atraem, observamos também que ao colocar um em cima do outro de cores iguais eles giram até ficarem ao contrário e juntarem.
4	Quando colocado o vermelho e azul perto, eles se atraem por conta das suas cargas opostas.
5	As duas polaridades são diferentes, logo se atraem.
6	Quando os ímãs se juntam por conta de energia transmitidas, nele não há nenhum tipo de distanciamento e/ou rotação 

Fonte: Produzido pelo autor (2025)

Já o Quadro 11 mostra os registros das observações realizadas quando fizeram a interação entre ímã e bússola.

Quadro 11 – Observações realizadas pelos grupos: Experimento observacional 1 – interação entre ímãs e bússola

Grupo	Observações realizadas (Interação entre ímãs e bússola)
1	Extremidade vermelha: ele gira 180° para a direita e, vai para o sul Extremidade azul: ele gira 180° para esquerda e volta o norte.
2	Hipótese: observamos que ao apontar a extremidade vermelha a seta do mostrador eles se repelem por possuírem cargas iguais. Já com a extremidade azul a seta do mostrador eles se atraem por possuírem cargas diferentes (opostas).
3	Esse experimento, podemos ter como base no primeiro, pois quando colocamos a parte vermelha perto da parte verde da bússola que antes tava norte, irá para o sul. E quando colocamos azul perto, o ponteiro fica onde está.
4	Girando você consegue alinhar norte e sul, usando o ímã vermelho na parte norte depois de alinhada a parte verde gira para a parte sul, e quando coloca o azul a parte verde volta para o norte.
5	A parte negativa atraem a seta do mostrador. E a parte positiva repele a seta do mostrador. 
6	Quando o ímã vermelho se aproxima da agulha da bússola ele se move do norte (W) para o sul (S) pois a energia magnética é igual a da bússola indicada, e quando a parte azul do ímã se aproxima da agulha magnética ela se mantém no (N) norte e não causa nenhum tipo de movimento, pois sua energia magnética é diferentes.

Fonte: Produzido pelo autor (2025)

Em suas respostas, é possível presenciar elementos que evidenciam que os grupos foram capazes de fazer observações, mesmo que seja apenas verbalmente. Nestas observações, de maneira geral verifica-se a carência do uso diversificado de outras representações, pois poderiam utilizar desenhos e esboços para complementar a explicação verbal. Além disso, verifica-se, em alguns grupos, que a descrição daquilo que é observado veio acompanhado de tentativas de explicações ou padrões quando deveriam apenas descrever aquilo que observassem sem tentar fornecer alguma explicação. Na Figura 22, mostra um dos respectivos grupos realizando a interação entre ímãs com nomes diferentes (norte – sul).

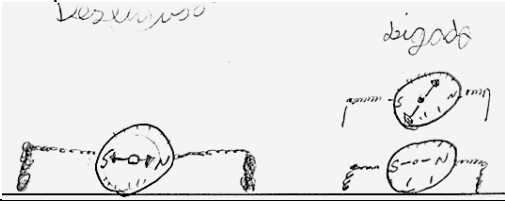
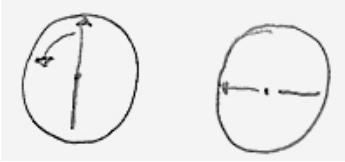
Figura 22 – Registro dos estudantes realizando o experimento observacional 1



Fonte: Produzido pelo autor (2025)

A mesma análise foi realizada para os demais experimentos observacionais. No experimento observacional 2 (Experimento de Hans Christian Oersted), conforme observa-se no Quadro 12 é possível perceber novamente o uso predominante da escrita verbal, mas o uso de desenhos e esboços dos grupos 5 e 6. É importante notabilizar a diversidade na escrita verbal adotada pelos grupos, uns utilizando a direção leste e oeste, outros fazendo referência da rotação em graus e alguns utilizando o termo horário e anti-horário para representar o movimento da bússola quando circulava corrente elétrica no circuito. Essa multiplicidade de descrição dos grupos evidenciam a tentativa de cada um fazer a descrição a sua maneira de ver sem se preocuparem com a resposta dos grupos próximos a eles.

Quadro 12 – Registro das observações realizadas pelos grupos: experimento observacional 2 (Experimento de Oersted) – Sentido convencional da corrente

Grupo	Sentido convencional da corrente
1	O ponteiro da bússola (o lado verde) ficou oscilando entre norte e leste; direção horária; oscilou mais ou menos 90°; a pilha pode afetar
2	Girou 45° graus para esquerda, alterando o campo magnético da direção norte para a noroeste.
3	Observamos que a bússola que estava apontada para N e S gira 90° grau apontando para NW e SE
4	A bússola gira para o oeste. Mas não tanto. Sentido horário
5	Quando ligamos a chave o pontinho vermelho da bússola se deslocou 45° para o oeste 
6	A bússola se movimenta 180° para o oeste, girou anti-horário. 

Fonte: Produzido pelo autor (2025)

É possível observar na Figura 23, os grupos realizando o procedimento experimental e fazendo as observações oralmente ao professor. Em seguida essas explicações registradas na folha do roteiro experimental do aluno que estava sobre a mesa.

Figura 23 – Registro dos estudantes realizando o experimento observacional 2



Fonte: Produzido pelo autor (2025)

No experimento observacional 3, conforme observa-se no Quadro 13 e no Quadro 14, os grupos apresentaram uma evolução no uso da linguagem verbal.

Quadro 13 – Registro das observações realizadas pelos grupos: Experimento observacional 3 (Força magnética) – sentido convencional da corrente

Grupo	Sentido convencional da corrente
1	Observamos que a barra de cobre vai para trás. O cobre tem massa pequena.
2	Observamos que ao ligar a bateria, a barra não-magnética foi puxada para trás.
3	Observamos que a barra de metal dourada se movimentou para trás por conta do campo magnético puxando-o para frente.
4	Tem um limite pra barra magnética se mexer, e ela se move para frente quando liga o suporte, e barra magnética tem que estar em equilíbrio. O corpo esquenta enquanto os trilhos não esquenta.
5	Ao montarmos o experimento e ligar o circuito percebe-se que a barra sofre deslocamento. Também, notou-se que ao alterarmos a posição do ímã, a direção do deslocamento da barra, também foi alterada.
6	Observamos que quando o norte está embaixo ele puxa a barra não-magnética para trás e a barra não-magnética esquenta.

Fonte: Produzido pelo autor (2025)

Quadro 14 – Registro das observações realizadas pelos grupos: Experimento observacional 3 (Força magnética) – sentido da corrente invertida

Grupo	Sentido da corrente invertida
1	Observamos que a barra vai para frente ao invertemos o fio. E ele não deixa a barra voltar
2	Observamos que ao ligar a bateria, a barra não-magnética alterou seu sentido de movimentação sendo puxada para frente.
3	Observamos o mesmo que o experimento anterior apenas mudou a direção da barra pois mudou o campo magnético.
4	Mudou o sentido de movimento da barra por causa que mudou o sentido do campo magnético de movimentação; obs.: a barra não-magnética é oca (mais leve) e continua tendo energia térmica nessa barrinha. E com a interação de outro ímã menor não tem tanto efeito pois é menor sua força. E só repele, não atrai.
5	Quando alteramos a posição da garra jacaré a barra não-magnética deslocou-se para a esquerda (para frente)
6	Quando trocamos os fios, a base com o norte para baixo é empurrado para frente.

Fonte: Produzido pelo autor (2025)

Ainda sobre o experimento observacional 3, percebe-se, por meio do Quadro 13 e Quadro 14, que os grupos se atentaram a descrever de fato aquilo que observavam sem tentar fornecer alguma explicação sobre o fenômeno. Além disso, esperava-se que observassem apenas o movimento da barra devido o surgimento da força magnética ao estabelecer corrente elétrica no circuito, mas alguns grupos foram além e verificaram o aquecimento dos trilhos e da barra ao ligar o circuito. Isso demonstra um olhar mais atento dos grupos nas observações.

Já o experimento observacional 4, referente a indução eletromagnética, foi o experimento que mais despertou o interesse e curiosidades dos estudantes sobre seu funcionamento. Na Figura 24 observa-se um dos grupos realizando o experimento observacional onde é possível observar que a bobina encontra-se em repouso sobre a mesa e o ímã oscila sobre a bobina.

Figura 24 – Estudantes realizando o experimento observacional 4 (indução eletromagnética)



Fonte: Produzido pelo autor (2025)

Ao perguntar aos estudantes no “Questionário de avaliação da abordagem de ensino ISLE” sobre quais experimentos eles mais gostaram, foi unânime, todos incluíram o experimento de indução eletromagnética. Neste último experimento observacional, assim, como nos anteriores, percebe-se pelos registros nos Quadro 15, Quadro 16 e Quadro 17, que alguns grupos conseguiram estabelecer a relação esperada de que o movimento relativo, ímã ou bobina, provocava o aparecimento de corrente elétrica que poderia ser detectada pelo galvanômetro ou pelo LED. Pode-se observar isso por meio das respostas dos grupos 2, 3 e 4, nos respectivos quadros citados.

Quadro 15 – Resultados do experimental observacional 4 – Indução eletromagnética: ímã oscilante

Grupo	Ímã oscilante
1	Observamos que a velocidade que passamos o ímã interfere no resultado que o aparelho mede a corrente elétrica. Ele fica entre -10 e 10
2	O ímã (campo magnético) gerou corrente elétrica. O galvanômetro registrou uma oscilação entre 10 e -10. Campo magnético em movimento e bobina em repouso.
3	Observamos que o ponteiro do galvanômetro fica oscilando entre -10 e 10.
4	Observa-se que a velocidade depende da energia, então se a velocidade é mais rápida parece que a energia aumenta e se a velocidade é mais lenta a energia diminui, pois quando a velocidade do ímã é mais rápida o galvanômetro processa melhor e quando o ímã se movimenta mais rapidamente o galvanômetro tem mais dificuldade de processar a energia. E, também é observado que o galvanômetro processa por causa do fio de cobre.
5	Quando oscila o ímã também oscila o valor -10 para 10. Quando balançamos o ímã o medidor mexeu o ponteiro medindo a força de energia.
6	Ao movimentar o ímã devagar ele balança entre -5 a 0 e entre 10, quando aumentamos a velocidade ele vai de -20 a 20.

Fonte: Produzido pelo autor (2025)

Quadro 16 – Resultados do experimental observacional 4 – Indução eletromagnética: bobina oscilante

Grupo	Bobina oscilante
1	Observamos que a corrente elétrica fica mais forte
2	Observamos que o ímã (campo magnético) gerou corrente elétrica mesmo invertendo e colocando o campo magnético em repouso e a bobina em movimento. Houve uma oscilação registrada no galvanômetro entre 10 e -10.
3	Observamos o mesmo que o experimento anterior oscilando entre 10 e -10.
4	Observa-se que a movimentação faz com que o galvanômetro perceba a corrente elétrica do mesmo jeito do experimento anterior, só diferenciando por causa da troca da corrente de cobre e o ímã, observando que a corrente de cobre e o ímã trabalham juntos. E que a movimentação é relativa. E observa-se que o galvanômetro indica a direção do movimento e as lâmpadas indicam a quantidade.
5	Ele oscila de -10 para 5. Parece que fica mais prático de observar a voltagem da energia no galvanômetro.
6	Ele se movimenta entre -10 a 10 quando balançamos a bobina em cima do ímã.

Fonte: Produzido pelo autor (2025)

Quadro 17 – Resultados do experimental observacional 4 – Indução eletromagnética: LED substituindo o galvanômetro

Grupo	Ímã oscilante /Bobina oscilante
1	Observamos que o campo magnético cria corrente elétrica e que a velocidade do ímã influencia no resultado do experimento.
2	Observamos que tanto com o ímã em movimentação ou a bobina em movimentação, gerou corrente elétrica.
3	Observamos que ao passar por cima, por dentro ou por fora seja rápido ou lento a luz acende
4	Observa-se que o ímã e a corrente de cobre depende uma da outra pra ter um campo magnético pra gerar corrente elétrica. E que quando o ímã vem de mais longe a capacidade de gerar corrente é melhor do que quando o ímã oscila menos.
5	A velocidade gera energia por causa do campo magnético. O movimento do ímã gera a energia, ligando o LED.
6	Quando balançamos o ímã a luz do LED acende comprovamos que o campo magnético produz a energia.

Fonte: Produzido pelo autor (2025)

De maneira geral, podemos evidenciar pelas observações em campo e pelos registros dos grupos, que as habilidades esperadas na fase observacional foram identificadas de maneira satisfatória, embora os estudantes fizeram uso predominante da representação verbal. Entende-se que o uso de múltiplas representações poderiam ser desenvolvidas se, houvesse o feedback das habilidades científicas esperadas dentro da abordagem ISLE, no entanto, como os experimentos foram realizadas com aulas contínuas o feedback não aconteceu.

6.3.2 Os experimentos testes e as habilidades científicas aferidas

Conforme já destacado na seção anterior, os grupos de maneira geral conseguiram conduzir os experimentos observacionais, foram capazes de ver claramente o fenômeno a ser investigado e conseguiram fazer a uma descrição daquilo que visualizaram, mas muitas das vezes misturada com explicações ou padrões. Agora, dando prosseguimento a análise das habilidades aferidas convém analisar a capacidade dos grupos de projetar e conduzir um experimento para testar uma ideia/hipótese/explicação ou relação matemática. Esta capacidade é avaliada pela rubrica C que está detalhada no ANEXO A – RUBRICA PARA HABILIDADES CIENTÍFICAS.

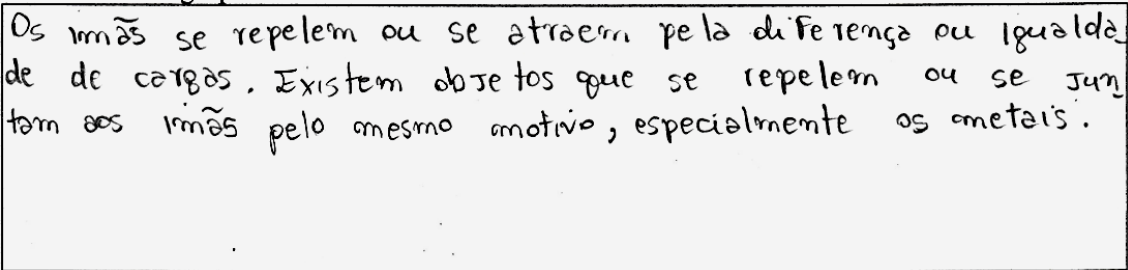
Conforme previsto no ISLE, houve o momento destinado a cada grupo apresentar o padrão observado, as hipóteses e a previsão em relação as hipóteses a fim de que por meio destas informações pudessem discutir/propor/realizar algum experimento teste que pudessem testar as hipóteses estabelecidas por eles. O ISLE prevê as dificuldades dos

estudantes com a investigação científica e recomenda que o professor pode propor e pode até preparar antecipadamente experimentos testes que os alunos podem utilizá-los com a cautela de que o uso do experimento teste proposto pelo professor seja para testar as hipóteses propostas pelos grupos. Diante das dificuldades que os grupos tiveram em estabelecer a diferença entre hipótese e previsão, os grupos não conseguiram propor nenhum experimento sendo necessário utilizar àqueles propostos pelo professor. Ainda assim, necessitaram da orientação e acompanhamento do professor para organizarem suas ideias na folha de experimento teste e assim realizarem os experimentos testes propostos.

No sentido de ajudar os grupos a organizarem suas ideias a fim de serem testadas, todos os experimentos testes iniciaram com as seguintes perguntas direcionadoras: Qual o objetivo do experimento? Quais hipóteses estão sendo testadas? O que deve acontecer para a hipótese ser verdadeira?

As perguntas direcionadoras demonstraram ser assertivas, pois foi possível minimizar as dificuldades encontradas pelos grupos e fazer com que conseguissem estabelecer a relação necessária das observações realizadas por eles nos experimentos observacionais com o que deveriam observar/acontecer nos experimentos testes. Na Figura 25 é possível perceber a tentativa do grupo 2 em propor uma explicação estabelecendo a hipótese e a previsão. Observa-se que o grupo tenta fornecer uma explicação, mas não estabelece uma hipótese e nem a previsão para suas hipóteses. Já a Figura 26 mostra a organização das ideias, do mesmo grupo, após conversar com o professor e analisar as perguntas direcionadoras antes de executarem o experimento teste proposto pelo professor. É possível perceber ideias mais claras do que eles iriam testar e a previsão do que deveria acontecer caso a hipótese fosse verdadeira.

Figura 25 - Hipótese e previsão apontadas pelo grupo 2 no experimento observacional 1



Os imãs se repelem ou se atraem pela diferença ou igualdade de cargas. Existem objetos que se repelem ou se juntam aos imãs pelo mesmo motivo, especialmente os metais.

Fonte: Produzido pelo autor (2025)

Figura 26 - Hipótese e previsão organizada pelo grupo 2 a fim de realizarem o experimento teste

Qual o objetivo do experimento? Quais hipóteses estão sendo testadas?

Objetivo: Testar diferentes materiais e analisar sua interação com um ímã.

Hipótese: Todos os materiais metálicos possuem interação com o ímã; O formato do ímã influencia na sua intensidade; A bússola é um ímã.

O que deve acontecer para a hipótese ser verdadeira?

Todos materiais metálicos devem interagir com o ímã;
Haver diferença na concentração de magnetismo em ímãs com diferentes formatos;
A bússola precisa se comportar como um ímã.

Fonte: Produzido pelo autor (2025)

Situação semelhante pôde ser observado para o grupo 3. Houve a tentativa de explicação, mas tiveram dificuldades em propor a hipótese e uma previsão sobre ela, mas em seguida, visto que era necessário organizar melhor as ideias para realização do experimento teste, eles conseguiram organizar a hipótese estabelecida pelo grupo. As Figura 27 e Figura 28 retratam essas duas realidades.

Figura 27 – Hipótese e previsão apontadas pelo grupo 3 no experimento observacional 1

No caso dos ímãs eles se repelem (quando cores iguais) pois possuem energias iguais, ao juntar as partes diferentes eles se juntam pois tem energia diferente. No caso da bússola aponta verde seria como a vermelha do ímã, então ela possui uma energia que pode repulir ou se juntar. Quando as p, lhas que tem energias diferentes ocorre o mesmo controle

Fonte: Produzido pelo autor (2025)

Figura 28 – Hipótese e previsão organizada pelo grupo 3 a fim de realizarem o experimento teste

Qual o objetivo do experimento? Quais hipóteses estão sendo testadas?

Saber quais objetos se atraem e quais se repelem a hipóteses de energia iguais e diferentes se atrair ou repelir

O que deve acontecer para a hipótese ser verdadeira?

Um dos objetos tem que ter carga contrária do do ímã ou igual para repelir ou atrair

Fonte: Produzido pelo autor (2025)

A mesma análise foi realizada para as demais práticas experimentais testes 2, 3 e 4. Cabe destacar o experimento teste realizado sobre a indução eletromagnética, enfatizando as hipóteses e previsão propostos pelos mesmos grupos analisados acima. Percebe-se pela Figura 29 que a tentativa de explicação/hipóteses/previsão apontada pelo grupo 2 está associada a velocidade de oscilação do ímã ou da bobina, no entanto, apontam uma hipótese de que a proximidade entre o ímã e a bobina influencia no fato da corrente ser positiva ou negativa. Percebe-se uma melhora na maneira de expressar a hipótese, mas carece de uma previsão sobre a hipótese.

Figura 29 – Hipótese e previsão apontadas pelo grupo 2 no experimento observacional 4 (indução eletromagnética)

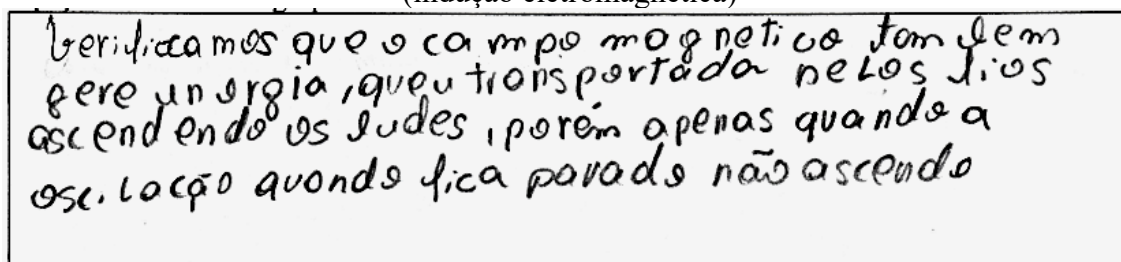
A velocidade com que se movimenta a bobina e o ímã influencia para gerar a corrente elétrica.

A distância do movimento também influencia, quanto mais distante o movimento gera uma corrente positiva, mais próximo gera uma corrente negativa.

Fonte: Produzido pelo autor (2025)

Já o grupo 3, conforme Figura 30, associa a existência de energia elétrica a oscilação, presume-se que queiram dizer oscilação do ímã ou da bobina. Uma observação interessante destacada por este grupo foi de que a existência de energia está associada a essa oscilação, sendo próximo daquilo que se esperava que eles percebessem. Do exposto, nota-se que este grupo esteve mais próximo de organizar melhor a hipótese e estabelecer a previsão sobre a hipótese proposta em alguma situação a fim de testá-la.

Figura 30 – Hipótese e previsão apontadas pelo grupo 3 no experimento observacional 4 (indução eletromagnética)



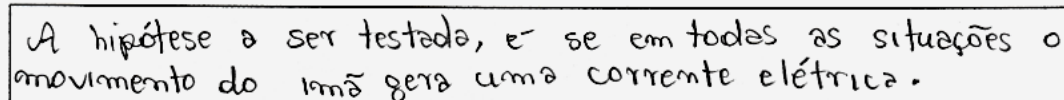
Verificamos que o campo magnético tem em si energia, que é transportada pelos fios. Quando os fios oscilam, a energia é transportada, porém quando a oscilação acaba, ela para de ser transportada.

Fonte: Produzido pelo autor (2025)

Agora nas Figura 31 e Figura 32 temos a hipótese e a previsão dos grupos organizadas por meio do diálogo como o professor e leitura das perguntas direcionadoras. Verifica-se que o grupo 2 conseguiu organizar as hipóteses e a previsão de maneira mais adequada. Já o grupo 3 a hipótese e a previsão estabelecida pelo grupo não ficou muito clara.

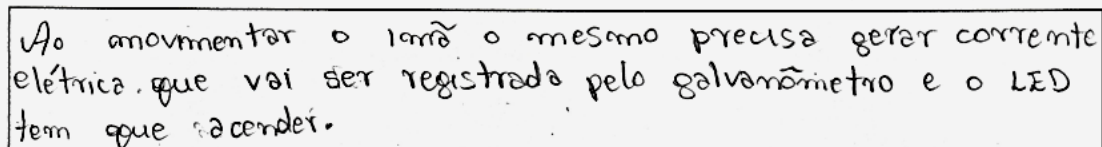
Figura 31 – Hipótese e previsão apontadas pelo grupo 2 para realizar o experimento teste de indução eletromagnética

Qual o objetivo do experimento? Quais hipóteses estão sendo testadas?



A hipótese a ser testada, é se em todas as situações o movimento do ímã gera uma corrente elétrica.

O que deve acontecer para a hipótese ser verdadeira?



Ao movimentar o ímã o mesmo precisa gerar corrente elétrica, que vai ser registrada pelo galvanômetro e o LED tem que acender.

Fonte: Produzido pelo autor (2025)

Figura 32 – Hipótese e previsão apontadas pelo grupo 3 para realizar o experimento teste de indução eletromagnética

testar se o fio transporta energia para outros. A hipótese é o objeto utilizado funcionar

O que deve acontecer para a hipótese ser verdadeira?

O objeto deve funcionar através da energia magnética gerada

Fonte: Produzido pelo autor (2025)

De maneira geral, ao avaliar as habilidades e sub-habilidades dadas pela rubrica C, verifica-se que os grupos não foram capazes de projetar seus próprios experimentos. No entanto, ao fornecer os experimentos testes elaborados pelo professor, com a orientação do professor e as perguntas direcionadoras disponibilizadas nestas propostas de experimentos testes, eles foram capazes de organizar as ideias necessárias para executarem os experimentos testes propostos. Desta forma, entende-se que foram capazes de: identificar a hipótese a ser testada; de reproduzir um experimento confiável para testar a hipótese (mesmo sendo àquele disponibilizado pelo professor) e foram capazes de fazerem uma previsão razoável com base em uma hipótese (tinham que estabelecer a relação da hipótese do grupo com o experimento teste disponibilizado pelo professor).

A rubrica C, por meio das sub-habilidades, foi utilizada também para avaliar o julgamento dos grupos quanto ao resultado dos experimentos testes. Percebeu-se de maneira geral que conseguiram fazer um julgamento razoável sobre as hipóteses avaliando se foram confirmadas ou descartadas. Para esta análise ao término do experimento teste os grupos foram questionados com a seguinte pergunta: O experimento teste confirma alguma das hipóteses? Se sim, propor aplicações com as descobertas realizadas. Analisando as Figura 33 e Figura 34 encontramos nestes registros, realizados pelos grupos 2 e 3, evidências da capacidade de análise dos resultados nos experimentos testes de interação entre ímãs.

Figura 33 – julgamento das hipóteses realizada pelo grupo 2 sobre o experimento teste de interação entre ímãs

Leve uma rejeição de parte da hipótese, pois, analisamos que nem todos os metais interagem com o ímã. Só há interação de materiais com composição de Ferro, níquel e cobalto. Alumínio e cobre não interagem com o ímã; Confirmamos a hipótese em relação ao formato do ímã. A bússola realmente é um ímã. → hipótese confirmada

Fonte: Produzido pelo autor (2025)

Figura 34 – julgamento das hipóteses realizada pelo grupo 3 sobre o experimento teste de interação entre ímãs

Rejeita, pois na verdade todos os objetos que tem em sua composição grudam no ímã independente da sua energia + ou -

Fonte: Produzido pelo autor (2025)

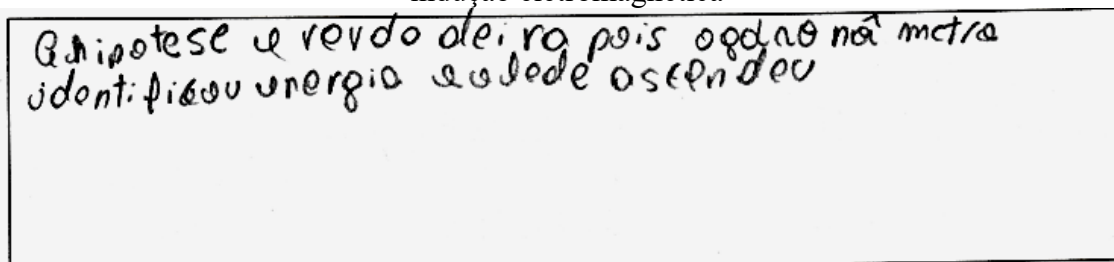
O mesmo acontece quando analisamos a Figura 35 e Figura 36. Encontramos nestes registros, realizados pelos grupos 2 e 3, evidências da capacidade de análise dos resultados nos experimentos testes de indução eletromagnética.

Figura 35 – julgamento das hipóteses feitas pelo grupo 2 sobre o experimento teste de indução eletromagnética

É verdadeira, pois, ao movimentar o ímã em torno do fio o galvanômetro registrou corrente elétrica e da mesma forma o LED acendeu. Pode-se citar como aplicações: patinete e patinete com led, bolinha infantil com LED, splinner, etc.

Fonte: Produzido pelo autor (2025)

Figura 36 – julgamento das hipóteses feitas pelo grupo 3 sobre o experimento teste de indução eletromagnética



Fonte: Produzido pelo autor (2025)

De maneira geral, infere-se que os grupos foram capazes de fazer o julgamento adequado das hipóteses estabelecidas para os experimentos testes. Desta maneira julga-se que foram capazes de identificar as suposições feitas ao fazer a previsão, de determinar a maneira como as suposições podem afetar a previsão, de decidirem se a previsão e o resultado concordam/discordam e por fim de fazerem um julgamento razoável sobre a hipótese.

6.3.4 A comunicação científica e as habilidades científicas aferidas

Sabe-se que a habilidade de comunicação científica é fundamental em uma investigação porque permite que os resultados e conhecimentos gerados sejam compartilhados de forma clara, precisa e acessível. Na abordagem ISLE, espera-se devolver nos estudantes a capacidade de comunicação oralmente e verbalmente. Dessa maneira espera-se que os estudantes sejam capazes de explicar verbalmente seu raciocínio, explicar oralmente para seu colega de grupo e para os demais da sala as observações realizadas, justificar verbalmente e oralmente porque a abordagem adotada pelo grupo é razoável, estabelecer quais as principais suposições que estão sendo feitas analisando quando um resultado não é fisicamente razoável e reavaliando, se necessário, a abordagem e/ou suposições. Para esta finalidade foi utilizado a rubrica F: Capacidade de comunicar ideias científicas, descritas no Quadro 18.

Quadro 18 – Habilidades científicas aferidas pela rubrica F

RUBRICA F: Capacidade de comunicar ideias científicas				
Capacidade científica	Ausente	Inadequado	Precisa melhorar	Adequado
F1 É capaz de comunicar os detalhes de um procedimento experimental de forma clara e completa	Diagramas estão faltando e/ou procedimentos experimentais estão ausentes ou são extremamente vagos.	Os diagramas estão presentes, mas são pouco claros e/ou o procedimento experimental está presente, mas faltam detalhes importantes. É preciso muito esforço para compreender.	Diagramas e/ou procedimentos experimentais estão presentes e claramente identificados, mas com pequenas omissões ou detalhes vagos. O procedimento exige algum esforço para ser compreendido.	Os diagramas e/ou procedimentos experimentais são claros e completos. Não exige esforço para compreender.
F2 É capaz de comunicar o objetivo do experimento de forma clara e completa	Não há discussão sobre o objetivo do experimento.	O experimento e as descobertas são discutidos, mas de forma vaga. Não há nenhuma reflexão sobre a qualidade e a importância das descobertas.	O experimento e as descobertas são comunicados, mas a reflexão sobre sua importância e qualidade não está presente.	O experimento e as descobertas são discutidos com clareza. Há uma reflexão profunda sobre a qualidade e a importância das descobertas.

Fonte: Adaptado de Etkina et al. (2006) e Etkina, Brookes e Planinsic (2019)

Por se tratar do primeiro contato dos estudantes com este tipo de abordagem, os estudantes foram avaliados pela comunicação oralmente, durante os vários momentos que os grupos tiveram para comunicarem com a turma, e verbalmente pelos registros realizados nos experimentos observacionais e experimentos testes.

Foi possível observar que durante os vários momentos de oratória sobre as observações, as hipóteses estabelecidas e resultados obtidos que os estudantes foram capazes de transmitir as informações necessários para que todos da sala compreendessem a ideia do grupo. É claro que por se tratar de uma turma com mais de trinta alunos foi avaliado aqueles alunos que se manifestaram por espontânea vontade.

Ao analisar os registros verbalmente (experimentos observacionais e experimentos testes) verificou-se que alguns grupos foram cuidadosos para se expressarem utilizando uma linguagem simples, mas bem estruturada. A Figura 26, retrata um grupo que teve o cuidado em transformar em palavras aquilo que o grupo pensavam a respeito, dessa maneira respostas nesse nível, sem muito rigor, foram classificadas em nível adequado. Já a Figura 28, percebe-se que faltou um rigor na escrita para detalhar aquilo que o grupo iria fazer, dessa forma resposta nesse sentido foram avaliadas no nível necessário melhorar.

É importante destacar que o papel das rubricas não possui o intuito de classificar os alunos em aprovados ou reprovados, mas sim mostrar aos alunos onde precisam melhorar. Esta ideia está alinhada ao conceito de avaliação formativa a qual o professor

usa a avaliação durante o processo de aprendizagem para fornecer feedback aos alunos e por meio disso um caminho para a melhoria. O fato de o produto educacional ter sido implementado ao longo de doze aulas, distribuídas em dois dias consecutivos, impossibilitou a realização de devolutivas sistemáticas aos estudantes. Essa limitação, não abordada nesta pesquisa, constitui uma lacuna relevante, uma vez que o feedback poderia ter contribuído para evitar a repetição de determinados “vícios” identificados ao longo das práticas experimentais.

7 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, buscamos implementar e avaliar a eficácia da abordagem ISLE (Investigative Science Learning Environment) quando aplicadas para estudantes do ensino médio e sua contribuição para compreensão de conceitos básicos sobre o eletromagnetismo e para a melhora da motivação dos estudantes. Com base nos fundamentos teóricos do ISLE elaborou-se e implementou-se uma sequência didática investigativa, específica para o ensino de eletromagnetismo, com experimentos que permitiram os estudantes, organizados em grupos, observarem fenômenos, formularem hipóteses, realizarem testes experimentais e discutirem os resultados em grupo.

Com a implementação da proposta por meio da abordagem ISLE, este estudo buscou responder à seguinte questão: Como professores da educação básica, que atuam ministrando a disciplina de Física, podem despertar o interesse dos estudantes pela disciplina e contribuir para a melhora da compreensão de conceitos básicos relacionados a este componente curricular?

Os resultados mostraram a eficácia do ISLE no sentido de melhorar o interesse dos estudantes e a compreensão de conceitos básicos sobre eletromagnetismo por meio da investigação, experimentação e colaboração entre os estudantes participantes da pesquisa. Por meio da análise dos resultados verificou-se os estudantes bastante envolvidos no desenvolvimento das atividades propostas. Um fato interessante para notabilizar dos resultados foi observar a importância do trabalho colaborativo neste tipo de abordagem uma vez que numa sala de aula tradicional, na maioria das vezes, o trabalho em grupo não é produtivo, uma vez que geralmente um aluno produz e os demais são apenas coadjuvantes. Na aplicação do produto educacional pode-se observar a intensa interação em grupo para realização das atividades propostas, tornando os integrantes protagonistas do processo. Estes fatos corroboram o papel motivacional que um ambiente investigativo proporcionam aos estudantes.

Ainda sobre o aspecto motivacional, cabe ressaltar que além dos resultados analisados pelo pesquisador, os estudantes puderam expressar opiniões sobre a abordagem utilizada e nessa avaliação 92% dos alunos disseram ser melhor compreender o conteúdo por meio da abordagem investigativa utilizada frente as aulas tradicionais. Além disso, 88% julgaram ser importante o trabalhado colaborativo no momento de esclarecer alguma dúvida surgida durante as atividades propostas. Quando solicitados

para avaliar numa escala de zero a dez a motivação para realizarem as atividades proposta a média obtida foi de 9,2 e a média de aprovação da abordagem utilizada foi de 9,8. Estes resultados mostraram que os estudantes souberam transformar as dificuldades em oportunidades de crescimento, sentindo-se motivados a superá-las, mesmo sendo desafiados a descobrir as coisas por si mesmos, em vez de receberem a resposta.

A compreensão dos conceitos básicos de eletromagnetismo foi aferida por meio das habilidades científicas avaliadas — gerar explicações e modelos, planejar investigações, testar hipóteses, argumentar com base em evidências e comunicar-se cientificamente —, uma vez que as atividades propostas consistiram em experimentos investigativos conduzidos com abordagem qualitativa.

A análise dos resultados mostrou que alguns grupos estudantes foram capazes de fazer observações adequadas para os experimentos observacionais propostos. Para estabelecerem hipóteses e previsões os grupos tiveram dificuldades e necessitaram de uma orientação mais direta do professor. No entanto, após as orientações conseguiram organizar as ideias do grupo e logo em seguida foram capazes de estabelecer hipóteses que puderam ser testadas em experimentos testes preparados pelo professor. As dificuldades encontradas acreditamos que seja por conta de não estarem acostumados com práticas do tipo investigativas e, além disso, percebemos a semelhança de erros nos experimentos observacionais quando era solicitado para identificarem o padrão, estabelecer hipóteses e a previsão para a(s) hipótese(s) estabelecida(s). Acreditamos que a lacuna não investigada nesta pesquisa, ou seja, a contribuição da devolutiva das rubricas, poderia ter corrigido a persistência dessas dificuldades.

Em posse das hipóteses e previsão estabelecidas verificou-se que os grupos foram capazes de avaliar se os resultados dos experimentos testes estavam em acordo/desacordo com a previsão estabelecida e ainda foram capazes de comunicarem seus resultados de maneira satisfatória oralmente e verbalmente. No entanto, além das dificuldades com as hipóteses e previsões já apontadas, os resultados mostraram que apresentaram dificuldades em registrar observações fazendo uso de múltiplas representações (gráficos, esboços, desenhos), prevalecendo as anotações verbal. A prevalência de anotações verbais, acreditamos que seja por conta de uma cultura escolar na qual as aulas de física numa sala de aula tradicional prevalece o uso de anotações verbais (teorias e equações matemáticas), onde o estudante preocupa-se em compreender o conteúdo e se questionar qual fórmula aplicar, termos estes utilizados pelos estudantes a qual este pesquisador

leciona. Reconhecendo a relevância das múltiplas representações no processo de aprendizagem, considera-se que seu uso poderia ter sido mais explorado caso, nos experimentos de natureza observacional, houvesse uma orientação explícita para que os grupos recorressem a esboços, desenhos e gráficos como forma de registro e expressão dos resultados obtidos.

Mesmo diante dos resultados satisfatórios, acreditamos que eles poderiam ter sido melhores se: i) o quantitativo de alunos por grupo fossem menores, ou que a infraestrutura fosse maior, uma vez trabalhamos com seis grupos com aproximadamente cinco a seis alunos, sendo que Eugenia Etkina recomenda grupos menores com no máximo quatro integrantes; ii) se o quantitativo de aulas fossem maiores e em dias alternados, pois assim seria possível fornecer os feedback para os grupos utilizando as rubricas. Por meio desta devolutiva eles pudessem refazer os experimentos, além de evitar que os erros cometidos não se repetissem ou fossem minimizados nas práticas experimentais posteriores. Por exemplo, poderiam melhorar a maneira de registrar as observações fazendo uso de mais representações (desenhos, esquemas, esboços) indo além da escrita e corrigindo a confusão feita por alguns alunos sobre observação, padrão, hipótese e previsão. Dito isto, entende-se que esta lacuna, a ausência de feedback, pode ser investigada em pesquisas posteriores que desejem utilizar este produto educacional avaliando o quanto o feedback pode melhorar a aprendizagem dos estudantes na aquisição de habilidades científicas.

Sobre o uso do produto educacional, recomenda-se aos professores que desejem utilizá-lo realizar a leitura da “seção 1 – Como utilizar o ISLE?” para compreender em como utilizar esta abordagem em sala de aula. É necessário ainda, reservar uma aula para explicar aos alunos sobre como funciona o ISLE esclarecendo todas as etapas pertinentes a esta abordagem e verificar se de fato os estudantes compreenderam a diferença entre registrar apenas as observações sem dar uma explicação, registrar o padrão observado no experimento observacional, estabelecer a hipótese para o padrão observado e estabelecer as previsões para as hipóteses.

Conclui-se que este trabalho, mesmo com as dificuldades enfrentadas, mostram que o ISLE surge como uma abordagem investigativa eficaz para a educação básica uma vez que contempla aquilo que está previsto nos documentos normativos brasileiros e está em acordo com aquilo que a literatura considera uma abordagem investigativa. Além disso, demonstrou resultados satisfatórios quanto a aprendizagem em física aferidas por meio do desenvolvimento das habilidades científicas e demonstrou ser uma abordagem

que contribui para a motivação dos estudantes. Importante ressaltar que com as mudanças na educação decorrente da implementação do novo ensino médio, a abordagem ISLE por ser utilizada de maneira mais proveitosa. Esse aproveitamento mais proveitoso é decorrente da ampliação das escolas em tempo integrais e surgimento de disciplinas de práticas experimentais no ensino de ciências da natureza, o que antes do novo ensino médio, não existiam disciplinas direcionadas exclusivamente para práticas experimentais.

REFERÊNCIAS

- AIREY, John; LINDER, Cedric. Social Semiotics in University Physics Education. *In*: TREAGUST, David F.; DUIT, Reinders; FISCHER, Hans E. (Orgs.). **Multiple Representations in Physics Education**. Cham: Springer, 2017. v. 10 p. 95–122.
- AZEVEDO, Maria Cristina Paternostro Stella. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. *In*: CARVALHO, Anna Maria Pessoa de (Org.). **Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática**. São Paulo: Cengage Learning, 2004. p. 19–33.
- BAPTISTA, Sofia Galvão; CUNHA, Murilo Bastos da. Estudo de usuários: visão global dos métodos de coleta de dados. **Perspectivas em Ciências da Informação**, v. 2, p. 168–184, 20 nov. 2007.
- BARROSO, Marta F.; RUBINI, Gustavo; DA SILVA, Tatiana. Dificuldades na aprendizagem de Física sob a ótica dos resultados do Enem. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 4, p. e4402, 18 jun. 2018.
- BEN-DOV, Yoav. **Convite à física**. Tradução: Maria Luiza X. de A. Borges. Rio de Janeiro: Zahar, 1996.
- BLACK, Paul; WILIAM, Dylan. Assessment and Classroom Learning. **Assessment in Education: Principles, Policy & Practice**, v. 5, n. 1, p. 7–74, 1998.
- BORGES, Antônio Tarciso. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 3, p. 291–313, 1 jan. 2002.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**, 2008.
- BUGGÉ, Danielle. Improving scientific abilities through lab report revision in a high school investigative science learning environment classroom. **Physical Review Physics Education Research**, v. 19, n. 2, 1 jul. 2023.
- CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. As práticas experimentais no ensino de Física. *In*: CARVALHO, Anna Maria Pessoa de *et al.* (Orgs.). **Ensino de Física**. São Paulo: Cengage Learning, 2010. p. 53–78.
- CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Fundamentos Teóricos e Metodológicos do Ensino por Investigação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, 15 dez. 2018.
- CASEIRO, Cíntia Camargo Furquim; GEBRAN, Raimunda Abou. Avaliação formativa: Concepção, práticas e dificuldades. **Nuances: Estudos sobre Educação**, v. 15, n. 16, 10 mar. 2008.
- CHAIB, João Paulo Martins de Castro; ASSIS, André Koch Torres de. Experiência de Oersted em sala de aula. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 1, p. 41–51, 2007a.

CHAIB, João Paulo Martins de Castro; ASSIS, André Koch Torres de. Distorção da obra eletromagnética de Ampère nos livros didáticos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, p. 65–70, 2007b.

CLEGG, Brian. **The Life and Science of James Clerk Maxwell**. London: Icon Books, 2019.

COBB, Paul. Putting philosophy to work - coping with multiple theoretical perspectives. In: LESTER, Frank K. (Org.). **Second Handbook of Research on Mathematics Teaching and Learning**. Charlotte: NCTM, 2007. v. 6179 p. 3–38.

CRESWELL, John W. **Projeto de pesquisa: método qualitativo, quantitativo e misto**. Tradução: Luciana de Oliveira Rocha. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

ETKINA, Eugenia *et al.* Scientific abilities and their assessment. **American Physical Society**, v. 2, n. 2, p. 0201031–02010315, 1 ago. 2006.

ETKINA, Eugenia; BROOKES, David T.; PLANINSIC, Gorazd. **Investigative Science Learning Environment: When learning physics mirrors doing physics**. San Rafael - CA: Morgan and Claypool Publishers, 2019.

ETKINA, Eugenia; BROOKES, David T.; PLANINSIC, Gorazd. Implementing an epistemologically authentic approach to student-centered inquiry learning. **American Physical Society**, v. 16, n. 2, p. 0201481–02014822, 4 dez. 2020.

ETKINA, Eugenia; VAN HEUVELEN, Alan. Investigative Science Learning Environment-A Science Process Approach to Learning Physics. In: REDISH, Edward F.; COONEY, Patrick (Orgs.). **Research-Based Reform of University Physics**. College Park: American Association of Physics Teachers - AAPT, 2007. p. 1–48.

FEYNMAN, Richard P.; LEIGHTON, Robert B.; SANDS, Matthew. **Lições de Física 2**. Tradução: Elcio Abdalla; Tradução: Cecília Berton Marth Hadler Chirenti; Tradução: Mario Cesar Baldiotti. Porto Alegre: Bookman, 2008.

FLICK, Uwe. **Introdução à metodologia de pesquisa: um guia para iniciantes**. Tradução: Magda Lopes. Porto Alegre: Penso, 2013.

FONSECA, Júlio César Abreu; COSTA, Messias de Souza. Desafios na aprendizagem de Física no Ensino Médio das escolas públicas: Uma revisão da literatura. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 7, p. e2812742440–e2812742440, 9 jul. 2023.

GOULART, Guilherme Salgueiro; LEONEL, André Ary. Revisão da literatura sobre o ensino de Física Moderna e contemporânea no Ensino Médio sob a ótica da TAS: problemáticas emergentes a partir de eventos brasileiros de ensino de Física. **Revista Dynamis**, v. 28, n. 1, p. 231–251, 30 mar. 2022.

GRIFFITHS, David J. **Eletrodinâmica, 3ª Edição**. Tradução: Heloísa Coímbra de Souza. São Paulo: Pearson Edition, São Paulo, 2011.

GUEDES, Luciano Dias dos Santos. **Experimentos com materiais alternativos: sugestão para dinamizar a aprendizagem de eletromagnetismo**. Dissertação de mestrado—Catalão: Universidade Federal de Catalão, 17 mar. 2017.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física, volume 3- Eletromagnetismo**. Tradução: Ronaldo Sérgio de Biasi. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HEWITT, Paul G. **Física conceitual**. Tradução: Trieste Freire Ricci. Porto Alegre: Bookman Editora, 2015.

HUNT, Bruce J. **Os seguidores de Maxwell**. Tradução: Antônio Emílio Angueth de Araújo. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2015.

KUHN, Thomas Samuel. **A estrutura das revoluções científicas**. Tradução: Beatriz Vianna Boeira; Tradução: Nelson Boeira. 5. ed. São Paulo: Editora Perspectiva, 1998.

LIMA, João Paulo Camargo de *et al.* ISLE – investigative science learning environment: uma possível abordagem metodológica ativa para o ensino de física. **CEMER**, v. 11, p. 272–289, 2021.

MACHADO, Kleber Daum. **Teoria do Eletromagnetismo, volume II**. Paraná: Editora UEPG, 2002.

MARTINS, Roberto de A. Orsted e a descoberta do eletromagnetismo. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, v. 10, p. 89–114, 1986.

MORAIS, Helenice Satie. **A investigação da aprendizagem para a docência e para a pesquisa e a utilização da abordagem de ensino ISLE**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Humanas, Sociais e da Natureza)—Londrina: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 6 ago. 2021.

MOREIRA, Marco Antônio; ROSA, Paulo Ricardo S. Subsídios Metodológicos para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências. 2016.

MOURÃO, Matheus Fernandes; SALES, Gilvandenys Leite. O uso do ensino por investigação como ferramenta didático-pedagógica no ensino de Física. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 13, n. 5, p. 428–440, 2018.

MUNFORD, Danusa; LIMA, Maria Emília Caixeta de Castro e. Ensinar ciências por investigação: em quê estamos de acordo? **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 9, n. 1, p. 89–111, 2007.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de física básica 3: Eletromagnetismo**. 1. ed. São Paulo: Editora Blucher, 1997.

OLIVEIRA, G. G. de *et al.* Experimentos portáteis para aula sobre indução eletromagnética, geradores e motores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 44, p. e20210388, 6 dez. 2021.

PAIVA, Marlla Rúbya Ferreira *et al.* Metodologias ativas de ensino-aprendizagem: revisão integrativa. **SANARE, Revista de Políticas Públicas**, v. 15, n. 2, p. 145–153, 2016.

PARREIRA, J. E. Aplicação e avaliação de uma metodologia de aprendizagem ativa (tipo ISLE) em aulas de Mecânica, em cursos de Engenharia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 1, p. e1401, 20 jul. 2017.

PAULA, Enio Freire de. Inventores e suas ideias brilhantes. **Revista NUPEM**, v. 4, n. 7, p. 273–279, 17 mar. 2012.

PEREIRA, Vítor Marques; FUSINATO, Polônia Atoé. Possibilidades e dificuldades de se pensar aulas com atividades experimentais: o que pensam os professores de física. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 10, p. 120–143, 7 out. 2015.

PIRES, Antonio Sergio Teixeira. **Evolução das ideias da Física**. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

POZO, Juan Ignacio; CRESPO, Miguel Ángel Gómez. **A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento Científico**. Tradução: Naila Freitas. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

RIBEIRO, Daniel. Georg Simon Ohm. **Revista de Ciência Elementar**, v. 2, n. 3, 30 out. 2014.

RIBEIRO, Daniel. Gustav Kirchhoff. **Revista de Ciência Elementar**, v. 3, n. 2, 30 jun. 2015.

RODRIGUES, Tatiane Daby de Fatima Faria; OLIVEIRA, Guilherme Saramago de; SANTOS, Josely Alves dos. As pesquisas qualitativas e quantitativas na educação. **Revista Prisma**, v. 2, n. 1, p. 154–174, 25 dez. 2021.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos. Educação científica na perspectiva de letramento como prática social: funções, princípios e desafios. **Revista Brasileira de Educação**, v. 12, n. 36, p. 474–550, 2007.

SASSERON, Lúcia Helena. Interações discursivas e investigação em sala de aula: o papel do professor. In: CARVALHO, Anna Maria Pessoa de (Org.). **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013. p. 41–62.

SCARPA, Daniela Lopes; SILVA, Máira Batistoni e. A biologia e o ensino de Ciências por investigação: dificuldades e possibilidades. In: CARVALHO, Anna Maria Pessoa de (Org.). **Ensino de Ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013. p. 129–152.

SILVA, Alexandre José de Carvalho. **Guia prático de metodologias ativas com uso de tecnologias digitais da informação e comunicação**. Lavras: UFLA, 2020.

SILVA, Patrick Oliveira da *et al.* Os desafios no ensino e aprendizagem da física no ensino médio. **Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente**, v. 9, n. 2, p. 829–834, 15 dez. 2018.

SILVA, Fabiana Carvalho *et al.* Proposta para Implementar Avaliação Formativa no Ensino Médio. **Ciência & Educação**, v. 26, 2020.

SOUZA, Rodrigo Bastos. Carl Friedrich Gauss: considerações representativas sobre a disciplina matemática. **Revista Gestão & Educação**, v. 7, n. 08, p. 201–210, 30 ago. 2024.

TAVARES, A.; SILVA, A.; CHESMAN, C. Experimentos Portáteis para o Aprendizagem das Leis da Óptica Geométrica com Metodologia ISLE. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 44, p. e20220084, 27 maio 2022.

TUFINO, Eugenio; ONORATO, Pasquale; OSS, Stefano. Exploring active learning in physics with ISLE-based modules in high school. **IOP Publishing**, p. 012021, 3 jul. 2023.

VAN HEUVELEN, Alan. Learning to think like a physicist: A review of research-based instructional strategies. **American Journal of Physics**, v. 59, n. 10, p. 891–897, 1 out. 1991.

ZÔMPERO, Andreia Freitas; LABURÚ, Carlos Eduardo. **Atividades investigativas para as aulas de ciências: um diálogo com a teoria da aprendizagem significativa**. Curitiba: Appris, 2016.

ANEXO A – RUBRICA PARA HABILIDADES CIENTÍFICAS

Quadro 19 – Rubricas de avaliação da capacidade científica A

RUBRICA A: Capacidade de representar informações de várias maneiras				
Capacidade científica	Ausente	Inadequado	Precisa melhorar	Adequado
A4¹¹ É capaz de usar representações para resolver problemas	Nenhuma tentativa é feita para resolver o problema.	O problema foi resolvido corretamente, mas nenhuma representação além da matemática foi usada.	O problema é resolvido corretamente, mas há apenas duas representações: matemática e palavras explicando a solução.	O problema é resolvido corretamente com pelo menos três representações diferentes (esboço, representação física e matemática ou esboço, palavras e matemática, ou alguma outra combinação)
A7 Esboço	Nenhuma representação é construída.	O esboço foi desenhado, mas está incompleto, sem quantidades físicas rotuladas, ou faltam informações importantes, ou contém informações erradas, ou faltam eixos de coordenadas.	O esboço não contém informações incorretas, mas não contém nenhuma ou poucas etiquetas com as quantidades fornecidas. Os subscritos estão ausentes ou inconsistentes. A maioria dos itens principais está desenhada.	O esboço contém todos os itens principais com rotulagem correta de todas as grandezas físicas e possui subscritos consistentes; os eixos são desenhados e rotulados corretamente.

Fonte: Adaptado de Etkina et al. (2006) e Etkina, Brookes e Planinsic (2019)

¹¹ Algumas rubricas foram suprimidas por não fazer parte das habilidades que seriam avaliadas no conjunto de atividades experimentais.

Quadro 20 – Rubricas de avaliação da capacidade científica B

RUBRICA B: Capacidade de projetar e conduzir um experimento observacional				
Capacidade científica	Ausente	Inadequado	Precisa melhorar	Adequado
B1 É capaz de identificar o fenômeno a ser investigado	Nenhum fenômeno é mencionado.	A descrição do fenômeno a ser investigado é confusa ou não é o fenômeno de interesse.	A descrição do fenômeno é vaga ou incompleta.	O fenômeno a ser investigado é claramente declarado.
B2 É capaz de projetar um experimento confiável que investigue o fenômeno	O experimento não investiga o fenômeno.	O experimento pode não produzir nenhum padrão interessante.	Alguns aspectos importantes do fenômeno não serão observáveis.	O experimento pode gerar padrões interessantes relevantes para a investigação do fenômeno.
B5 É capaz de descrever o que é observado sem tentar explicar, tanto em palavras quanto por meio de uma imagem da configuração experimental.	Nenhuma descrição é mencionada.	Uma descrição está incompleta. Não há esboço rotulado. Ou as observações foram ajustadas para corresponder às expectativas.	A descrição está completa, mas misturada com explicações ou padrões. O esboço está presente, mas é difícil de entender.	Descreve claramente o que acontece nos experimentos, tanto verbalmente quanto por meio de um esboço. Fornece outras representações quando necessário (tabelas e gráficos).
B9 É capaz de conceber uma explicação para um padrão observado	Não há nenhuma tentativa de explicar o padrão observado.	Uma explicação é vaga, não pode ser testada ou contradiz o padrão.	Uma explicação contradiz o conhecimento prévio ou o raciocínio é falho.	Uma explicação razoável é apresentada. Ela é testável e explica o padrão observado.

Fonte: Adaptado de Etkina et al. (2006) e Etkina, Brookes e Planinsic (2019)

Quadro 21 – Rubricas de avaliação da capacidade científica C

RUBRICA C: Capacidade de projetar e conduzir um experimento para <i>testar</i> uma ideia/hipótese/explicação ou relação matemática				
Capacidade científica	Ausente	Inadequado	Precisa melhorar	Adequado
C1 É capaz de identificar a hipótese a ser testada	Não há menção a nenhuma hipótese.	É feita uma tentativa de identificar a hipótese a ser testada, mas ela é descrita de maneira confusa.	A hipótese a ser testada é descrita, mas há pequenas omissões ou detalhes vagos.	A hipótese está claramente declarada.
C2 É capaz de projetar um experimento confiável que teste a hipótese	O experimento não testa a hipótese.	O experimento testa a hipótese, mas devido à natureza do projeto, é provável que os dados levem a um julgamento incorreto.	O experimento testa a hipótese, mas devido à natureza do design, há uma chance moderada de que os dados levem a um julgamento inconclusivo.	O experimento testa a hipótese e tem alta probabilidade de produzir dados que levam a um julgamento conclusivo.
C4 É capaz de fazer uma previsão razoável com base em uma hipótese	Nenhuma previsão é feita. O experimento não é tratado como um experimento de teste.	Uma previsão é feita, mas ela é idêntica à hipótese, OU a previsão é feita com base em uma fonte não relacionada à hipótese que está sendo testada, ou é completamente inconsistente com a hipótese que está sendo testada, OU a previsão não está relacionada ao contexto do experimento planejado.	A previsão decorre de uma hipótese, mas é falha porque * suposições experimentais relevantes não são consideradas e/ou * a previsão é incompleta ou um tanto inconsistente com a hipótese e/ou * a previsão é um tanto inconsistente com o experimento.	É feita uma previsão de que: segue da hipótese, é distinto da hipótese, descreve com precisão o resultado esperado do experimento planejado, incorpora suposições relevantes, se necessário.
C5 É capaz de identificar as suposições feitas ao fazer a previsão	Não há nenhuma tentativa de identificar quaisquer suposições.	Tenta-se identificar suposições, mas elas são irrelevantes ou são confundidas com a hipótese.	Suposições relevantes são identificadas, mas não são significativas para fazer a previsão.	Suposições suficientes são identificadas corretamente e são significativas para a previsão feita.
C6 É capaz de determinar especificamente a maneira como as suposições podem afetar a previsão	Não há nenhuma tentativa de determinar os efeitos das suposições.	Os efeitos das suposições são mencionados, mas descritos vagamente.	Os efeitos das suposições são determinados, mas nenhuma tentativa é feita para validá-los.	Os efeitos das suposições são determinados e as suposições são validadas.
C7 É capaz de decidir se a previsão e o resultado concordam/discordam	Não há menção se a previsão e o resultado concordam/discordam.	Uma decisão sobre o acordo/desacordo é tomada, mas não é consistente com o resultado do experimento.	Uma decisão razoável sobre o acordo/desacordo é tomada, mas a incerteza experimental não é levada em consideração.	Uma decisão razoável sobre o acordo/desacordo é tomada e a incerteza experimental é levada em consideração.
C8 É capaz de fazer um julgamento razoável sobre a hipótese	Nenhum julgamento é feito sobre a hipótese.	Um julgamento é feito, mas não é consistente com o resultado do experimento.	Um julgamento é feito, é consistente com o resultado do experimento, mas as suposições não são levadas em conta.	Um julgamento é feito, consistente com o resultado experimental, e suposições são levadas em consideração.

Fonte: Adaptado de Etkina et al. (2006) e Etkina, Brookes e Planinsic (2019)

Nota: A rubrica C3 não existe mais. Ela foi incorporada à C4. Para preservar as referências, as rubricas não foram renumeradas.

Quadro 22 – Rubricas de avaliação da capacidade científica F

RUBRICA F: Capacidade de comunicar ideias científicas				
Capacidade científica	Ausente	Inadequado	Precisa melhorar	Adequado
F1É capaz de comunicar os detalhes de um procedimento experimental de forma clara e completa	Diagramas estão faltando e/ou procedimentos experimentais estão ausentes ou são extremamente vagos.	Os diagramas estão presentes, mas são pouco claros e/ou o procedimento experimental está presente, mas faltam detalhes importantes. É preciso muito esforço para compreender.	Diagramas e/ou procedimentos experimentais estão presentes e claramente identificados, mas com pequenas omissões ou detalhes vagos. O procedimento exige algum esforço para ser compreendido.	Os diagramas e/ou procedimentos experimentais são claros e completos. Não exige esforço para compreender.
F2É capaz de comunicar o objetivo do experimento de forma clara e completa	Não há discussão sobre o objetivo do experimento.	O experimento e as descobertas são discutidos, mas de forma vaga. Não há nenhuma reflexão sobre a qualidade e a importância das descobertas.	O experimento e as descobertas são comunicados, mas a reflexão sobre sua importância e qualidade não está presente.	O experimento e as descobertas são discutidos com clareza. Há uma reflexão profunda sobre a qualidade e a importância das descobertas.

Fonte: Adaptado de Etkina et al. (2006) e Etkina, Brookes e Planinsic (2019)

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA ABORDAGEM ISLE



QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA ABORDAGEM DE ENSINO ISLE

QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DA ABORDAGEM DE ENSINO QUANTO A MOTIVAÇÃO E PERCEPÇÃO DA APRENDIZAGEM

* Obrigatória

1. Você já participou de alguma aula de Física na qual você realizou experimentos? *

- ☐ Sim
- ☐ Não
- ☐ Não me lembro

2. Como você avaliaria a abordagem de ensino utilizada em comparação com a abordagem tradicional (aulas normais), em termos de facilidade de aprendizado e compreensão? *

- ☐ Melhor
- ☐ Pior
- ☐ Igual
- ☐ Não consigo opinar

3. Qual o seu ponto de vista a respeito de aulas em que você é estimulado(a) a investigar um problema realizando experimentos propostos pelo professor? *

- ☐ Gostei muito
- ☐ Não gostei
- ☐ Não consigo opinar

4. Na exposição das ideias do seu grupo para os demais alunos da sala, você sentiu medo de estar errado? *

- ☐ Sim
- ☐ Não
- ☐ Não consigo opinar

5. Referente à pergunta anterior, você considera que os colegas do seu grupo o ajudaram na hora de tirar alguma dúvida levantada pelos demais alunos? *

☐ Sim

☐ Não

6. Considere a seguinte escala: 0 (zero) não fiquei motivado e 10 fiquei muito motivado. Como você classificaria a sua motivação durante aulas investigativas experimentais? *

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

7. Considere a seguinte escala: 0 (zero) - muito ruim, 5 - indiferente e 10 - muito bom. Como você avalia o método de ensino recém utilizado pelo(a) professor(a)? *

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

8. Considere a seguinte escala: 0 (zero) - muito ruim, 5 - indiferente e 10 - muito bom. Como você avalia a sua compreensão (aprendizado) dos conceitos de física abordados em aula? *

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

9. Você consegue relacionar os conteúdos e conceitos abordados com algum fenômeno, tecnologia, equipamento etc. do seu cotidiano? *

--

10. O que você mais gostou das aulas? *

--

11. Qual dos experimentos você achou mais interessante? *

--

12. Utilize as linhas abaixo para escrever sobre **aspectos negativos** da metodologia de ensino utilizada pelo professor. Escreva no mínimo 3 linhas. *

--

13. Utilize as linhas abaixo para escrever sobre **aspectos positivos** da metodologia de ensino utilizada pelo professor. Escreva no mínimo 3 linhas. *

--

APÊNDICE B – PRODUTO EDUCACIONAL

Faz parte do Produto Educacional a seguir: o guia didático-instrucional para utilização da abordagem ISLE, planos de aulas sobre o ensino de eletromagnetismo, conjunto de atividades experimentais observacionais e propostas de experimentos testes do professor.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CATALÃO
INSTITUTO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 02

Isaque Alcântara Santana

PRODUTO EDUCACIONAL

GUIA DIDÁTICO-INSTRUCIONAL PARA UTILIZAÇÃO DA
INVESTIGAÇÃO CIENTÍFICA COMO ESTRATÉGIA DE
APRENDIZAGEM (ABORDAGEM ISLE) NO ENSINO DE
ELETROMAGNETISMO

AUTORES: Isaque Alcântara Santana, Eduardo Sérgio de Souza

APRESENTAÇÃO

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: ENSINO INVESTIGATIVO DO ELETROMAGNETISMO PELA ABORDAGEM ISLE, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 2 – UFCAT, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Ele apresenta um guia didático para implementação da abordagem ISLE, que promove a aprendizagem por investigação e enfatiza o papel ativo dos estudantes ao aprender fazendo, discutindo e descobrindo juntos. Seu referencial teórico baseia-se nos trabalhos de Etkina, Planinsic e Brookes, pesquisadores reconhecidos internacionalmente na área de Ensino de Física.

O eletromagnetismo foi escolhido como unidade temática para exemplificar a aplicação da abordagem ISLE. A proposta foi elaborada para trabalho em grupos de aproximadamente quatro estudantes, com flexibilidade para adaptações do professor. Os planos de aula foram estruturados detalhadamente, contemplando objetivos, etapas investigativas e práticas experimentais. Também incluem o tempo destinado ao compartilhamento das conclusões entre os grupos e à discussão coletiva dos resultados. Por fim, a proposta prevê um momento específico para reflexão sobre a aprendizagem após todas as atividades, garantindo um processo completo e orientado de ensino-aprendizagem.

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

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	4
1 COMO UTILIZAR O ISLE?	6
2 ABORDAGEM ISLE NO ENSINO DO ELETROMAGNETISMO.....	9
2.1 Primeiro plano de aula	12
2.2 Segundo plano de aula.....	18
2.3 Terceiro plano de aula	24
2.4 Quarto plano de aula.....	29
3 ROTEIROS DOS EXPERIMENTOS	37
3.1 Roteiro do aluno para a prática experimental – 1º plano de aula.....	38
3.1.1 Proposta do professor para o experimento teste 1 – 1º plano de aula.....	41
3.1.2 Proposta do professor para o experimento teste 2 – 1º plano de aula.....	43
3.2 Roteiro do aluno para a prática experimental – 2º plano de aula.....	45
3.2.2 Proposta do professor para o experimento teste – 2º plano de aula.....	49
3.3 Roteiro do aluno para a prática experimental – 3º plano de aula.....	52
3.3.1 Proposta do professor para o experimento teste – 3º plano de aula.....	55
3.4 Roteiro do aluno para a prática experimental – 4º plano de aula.....	58
3.4.1 Proposta do professor para o experimento teste – 4º plano de aula.....	62
APÊNDICE	65
REFERÊNCIAS	67

INTRODUÇÃO

Prezado(a) professor(a),

Este produto educacional faz parte da proposta do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) e tem por finalidade proporcionar um guia didático-instrucional para implementação de uma proposta de ensino baseado na investigação científica como estratégia de aprendizagem (abordagem ISLE - Investigative Science Learning Environment), no qual os alunos aprendem fazendo, discutindo e descobrindo juntos, enfatizando o papel ativo dos estudantes no processo de ensino aprendizagem.

O referencial teórico da pesquisa é baseado na abordagem de ensino de Eugenia Etkina, Gorazd Planinsic e David Brookes. Eugenia Etkina (fundadora desta abordagem) é professora/pesquisadora da Rutgers University (Universidade Estadual de Nova Jersey) e membro da Associação Americana de Professores de Física (AAPT). Gorazd Planinsic, é professor/pesquisador de física na Universidade de Ljubljana – Eslovênia, concentrando seus últimos trabalhos na pesquisa de novos experimentos e em como usá-los de forma mais produtiva no ensino e aprendizagem de física e David Brookes é professor/pesquisador na California State University Chico, direcionando suas pesquisas para área de ensino. Os autores, por meio do ISLE, propõe uma abordagem holística de envolvimento interativo para aprender e ensinar física com o objetivo de envolver os alunos no aprendizado de física seguindo processos semelhantes aos que os físicos usam ao construir e aplicar novos conhecimentos (Etkina, Brookes e Planinsic (2020, p. 1).

Etkina, Brookes e Planinsic (2019) enfatizam que nessa abordagem, os alunos desenvolvem conceitos de física com suas próprias ideias, passando repetidamente pelos processo a seguir: Observar fenômenos pré-selecionados (geralmente experimentos) e procurar identificar padrões nestas observações; desenvolver explicações/modelos/relações matemáticas para esses padrões; propor e realizar experimentos testes em que seja possível prever os resultados com base na explicação proposta; analisar se os resultados dos experimentos de teste correspondem às previsões; revisar os modelos/relações, se necessário, a fim de chegar aos modelos/relações de uma linguagem científica adequada; e, por fim, propor aplicações dos modelos/relações para fins práticos, tais como, resolução de problemas, construção de dispositivos, determinação de valores de grandezas físicas, aplicações tecnológicas etc.

O envolvimento nas etapas descritas contribui para que os alunos desenvolvam o raciocínio indutivo ao encontrar padrões nos dados, o raciocínio analógico quando inventam/sugerem explicações/hipóteses para os padrões e o raciocínio hipotético-dedutivo quando os alunos utilizam as explicações/hipóteses inventadas para fazer previsões sobre os resultados dos experimentos testes. Além disso, destaca-se a aprendizagem em comunidade uma vez que a cada etapa, os alunos trabalham de forma colaborativa (em grupos) compartilhando ideias se assemelhando aos processos que a comunidade científica utiliza para desenvolver e aplicar o conhecimento.

A fim de dar suporte ao professor(a) para implementação dessa proposta de ensino, este produto é composto por: um guia didático detalhado sobre a implementação do ISLE, planos de aula para orientar os docentes, roteiros experimentais para os alunos e propostas de experimentos testes correspondentes a cada roteiro. Todos estes materiais didáticos ajustados para se alinharem com o ISLE.

O eletromagnetismo foi a unidade temática escolhida para exemplificar a aplicação desta abordagem. A proposta de ensino é planejada para ser realizada em grupo, em torno de quatro pessoas, podendo ser ajustado de acordo a necessidade do professor. Os planos de aulas foram detalhados prevendo toda etapa do processo de ensino-aprendizagem, tais como: os objetivos a serem alcançados, a realização das práticas experimentais propostas, o tempo para compartilhamento das conclusões sobre a prática experimental e o momento para discussão sobre a aprendizagem dos estudantes após realização de todas as atividades previstas.

É importante destacar que os planos de aula estão de acordo aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) do Brasil (2000), que enfatiza a promoção da competência investigativa e o estímulo ao questionamento e à compreensão do mundo. Além disso, está alinhado à Base Nacional Comum Curricular (BNCC) de 2018, que preconiza a gradual introdução, ao longo das etapas do ensino fundamental e médio, dos principais processos, práticas, procedimentos e instrumentos da investigação científica. Enfatiza-se que está de acordo a estes documentos orientadores e normativos implica ir além do realizar atividades seguindo um conjunto de etapas predefinidas, e, tampouco se restringir à mera manipulação de objetos ou realização de experimentos em laboratório.

1 COMO UTILIZAR O ISLE?

No decorrer da abordagem de um tema por meio do ISLE há distintas etapas do ciclo que devem ser consideradas, sendo elas: realizar o experimento proposto pelo professor, elaborar hipóteses sobre o(s) fenômeno(s) observado(s), elaborar um plano experimental para testar suas hipóteses ou testar suas hipóteses por meio do experimento teste disponibilizado pelo professor, analisar e verificar a confirmação ou rejeição das hipóteses testadas e por fim propor aplicações da(s) ideia(s) testada(s).

Para cumprimento destas etapas do ciclo a sugestão é que os alunos trabalhem em grupos, de 3 a 4 pessoas. O grupo deve registrar suas observações do experimento, procurar padrões nestas observações e analisar o experimento de várias maneiras para ajudar a produzir explicações qualitativas ou quantitativas (quando se tratar de experimentos que colete dados quantitativos) que justifiquem as suas observações. O professor nessa abordagem visa promover a autonomia dos estudantes na construção do conhecimento de física através da experimentação direta e da reflexão sobre os resultados. Inicialmente, o docente atua como facilitador do processo de aprendizagem, incentivando a investigação e a descoberta dos princípios físicos pelos próprios alunos conforme proposto pelos criadores desta abordagem. Somente após o término do ciclo que o docente sintetiza as ideias dos estudantes com uma linguagem científica adequada.

Desse modo, sintetizando as etapas do ciclo, nas palavras de Etkina, Brookes e Planinsic (2019), temos:

1ª Etapa (realizar a atividade experimental): O professor deve iniciar a aula apresentando a prática experimental a ser realizada. Deve orientar os grupos a descreverem o resultado do experimento (somente o relato do padrão que foi observado e não a hipótese para explicar o padrão observado). Basicamente eles devem responder à pergunta: o que aconteceu? Nesta fase, o professor assume o papel de instrutor, guiando práticas investigativas sem oferecer conceitos de física prontos. O professor não faz previsões nem fornece feedback sobre os modelos dos alunos antes dos testes experimentais (5ª Etapa).

2ª Etapa (elaborar hipóteses, procurar explicações sobre o porquê do padrão identificado): Em seguida o professor solicita aos alunos que proponham hipóteses que expliquem os padrões encontrados. Ou seja, o grupo deve formular perguntas sobre o que

eles conseguem observar do experimento (Por que isso ocorre? Como/quando ocorre?) e por fim identificarem um padrão (Quando realizo isso...aquilo acontece, ou seja, elaborar hipóteses sobre o padrão observado). Deve-se incentivar a discussão dentro de cada grupo para que eles possam trocar ideias e aprimorar suas hipóteses. Eles devem desenvolver explicações/modelos/relações matemáticas (quando se tratar de experimentos quantitativos) para esses padrões. Em síntese, os alunos reúnem dados sobre o fenômeno, identificam padrões interessantes e apresentam várias explicações para o porquê de o fenômeno estar acontecendo. Inicialmente, todas as ideias são aceitáveis, para incentivá-los a pensarem sobre o problema em questão. Em seguida cada grupo apresenta as hipóteses sobre o padrão observado a fim de que os demais grupos tenham conhecimento da análise. Essa partilha de conhecimento entre grupos é essencial, pois não apenas fortalece o entendimento coletivo, mas também impulsiona a exposição de diferentes pontos de vista e promove um ambiente de aprendizado compartilhado.

3ª Etapa (realizar experimento(s) teste(s)): após apresentação das hipóteses, o docente deve incentivar cada grupo a elaborar um plano experimental para testar suas hipóteses/explicações para o modelo que eles construíram, ou seja, eles devem “prever” qual será o resultado do experimento teste se uma determinada hipótese for verdadeira (o professor pode sugerir uma prática experimental para testar as previsões/padrão elaboradas por eles caso os grupos não consigam propor um experimento teste).

Basicamente na elaboração do plano experimental eles devem realizar um raciocínio hipotético-dedutivo: Se esta explicação estiver correta, e eu fizer isso e aquilo (realizar um experimento de teste), então isso e aquilo deverá acontecer (previsão baseada na hipótese que o grupo propôs). Se o resultado do experimento teste estiver de acordo com o previsto a hipótese ainda não foi refutada, caso contrário a hipótese estará rejeitada.

4ª Etapa (após experimento(s) teste(s) verificar a confirmação ou rejeição da(s) hipótese(s)): Com o plano experimental em mãos (aquele elaborado pelos grupos ou disponibilizado pelo professor) deve-se acompanhar os grupos na análise dos resultados observados nos experimentos testes, fazendo-se necessário promover a discussão sobre os padrões observados e a relação entre os resultados e as hipóteses iniciais. As ideias que não são eliminadas são testadas novamente com mais experimentação, se necessário.

No caso de uma incompatibilidade (experimentos testes com as hipóteses), inicia-se o processo de revisões a qual há três caminhos distintos a se seguir: o primeiro, refazer o experimento proposto uma vez que os dados coletados não foram suficientes; o segundo,

propor uma nova explicação, ou seja, o experimento teste invalidou as suposições/hipóteses pressupostos pelo grupo; terceiro, revisar a explicação uma vez que foi verificado algo a mais do que estava previsto pelas hipóteses. Destaca-se nesse processo de revisão, qualquer um dos experimentos pode se tornar um experimento observacional quando ocorre um resultado inesperado.

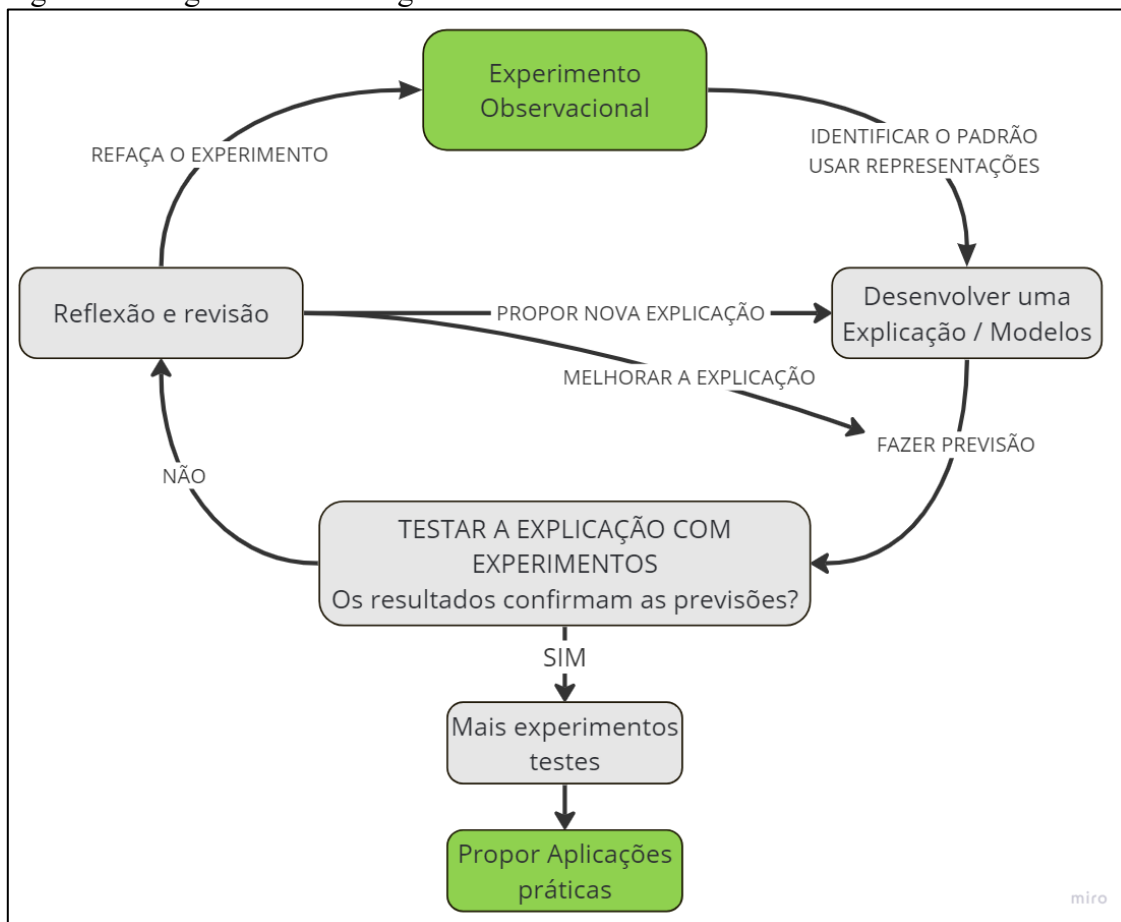
5ª Etapa (proposta de aplicação da ideia testada): Finalizado os testes experimentais, com base na conclusão dos grupos é o momento para os grupos proporem como utilizar as descobertas para resolver problemas do mundo real, por exemplo, aplicações daquelas descobertas no cotidiano.

Novamente é o momento de promover a comunicação e o compartilhamento de resultados entre os grupos ou a turma. Deve-se incentivar as apresentações orais ou outras formas de compartilhar as descobertas a fim de integrar as ideias que eles estabeleceram para resolver problemas do mundo real ou aplicações no mundo real.

Após essa etapa é o momento do(a) docente integrar, ou seja, acrescentar os conceitos teóricos relacionados ao tema estudado com as descobertas realizadas pelos estudantes por meio dos experimentos. O professor deve nomear (se possível) à ideia inventada (dar nome ao experimento, dar nome a teoria), sintetizando os achados dos alunos usando uma linguagem científica adequada. É o momento da aula teórica do professor.

O diagrama a seguir, figura 1, sintetiza a proposta do ISLE, que se inicia com os experimentos observacionais e finaliza nas aplicações práticas.

Figura 1 - Diagrama da abordagem ISLE



Fonte: Adaptado de Etkina (2019)

Nota: Caso haja uma incompatibilidade entre os experimentos e as previsões (hipóteses) inicia-se o processo de revisões a qual há três caminhos distintos a se seguir: o primeiro, refazer o experimento proposto; o segundo, propor uma nova explicação; terceiro, revisar a explicação. Destaca-se que nesse processo de revisão, qualquer um dos experimentos pode se tornar um experimento observacional quando ocorre um resultado inesperado.

2 ABORDAGEM ISLE NO ENSINO DO ELETROMAGNETISMO

Seguindo as etapas do ciclo propomos a seguir a aplicação do ISLE no ensino de eletromagnetismo. As práticas experimentais elaboradas/adaptadas possuem uma abordagem qualitativa, ou seja, com ênfase nos conceitos físicos e não na expressão quantitativa das grandezas, entretanto, isso não impede o professor de repetir o ciclo enfatizando os aspectos quantitativos.

Foram produzidas/adaptadas quatro práticas experimentais. Ao realizar a primeira prática o estudante poderá desenvolver a capacidade de identificar e compreender as propriedades dos ímãs e bússola. Os conhecimentos adquiridos na primeira prática serão utilizados na segunda, onde o estudante poderá perceber a relação entre o magnetismo e

a corrente elétrica através do experimento de Oersted. Em seguida, o terceiro experimento, apropriando-se dos conhecimentos adquiridos nos dois anteriores, os estudantes poderão relacionar a existência de uma força magnética, quando uma barra de metal não-magnética (feita de cobre), que está em um campo magnético uniforme, é submetida a uma corrente elétrica fazendo surgir sobre a barra uma força magnética de magnitude o suficiente para deslocá-la. E por fim, a última prática apropriando-se dos conhecimentos adquiridos nos experimentos anteriores, os estudantes poderão perceber como podemos gerar energia elétrica (fenômeno de indução eletromagnética) sem a presença de pilhas ou baterias.

Vale ressaltar que as práticas experimentais “conversam” entre si, ou seja, um experimento já realizado contribui para o entendimento e a construção do conhecimento do experimento posterior, com intuito de permitir que os alunos desenvolvam conhecimentos de física por meio de um ambiente investigativo. Além disso, é importante reforçar o papel do professor em acompanhar a realização das práticas, não fornecendo feedback ou sugerindo hipóteses aos estudantes sobre os experimentos. O momento do(a) docente intervir com conceitos, nomear (se possível) à ideia inventada e sintetizar os achados do aluno usando linguagem científica adequada é após o término do ciclo.

Em síntese, a proposta de ensino do ISLE, nesse eixo temático, consiste em oportunizar aos estudantes a construção (“descoberta”) do conhecimento sobre eletromagnetismo utilizando experimentos didáticos para ao final do ciclo o professor integrar os conceitos teóricos relacionados ao tema estudado.

A seguir, o professor terá à disposição os materiais didáticos necessários para implementação dessa proposta de ensino focado na temática do eletromagnetismo. O material foi pensado para ser aplicado em 12 horas/aulas, no entanto, pode ser adaptado de acordo a necessidade da rede de ensino.

No intuito de auxiliar o professor foi elaborado quatro planos de aulas prevendo toda a etapa do processo de ensino aprendizagem com a sequência didática descrita passo a passo para direcionar a aplicação desta abordagem. Em seguida, temos os quatro roteiros experimentais que será entregue ao aluno para que eles realizem os experimentos. Os roteiros foram pensados de forma que os estudantes consigam realizar os experimentos por conta própria sendo necessário apenas o acompanhamento do professor para que as etapas do ciclo sejam seguidas.

Além dos materiais mencionados, há também a "Folha de Experimento Teste", que deverá ser utilizada pelos grupos para elaborar experimentos e testar suas hipóteses. Caso os grupos não consigam apresentar nenhuma proposta de experimento, foi desenvolvido um conjunto de cinco sugestões que o professor poderá fornecer. Se necessário, os grupos poderão usar essas sugestões para testar suas hipóteses.

O Quadro 1 apresenta uma proposta de sequência didática que o professor pode utilizar para abordar o ensino de eletromagnetismo no ensino médio, utilizando a abordagem ISLE.

Quadro 1 – Sequência didática

Aulas	Atividade
Aula 01	Apresentação do ISLE Experimentos de interação magnética entre ímãs e entre ímã e bússola
Aula 02	Experimentos de interação magnética entre ímã e bússola
Aula 03	Experimentos testes; Discussão sobre os resultados experimentais e aula teórica do professor
Aula 04	Experimentos de interação entre corrente elétrica e campo magnético.
Aula 05	Experimentos testes
Aula 06	Discussão sobre os resultados experimentais e aula teórica do professor
Aula 07	Experimento de Força magnética em um fio portando corrente elétrica
Aula 08	Experimentos testes
Aula 09	Discussão sobre os resultados experimentais e aula teórica do professor
Aula 10	Experimentos de Indução Eletromagnética utilizando um pêndulo indutor
Aula 11	Experimentos testes
Aula 12	Discussão sobre os resultados experimentais e aula teórica do professor

Fonte: Produzido pelo autor (2024)

2.1 Primeiro plano de aula

PLANO DE AULA PARA O PROFESSOR

Tema/assunto: Propriedades dos ímãs e bússola

Aulas previstas: 03 aulas

OBJETIVO DE APRENDIZAGEM

Identificar e compreender as propriedades dos ímãs e bússola.

DESCRIÇÃO DA AULA/SEQUÊNCIA DIDÁTICA

AULA 01

Por se tratar da primeira aula da aplicação do ISLE (The Investigative Science Learning Environment) é necessário fazer a apresentação desta abordagem aos estudantes. Os estudantes devem perceber que o objetivo é que eles compreendam a física adotando uma abordagem semelhante à dos físicos, promovendo situações-problemas que imitam as práticas reais do fazer pesquisa científica em física. É importante explicar o papel do estudante, que consiste em fazer as observações minuciosas, propor o maior número possível de explicações/hipóteses/modelos para os padrões observados e o papel do professor que será o instrutor da proposta experimental que não fornecerá feedback sobre as explicações/hipóteses/modelos que os alunos construirão antes que os experimentos de teste sejam realizados. É importante que na abordagem adotada os estudantes entendam que eles serão protagonistas do processo.

Seguindo a proposta de ensino é importante destacar para o aluno o roteiro da aula conforme o quadro 2, logo abaixo, onde o professor (instrutor) acompanha a dinâmica da aula, estabelecendo o tempo para cada sequência das etapas.

Quadro 2 – Roteiro proposto para aula

ROTEIRO DA AULA	
Formar os grupos e seguir a sequência proposta.	
1 - Observar o fenômeno e identificar o padrão (tendência) – prática experimental proposta pelo professor (instrutor). Apresentar o padrão observado aos grupos.	
2 - Elaborar hipóteses (o porquê tem esse padrão)	
3 - Apresentar a(s) hipótese(s) aos grupos.	
4 - Se necessário reformular a(s) hipótese(s).	
5 - Propor um experimento teste para cada hipótese.	
O experimento teste confirma alguma das hipóteses? Se sim, propor aplicações com as descobertas realizadas.	
O experimento teste leva a rejeição de todas as hipóteses? Revisar modificando a hipótese ou retornar nas observações experimentais reiniciando o ciclo.	

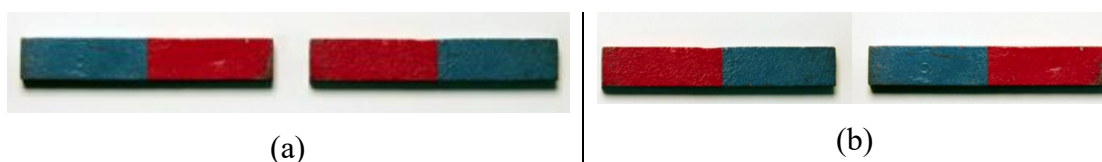
Fonte: Produzido pelo autor (2023)

Após a explicação do ISLE solicitar que os estudantes formem grupos (a sugestão é de quatro pessoas, mas depende da quantidade de experimentos à disposição). Em seguida entregar o roteiro experimental (com orientações e perguntas sobre a prática experimental). O procedimento experimental proposto a seguir será dividido em dois experimentos: o primeiro é a “interação ímã-ímã” e o segundo é a “interação ímã e bússola.”

No experimento 1 os estudantes devem fazer o teste de interação ímã-ímã.

Experimento 1: Eles devem colocar os dois ímãs sobre uma mesa lisa de forma que as duas extremidades vermelhas fiquem apontando uma para outra, conforme figura 2.1.1a, e observar como elas interagem, em seguida orientar que façam a inversão, a marcação azul apontando uma para a outra, conforme figura 2.1.1b, e novamente observar como os ímãs interagem.

Figura 2.1.1 – Ímãs posicionados com extremidade iguais



Em **(a)** dois ímãs com duas extremidades vermelhas apontam uma para outra; em **(b)** dois ímãs com duas extremidades azuis apontam uma para outra.

Fonte: Etkina (2019)

Ainda com os dois ímãs sobre a mesa eles devem segurar os ímãs de forma que a extremidade vermelha de um ímã aponte para a extremidade azul do outro ímã, conforme a figura 2.1.2, e observar como os ímãs interagem.

Figura 2.1.2 - Ímãs posicionados com extremidade diferentes



A extremidade vermelha de um ímã aponta para a extremidade azul do outro ímã.

Fonte: Etkina (2019)

As observações devem ser registradas no espaço reservado na folha da prática experimental. (No roteiro experimental contém essas explicações e imagens que ajudarão os estudantes a realizarem a prática).

Espera-se que os estudantes verifiquem neste experimento o padrão: na aproximação de cores iguais, entre os ímãs surge força de repulsão e, na aproximação de cores diferentes, surge entre os ímãs força de atração.

AULA 2

Após as anotações os grupos podem realizar o experimento 2.

Experimento 2: Neste experimento os estudantes devem fazer o teste de interação ímã e bússola. A bússola utilizada nesse experimento possui a seta do marcador verde (ponta verde).

Orientar os estudantes para colocarem a bússola sobre a mesa lisa distante dos ímãs. Em seguida girar o anel graduado até que a ponta verde da barra móvel (agulha) – é importante o professor evitar uso do termo “agulha magnética”, para não sugerir ideias aos alunos sem terem realizado o experimento – esteja alinhada com o norte, conforme mostra a figura 2.1.3.

Figura 2.1.3 – Bússola utilizada no experimento



Bússola (seta verde) alinhada com o norte-sul geográfico.
Fonte: Produzido pelo autor (2023)

Com a bússola alinhada sobre a mesa solicitar aos grupos que aproximem a extremidade do ímã (extremidade vermelha) da seta verde do marcador da bússola e peça para observarem como interagem. Em seguida, com a bússola na mesma posição, solicitar que invertam o ímã, ou seja, a extremidade azul do ímã fique apontada para a seta verde do marcador da bússola e peça para observarem novamente como interagem. Essas observações devem ser registradas no espaço reservado na folha da prática experimental. Espera-se que os estudantes verifiquem que a seta verde do marcador da bússola tem sua orientação influenciada pelo ímã: distante do ímã a seta verde da bússola (agulha magnética) aponta sempre para o norte; ao aproximar o ímã com a extremidade vermelha a seta verde do marcador da bússola inverte apontando para o sul e ao aproximar o ímã

com a extremidade azul a seta verde do marcador da bússola mantém-se apontando para o norte.

Após anotarem suas observações solicita-se que os grupos compartilhem o padrão que conseguiram observar no experimento 1 e no experimento 2. Para a apresentação os grupos podem utilizar folhas de papel A4/cartolina, utilizar o quadro ou outra maneira que professor/alunos acharem conveniente.

Após apresentação do padrão observado pede-se que os grupos proponham o maior número possível de explicações/hipóteses/modelos para esses padrões registrando as anotações no espaço reservado da folha da prática experimental. Oriente-os que é necessário pensar numa maneira de testar a validade dessas explicações/hipóteses/modelos propostas. O professor deve estabelecer um tempo razoável para que os grupos consigam discutir e anotarem suas ideias.

Deduz-se que no experimento 1 eles tenham como hipótese que entre ímãs haverá uma força de atração ou repulsão e isso depende de qual lado do ímã está direcionado para o outro, mas pode surgir dúvidas, tais como, qualquer ímã funciona dessa maneira? O formato do ímã influencia? Essas dúvidas deverão ser esclarecidas por meio de outra prática experimental (teste) que irá comprovar ou não a hipótese que o grupo estabeleceu. Sobre o experimento 2 deduz-se que os estudantes estabeleçam como hipótese que a bússola é também um ímã ou algum material que interage com o ímã, logo, supõe-se que haverá as seguintes dúvidas: a bússola é um ímã? Se for, isso explica o fato dela inverter o marcador, mas e se não for? Será que todo material vai ter essa mesma interação (mesmo comportamento)? Essas dúvidas deverão ser esclarecidas por meio de outra prática experimental (teste) que irá comprovar ou não a hipótese que o grupo estabeleceu.

AULA 03

Após o término do tempo estabelecido pelo professor deve-se novamente solicitar aos grupos que compartilhem/apresentem as explicações/hipóteses/modelos para o padrão encontrado, bem como ideias (algum experimento teste) para comprovar as propostas do grupo.

Após a apresentação será o momento de cada grupo projetar/propor (escrever na folha de experimento teste) novos experimentos cujos resultados podem prever aplicando suas explicações/modelos. Os alunos devem fazer as previsões aplicando a explicação em teste, não se apressando em realizar os experimentos e “ver o que acontece”. É importante que eles não apenas façam as previsões, mas expliquem claramente como essas previsões

se baseiam nas explicações/modelos/relações que pretendem testar. Nesse momento o professor (instrutor) pode oferecer ideias de experimentos testes pedindo que façam previsões usando a ideia (hipótese) proposta pelo grupo.

O experimento teste que poderá ser proposto pelo professor será testar novamente a interação ímã-ímã (nesse caso são outros ímãs) e ímã e outros materiais.

Para a interação ímã-ímã, pretende-se comprovar ou não a hipótese de que entre ímãs ocorre atração ou repulsão (isso depende dos lados). Será disponibilizado aos estudantes ímãs diferentes daqueles utilizados anteriormente a qual os alunos devem fazê-los interagirem (aproximando, invertendo os lados) com intuito de verificar se o comportamento será o mesmo dos ímãs utilizados na prática experimental anterior. Se o comportamento for o mesmo para ímãs diferentes, ou seja, ocorrer atração ou repulsão entre os ímãs, logo, a hipótese da primeira prática será comprovada: na aproximação entre os ímãs (independente do ímã, do formato) pode surgir força de repulsão ou atração e é o lado (extremidade) dos ímãs que vai definir como será a força.

A interação ímã e outros materiais visa responder possíveis dúvidas do experimento 2 – a bússola é um ímã? Se for, isso explica o fato dela inverter o marcador, mas e se não for? Será que todo material vai ter esse mesmo comportamento? – e tentar comprovar ou não a hipótese que os grupos definiram. Nesse experimento os grupos devem fazer a interação de ímãs com vários materiais feitos de composição diferentes (tachinha de percevejo, agulha, vidro, madeira, núcleo de ferro, fio de cobre, fio de alumínio, vidrinho com limalha de ferro, prego de ferro) aproximando um material por vez dos ímãs e verificando o que acontece.

Na prática sugerida, alguns materiais vão ser atraídos (tachinha de percevejo, agulha, núcleo de ferro, vidrinho com limalha de ferro, prego de ferro) e outros não (vidro, madeira, fio de cobre, fio de alumínio). Os objetos atraídos, mesmo que os estudantes invertam o lado do ímã, não surgirá força de repulsão, logo, perceberão que entre ímãs e esses materiais pode ocorrer somente atração. Portanto, a suposição da bússola ser um ímã é comprovada devido seu comportamento de atração ou repulsão uma vez que suas polaridades são invertidas e a interação entre ímãs e outros materiais é de que podem ser atraídos ou não.

Espera-se que os grupos percebam que a atração ocorreu somente em materiais feito de ferro ou que contenham ferro e que isso poderá ser comprovado ao pesquisarem a composição, por exemplo, da tachinha de percevejo e agulha de costura.

Após a realização do experimento teste os grupos devem apresentar os resultados e as conclusões a respeito de suas hipóteses (aquelas que foram confirmadas, e as que foram refutadas) e, também que proponham onde aplicar suas descobertas no cotidiano. Espera-se que eles citem aplicações em ímãs de geladeiras, ímãs na composição das borrachas das portas de geladeira, em ferramentas (chave de fenda) para facilitar o manuseio de parafusos, quadro magnéticos e outras aplicações mais complexas como em motores elétricos e até mesmo tinta com propriedades magnéticas.

Após as apresentações, haverá intervenção do professor (instrutor) no sentido de nomear (se possível) à ideia inventada por eles, sintetizar os achados dos alunos usando linguagem científica adequada. Esse é o momento do(a) docente abordar os conceitos teóricos envolvidos na prática e organizar sua aula teórica acrescentando assuntos que a prática não contemplou e/ou reforçar aquilo que os estudantes já aprenderam ao realizar os experimentos.

AVALIAÇÃO

O aluno será avaliado por meio de sua participação com questionamentos, exposição de ideias e anotações realizadas durante a aula e realização das práticas experimentais.

BIBLIOGRAFIA

ETKINA, Eugenia; PLANINSIC, Gorazd; HEUVELEN, Alan Van. **College physics Explore and Apply**. 2. ed. New York: Pearson, 2019. 1065 p.

PERUZZO, Jucimar. **A física através de experimentos: Eletromagnetismo, Física Moderna e Ciências Espaciais**. 1. Ed. Irani (SC): Jucimar Peruzzo, 2013. 316 p.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. Tradução Ronaldo Sérgio de Biasi. 10.ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2016. 812 p.

CHRISTINA, Maria. **Interação entre ímãs e bússolas**. São Paulo: Fapesp, 1988.
Disponível: https://fap.if.usp.br/~lumini/f_bativ/flexper/magnet/busso_ima_chris.html.
Acesso em: 08 fev. 2024.

2.2 Segundo plano de aula

PLANO DE AULA PARA O PROFESSOR

Tema/assunto: magnetismo e corrente elétrica

Aulas previstas: 03 aulas

OBJETIVO DE APRENDIZAGEM

Compreender, por meio de experimentos, a relação entre o magnetismo e a corrente elétrica reproduzindo o experimento de Hans Christian Oersted.

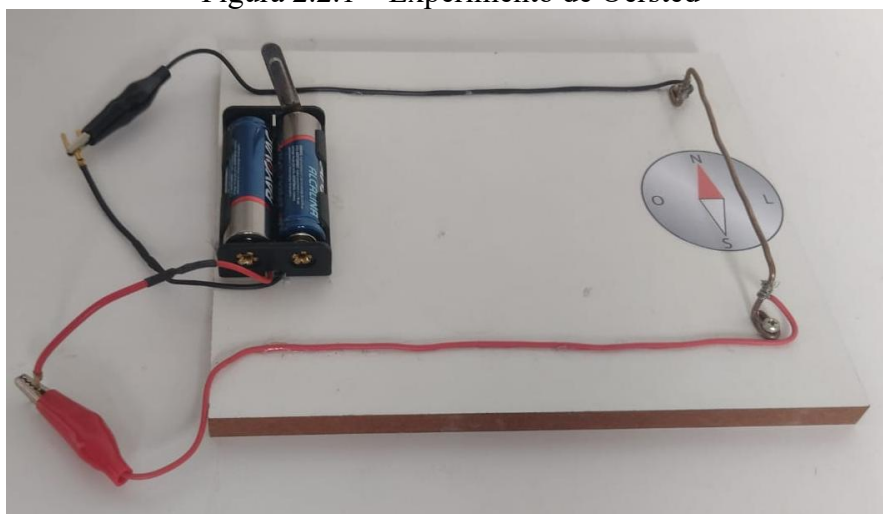
DESCRIÇÃO DA AULA/SEQUÊNCIA DIDÁTICA

AULA 04

Nas aulas anteriores os estudantes aprenderam como utilizar a abordagem ISLE e aplicaram-no em práticas experimentais. Uma vez que eles compreenderam corretamente as ideias desta abordagem, deduz-se que agora estejam encorajados a aplicá-lo de maneira independente. Sendo assim o professor deve-se atentar em seguir o roteiro da aula proposto no quadro 2 (Plano de aula 1), onde o professor (instrutor) acompanha a dinâmica da aula, estabelecendo o tempo para cada sequência das etapas.

O experimento desta aula consiste em montar um circuito elétrico utilizando os materiais disponibilizados na bancada. A montagem do experimento se inicia com os alunos conectando as baterias no suporte deixando o interruptor desligado (chave para cima). Eles devem ligar os fios do suporte da bateria nas garras jacarés de cores correspondentes (fio vermelho com garra jacaré vermelha e o fio preto com garra jacaré preta), conforme mostra a figura 2.2.1.

Figura 2.2.1 – Experimento de Oersted

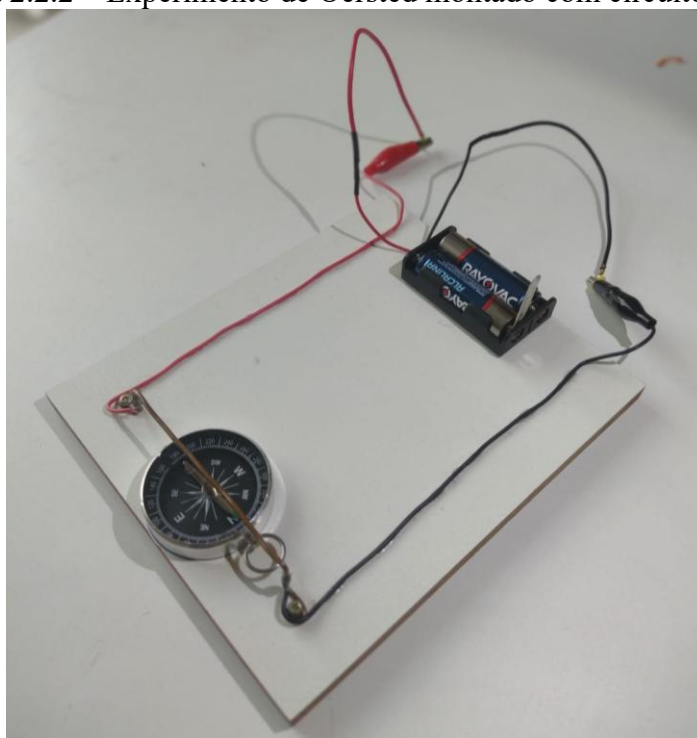


Mostra o circuito montado e o local indicado para posicionar a bússola.

Fonte: Produzido pelo autor (2023)

Em seguida, orientá-lo para posicionar a bússola conforme o local indicado no experimento de forma que a direção geográfica norte-sul fique alinhada paralelamente ao fio desencapado conforme a figura 2.2.2. Feito isso pode-se iniciar o experimento 1 e logo em seguida experimento 2.

Figura 2.2.2 – Experimento de Oersted montado com circuito aberto



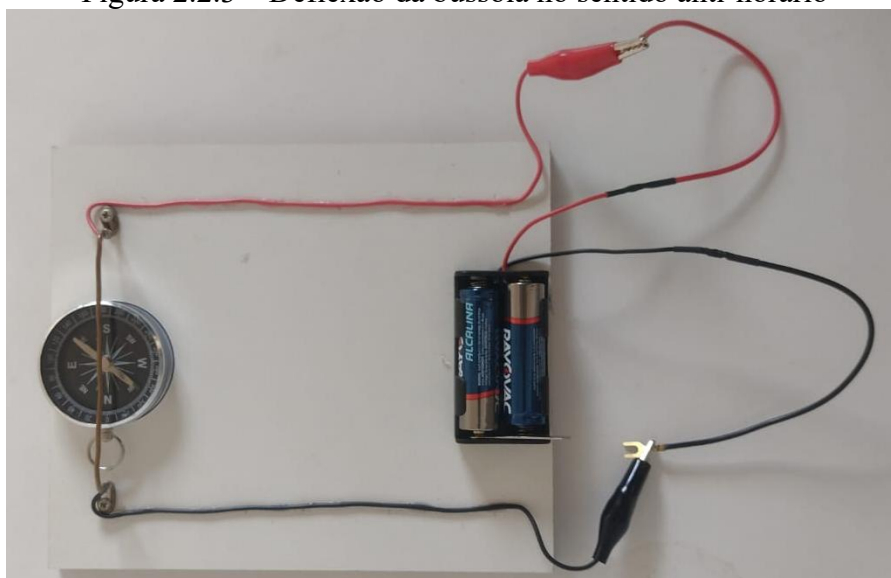
Mostra a bússola posicionada com sua posição geográfica norte-sul alinhada paralelamente ao fio.

Fonte: Produzido pelo autor (2023)

Experimento 1: Montado o experimento conforme a figura 2.2.2 eles devem ligar o circuito descendo a chave do interruptor e observar atentamente a agulha da bússola quando o circuito é ligado (conforme orientação da prática). Essas observações devem ser registradas no espaço reservado na folha da prática experimental.

Espera-se que os grupos notem que a agulha da bússola se desvia da posição inicial e aponta em uma direção diferente quando a chave é ligada, ou seja, quando passa corrente elétrica no circuito, conforme mostra a figura 2.2.3. Desligando a chave, a agulha da bússola retorna à sua posição original.

Figura 2.2.3 – Deflexão da bússola no sentido anti-horário

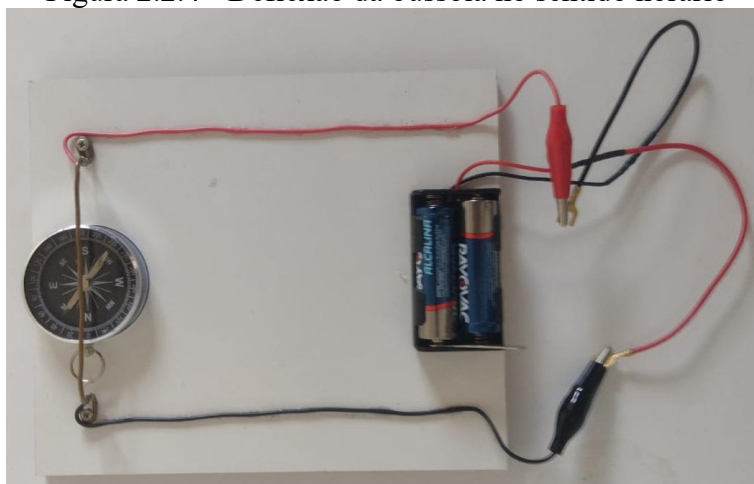


Deflexão da bússola devido a passagem de corrente elétrica.
Fonte: Produzido pelo autor (2023)

Experimento 2: Consiste em inverter os polos da bateria (é necessário apenas inverter as cores dos fios, ligando o fio vermelho da bateria na garra jacaré preta e o fio preto da bateria ligando na garra jacaré vermelha) e fechar a chave novamente a fim de observar a agulha da bússola quando o circuito é ligado. Essas observações devem ser registradas no espaço reservado na folha da prática experimental.

Espera-se que eles percebam que o desvio da bússola é no sentido contrário ao do experimento 1, conforme mostra a figura 2.2.4.

Figura 2.2.4 - Deflexão da bússola no sentido horário



Deflexão da bússola em sentido contrário devido a alteração da polaridade das pilhas, ligando os fios com as cores invertidas. A inversão dos fios provoca a alteração no sentido da corrente elétrica.

Fonte: Produzido pelo autor (2023)

Após anotarem suas observações solicita-se que os grupos compartilhem o padrão que conseguiram observar nos experimentos. Para a apresentação os grupos podem utilizar folhas de papel A4/cartolina, utilizar o quadro ou outra maneira que professor/alunos acharem conveniente.

Após apresentação do padrão observado pede-se que os grupos proponham o maior número possível de explicações/hipóteses/modelos para esses padrões registrando as anotações no espaço reservado da folha da prática experimental. Oriente-os que é necessário pensar numa maneira de testar a validade dessas explicações/hipóteses/modelos propostas. O professor deve estabelecer um tempo razoável para que os grupos consigam discutir e anotarem suas ideias.

Espera-se as seguintes hipóteses/explicações: ao passar corrente elétrica o fio teve um comportamento similar ao ímã; o fio se tornou um ímã mais de forma temporário; a inversão da deflexão da bússola esteja relacionada com a inversão do campo magnético, ou seja, a inversão da polaridade da bateria provocou a inversão do campo magnético. Além dessas hipóteses podem surgir outras, entretanto, não se deve descartar as ideias dos estudantes mesmo que as vezes podem não parecer coerentes. É importante que eles testem e percebam que os experimentos testes podem fazê-los refutar as hipóteses.

Após o término do tempo estabelecido pelo professor deve-se novamente solicitar aos grupos que compartilhem/apresentem as explicações/hipóteses/modelos para o padrão encontrado, bem como ideias (algum experimento teste) para comprovar as propostas do grupo.

AULA 05

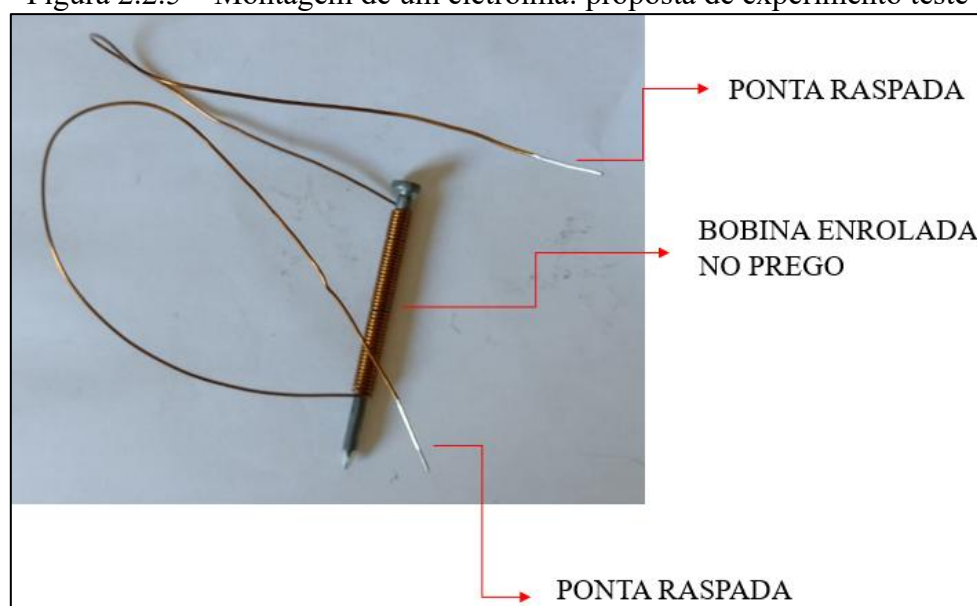
Após a apresentação será o momento de cada grupo projetar/propor (escrever na folha de experimento teste) novos experimentos cujos resultados podem prever aplicando suas explicações/modelos. Os alunos devem fazer as previsões aplicando a explicação em teste, não se apressando em realizar os experimentos e “ver o que acontece”. É importante que eles não apenas façam as previsões, mas expliquem claramente como essas previsões se baseiam nas explicações/modelos/relações que pretendem testar. Nesse momento o professor (instrutor) pode oferecer ideias de experimentos testes pedindo que façam previsões usando a ideia (hipótese) proposta pelo grupo.

A fim de testar a ideia (hipótese) proposta pelo grupo pode-se encorajá-los a montarem um eletroímã (dispositivo simples que torna evidente a interação entre corrente elétrica e

magnetismo) utilizando somente fio de cobre ou de alumínio esmaltado, uma pilha e um prego (ter cuidado para não utilizar o termo “eletroímã” com os alunos, apresentar somente como fazer o experimento, conforme a proposta de experimento teste, uma vez que o próprio termo já está indicando a existência de um campo magnético).

Os grupos perceberam na prática experimental 1 (plano de aula 1), que o prego, por ser feito de ferro, interage com o ímã e a magnetização do ímã é passada para o prego temporariamente (imantação) e ao separar o prego do ímã, a influência magnética se dissipa, restaurando o ferro ao seu estado não magnetizado original. Pensando nisso, se de fato o fio passou a se comportar como ímã pode-se testá-lo passando sua magnetização para o prego de ferro. Esse processo pode ser feito enrolando um fio de cobre ou de alumínio esmaltado em torno do prego e fazendo passar corrente elétrica pelo fio. A figura 2.2.5 mostra um eletroímã montado.

Figura 2.2.5 – Montagem de um eletroímã: proposta de experimento teste



Eletroímã montado utilizando fio de alumínio esmaltado e um prego.

Fonte: Produzido pelo autor (2023)

Ao passar corrente elétrica a magnetização poderá ser testada fazendo-o interagir com materiais ferromagnéticos (se ocorrer atração, logo, a hipótese é verdadeira), ou seja, assim como na prática experimental 1 (com um ímã foi possível magnetizar o prego), foi possível também passar a magnetização gerado pela corrente elétrica para o prego, logo conclui-se que corrente elétrica gera também campo magnético. A temporalidade do eletroímã, pode ser testada desligando um dos fios da bateria (se os materiais

ferromagnéticos deixarem de ser atraídos, logo, a temporalidade do ímã é confirmada, ou seja, o fio se comporta como ímã enquanto existir corrente elétrica).

AULA 06

Após a realização do experimento teste os grupos devem apresentar os resultados e as conclusões a respeito de suas hipóteses (aquelas que foram confirmadas, e as que foram refutadas) e, também que proponham onde aplicar suas descobertas no cotidiano. Espera-se que algum grupo cite, por exemplo, eletroímãs utilizados em reciclagem para separar materiais ferromagnéticos.

Após os grupos proporem as aplicações no cotidiano haverá intervenção do professor (instrutor) no sentido de nomear (se possível) à ideia inventada, sintetizar os achados do aluno usando linguagem científica adequada. Esse é o momento do(a) docente abordar os conceitos teóricos envolvidos na prática e organizar sua aula teórica acrescentando assuntos que a prática não contemplou e/ou reforçar aquilo que os estudantes já aprenderam ao realizar os experimentos.

AVALIAÇÃO

O aluno será avaliado por meio de sua participação com questionamentos, exposição de ideias e anotações realizadas durante a aula e realização das práticas experimentais.

BIBLIOGRAFIA

ETKINA, Eugenia; PLANINSIC, Gorazd; HEUVELEN, Alan Van. **College physics Explore and Apply**. 2. ed. New York: Pearson, 2019. 1065 p.

PERUZZO, Jucimar. **A física através de experimentos: Eletromagnetismo, Física Moderna e Ciências Espaciais**. 1. Ed. Irani (SC): Jucimar Peruzzo, 2013. 316 p.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. Tradução Ronaldo Sérgio de Biasi. 10.ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2016. 812 p.

SHIMIZU, Shizue. **Eletroímã**. São Paulo: Fapesp, 1988. Disponível: https://fap.if.usp.br/~lumini/f_bativ/flexper/magnet/eletroima_sh.htm. Acesso em: 08 fev. 2024.

SHIMIZU, Shizue. **Bússola e corrente elétrica (Experimento de Oersted)**. São Paulo: Fapesp, 1988. Disponível: https://fap.if.usp.br/~lumini/f_bativ/flexper/magnet/C%F3pia%20de%20oersted_shi_an.htm. Acesso em: 08 fev. 2024.

2.3 Terceiro plano de aula

PLANO DE AULA PARA O PROFESSOR

Tema/assunto: força magnética

Aulas previstas: 03 aulas

OBJETIVO DE APRENDIZAGEM

Compreender, por meio de experimentos, a ação da força magnética sobre um condutor retilíneo percorrido por uma corrente elétrica e submetido a um campo magnético.

DESCRIÇÃO DA AULA/SEQUÊNCIA DIDÁTICA

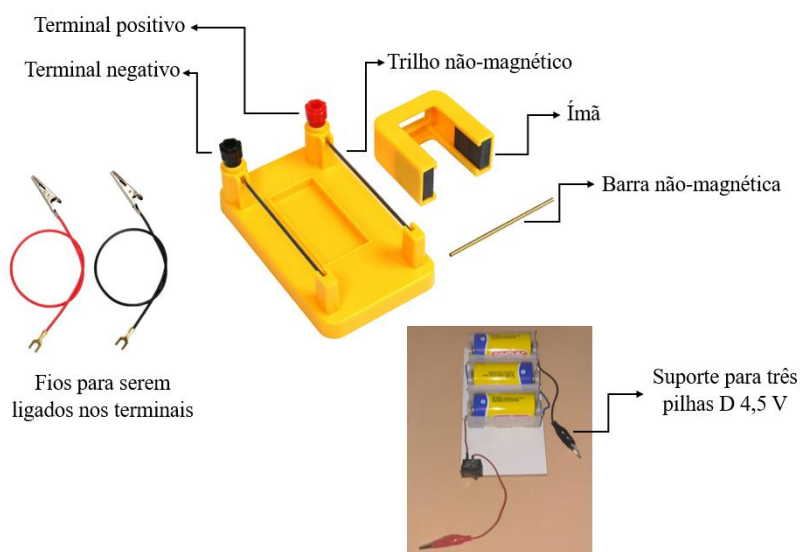
Na prática experimental anterior (Plano de aula 2) os estudantes puderam relacionar eletricidade e magnetismo após a compreensão do experimento de Oersted. O experimento desta aula busca expandir essa relação estimular o estudante a identificar a força magnética atuante num fio condutor, entre um campo magnético uniforme, que é percorrido por uma corrente elétrica.

Para prosseguimento da aula, seguindo as etapas previstas no ISLE, solicita-se novamente a formação dos grupos e que sigam as etapas já conhecidas com o coordenando o tempo de campo etapa da proposta da aula.

AULA 07

Sugere-se iniciar a aula apresentando aos grupos o experimento e seus componentes, conforme a figura 2.3.1.

Figura 2.3.1 – Descrição dos materiais a serem utilizados

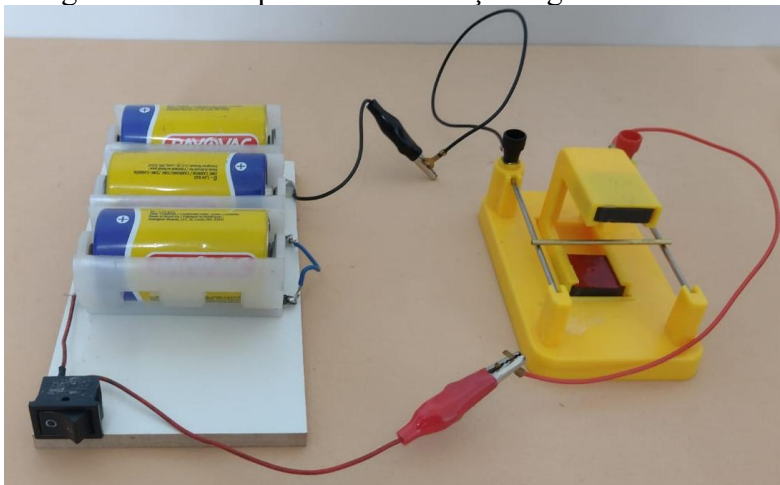


Na figura temos os materiais a serem utilizados no experimento de força magnética. Importante observar que o trilho e barra são feitos de materiais metálicos não-magnéticos.

Fonte: Produzido pelo autor (2023)

Após conhecerem visualmente o experimento solicita-se que façam a montagem conforme a figura 2.3.2 (a barra não-magnética deve ficar em repouso sobre o trilho).

Figura 2.3.2 – Experimento de força magnética montado



A figura mostra o experimento montado ligado a um conjunto de baterias totalizando 4,5V de tensão elétrica. Ao ligar o interruptor será feito contato elétrico entre a barra metálica não-magnética e os trilhos metálicos não-magnéticos, passando corrente elétrica na barra.

Fonte: Produzido pelo autor (2023)

O experimento mostra uma barra de metal não-magnética em uma região onde há um campo magnético uniforme em contato com dois trilhos metálicos paralelos, também não magnéticos, podendo deslizar sobre eles. Esses trilhos estão fixos sobre um suporte de plástico. É importante que todos os grupos posicionem o suporte que contém o ímã da mesma maneira, de forma que se tem um campo magnético uniforme de baixo para cima (saindo do “norte” indo para o “sul”) para que os resultados experimentais sejam semelhantes.

Com o experimento montado, pode-se iniciar a prática experimental.

Experimento 1: Solicita-se que liguem o interruptor e observem o que acontece. Essas observações devem ser registradas no espaço reservado na folha da prática experimental. Em seguida podem dar prosseguimento ao experimento 2.

Experimento 2: Nesse experimento os grupos devem inverter a polaridade da bateria, para isso é necessário apenas que invertam os fios, ou seja, o fio preto deve ser ligado no polo positivo da bateria (garra jacaré vermelha) enquanto o fio vermelho deve ser ligado no polo negativo (garra jacaré preta). Em seguida pede-se que liguem o interruptor e observem o que acontece. Essas observações devem ser registradas no espaço reservado na folha da prática experimental.

Após anotarem suas observações solicita-se que os grupos compartilhem o padrão que conseguiram observar nos experimentos. Para a apresentação os grupos podem utilizar folhas de papel A4/cartolina, utilizar o quadro ou outra maneira que professor/alunos acharem conveniente. Espera-se, no experimento 1, que os alunos percebam que a barra irá se mover para trás (o campo magnético está de baixo para cima, ao aplicar a regra da mão esquerda – regra de Fleming – o professor pode identificar o sentido da força magnética). Quando inverterm os fios, no experimento 2, haverá a inversão do sentido da corrente elétrica e consequentemente do campo magnético gerado pela corrente elétrica, espera-se que eles percebam que agora a barra irá se mover para frente. Sendo esse o padrão relatado pelos grupos.

AULA 08

Após apresentação do padrão observado pede-se que os grupos proponham o maior número possível de explicações/hipóteses/modelos para esses padrões registrando as anotações no espaço reservado da folha da prática experimental. Oriente-os que é necessário pensar numa maneira de testar a validade dessas explicações/hipóteses/modelos propostas. O professor deve estabelecer um tempo razoável para que os grupos consigam discutir e anotarem suas ideias.

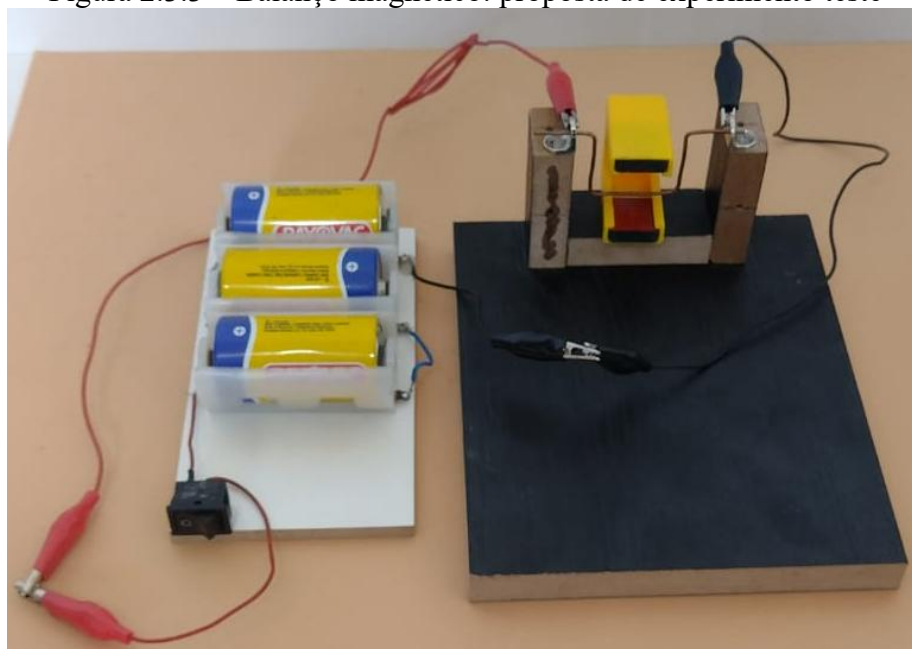
Após o término do tempo estabelecido pelo professor deve-se novamente solicitar aos grupos que compartilhem/apresentem as explicações/hipóteses/modelos para o padrão encontrado, bem como ideias (algum experimento teste) para comprovar as propostas do grupo. Esse momento é crucial para, se necessário, reformularem as hipóteses ou pensarem de que maneira poderão testar as hipóteses estabelecidas por cada grupo.

Espera-se que pelo menos um dos grupos justifique, como hipótese, a existência de “alguma força” para provocar o movimento da barra não-magnética e, além disso, supõe-se que consigam fazer referência ao experimento de Oersted, onde a inversão da corrente elétrica provocou a inversão da deflexão da bússola, ocorrendo o mesmo com o movimento da barra, a inversão da corrente faz ela ir para frente ou para trás, ou seja, a inversão da corrente inverte também a força sobre a barra não-magnética, pois ocorre a inversão do campo magnético. Logo, supõe-se que em situações semelhantes haverá “essa força desconhecida” exercida sobre um material não-magnético e a inversão do sentido da corrente provoca alteração no sentido da força, portanto, deve-se propor algum experimento que possa corroborar essa hipótese.

Após a apresentação será o momento de cada grupo projetar/propor (escrever na folha de experimento teste) novos experimentos cujos resultados podem prever aplicando suas explicações/modelos. Os alunos devem fazer as previsões aplicando a explicação em teste, não se apressando em realizar os experimentos e “ver o que acontece”. É importante que eles não apenas façam as previsões, mas expliquem claramente como essas previsões se baseiam nas explicações/modelos/relações que pretendem testar. Nesse momento o professor (instrutor) pode oferecer ideias de experimentos testes pedindo que façam previsões usando a ideia (hipótese) proposta pelo grupo.

Caso necessário (se os grupos não conseguiram propor algum experimento teste), os grupos podem utilizar a proposta de experimento do professor (instrutor). A proposta de experimento teste se baseia em construir uma espécie de balanço magnético (importante não utilizar esse termo para não sugerir conceitos ainda não testados pelos alunos) proposto por Peruzzo (2013). A figura 2.3.3 mostra detalhes do experimento construído.

Figura 2.3.3 – Balanço magnético: proposta de experimento teste



Fonte: produzido pelo autor (2023)

O experimento visa testar a hipótese do surgimento de uma “força desconhecida” exercida sobre um material não-magnético (imerso num campo magnético), submetido a uma corrente elétrica e a alteração do sentido da força com a inversão do sentido da corrente (inversão da força magnética).

Após montado o experimento conforme orientação da folha de experimento teste, ao ligar o interruptor os alunos poderão observar que o fio de cobre (balanço magnético) sobre uma deflexão tentando girar, subindo a uma determinada altura. Ao desconectar os fios da bateria, os alunos podem perceber que o fio rígido retorna à posição inicial, mostrando o efeito temporário da força condicionado à passagem de corrente elétrica.

Logo, o experimento comprova a hipótese da existência de uma força que provoca esse efeito, uma força de origem magnética devido a passagem de corrente elétrica que interage com o campo magnético do ímã.

Para testar a inversão da força é necessário que os estudantes invertam os fios e novamente vão perceber uma deflexão do balanço tentando girar, mas para outro sentido.

AULA 09

Após a realização do experimento teste os grupos devem apresentar os resultados e as conclusões a respeito de suas hipóteses (aquelas que foram confirmadas, e as que foram refutadas) e, também que proponham onde aplicar suas descobertas no cotidiano.

Em seguida haverá intervenção do professor (instrutor) para dar um nome (se possível) à ideia inventada e sintetizar os achados dos alunos usando linguagem científica adequada. Esse é o momento do(a) docente abordar os conceitos teóricos envolvidos na prática e organizar sua aula teórica acrescentando assuntos que a prática não contemplou e/ou reforçar aquilo que os estudantes já aprenderam ao realizar os experimentos.

AVALIAÇÃO

O aluno será avaliado por meio de sua participação com questionamentos, exposição de ideias e anotações realizadas durante a aula e realização das práticas experimentais.

BIBLIOGRAFIA

ETKINA, Eugenia; PLANINSIC, Gorazd; HEUVELEN, Alan Van. **College physics Explore and Apply**. 2. ed. New York: Pearson, 2019. 1065 p.

PERUZZO, Jucimar. **A física através de experimentos: Eletromagnetismo, Física Moderna e Ciências Espaciais**. 1. Ed. Irani (SC): Jucimar Peruzzo, 2013. 316 p.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. Tradução Ronaldo Sérgio de Biasi. 10.ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2016. 812 p.

2.4 Quarto plano de aula

PLANO DE AULA PARA O PROFESSOR

Tema/assunto: Indução eletromagnética

Aulas previstas: 03 aulas

OBJETIVO

Compreender, por meio de experimentos, como podemos gerar energia elétrica (fenômeno de indução eletromagnética) sem a presença de pilhas ou baterias.

DESCRIÇÃO DA AULA/SEQUÊNCIA DIDÁTICA

O experimento desta aula busca expandir o conhecimento que o aluno adquiriu por meio das práticas anteriores. Este experimento se baseia na realização prática que o físico inglês Michael Faraday fez por volta de 1830, onde conseguiu obter correntes elétricas a partir de campos magnéticos.

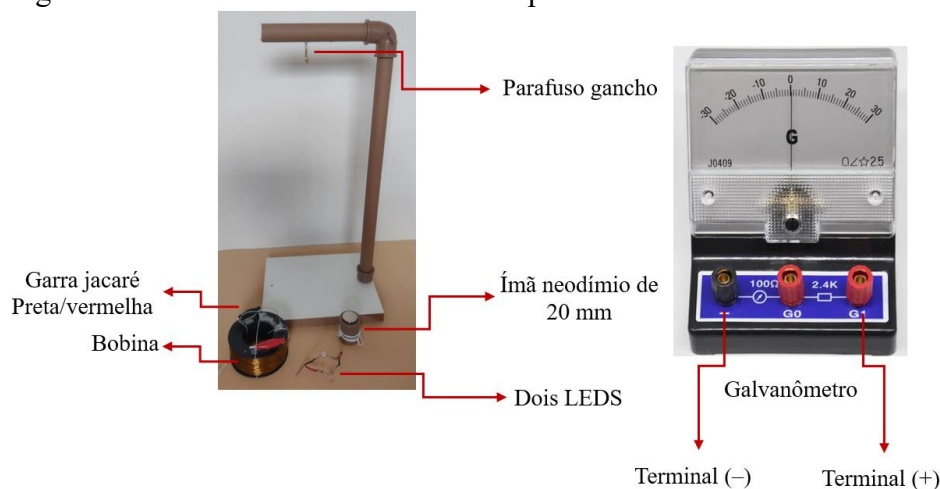
O objetivo agora é levar o aluno a essa descoberta utilizando recursos já conhecidos, tais como, ímãs e fios esmaltados.

Para prosseguimento da aula, aplicando o ISLE, solicita-se novamente a formação dos grupos e que sigam as etapas já conhecidas.

AULA 10

Para reproduzir as ideias de Michael Faraday será utilizado o dispositivo denominado, por Giacomelli, Silva, Rosa (2020), de “Pêndulo Indutor” que se constitui de um ímã que oscila sobre uma bobina. Na figura 2.4.1 podemos visualizar os materiais a serem utilizados no experimento e na figura 2.4.2 temos a imagem ampliada da bobina, ímã e LED.

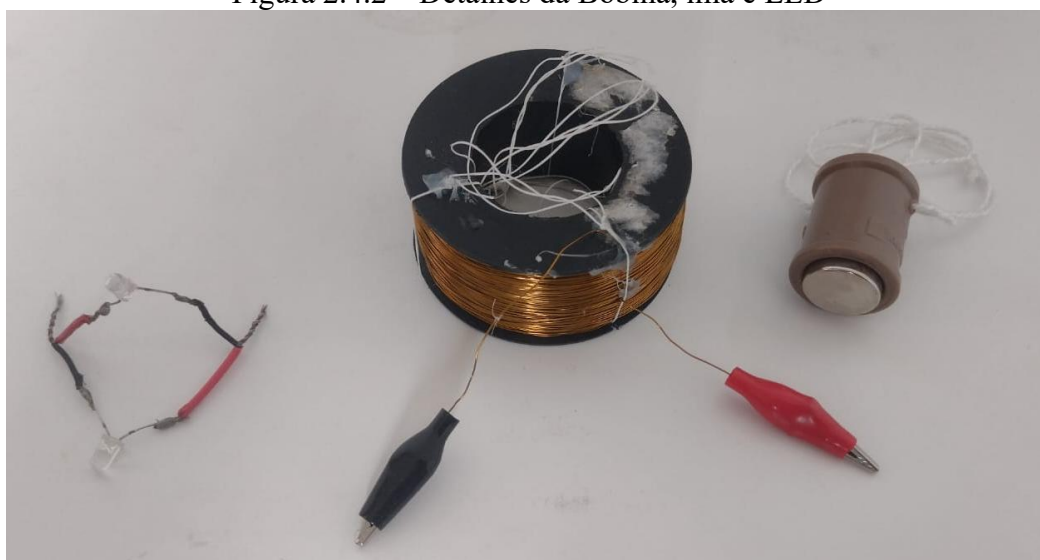
Figura 2.4.1 – Materiais utilizados no experimento do “Pêndulo Indutor”



Materiais a serem utilizados no experimento. O parafuso gancho pode ser ajustado para que não haja contato entre a bobina e o ímã. O galvanômetro será utilizado para confirmar a existência de corrente elétrica

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Figura 2.4.2 – Detalhes da Bobina, ímã e LED



A bobina possui duas garras jacarés, uma de cor vermelha e outra de cor preta. O ímã está inserido dentro de uma conexão “luva” de 20 mm. O terminal cátodo (-) do LED está identificado pelo fio preto e ânodo (+) pelo fio vermelho.

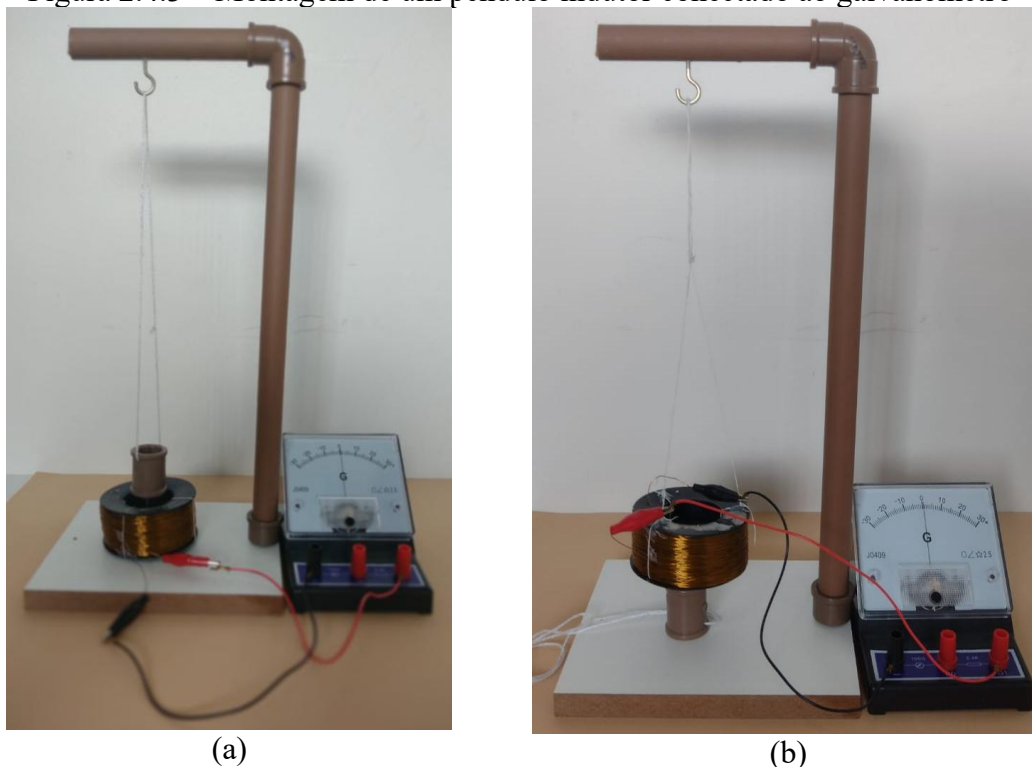
Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Nesse experimento o estudante fará contato com um aparelho de medição que talvez ele nunca tenham utilizado: o galvanômetro. Por isso, caso necessário, o professor deve explicar a funcionabilidade do aparelho.

Sugere-se iniciar a aula solicitando que os grupos leiam o roteiro experimental e analisem cada item que será utilizado na montagem do experimento. Em seguida solicita-se que

montem o experimento conforme a figura 2.4.3a. Deve-se atentar a altura que a bobina ficará do ímã para que ao oscilar não haja contato da bobina e o ímã. A regulagem pode ser feita por meio do parafuso gancho. Após a montagem pode-se iniciar o experimento.

Figura 2.4.3 – Montagem de um pêndulo indutor conectado ao galvanômetro



Em **(a)** o ímã oscila sobre a bobina conectada ao galvanômetro e em **(b)** a bobina, conectada ao galvanômetro, oscila sobre o ímã.
Fonte: Produzido pelo autor (2023)

Experimento 1: No experimento 1 o ímã é colocado para oscilar (na forma de um pêndulo) sobre uma bobina fixa, ligada a um galvanômetro, sem que o ímã toque na bobina, conforme figura 2.4.3a. Os grupos devem-se observar o que acontece e anotarem suas observações. Essas observações devem ser registradas no espaço reservado na folha da prática experimental.

Após anotarem suas observações, oriente-os a iniciar o experimento 2.

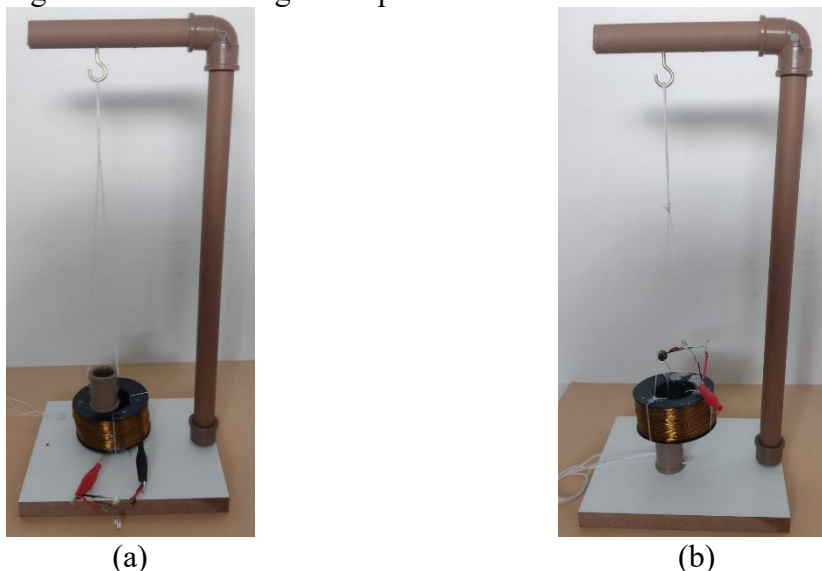
Experimento 2: No experimento 2 pede-se aos grupos para fazerem o processo inverso, ou seja, colocar a bobina para oscilar ligada ao galvanômetro, e o ímã fixo sobre a mesa, conforme a figura 2.4.3b. Os grupos devem-se observar o que acontece e anotarem suas observações. Essas observações devem ser registradas no espaço reservado na folha da prática experimental.

Após anotarem suas observações, oriente-os a iniciar o experimento 3.

Experimento 3: Neste experimento, para auxiliar os alunos na percepção da tensão induzida (força eletromotriz) e a visualização dos diferentes sentidos da corrente, pede-se aos grupos que repitam as práticas experimentais anteriores, experimento 1 e 2, entretanto, agora substituindo o galvanômetro por LEDs (já disponível na bancada). O experimento deve ser montado conforme a figura 2.4.4 e os LEDs deve ser ligados conforme a figura 2.4.5.

Os grupos devem-se observar o que acontece assim como fizeram no experimento 1 e 2 e anotarem suas observações. Essas observações devem ser registradas no espaço reservado na folha da prática experimental.

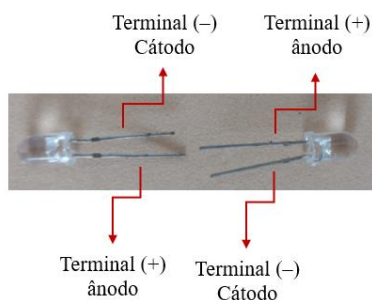
Figura 2.4.4 – Montagem do pêndulo indutor conectado ao LED



Em **(a)** o ímã oscila sobre a bobina que está ligada aos LEDs e em **(b)** a bobina, ligada aos LEDs, oscila sobre o ímã.

Fonte: Produzido pelo autor (2023)

Figura 2.4.5 – Terminais de um LED: ânodo e cátodo



Os LEDs devem ser ligados entre si, onde o ânodo de um é ligado no cátodo do outro (deve-se conectar um LED no outro ligando a “perna” mais cumprida de um LED na “perna” mais curta do outro). Essa ligação é para melhorar a percepção visual, pois devido a corrente ser oscilante teremos um LED aceso e outro apagado ocorrendo o revezamento entre si.

Fonte: Produzido pelo autor (2023)

AULA 11

Após anotarem suas observações solicita-se que os grupos compartilhem o padrão que conseguiram observar nos experimentos. Para a apresentação os grupos podem utilizar folhas de papel A4/cartolina, utilizar o quadro ou outra maneira que professor/alunos acharem conveniente.

No experimento 1, espera-se que os grupos percebam o registro de corrente elétrica no galvanômetro conforme o ímã passa (oscila) sobre a bobina. O mesmo acontece no experimento 2. Há registro da existência de corrente elétrica quando a bobina oscila sobre o ímã, mostrando que independente de quem estiver em movimento (movimento relativo) haverá corrente elétrica. Sobre o experimento 3 espera-se que os estudantes consigam perceber os LEDs acendendo e apagando com a oscilação tanto do ímã quanto da bobina. Além disso, é possível que eles percebam que dependendo da velocidade de oscilação os LEDs não irão acender, fazendo com que eles estabeleçam uma relação de velocidade de oscilação e energia gerada para acender os LEDs.

Após apresentação do padrão observado pede-se que os grupos proponham o maior número possível de explicações/hipóteses/modelos para esses padrões registrando as anotações no espaço reservado da folha da prática experimental. Oriente-os que é necessário pensar numa maneira de testar a validade dessas explicações/hipóteses/modelos propostos. O professor deve estabelecer um tempo razoável para que os grupos consigam discutir e anotarem suas ideias.

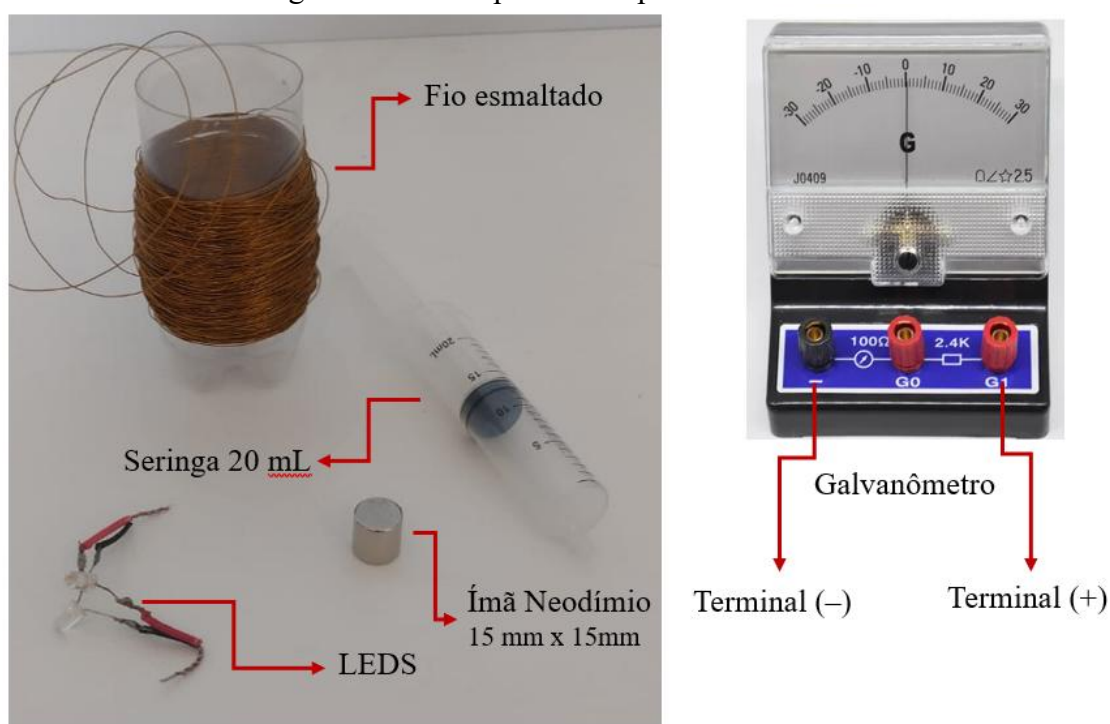
Com base no padrão observado espera-se que algum grupo suponha que em situações semelhantes, onde há movimento relativo entre uma bobina e um ímã, haverá corrente elétrica e consiga propor uma maneira de comprovar suas ideias. Além dessas hipóteses podem surgir outras, tais como, algum grupo conseguir relacionar a velocidade de oscilação e a geração de energia.

É importante frisar que não se deve descartar as ideias dos estudantes mesmo que as vezes podem não parecer coerentes. É importante que eles testem e percebam que os experimentos testes podem fazê-los refutar as explicações/hipóteses/modelos propostos. Após o término do tempo estabelecido pelo professor deve-se novamente solicitar aos grupos que compartilhem/apresentem as explicações/hipóteses/modelos para o padrão encontrado, bem como ideias (algum experimento teste) para comprovar as propostas do grupo.

Após a apresentação será o momento de cada grupo projetar/propor (escrever na folha de experimento teste) novos experimentos cujos resultados podem prever aplicando suas explicações/modelos. Os alunos devem fazer as previsões aplicando a explicação em teste, não se apressando em realizar os experimentos e “ver o que acontece”. É importante que eles não apenas façam as previsões, mas expliquem claramente como essas previsões se baseiam nas explicações/modelos/relações que pretendem testar. Nesse momento o professor (instrutor) pode oferecer ideias de experimentos testes pedindo que façam previsões usando a ideia (hipótese) proposta pelo grupo.

Caso necessário (se os grupos não conseguiram propor algum experimento teste), os grupos podem utilizar a proposta de experimento do professor. A proposta de experimento teste pode ser realizada utilizando galvanômetro, ímã de neodímio, uma seringa, fio esmaltado e LEDs. A figura 2.4.6 mostra os materiais necessários.

Figura 2.4.6 – Proposta de experimento teste

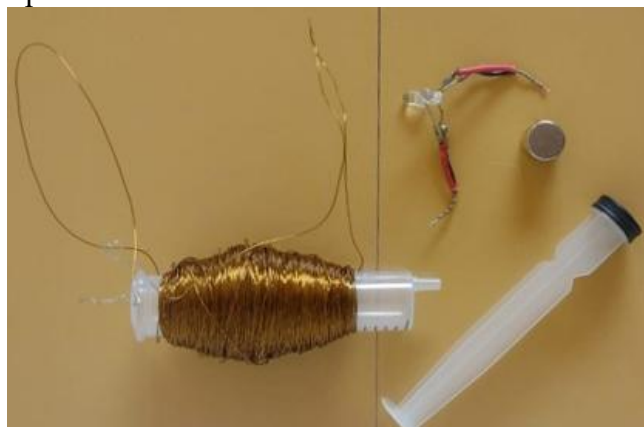


Materiais a serem utilizados no experimento teste.

Fonte: Produzido pelo autor (2023)

A ideia é utilizar um tubo de seringa e enrolar fio esmaltado em torno dele, formando várias espiras (deixar sobrando 50 cm de fio esmaltado no início e no final). Sugere-se realizar em torno de 600 a 1000 voltas. A figura 2.4.7 mostra a seringa com 600 voltas.

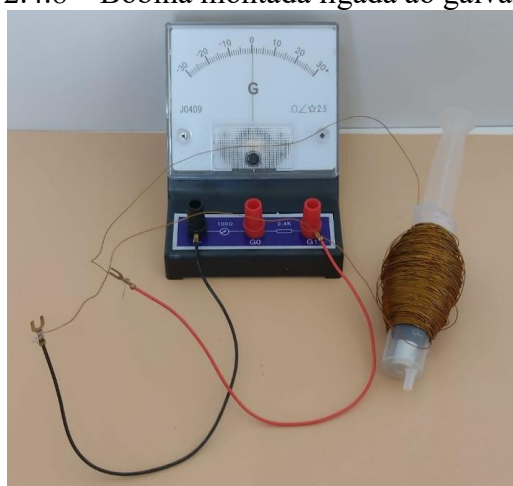
Figura 2.4.7 – Experimente teste montado: bobina em torno de um tubo de seringa



Seringa com 600 voltas e as pontas (sobras de 50 cm) com esmalte retirado para fazer contato elétrico
 Fonte: Produzido pelo autor (2023)

O próximo passo é retirar o êmbolo, inserindo o ímã de neodímio dentro do tubo de forma que ele possa se deslocar livremente. As duas pontas do fio esmaltado devem ser ligadas ao galvanômetro (orientá-lo a retirar o esmalte do fio para fazer contato elétrico). Em seguida deve-se agitar a seringa de um lado para outro (movimentando o ímã) observando a variação de corrente registrada no galvanômetro. A figura 2.4.8 mostra o experimento montado.

Figura 2.4.8 – Bobina montada ligada ao galvanômetro



Bobina feita em volta de um tubo de seringa. É possível visualizar o ímã de neodímio no interior da seringa. O movimento do ímã faz o ponteiro do galvanômetro se mover, registrando corrente elétrica induzida.

Fonte: Produzido pelo autor (2023)

O registro do galvanômetro vai comprovar a hipótese de que o movimento relativo da bobina provoca o surgimento da corrente elétrica. Para atestar a geração de energia pode sugerir aos estudantes substituir o galvanômetro por um LED e efetuar novamente o movimento da seringa. Ao efetuar o movimento da seringa o LED irá se acender.

AULA 12

Após a realização do experimento teste os grupos devem apresentar os resultados e as conclusões a respeito de suas hipóteses (aquelas que foram confirmadas e as que foram refutadas) e, também que proponham onde aplicar suas descobertas no cotidiano. Espera-se que algum grupo cite, por exemplo, dínamo de bicicleta e geração de energia elétrica (eólica, termoelétrica, hidrelétrica).

Após os grupos proporem as aplicações no cotidiano haverá intervenção do professor (instrutor) no sentido de nomear (se possível) à ideia inventada, sintetizar os achados do aluno usando linguagem científica adequada. Esse é o momento do(a) docente abordar os conceitos teóricos envolvidos na prática e organizar sua aula teórica acrescentando assuntos que a prática não contemplou e/ou reforçar aquilo que os estudantes já aprenderam ao realizar os experimentos.

AVALIAÇÃO

O aluno será avaliado por meio de sua participação com questionamentos, exposição de ideias e anotações realizadas durante a aula e realização das práticas experimentais.

BIBLIOGRAFIA

ETKINA, Eugenia; PLANINSIC, Gorazd; HEUVELEN, Alan Van. **College physics Explore and Apply**. 2. ed. New York: Pearson, 2019. 1065 p.

PERUZZO, Jucimar. **A física através de experimentos: Eletromagnetismo, Física Moderna e Ciências Espaciais**. 1. Ed. Irani (SC): Jucimar Peruzzo, 2013. 316 p.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. Tradução Ronaldo Sérgio de Biasi. 10.ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2016. 812 p.

GIACOMELLI, A. C., Silva, C. J. S. da, & Rosa, C. T. W. da. (2020). **Construção de um pêndulo com ímã e bobina destinado ao ensino do eletromagnetismo**. Caderno Brasileiro De Ensino De Física, 37(2), 909–924. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2020v37n2p909>

3 ROTEIROS DOS EXPERIMENTOS

Segue, logo abaixo, os roteiros experimentais do aluno, propostas de experimentos testes e folha para descrição do experimento teste.

3.1 Roteiro do aluno para a prática experimental – 1º plano de aula

Observe e encontre um padrão

Laboratório: Barra magnética com marcação, bússola

REALIZE OS EXPERIMENTOS E REGISTRE SUAS OBSERVAÇÕES.

EXPERIMENTO 1 – Observe as marcações nas extremidades das barras magnéticas. Coloque os dois ímãs sobre uma mesa lisa para que as duas extremidades vermelhas apontem uma para outra, conforme mostrado na figura 1.

Figura 1 – Montagem do experimento

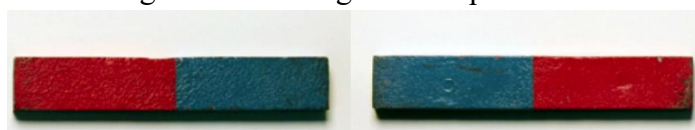


A figura mostra dois ímãs com duas extremidades vermelhas apontando uma para outra
Fonte: Produzido pelo autor (2023)

Observe como os ímãs interagem e anote suas observações (pode ser por escrito, mas se necessário utilize esquemas, desenhos para explicar melhor suas observações).

Agora inverta e coloque as duas extremidades azuis apontando uma para a outra, conforme figura 2.

Figura 2 – Montagem do experimento



A figura mostra dois ímãs com duas extremidades azuis apontando uma para outra
Fonte: Produzido pelo autor (2023)

Observe como os ímãs interagem e anote suas observações (pode ser por escrito, mas se necessário utilize esquemas, desenhos para explicar melhor suas observações).

Agora segure os ímãs de forma que uma extremidade vermelha e uma extremidade azul apontem uma para a outra, conforme figura 3.

Figura 3 – Montagem do experimento



A figura mostra dois ímãs. Observe que a extremidade vermelha de um está apontada para a extremidade azul do outro.

Fonte: Produzido pelo autor (2023)

Observe como os ímãs interagem e anote suas observações (pode ser por escrito, mas se necessário utilize esquemas, desenhos para explicar melhor suas observações).

EXPERIMENTO 2 – Coloque a bússola sobre a mesa lisa na máxima distância dos ímãs. Gire o anel graduado até que a ponta verde da barra móvel (agulha) esteja alinhada com a marcação norte (N) da bússola, conforme a figura 4.

Figura 4 – Montagem do experimento



A figura mostra a bússola com o anel graduado alinhado com a marcação norte (N). Em seguida deve-se aproximar o ímã conforme orientação no roteiro.

Fonte: Produzido pelo autor (2023)

Com a bússola nessa posição aproxime a extremidade vermelha do ímã da seta do mostrador e observe como interagem. Em seguida inverta o ímã, aproximando a extremidade azul da seta do mostrador e observe como interagem. Anote suas observações (pode ser por escrito, mas se necessário utilize esquemas, desenhos para explicar melhor suas observações).

APRESENTE PARA OS DEMAIS GRUPOS O PADRÃO OBSERVADO

(Aguarde a orientação do professor antes de seguir para a próxima etapa).

Após a apresentação do padrão observado discuta com seu grupo a explicação/padrão/hipótese sobre as observações feitas. Proponha hipótese sobre que outros objetos podem interagir à distância de forma semelhante aos ímãs? Quais são as semelhanças e diferenças entre essas interações e interações de ímãs observadas no experimento 1 e 2? Escreva no espaço a conclusão do grupo.

**APRESENTE PARA OS DEMAIS GRUPOS A EXPLICAÇÃO/PADRÃO/
HIPÓTESE SOBRE AS OBSERVAÇÕES FEITAS.**

(Aguarde a orientação do professor antes de seguir para a próxima etapa).

TESTE SUA IDEIA.

Proponha algum experimento para testar as hipóteses/padrões encontrados em suas respostas no experimento 1 e 2. Utilize a folha de experimento teste em anexo.

REALIZE O EXPERIMENTO TESTE.

Agora que você realizou os experimentos testes, descreva se os padrões foram confirmados e proponha aplicações dos padrões observados no dia a dia.

3.1.1 Proposta do professor para o experimento teste 1 – 1º plano de aula

(Este material consiste na proposta de experimento teste que o professor pode sugerir aos alunos, caso seja necessário)

Qual o objetivo do experimento? Quais hipóteses estão sendo testadas?

O que deve acontecer para a hipótese ser verdadeira?

Após responder o questionário acima realize a prática experimental abaixo para testar suas hipóteses.

Laboratório: Imãs de diferentes formatos e tamanhos.

Sobre a mesa tem-se ímãs de vários formatos. Coloque-os próximos uns dos outros, inverta os lados e verifiquem se eles interagem e se as observações correspondem as hipóteses estabelecidas pelo grupo. Se necessário, repita o experimento de várias maneiras.

Figura 1 – Imãs como formatos diferentes



A figura mostra ímãs de vários formatos para serem testados de acordo a proposta de experimento teste.

Fonte: Produzido pelo autor (2023)

Lembre-se que você está testando as hipóteses estabelecidas pelo grupo, logo, atente-se a analisar se o experimento confirma ou leva a rejeição das hipóteses. Faça suas anotações abaixo.

O experimento teste confirma alguma das hipóteses? Se sim, propor aplicações com as descobertas realizadas.

O experimento teste leva a rejeição de todas as hipóteses? Revisar modificando a hipótese ou retornar nas observações experimentais reiniciando o ciclo.

Agora que finalizou essa etapa anote seus resultados na folha de prática experimental.

3.1.2 Proposta do professor para o experimento teste 2 – 1º plano de aula

(Este material consiste na proposta de experimentos testes que o professor pode sugerir aos alunos, caso seja necessário)

Qual o objetivo do experimento? Quais hipóteses estão sendo testadas?

--

O que deve acontecer para a hipótese ser verdadeira?

--

Após responder o questionário acima realize a prática experimental abaixo para testar suas hipóteses.

Laboratório: ímãs de vários formatos, materiais diversos para testes.

Sobre a mesa contém ímãs e diversos objetos de composição diferentes. Aproxime os materiais dos ímãs, um de cada vez, para observar o que ocorre ao se aproximarem um do outro. Você pode utilizar a criatividade, invertendo o ímã, utilizando ímã de formato diferente, para analisar o padrão que se espera para material quando estão próximos dos ímãs.

Figura 1 – Materiais a serem utilizados no experimento



Figura 1: em **(a)** possui ímãs de vários formatos; em **(b)** objetos para serem testados aproximando-os dos ímãs.

Fonte: Produzido pelo autor (2023)

Lembre-se que você está testando as hipóteses estabelecidas pelo grupo, logo, atente-se a analisar se o experimento confirma ou leva a rejeição das hipóteses. Faça suas anotações abaixo.

O experimento teste confirma alguma das hipóteses? Se sim, propor aplicações com as descobertas realizadas.

O experimento teste leva a rejeição de todas as hipóteses? Se sim, revisar modificando a hipótese ou retornar nas observações experimentais reiniciando o ciclo.

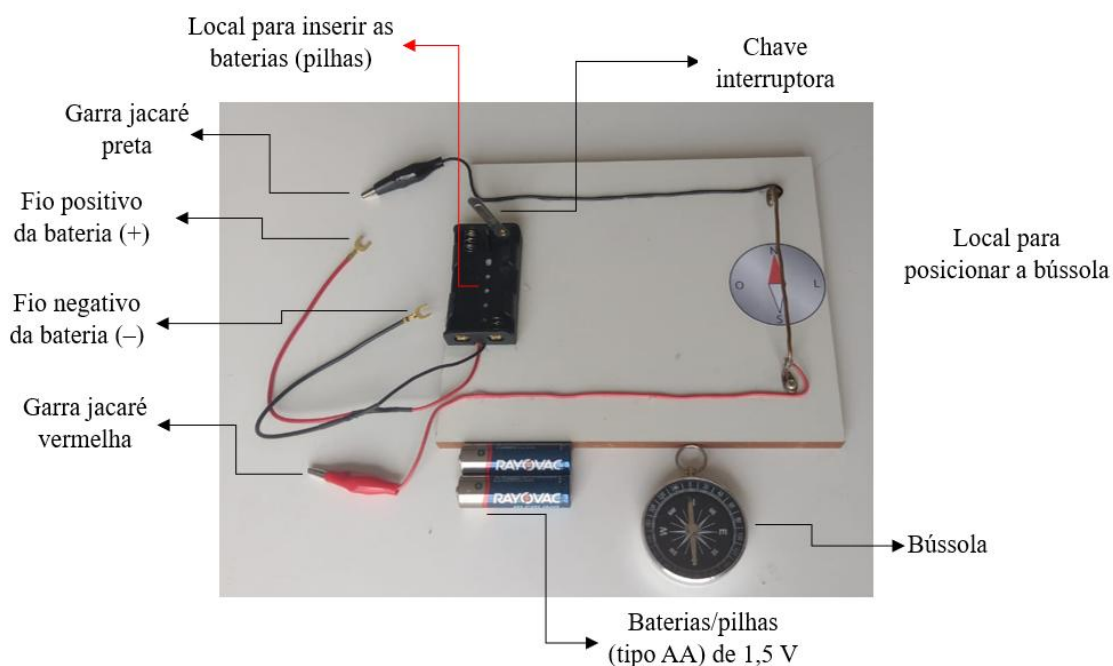
3.2 Roteiro do aluno para a prática experimental – 2º plano de aula

Observe e encontre um padrão

Laboratório: baterias, fios de conexão, suporte de bateria/pilha com interruptor, bússola.

Antes de iniciar a montagem do circuito observe a figura 1 para compreender os equipamentos a serem utilizados.

Figura 1 – Componentes do experimento



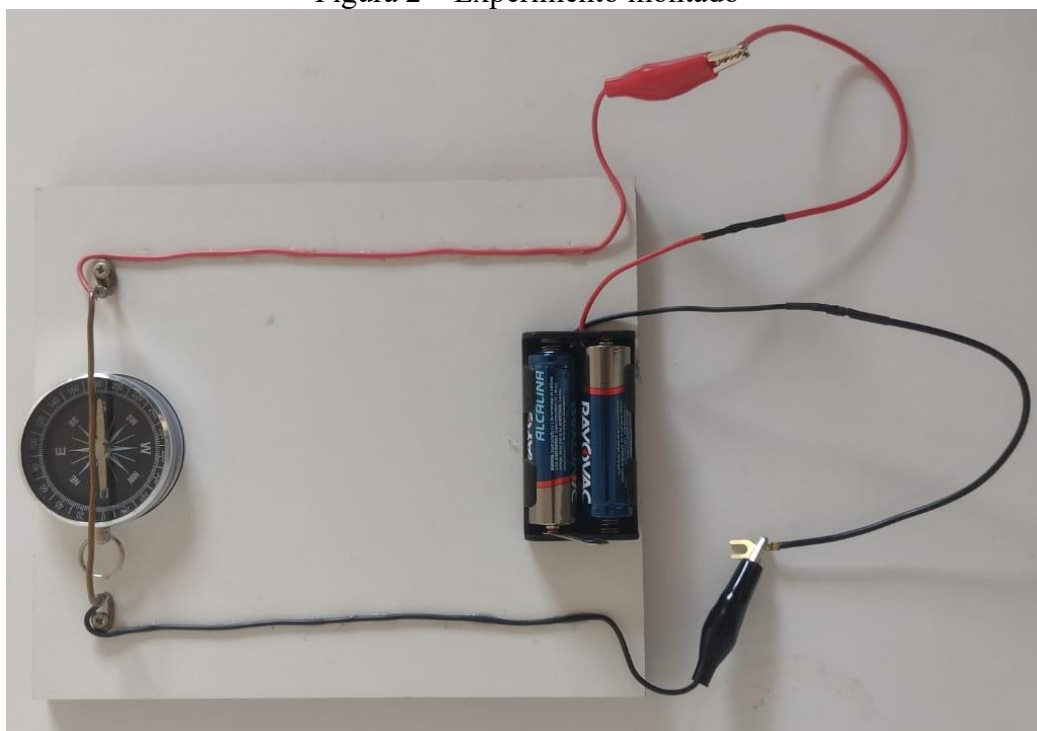
Observe para a descrição de cada componente do experimento. Isso será importante para compreensão da montagem.

Fonte: Produzido pelo autor (2023)

Agora que você conhece os componentes do experimento, siga as orientações abaixo:

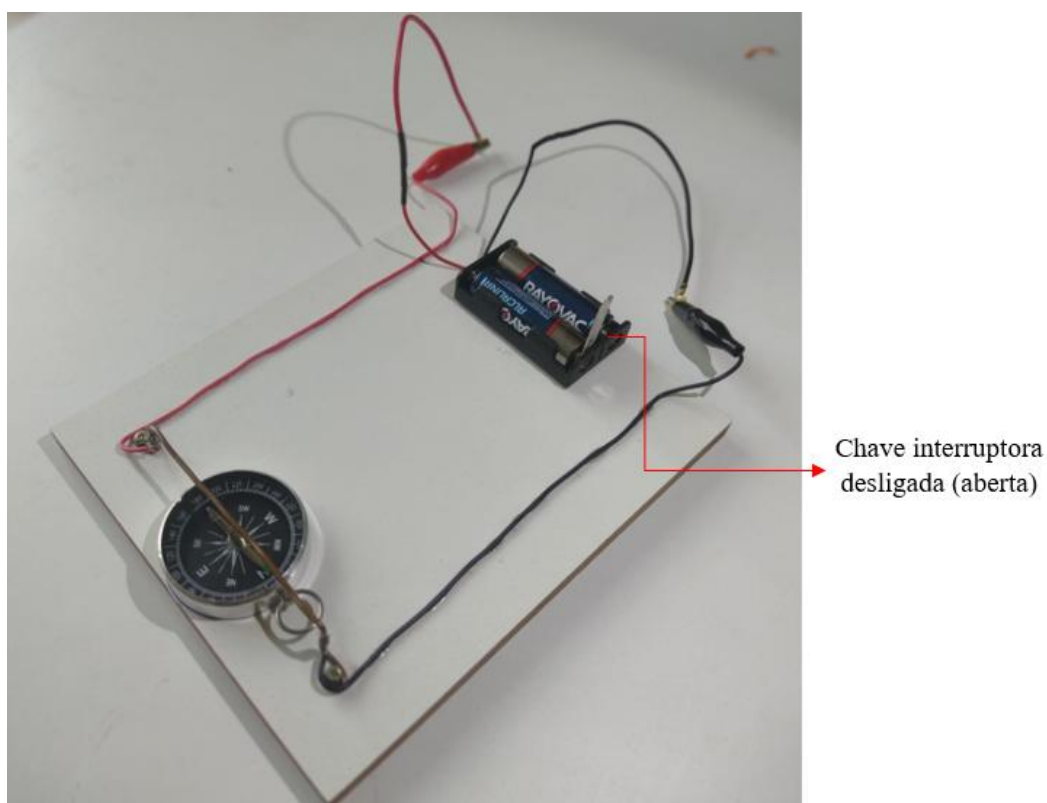
Conectar as baterias nos seus respectivos lugares deixando a chave interruptora desligada, conforme a figura 3. Observe qual a cor do fio está sendo ligado no polo positivo e negativo da bateria/pilha. Em seguida conectar o fio vermelho na garra jacaré vermelha e o fio preto na garra jacaré preta. Montado o circuito posicione a bússola abaixo do fio desencapado conforme é indicado na figura 2. Se necessário gire a bússola de forma que o fio desencapado esteja alinhado na direção geográfica norte-sul. A montagem deve estar de acordo com a figura 2 com a bússola apontada para o norte.

Figura 2 – Experimento montado



A figura apresenta como o experimento deve ser montado.
Fonte: Produzido pelo autor (2023)

Figura 3 - Circuito montado com a chave aberta



O experimento deve ser montado conforme figura. Observe que o circuito está aberto, para fechar o circuito é necessário descer a chave.
Fonte: Produzido pelo autor (2023)

REALIZE OS EXPERIMENTOS E REGISTRE SUAS OBSERVAÇÕES.

EXPERIMENTO 1: Feche a chave onde as baterias foram inseridas. Registre suas observações no espaço abaixo (pode ser escrito, mas se necessário utilize esquemas, desenhos para explicar melhor suas observações).

Observação: certifique-se de não manter a chave fechada por mais de alguns segundos para economizar as baterias e evitar o aquecimento dos fios.

EXPERIMENTO 2: Inverta os polos da bateria, ou seja, ligue a **garra jacaré vermelha no fio preto** e a **garra jacaré preta no fio vermelho**. Feche a chave novamente. Registre suas observações no espaço abaixo (pode ser escrito, mas se necessário utilize esquemas, desenhos para explicar melhor suas observações).

Observação: Certifique-se de não manter a chave fechada por mais de alguns segundos para economizar as baterias e evitar o aquecimento dos fios.

APRESENTE PARA OS DEMAIS GRUPOS O PADRÃO OBSERVADO

(Aguarde a orientação do professor antes de seguir para a próxima etapa).

Após a apresentação do padrão observado discuta com seu grupo a explicação/padrão/hipótese sobre as observações feitas. Escreva no espaço logo abaixo a conclusão do grupo.

**APRESENTE PARA OS DEMAIS GRUPOS A EXPLICAÇÃO/PADRÃO/
HIPÓTESE SOBRE AS OBSERVAÇÕES FEITAS.**

(Aguarde a orientação do professor antes de seguir para a próxima etapa).

TESTE SUA IDEIA.

Proponha algum experimento para testar as hipóteses/padrões encontrados em suas respostas no experimento 1 e 2. Utilize a folha de experimento teste em anexo.

REALIZE O EXPERIMENTO TESTE.

Agora que você realizou os experimentos testes descreva se os padrões foram confirmados e proponha aplicações dos padrões observados no dia a dia.

3.2.2 Proposta do professor para o experimento teste – 2º plano de aula

(Este material consiste na proposta de experimentos testes que o professor pode sugerir aos alunos, caso seja necessário)

1) Qual o objetivo do experimento? Quais hipóteses estão sendo testadas?

2) O que deve acontecer para as hipóteses serem verdadeiras?

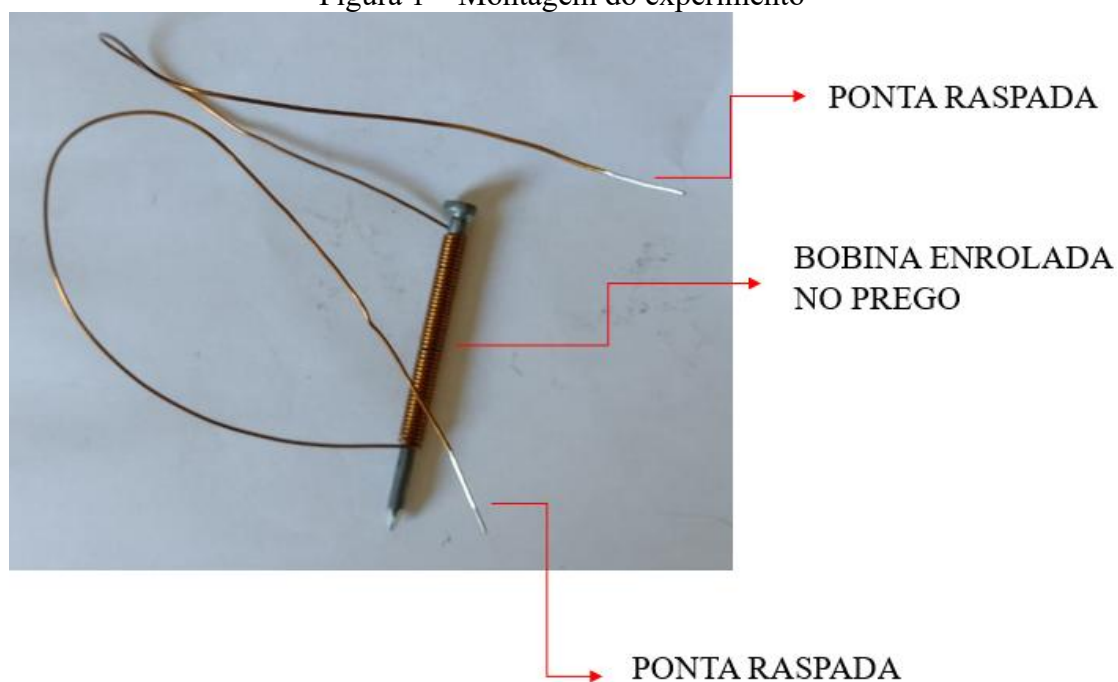
Após responder o questionário acima, realize a prática experimental abaixo para testar suas hipóteses.

Laboratório: 1 pilha ou 1 bateria, 1 prego, fio esmaltado, 1 estilete/lixa, materiais ferromagnéticos.

Lixe, com a lixa disponibilizada pelo professor, por volta de 2 cm as extremidades do fio de cobre esmaltado sobre a mesa, para possibilitar o contato elétrico. Construa uma bobina, enrolando o fio de cobre ou alumínio no prego, conforme a figura 1. Dê cerca de 50 voltas, sempre no mesmo sentido. Deixe cerca de 10 cm livre em cada lado do fio. Ligue as extremidades do fio a uma pilha sobre a mesa, conforme a figura 2, e aproxime a bobina de materiais ferromagnéticos. Verifique o que acontece.

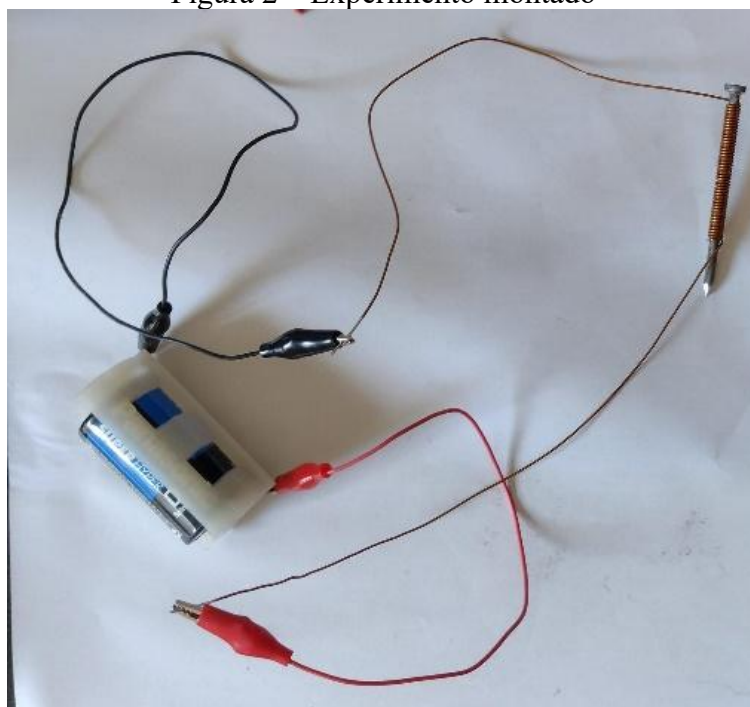
Desligue um dos fios da bateria e analise novamente o que acontece.

Figura 1 – Montagem do experimento



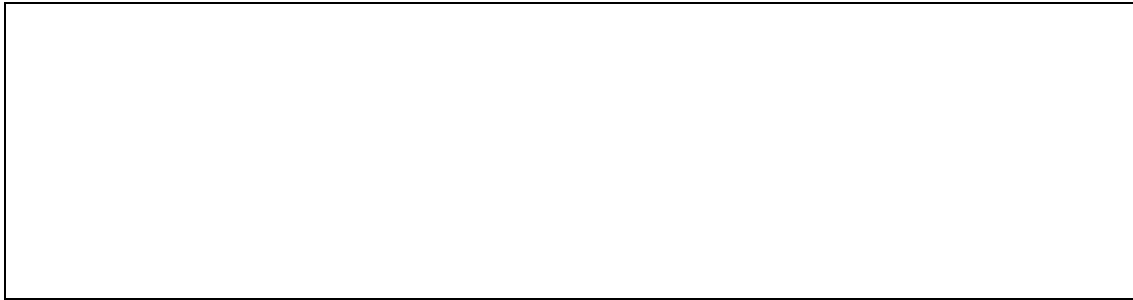
Enrole o fio no prego de acordo a figura. Em seguida raspe as duas pontas para fazer contato elétrico.
 Fonte: produzido pelo autor (2023)

Figura 2 – Experimento montado



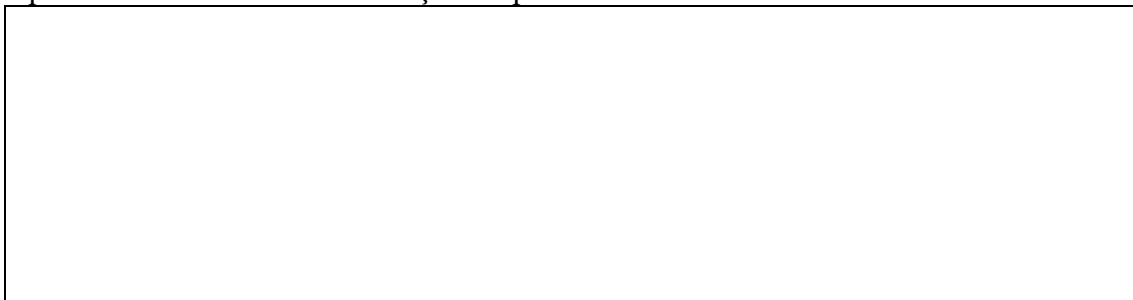
O experimento deve ser montado conforme figura. Bobina enrolada no prego e ligada a pilha/bateria.
 Fonte: Produzido pelo autor (2023)

Lembre-se que você está testando as hipóteses estabelecidas pelo grupo, logo, atente-se a analisar se o experimento confirma ou leva a rejeição das hipóteses. Faça suas anotações abaixo.



O experimento teste confirma alguma das hipóteses? Se sim, propor aplicações com as descobertas realizadas.

O experimento teste leva a rejeição de todas as hipóteses? Se sim, revisar modificando a hipótese ou retornar nas observações experimentais reiniciando o ciclo.



Agora que finalizou essa etapa anote seus resultados na folha de prática experimental.

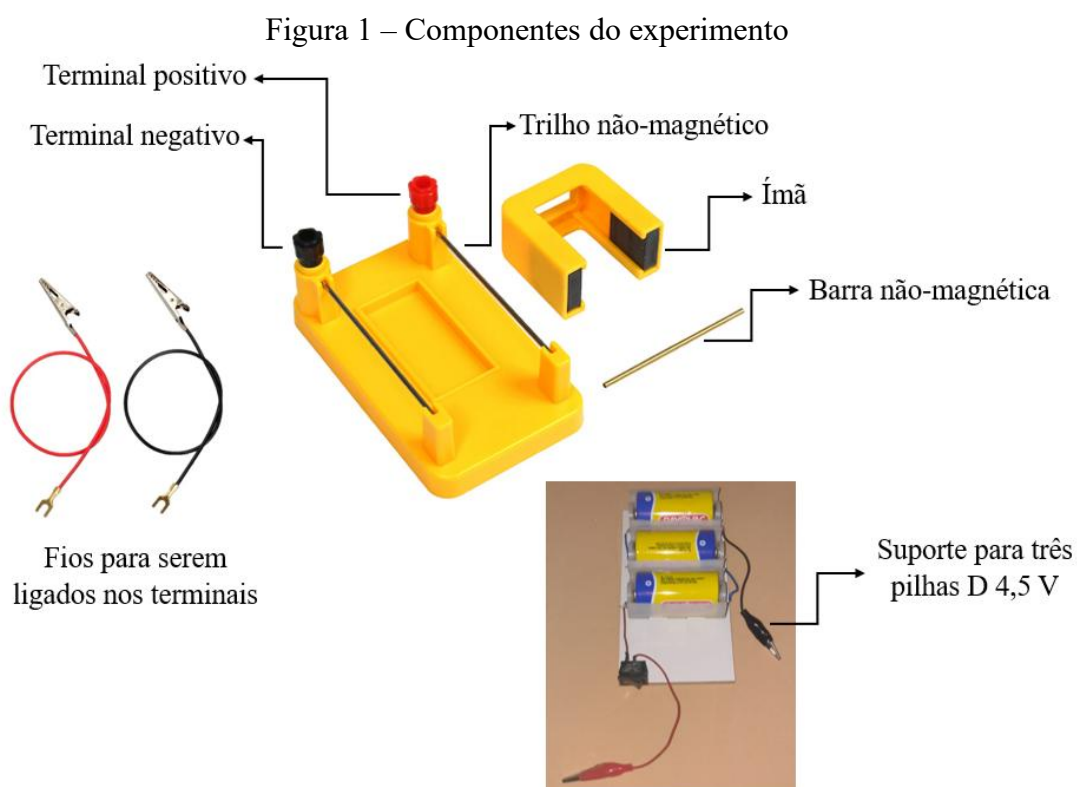
3.3 Roteiro do aluno para a prática experimental – 3º plano de aula

Observe e encontre um padrão

Laboratório: ímã em U, barra de cobre, suporte com dois trilhos de alumínio, cabos com garra jacaré, 4 pilhas D, suporte para as pilhas

REALIZE OS EXPERIMENTOS E REGISTRE SUAS OBSERVAÇÕES.

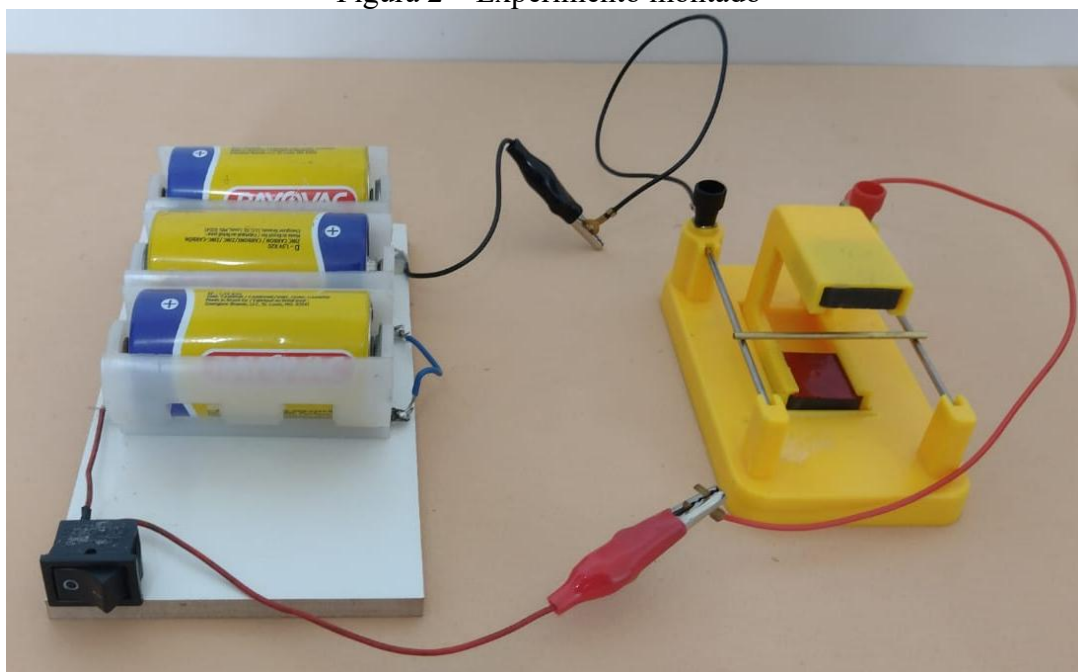
Observe o experimento que tem sobre a mesa, a figura 1 mostra o nome dos elementos do experimento. Após compreender cada elemento do experimento pode-se iniciar a montagem. Encaixe o suporte de plástico em forma de U com os dois ímãs na base de plástico de maneira que o Norte (cor vermelha) fique apontado para cima. Em seguida coloque a barra não-magnética em cima do trilho, de maneira que ela fique entre os dois ímãs. Coloque as baterias no suporte destinado a elas, faça o contato elétrico do trilho não-magnético ligando-os ao suporte da pilha com suas respectivas cores (a garra jacaré do fio vermelho da bateria conectado no terminal vermelho do trilho e a garra jacaré do fio preto da bateria conectado no terminal preto do trilho). Seu experimento deve estar de acordo a figura 2.



Observe os materiais a serem utilizados no experimento. É importante conhecer cada elemento para melhor compreensão da montagem do experimento.

Fonte: produzido pelo autor (2023)

Figura 2 – Experimento montado



O experimento deve ser montado conforme figura.
Fonte: produzido pelo autor (2023)

EXPERIMENTO 1 – Agora que seu experimento está montado de acordo a figura 2, ligue o interruptor e observe o que acontece. Repita duas ou mais vezes, se achar necessário, para fazer suas observações, não esquecendo de sempre desligar o interruptor quando for reiniciar o experimento e posicionar a barra não-magnética no trilho entre o imã. Registre suas observações no espaço abaixo (pode ser escrito, mas se necessário utilize esquemas, desenhos para explicar melhor suas observações).

Descreva suas observações e registre os padrões encontrados no 1º momento

EXPERIMENTO 2: Inverta os fios da bateria, ou seja, a garra jacaré do fio vermelho da bateria conectado no terminal preto do trilho e a garra jacaré do fio preto da bateria conectado no terminal vermelho do trilho. Repita duas ou mais vezes, se achar necessário, para fazer suas observações, não esquecendo de sempre desligar o interruptor quando for reiniciar o experimento e posicionar a barra não-magnética no trilho entre o imã. Registre suas observações no espaço abaixo (pode ser escrito, mas se necessário utilize esquemas, desenhos para explicar melhor suas observações).

Descreva suas observações e registre os padrões encontrados no 2º momento

APRESENTE PARA OS DEMAIS GRUPOS O PADRÃO OBSERVADO

(Aguarde a orientação do professor antes de seguir para a próxima etapa).

Após a apresentação do padrão observado discuta com seu grupo: O que justifica o padrão verificado? Proponha uma explicação/padrão/hipótese sobre as observações feitas. Escreva no espaço a conclusão do grupo.

APRESENTE PARA OS DEMAIS GRUPOS A EXPLICAÇÃO/PADRÃO/HIPÓTESE SOBRE AS OBSERVAÇÕES FEITAS.

(Aguarde a orientação do professor antes de seguir para a próxima etapa).

TESTE SUA IDEIA.

Proponha algum experimento para testar as hipóteses/padrões encontrados em suas respostas na experiência 1 e 2. Utilize a folha de experimento teste em anexo.

REALIZE O EXPERIMENTO TESTE.

Agora que você realizou os experimentos testes, descreva se os padrões foram confirmados e proponha aplicações dos padrões observados no dia a dia.

3.3.1 Proposta do professor para o experimento teste – 3º plano de aula

(Este material consiste na proposta de experimento teste que o professor pode sugerir aos alunos, caso seja necessário)

PROPOSTA DO PROFESSOR PARA O EXPERIMENTO TESTE

Qual o objetivo do experimento? Quais hipóteses estão sendo testadas?

O que deve acontecer para a hipótese ser verdadeira?

Após responder o questionário acima, realize a prática experimental abaixo para testar suas hipóteses.

Laboratório: ímã em U, suporte com dois conectores de alumínio, cabos com garra jacaré, 3 pilhas D, haste de cobre.

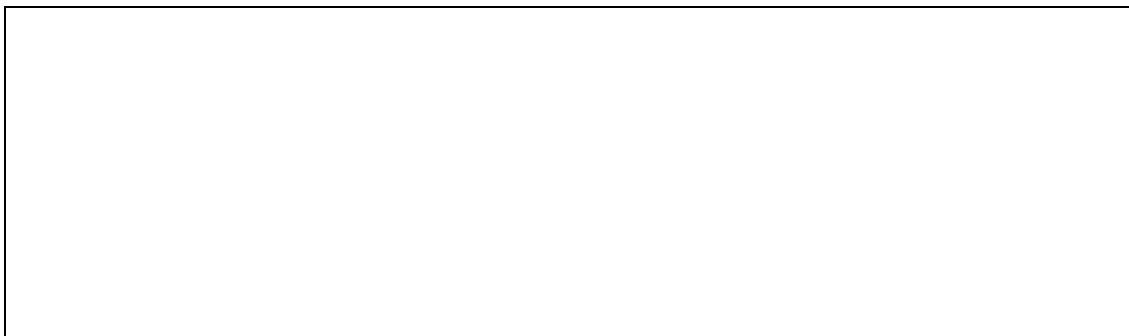
Sobre a mesa contém equipamentos já conhecidos. Com base figura 1, coloque a haste de cobre no conector de alumínio de maneira de que a haste possa se mover livremente. Em seguida posicione o ímã em U de maneira que a base da haste esteja entre os ímãs. Monte circuito elétrico conectando os cabos jacarés da bateria em cada conector de alumínio. Seu experimento deve estar montado de acordo a figura 2.

Agora que montou o experimento, ligue o interruptor e observe o que acontece (lembrem-se que estão testando suas hipóteses, logo, observem se o resultado experimental está de acordo).

Repita o experimento, invertendo os fios da bateria e novamente faça a observação. (lembrem-se que estão testando suas hipóteses, logo, observem se o resultado experimental está de acordo).

O experimento teste confirma alguma das hipóteses? Se sim, propor aplicações com as descobertas realizadas.

O experimento teste leva a rejeição de todas as hipóteses? Revisar modificando a hipótese ou retornar nas observações experimentais reiniciando o ciclo.



Agora que finalizou essa etapa anote seus resultados na folha de prática experimental.

3.4 Roteiro do aluno para a prática experimental – 4º plano de aula

Observe e encontre um padrão

Laboratório: bobina, suporte, imã, galvanômetro, LED

REALIZE OS EXPERIMENTOS E REGISTRE SUAS OBSERVAÇÕES.

EXPERIMENTO 1 - Conecte o imã no suporte deixando a bobina sobre a mesa, sem que o imã toque na bobina (se necessário faça o ajuste no parafuso gancho), conforme figura 1 (a). Em seguida ligue a garra jacaré vermelha no terminal (fio) vermelho do galvanômetro e a garra jacaré preta no terminal (fio) preto do galvanômetro, conforme figura 1 (b).

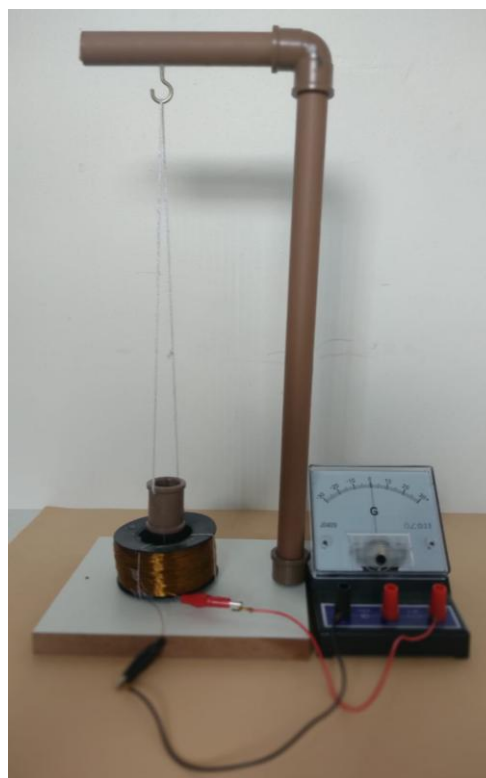
Agora puxe o imã simulando um movimento oscilante tipo pêndulo e observe atentamente o que acontece no galvanômetro.

Registre suas observações no espaço abaixo (pode ser escrito, mas se necessário utilize esquemas, desenhos para explicar melhor suas observações).

Figura 1 – Montagem do experimento: o imã é colocado para oscilar por cima da bobina



(a)



(b)

O experimento deve ser montado conforme figura. Em (a) observe que não há contato da bobina com o imã e em (b) a ligação correta dos fios da bobina e o terminal do galvanômetro. Ligue as cores correspondentes.

Fonte: Produzido pelo autor (2023)

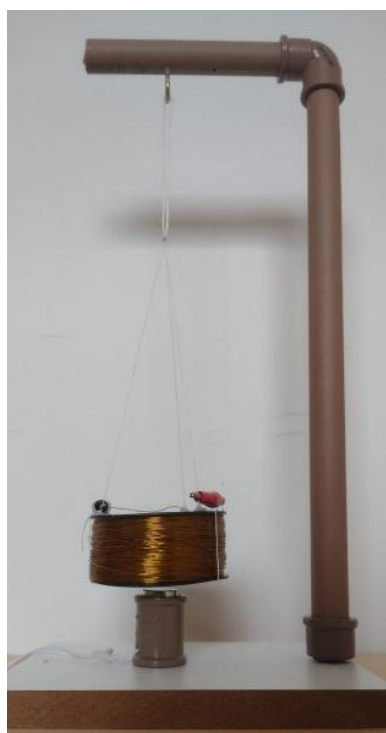
Descreva suas observações e registre os padrões encontrados no “Experimento 1”

EXPERIMENTO 2: Agora inverta. Conecte a bobina ao suporte deixando o ímã sobre a mesa, sem que a bobina toque o ímã (se necessário faça o ajuste no parafuso gancho), conforme figura 2 (a). Em seguida ligue a garra jacaré vermelha e preta da bobina ao galvanômetro sobre a mesa, conforme figura 2 (b).

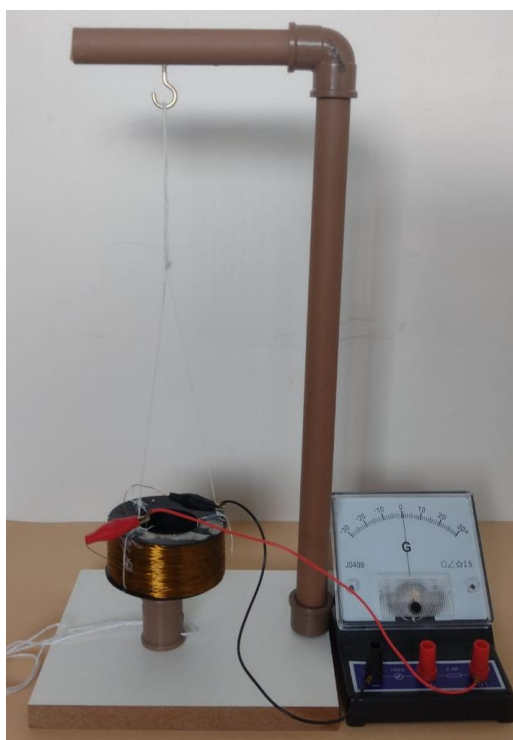
Agora puxe a bobina simulando um movimento oscilante e observe novamente o que acontece no galvanômetro.

Registre suas observações no espaço abaixo (pode ser escrito, mas se necessário utilize esquemas, desenhos para explicar melhor suas observações).

Figura 2 - Montagem do experimento: a bobina é colocada para oscilar por cima do ímã



(a)



(b)

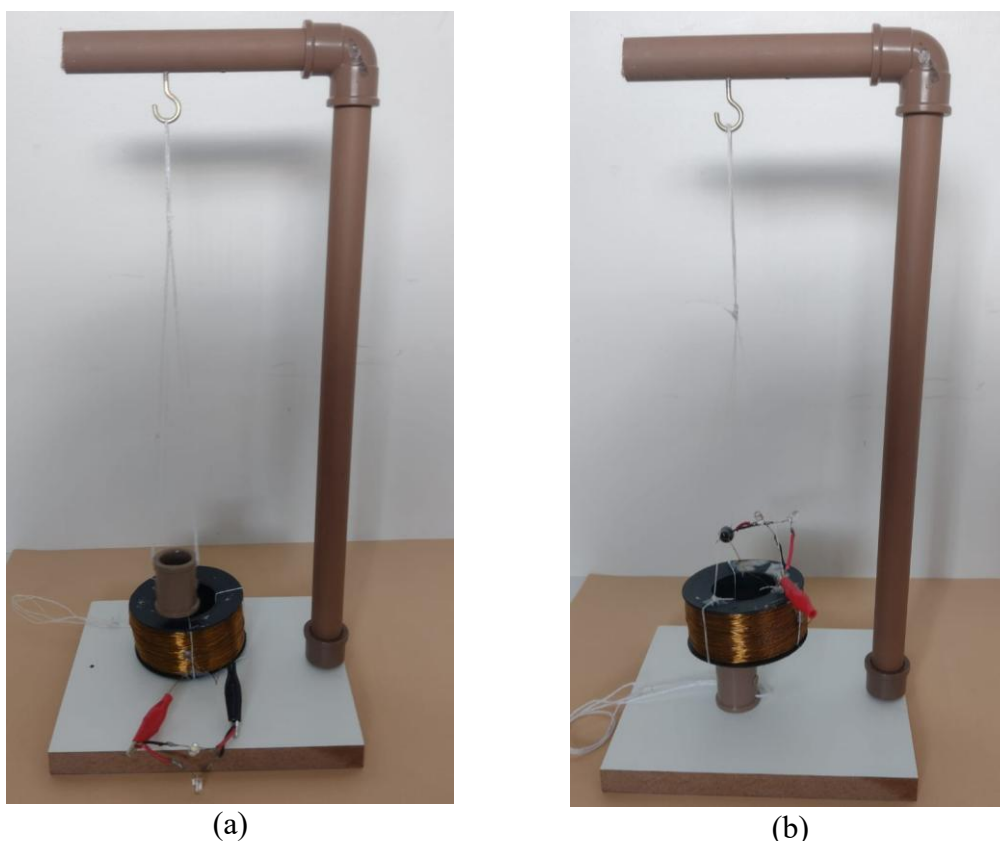
O experimento deve ser montado conforme figura. Em (a) observe que não há contato da bobina com o ímã e em (b) a ligação correta dos fios da bobina e o terminal do galvanômetro. Ligue as cores correspondentes.

Fonte: Produzido pelo autor (2023)

Descreva suas observações e registre os padrões encontrados no “Experimento 2”

EXPERIMENTO 3: Repita o que foi realizado no “Experimento 1” e “Experimento 2” substituindo o galvanômetro pelo LED, conforme a figura 3. Observe atentamente o que acontece com o LED. Registre suas observações no espaço abaixo (pode ser escrito, mas se necessário utilize esquemas, desenhos para explicar melhor suas observações).

Figura 3 - Montagem do experimento: dois LED são conectados a bobina



O experimento deve ser montado conforme figura. Em **(a)** temos o ímã oscilando sobre a bobina que está ligada aos LED e em **(b)** temos a bobina, ligada aos LED, oscilando sobre o ímã.

Fonte: Produzido pelo autor (2023)

Descreva suas observações e registre os padrões encontrados no “Experimento 3”

APRESENTE PARA OS DEMAIS GRUPOS O PADRÃO OBSERVADO

(Aguarde a orientação do professor antes de seguir para a próxima etapa).

Após a apresentação do padrão observado discuta com seu grupo: O que justifica o padrão verificado? Proponha uma explicação/padrão/hipótese sobre as observações feitas. Escreva no espaço a conclusão do grupo.

APRESENTE PARA OS DEMAIS GRUPOS A EXPLICAÇÃO/PADRÃO/HIPÓTESE SOBRE AS OBSERVAÇÕES FEITAS.

(Aguarde a orientação do professor antes de seguir para a próxima etapa).

TESTE SUA IDEIA.

Proponha algum experimento para testar as hipóteses/padrões encontrados em suas respostas na experiência 1 e 2. Utilize a folha de experimento teste em anexo.

REALIZE O EXPERIMENTO TESTE.

Agora que você realizou os experimentos testes, descreva se os padrões foram confirmados e proponha aplicações dos padrões observados no dia a dia.

3.4.1 Proposta do professor para o experimento teste – 4º plano de aula

(Este material consiste na proposta de experimento teste que o professor pode sugerir aos alunos, caso seja necessário)

Qual o objetivo do experimento? Quais hipóteses estão sendo testadas?

O que deve acontecer para a hipótese ser verdadeira?

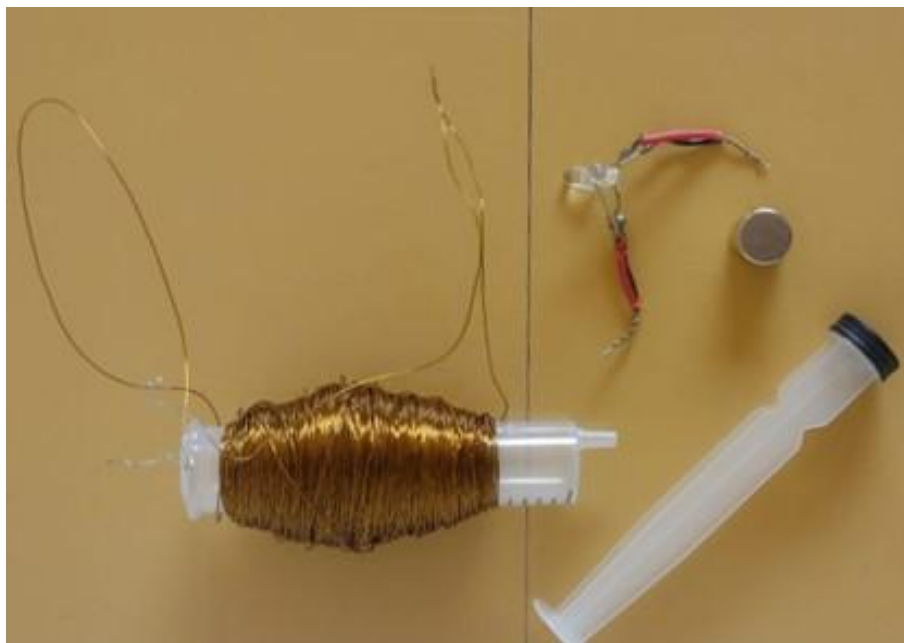
Após responder o questionário acima, realize a prática experimental abaixo para testar suas hipóteses.

Laboratório: Seringa, fio esmaltado, galvanômetro, led.

Para esta prática experimental será utilizado dois leds, um tubo de seringa, fio fino esmaltado (30 AWG), 1 ímã de neodímio 15x15 mm.

Primeiramente retire o êmbolo da seringa. Em seguida enrole o fio esmaltado no tubo da seringa deixando uma sobra de 50 cm de cada lado. Enrole 600 voltas de fio no meio da seringa, conforme se vê na figura 1.

Figura 1 – Materiais para experimento teste



O experimento deve ser montado conforme figura. Tubo da seringa com 600 voltas e as pontas (sobras de 50 cm) com esmalte retirado para fazer contato elétrico.

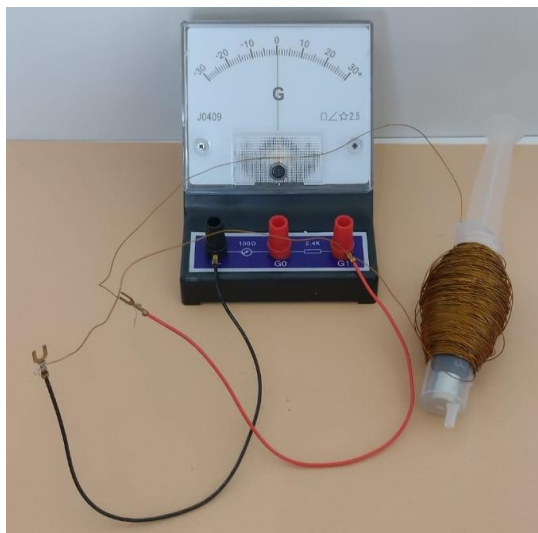
Fonte: Produzido pelo autor (2023)

Após as 600 voltas, antes de cortar o fio, deixe novamente 50 cm de sobra. Coloque dentro da seringa o ímã inserindo novamente o êmbolo (deixando espaço suficiente na seringa para o ímã deslocar de um lado para outro). Em seguida raspe as pontas dos fios (em torno de 3 cm para tirar o esmalte).

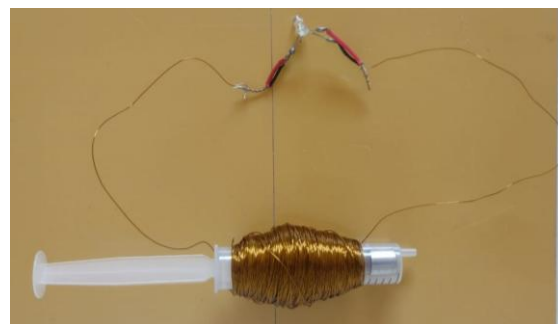
Conecte as pontas dos fios descascadas no galvanômetro, conforme a figura 2 (a). Movimente a seringa e verifique a leitura do galvanômetro. (lembrem-se que estão testando suas hipóteses, logo, observem se o resultado experimental está de acordo).

Substitua o galvanômetro pelos LED. As pontas do LED deve ser ligada nas pontas dos fios descascados. Movimente a seringa e observe o que acontece. (lembrem-se que estão testando suas hipóteses, logo, observem se o resultado experimental está de acordo).

Figura 2 – Experimento teste montado.



(a)



(b)

O experimento deve ser montado conforme figura. Em **(a)** temos a bobina ligada ao galvanômetro e em **(b)** a bobina ligada ao LED.

Fonte: Produzido pelo autor (2023)

O experimento teste confirma alguma das hipóteses? Se sim, propor aplicações com as descobertas realizadas.

O experimento teste leva a rejeição de todas as hipóteses? Revisar modificando a hipótese ou retornar nas observações experimentais reiniciando o ciclo.

Agora que finalizou essa etapa anote seus resultados na folha de prática experimental.

APÊNDICE

A seguir o professor tem a disposição a folha para que os grupos relatem a proposta de experimento teste que pretendem fazer. Sugere-se anexar essa folha em cada roteiro experimental entregue aos alunos.

A utilização dos experimentos testes sugeridos na seção 3.0 é somente se os estudantes não conseguirem propor algum outro experimento teste que possibilite testarem suas hipóteses.

(Anexo em cada roteiro experimental. Folha destinada a elaboração de experimento teste)

FOLHA DE EXPERIMENTO TESTE

Como será o experimento? Descreva

Qual o objetivo do experimento?

Qual foi o resultado do experimento? Comprovou sua hipótese? Relate

Agora que finalizou essa etapa anote seus resultados na folha de prática experimental

REFERÊNCIAS

ETKINA, Eugenia; BROOKES, David; PLANINSIC, Gorazd. Implementing an epistemologically authentic approach to student-centered inquiry learning. **Phys. Rev. Phys. Educ. Res.**, American Physical Society, v. 16, p.1-22, Dec. 2020. DOI: 10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.020148. Disponível: <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.020148>. Acesso em: 23 mar. 2024.

ETKINA, Eugenia; BROOKES, David; PLANINSIC, Gorazd (ed.). **Investigative Science Learning Environment: When learning physics mirrors doing physics**. USA: Morgan & Claypool Publishers, 2019. E-book (137p.) (2053-2571). ISBN: 978-1 64327-780-6. DOI: 10.1088/2053-2571/ab3ebd. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1088/2053-2571/ab3ebd>. Acesso em: 10 jun. 2023.

DE OLIVEIRA, G. G., Vasconcelos, A. H., Sousa, L. C. N., da Costa, J. S., Lima, A. P., Silva, A., & Chesman, C. Experimentos portáteis para aula sobre indução eletromagnética, geradores e motores. **Revista Brasileira De Ensino De Física**, 44, e20210388. DOI: 10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0388. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0388>. Acesso em: 16 nov. 2023.