



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

MARCOS PATRICK SOUZA SILVA

**DO CAMPO MAGNÉTICO À INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA: APLICAÇÃO DE
UMA UEPS**

SANTARÉM - PA

2024

MARCOS PATRICK SOUZA SILVA

**DO CAMPO MAGNÉTICO À INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA: APLICAÇÃO DE
UMA UEPS**

Dissertação apresentada ao Polo 49 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Universidade Federal do Oeste do Pará – como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Carlos José Freire Machado

SANTARÉM – PA

2024

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/Ufopa

S586c Silva, Marcos Patrick Souza
Do campo magnético à indução eletromagnética: aplicação de uma
UEPS./ Marcos Patrick Souza Silva. – Santarém, 2025.
143 p. : il.
Inclui bibliografias.

Dissertação defendida em 2024 e depositada em 2025.

Orientador: Carlos José Freire Machado.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto
de Ciências da Educação, Mestrado Nacional Profissional Em Ensino de Física.

1. Ensino de física. 2. UEPS. 3. Eletromagnetismo. I. Machado, Carlos José
Freire, *orient.* II. Título.

CDD: 23 ed. 530.7

MARCOS PATRICK SOUZA SILVA

**DO CAMPO MAGNÉTICO À INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA: APLICAÇÃO DE
UMA UEPS**

Dissertação apresentada ao Polo 49 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal do Oeste do Pará como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Conceito: Aprovado.

Data de aprovação 06 / 12 / 2024

Dr. Carlos José Freire Machado - Orientador
Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA)

Dr. Glauco Cohen Ferreira Pantoja
Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA)

Dr. Wagner Pinheiro Pires
Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA)

Dra. Simone da Graça de Castro Fraiha
Universidade Federal do Pará (UFPA)

AGRADECIMENTOS

À minha família, Thaiza e Giovanna. À turma e aos professores do MNPEF. E, especialmente, ao professor Dr. Carlos Machado por sua generosidade e orientação preciosa. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

RESUMO

A presente pesquisa - aplicada, qualitativa e explicativa - tem como objetivo primordial investigar se as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) são uma metodologia apropriada para o ensino da Lei de Indução Eletromagnética de Faraday em escolas públicas. A compreensão dessa lei é a base para entender diversos fenômenos eletromagnéticos presentes em tecnologias modernas. Desenvolve-se como produto educacional uma UEPS para ensinar do campo magnético à indução eletromagnética e aplica-se em duas turmas de Ensino Médio em uma escola pública no Estado do Pará. Os resultados são analisados por meio de avaliação formativa e somativa, com destaque para os questionários aplicados na etapa inicial e na etapa final da sequência, os quais são submetidos a análise lexicográfica com o uso de software específico - Iramuteq.

Palavras-chave: Ensino de Física. UEPS. Eletromagnetismo. Lei de Faraday da Indução Eletromagnética. Iramuteq.

ABSTRACT

This applied, qualitative, and explanatory research aims to investigate whether Potentially Meaningful Teaching Units (PMTUs) are an appropriate methodology for teaching Faraday's Law of Electromagnetic Induction in public schools. Understanding this law is crucial for comprehending various electromagnetic phenomena present in modern technologies. As an educational product, a PMTU is developed to teach from the magnetic field to electromagnetic induction and is implemented in two high school classes in a public school in Pará State – Brazil. The results are analyzed through formative and summative assessment, with emphasis on questionnaires administered at the initial and final stages of the sequence, which are subjected to lexicographic analysis using the specific software - Iramuteq.

Keywords: Physics Teaching. PMTU. Electromagnetism. Faraday's Law of Electromagnetic Induction. Iramuteq.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Formas de aprendizagem e atividades exemplificativas destas formas ..	25
Figura 2 – Fluxo de um fluido em um duto	50
Figura 3 – Fluxo infinitesimal de um fluido.....	50
Figura 4 – Campo e superfície	51
Figura 5 – Anel de ferro e bobina feitos por Faraday.....	53
Figura 6 – Esquematização do experimento de Faraday da indução eletromagnética	53
Figura 7 – Mapa conceitual elaborado por aluno.....	73
Figura 8 – Mapa conceitual elaborado por aluno.....	74
Figura 9 – Nuvem de palavras do <i>corpus</i> do referente ao questionário inicial	80
Figura 10 – Nuvem de palavras do questionário final	81
Figura 11 – Quadro representativo de similaridades	83
Figura 12 – À esquerda, grafo representativo do quadro da figura 11 e à direita a árvore máxima correspondente.....	83
Figura 13 – Grafo de análise de similitude referente às respostas ao questionário inicial.....	84
Figura 14 – Grafo de análise de similitude referente ao <i>corpus</i> das respostas ao questionário inicial com destaque em cores para as comunidades	85
Figura 15 – Grafo de análise de similitude referente ao <i>corpus</i> das respostas ao questionário final.....	87
Figura 16 – Grafo de análise de similitude referente ao <i>corpus</i> das respostas ao questionário final com destaque em cores para as comunidades	88
Figura 17 – Dendrograma representativo da CHD referente ao questionário inicial	91
Figura 18 – Dendrograma representativo da CHD referente ao questionário final ...	93
Figura 19 – Diagrama de dispersão referente ao questionário inicial	95
Figura 20 – Diagrama de dispersão referente ao questionário final.....	96

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Alguns dos princípios aplicados na UEPS	29
Quadro 2 – Revisão da literatura.....	33
Quadro 3 – Etapas da UEPS e respectivo tempo de aplicação	61
Quadro 4 – Formas ativas com maior frequência no questionário inicial	78
Quadro 5 – Formas ativas com maior frequência no questionário final	79
Quadro 6 – Percentual de representatividade em cada classe da CHD para o questionário inicial	90
Quadro 7 – Percentual de representatividade nas classes da CHD do questionário final	92

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Metodologia da pesquisa	13
1.2 Metodologia didática.....	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO DE EDUCAÇÃO	16
2.1 Sobre o ensino de física	17
2.1.1 Sobre o ensino de Eletromagnetismo	21
2.2 A Teoria da Aprendizagem Significativa	22
2.3 Unidade de Ensino Potencialmente Significativa	28
2.3.1 Princípios das UEPS	28
2.3.2 Aspecto sequencial das UEPS	29
2.4 REVISÃO DA LITERATURA	32
3 REFERENCIAL TEÓRICO DE FÍSICA	37
3.1 Magnetismo – Dos antigos às Leis de Maxwell	37
3.2 Ideias acerca de campos e campo magnético	39
3.3 Leis de Maxwell	40
3.4 Breve digressão sobre a Eletrostática	45
3.5 Ajuste para Campos Elétricos Variáveis	47
3.6 Conceito e matematização do Fluxo.....	48
3.7 O Experimento de Faraday da Indução Eletromagnética	52
3.8 Lei de Faraday da Indução Eletromagnética – 3ª Lei de Maxwell	54
4 APLICAÇÃO DA UEPS – DO CAMPO MAGNÉTICO À INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA	58
4.1 Concepções Metodológicas acerca da Aplicação da UEPS em Sala de Aula	58
4.1.1 Aplicação e Descrição do Espaço de Aplicação da UEPS	58
4.1.2 Abordagem Conceitual	58

4.1.3 Estratégias e Materiais Diferenciados	59
4.1.4 Uso de mapas conceituais	59
4.1.5 Objetos de Conhecimento	60
4.2 Relato de Aplicação da UEPS – do Campo Magnético à Indução Eletromagnética	60
4.2.1 Atividades Iniciais	61
4.2.2 Situações-problema Iniciais	63
4.2.3 Aprofundando e Revisando o Conhecimento	64
4.2.4 Novas Situações-problema	65
4.2.5 Aprofundando o Conhecimento	66
4.2.6 Questionário Final	67
4.2.7 Avaliação da Própria UEPS	68
4.2.8 Avaliação da Aprendizagem na UEPS	68
4.3 Relato de Observações do Professor durante a Aplicação da UEPS e Avaliação Formativa	69
4.3.1 Principais Questionamentos e Observações	69
4.4 Sobre os Mapas Conceituais Elaborados pelos Alunos	72
5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	75
5.1 Análise de Dados Qualitativa auxiliada pelo Iramuteq	75
5.1.1 Compilação	76
5.1.2 Decomposição	76
5.1.3 Recomposição	76
5.1.4 Interpretação dos dados	77
5.1.5 Conclusão	77
5.2 Descrição dos <i>Corpora</i> Textuais.....	77
5.2.1 Estatísticas do <i>Corpus</i> Textual das Respostas ao Questionário Inicial da UEPS	78

5.2.2 Estatísticas do <i>Corpus</i> Textual das Respostas ao Questionário Final da UEPS	79
5.3 Nuvem de Palavras	80
5.4 Análise de Similitude	81
5.4.1 Análise de Similitude dos <i>Corpora</i> Textuais referentes às Respostas aos Questionários Inicial	84
5.4.2 Análise de Similitude dos <i>Corpora</i> Textuais referentes às Respostas ao Questionário Final.....	86
5.5 Classificação Hierárquica Descendente.....	88
5.5.1 Classificação Hierárquica Descendente do <i>Corpus</i> Textual das Respostas ao Questionário Inicial da UEPS.....	89
5.5.2 Classificação Hierárquica Descendente do <i>Corpus</i> Textual das Respostas ao Questionário Final da UEPS	92
5.6 Análise fatorial de correspondência (AFC)	93
5.6.1 Gráfico de Dispersão referente às Respostas ao Questionário Inicial da UEPS	94
5.6.2 Gráfico de Dispersão referente às Respostas ao Questionário Final da UEPS	95
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	97
REFERÊNCIAS	99
APÊNDICE A — PRODUTO EDUCACIONAL	
APÊNDICE B — QUESTIONÁRIO INICIAL	
APÊNDICE C — QUESTIONÁRIO FINAL	

1 INTRODUÇÃO

Realizar pesquisas sobre o ensino de eletromagnetismo em escolas públicas é justificável e pertinente, sobretudo pelo fato de que o estudo desta temática proporciona aos alunos uma oportunidade valiosa para compreender os princípios fundamentais da física e suas conexões com aplicações práticas no mundo real.

Mais especificamente no tocante ao ensino da Lei de Indução Eletromagnética de Faraday, observa-se que se trata de um tópico que, apesar de sua importância, costuma ser negligenciado. Não obstante, a compreensão dos fenômenos eletromagnéticos está intrinsecamente ligada a essa lei, a qual mostra a íntima conexão entre a eletricidade e o magnetismo e desempenha um papel fundamental em diversas tecnologias modernas, como os dínamos, os indutores e os transformadores.

Ainda sobre a importância do tema, evidencia-se que o eletromagnetismo ocupa uma posição de destaque no desenvolvimento da ciência e da tecnologia, desde a produção de energia elétrica aos dispositivos da eletrônica. O entendimento deste ramo da física permanece em evolução, com a realização de novas pesquisas em áreas como a medicina e a computação. Com base nisso, infere-se que este assunto deve ocupar posição de fundamental importância no percurso escolar de qualquer estudante do Ensino Médio.

Assim, nesta pesquisa, intenta-se elaborar uma sequência didática, mais precisamente uma UEPS - Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, visando-se ao ensino de tópicos de Eletromagnetismo. Para isto, envereda-se nos fundamentos teóricos da Aprendizagem Significativa, conferindo-se relevo a pesquisadores como David Ausubel, Joseph Novak, Bob Gowin e Marco Antônio Moreira.

Diante deste quadro, emerge a importância de responder ao seguinte problema de pesquisa: Seria a UEPS uma metodologia de ensino-aprendizagem apropriada para assegurar uma aprendizagem significativa da Lei de Indução Eletromagnética de Faraday? Em razão dessa questão, investiga-se a seguinte hipótese: A aplicação de uma sequência didática de acordo com a UEPS é uma

metodologia adequada para a aprendizagem significativa de tópicos de eletromagnetismo.

Nesta senda, o propósito principal deste estudo consiste em desenvolver sequência didática alinhada com a metodologia das UEPS, visando facilitar uma aprendizagem significativa de conceitos centrais do eletromagnetismo, em particular da Lei de Indução Eletromagnética de Faraday.

Como objetivos específicos, aplicar a metodologia em duas turmas de Ensino Médio de uma escola pública no Estado do Pará, visando-se a que os alunos desenvolvam a compreensão dos conceitos estudados na sequência que vai do campo magnético à indução eletromagnética. Em seguida, elaborar análise e discussão dos resultados obtidos. Para isso, analisa-se os dados coletados em sala de aula, mediante avaliação formativa e somativa, com destaque para os questionários aplicados, que são submetidos à análise lexicográfica por meio de software específico - Iramuteq¹, subsidiando, desta maneira, uma compreensão mais ampla do processo de aprendizagem.

1.1 Metodologia da pesquisa

No âmbito da metodologia, trata-se de uma pesquisa aplicada, pois tem como escopo fundamental a aplicação da Teoria da Aprendizagem Significativa em situações práticas, o que, na pesquisa em questão, conduz à proposição de soluções para problemas de sala de aula, como superar a aprendizagem predominantemente mecânica e proporcionar aprendizagem significativa. Em síntese, esta pesquisa qualificada pela aplicação visa verificar indícios de aprendizado significativo no ensino da Física Eletromagnética.

Para Almeida (2021), a pesquisa aplicada pode ser empregada em pesquisas exploratórias, em descritivas e nas explicativas. Diz o referido autor que este tipo de pesquisa é de âmbito prático, pois almeja atingir a solução de um problema social, é “voltada à aplicação, e utilização da pesquisa, postulando possíveis consequências práticas do seu conhecimento em problemas e questões individuais e coletivas” (Almeida, 2021, p. 30).

¹ Interface de R pour les Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires (do francês).

Neste tipo de pesquisa verifica-se um contraste com a pesquisa básica, haja vista que esta objetiva a ampliação das teorias científicas sem se preocupar com possíveis aplicações. Adicionalmente, esta pesquisa aplicada proporciona um produto educacional como resultado da metodologia de pesquisa.

Por sua vez, esta pesquisa é de caráter qualitativo quanto à abordagem, porquanto, diferentemente da pesquisa quantitativa, não é marcada precipuamente por métodos estatísticos ou numéricos. Todavia, importa consignar-se que, conforme ensina Minayo (2002, p. 22), “o conjunto de dados quantitativos e qualitativos, porém, não se opõem. Ao contrário, se complementam, pois a realidade abrangida por eles interage dinamicamente, excluindo qualquer dicotomia”.

Pode-se dizer, ainda, que se trata de pesquisa qualitativa por ter como fito a análise do processo de ensino através da descrição, compreensão, comparação, explicação e outras operações metodológicas de cunho essencialmente não quantitativo. Explana Minayo (2002) que este tipo de pesquisa aborda questões peculiares as quais traduzem aspectos da realidade que não podem ser quantificadas, pois situam-se no campo das significações, “motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes, o que corresponde a um espaço mais profundo das relações, dos processos e dos fenômenos que não podem ser reduzidos à operacionalização de variáveis” (Minayo, 2002, p. 21). Deste modo, por meio desta abordagem, almeja-se entender se a aplicação de uma determinada metodologia de ensino proporciona a aprendizagem de um tópico de eletromagnetismo.

No que concerne aos fins, entende-se que esta pesquisa é do tipo explicativa, porque objetiva explicar os fatores e variáveis que influenciam no fenômeno da aprendizagem, assim como entender as interrelações entre estas variáveis dentro do contexto educacional e produzir estratégias para o melhoramento dos processos de ensino e aprendizagem. Para o pesquisador Antônio Carlos Gil,

[...] essas pesquisas têm como preocupação central identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos. Esse é o tipo de pesquisa que mais aprofunda o conhecimento da realidade, porque explica a razão, o porquê das coisas. Por isso mesmo, é o tipo mais complexo e delicado, já que o risco de cometer erros aumenta consideravelmente (Gil, 2002, p. 42).

Outra maneira de concluir-se pelo caráter explicativo desta pesquisa é entendendo-se que, em contraposição, tem-se a pesquisa descritiva, a qual não

possui como objetivo maior investigar as razões, causas, efeitos em relação ao fenômeno estudado, mas sim, basicamente, descrevê-lo.

Além das características da pesquisa já citadas, insta salientar do ponto de vista procedimental, que se aplica a UEPS a duas turmas de terceiro ano do Ensino Médio regular de uma escola pública do município de Santarém-PA.

A partir de questionários devidamente formulados para verificar a aprendizagem significativa, aplicados no início e no final da sequência didática, é feita uma categorização e análise do *corpus* textual constituído pelas respostas aos itens dos questionários. Para isto, conta-se com o auxílio do software de análise de texto Iramuteq e com a análise crítica realizada pelo docente pesquisador, o que permite perscrutar evidências de aprendizagem significativa na sequência didática aplicada nas turmas.

1.2 Metodologia didática

A abordagem pedagógica implica engendrar esforços na sistematização e planejamento da aula, para que esta não se dê na base de improvisos que prejudiquem seu bom andamento e, por conseguinte, o aprendizado. Destarte, é importante a análise de como se dá o desenvolvimento dos procedimentos utilizados para se ensinar, bem como a definição de meios para se avaliar se há aprendizado.

O processo de ensino, conforme preconiza Libâneo (1990), perpassa a colaboração entre educadores e estudantes, coordenada pelo professor, objetivando oferecer os recursos necessários para que os alunos absorvam, de maneira ativa, informações e competências. Ainda segundo o referido autor, “a didática se caracteriza como a mediação entre as bases teórico-científicas da educação escolar e a prática docente. Ela opera como que uma ponte entre o “o quê” e o “como” do processo pedagógico escolar” (Libâneo, 1990, p. 28).

Como metodologia didática, esta pesquisa vale-se de uma sequência de ensino bastante consolidada, a UEPS. Com ela intenciona-se que os discentes tenham aptidão para assimilar, de modo ativo, conhecimentos sólidos e significativos. Estrutura-se e planeja-se cada aula por meio desta sequência didática e, *a posteriori*, desenvolve-se a aplicação em classe para, por fim, focalizar na avaliação do método de ensino, se restam evidências de aprendizagem significativa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO DE EDUCAÇÃO

O ensino de Física está entre os que mais trazem dificuldades aos docentes e alunos, porquanto traz à baila conhecimentos abstratos que, uma vez sedimentados no *corpus* de conhecimento do docente, costumam ser tratados com uma naturalidade que, muitas vezes, não reflete a real dimensão da complexidade ou dificuldade do tema.

Repetir os tradicionais exercícios das cartilhas didáticas e mesmo de livros técnicos não tem sido meio eficiente para despertar o interesse dos estudantes, muito menos para que estes incorporem os conceitos ensinados de modo substancial e durável. Neste sentido, ganham relevo as ponderações de Bachelard (1996, p. 23):

acho surpreendente que os professores de ciências, mais do que os outros se possível fosse, não compreendam que alguém não compreenda (...). Os professores de ciências imaginam que o espírito começa como uma aula, que é sempre possível reconstruir uma cultura falha pela repetição da lição, que se pode fazer entender uma demonstração repetindo-a ponto por ponto. Não levam em conta que o adolescente entra na aula de física com conhecimentos empíricos já constituídos: não se trata, portanto, de adquirir uma cultura experimental, mas sim de mudar de cultura experimental, de derrubar os obstáculos já sedimentados pela vida cotidiana.

A Base Nacional Comum Curricular² (Brasil, 2018) atualmente vigente dispense pouca atenção aos fenômenos eletromagnéticos em si, mas confere destaque à produção de energia elétrica, ao espectro eletromagnético e às relações entre estes objetos de conhecimento no âmbito da interdisciplinaridade. Ou seja, todo o estudo do Eletromagnetismo, nesta concepção, está direcionado, em última análise, a entender as aplicações tecnológicas destes conhecimentos, dentro de um espírito pragmático.

A Base, moldada em termos de habilidades e competências, ainda que tenha como efeito colateral negativo o esvaziamento do conteúdo de Física, consequência de uma concepção de não disciplinaridade, abre oportunidade aos docentes de trabalharem mais abertamente em suas aulas em conexão com outras ciências – interdisciplinaridade.

O ensino de Física, como uma espécie do ensino de ciências, deve ser desenvolvido mostrando-se aos alunos como os conceitos físicos acerca dos

² Abreviadamente: BNCC.

fenômenos, estão em mudança constante em direção a um maior refinamento, como se dá o próprio processo de construção do conhecimento científico. O docente também deve clarificar aos aprendizes as limitações no que concerne aos modelos utilizados, porquanto muitos desses possuem valor didático, porém estão longe de representar o que acontece na realidade. Diante disto se emerge a necessidade de o docente ter a habilidade de elaborar transposições didáticas. Neste sentido, Bachelard (1996, p. 24) propugna que:

toda cultura científica deve começar (...) por uma catarse intelectual e afetiva. Resta, então, a tarefa mais difícil: colocar a cultura científica em estado de mobilização permanente, substituir o saber fechado e estático por um conhecimento aberto e dinâmico, dialetizar todas as variáveis experimentais, oferecer enfim à razão razões para evoluir.

Desta maneira, trazendo à tona as bases do pensamento científico, o docente atua no sentido de despertar no estudante a intencionalidade de aprender ciências e, especificamente, Física.

2.1 Sobre o ensino de Física

As maneiras tradicionais de se ensinar Física se destacam pela abordagem excessivamente abstrata, matematizada, formal, muitas vezes partindo do pressuposto de que os aprendizes possuem determinados conhecimentos por estarem em determinada série da educação básica, alicerçando-se na denominada base de conhecimentos pretéritos, os quais, frequentemente não são compatíveis com os conteúdos a serem apresentados. Corroborar-se tal cenário pelos resultados apresentados no relatório “Notas sobre o Brasil no Pisa 2022”:

Cerca de 45% dos estudantes no Brasil atingiram o Nível 2 ou superior em ciências (média da OCDE: 76%). No mínimo, esses estudantes podem reconhecer a explicação correta para fenômenos científicos conhecidos e podem usar esse conhecimento para identificar, em casos simples, se uma conclusão é válida com base nos dados fornecidos. No Brasil, 1% dos estudantes obtiveram desempenho superior em ciências, o que significa que foram proficientes no Nível 5 ou 6 (média da OCDE: 7%). Esses estudantes podem aplicar, de forma criativa e autônoma, os conhecimentos sobre

ciências em uma ampla variedade de situações, inclusive em situações desconhecidas (Brasil, 2022, p. 11).

Assim, evidencia-se que os jovens brasileiros apresentam grandes obstáculos quando se trata de adquirir conhecimento em ciências, apresentando desempenho significativamente abaixo da média dos países integrantes da OCDE³. Esta defasagem de conhecimentos impacta diretamente nas aulas, bem como é o reflexo da própria maneira de se ensinar ciências e da deficiência de políticas públicas de fomento ao ensino de ciências, o que produz um processo de retroalimentação contínuo e perpetua o cenário exposto pelo relatório do PISA.

Muito se reverbera entre docentes dos diversos níveis de ensino que o aluno tem que ter a base, sem a qual torna-se difícil haver uma aprendizagem. Dentro da concepção de aprendizagem significativa, esta base são os conhecimentos prévios, que Ausubel (2003) chama de subsunçores (*subsumption*, em inglês). Assim, surge, naturalmente, a importância dos conhecimentos prévios, os quais são considerados pelo autor como a principal variável isolada que influencia na aquisição do conhecimento.

Em geral, importa ao ensino de Física que os alunos assimilem os principais conceitos dos assuntos abordados, que reconheçam fenômenos físicos, que saibam diferenciar suas diversas áreas, como mecânica, óptica, ondas etc., e que estabeleçam relações entre elas quando necessário, que conheçam as leis e os princípios fundamentais desta ciência, bem como apliquem estes conhecimentos para resolver situações teórico-práticas e para explicar os fenômenos físicos.

No percurso geral do Ensino Médio, espera-se que a Física desempenhe relevante papel dentro do currículo, que desperte a atenção dos estudantes para que estes a reconheçam como instrumento para a compreensão do mundo em que vivem e não apenas que estudem para obter uma nota para alcançar aprovação. Para Novak e Gowin (1996, p. 22), “o currículo compreende o conhecimento, as capacidades, e os valores da experiência educativa que satisfaçam critérios de excelência de tal modo que o convertam em algo digno de ser estudado”. Neste sentido, destacam-se as considerações de Moreira (2021, p. 1):

³ Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico.

Mas por que ocupar-se de desafios para o ensino da Física? Porque esse ensino é muito problemático. Porque os alunos não aprendem física significativamente. Memorizam mecanicamente fórmulas, definições, respostas certas, para serem reproduzidas nas provas e esquecidas logo depois.

A tônica do ensino-aprendizagem de Física tem sido alunos decorando fórmulas para aplicá-las mecanicamente em exercícios previamente explorados pelos docentes em listas de exercícios, não raramente repetitivos, os quais são revisados nas vésperas das avaliações. Assim, “os exercícios repetitivos e o estudo na véspera da prova são intrínsecos à cultura da aprendizagem mecânica, puramente memorística, sem significado, que predomina no ensino de disciplinas como, por exemplo, a Física (...)” (Moreira, 2017, p. 6). Neste sentido, são pertinentes as ponderações de Novak e Gowin (1996, p. 13), já que, segundo eles,

embora os programas de exercitação possam conduzir aos comportamentos desejados do aluno, tais como resolver problemas de matemática ou escrever sem erros ortográficos, os programas educativos devem proporcionar-lhe a base necessária para compreender como e por que se relacionam os novos acontecimentos com o que ele já sabe, e transmitir-lhe a garantia afectiva de que é capaz de utilizar estes novos conhecimentos em contextos diferentes. Muitas vezes a escola constitui uma agressão ao ego do aluno, devido às poucas satisfações intrínsecas que oferece a aprendizagem mecânica, arbitrária e memorística, tão vulgar nas aulas. Os estudantes que procuram extrair significado dessa instrução fracassam frequentemente.

Dessarte, depreende-se da leitura de Novak e Gowin que o sentimento do aluno em relação a uma aula na qual se lhe exija precipuamente que memorize resultados prontos é de fracasso. Neste sentido, cabe destacar as concepções de Novak e Gowin (1996, p. 21): “estamos interessados no pensamento, nos sentimentos e na acção — todos estes ingredientes estão presentes em qualquer experiência educativa e transformam o significado da experiência”.

Para superar este panorama, evidencia-se que o docente deve despertar nos aprendizes o interesse de aprender, um sentimento positivo de que o que se ensina de fato fará diferença em sua vida, que não se trata tão somente de uma agregação de conhecimentos que tão logo esquecerá, mas que lhe traga satisfação por uma aprendizagem consistente e duradoura.

A aprendizagem puramente mecânica dificulta o aprendizado, pois é desprovida de significados substanciais que modifiquem os conhecimentos prévios dos alunos, que os façam abandonar conceitos inconsistentes ou incompletos que

possuam. Para Moreira (2021, p.1), “ensinar e aprender Física, envolve conceitos e conceitualização, modelos e modelagem, atividades experimentais, competências científicas, situações que façam sentido, aprendizagem significativa, dialogicidade e criticidade, interesse”.

Neste contexto de desafio em se ensinar e em se aprender Física, cabe aos docentes desenvolver meios para que os alunos evoluam em suas aprendizagens para conhecimentos sólidos, relacionados com conhecimentos prévios, os quais não vão se dissipar logo após as avaliações. Isto requer que o aluno dispenda esforço e tempo, mas também que o docente se valha de *materiais potencialmente significativos* como instrumentos para atingir o objetivo de aprendizagem com relação ao tópico de ensino.

Observa-se que no cenário de inúmeras escolas públicas brasileiras o professor tem a missão de ensinar Física para turmas com quantidade numerosa de alunos e, quase sempre, em muitas turmas⁴. Assim, torna-se demasiadamente complexo estabelecer avaliações ou mesmo metodologias de ensino diferenciadas considerando-se este cenário. Deste modo, esta reflexão é importante para que não se pense em ensino desconsiderando-se o contexto em que ele ocorre, pois fatores externos, tanto quanto internos, devem ser enfrentados. Nesta toada, conforme preleciona Libâneo,

(...) o ensino, por mais simples que possa parecer à primeira vista, é uma atividade complexa: envolve tanto condições externas quanto condições internas das situações didáticas. Conhecer essas condições e lidar acertadamente com elas é uma das tarefas básicas do professor para a condução do trabalho docente (Libâneo, 1990, p. 55).

Verifica-se certa heterogeneidade no que concerne ao aprendizado em Física. Há aqueles estudantes que apresentam menor dificuldade, ou mesmo maior facilidade, em entender os conceitos, leis, princípios para explicar os fenômenos desta ciência e aplicar em problemas práticos, enquanto outros revelam enormes dificuldades, tanto no âmbito da matemática, como ferramenta para resolver problemas da Física, quanto na conceitualização. Neste plano, conforme preleciona Pietrocola (2002), é habitual a ideia de que a matemática é utilizada como uma

⁴ Parecer do Conselho Nacional de Educação, para assegurar qualidade no trabalho dos docentes, sugere que os sistemas de ensino adotem como parâmetro no Ensino Médio um quantitativo máximo de 35 alunos por sala e que o número total de alunos por professor não ultrapasse 300 (Brasil, 2009).

ferramenta para se enunciar leis e princípios físicos, o que, muitas vezes, leva os docentes a atribuírem a falta de entendimento dos conteúdos de Física às deficiências no conhecimento matemático.

Pietrocola critica a concepção comum de se atribuir à dificuldade com a matemática a deficiência de aprendizado em Física: “(...) a linguagem matemática é muitas vezes considerada como a grande responsável pelo fracasso escolar. É comum professores alegarem que seus alunos não entendem física devido à fragilidade de seus conhecimentos matemáticos” (Pietrocola, 2002, p. 89).

Contudo, “há algumas dificuldades permanentes na compreensão de conceitos, mais do que aspectos sobre o desenvolvimento de competências e habilidades, ou mesmo de dificuldades algébricas ou matemáticas” (Barroso *et al.*, 2018, p. 1). Nesta perspectiva, importante se faz definir, afinal, o que é conceito. Para Novak e Gowin (1996, p. 20): “definimos conceito⁵ como uma regularidade nos acontecimentos ou nos objectos que se designa por um certo termo”.

Conforme preleciona Barroso *et al.* (2018), ao fim do Ensino Médio torna-se bastante perceptível a prevalência de concepções não científicas descritas há várias décadas na pesquisa em ensino de Física. Desta maneira, evidencia-se a importância que uma abordagem conceitual deve ocupar no ensino de Física no Ensino Médio.

2.1.1 Sobre o ensino de Eletromagnetismo

O Eletromagnetismo é um tópico da Física que comumente deixa os alunos apreensivos, pois costuma ser ensinado de maneira excessivamente matematizada no contexto do ensino tradicional, o que frequentemente implica em uma abordagem insuficiente no que concerne aos aspectos conceituais. Neste sentido, importa analisar as ponderações transcritas abaixo:

Há várias concepções de ensino de Física nos níveis fundamental e médio. (...). A linha conceitual quer trabalhar, fundamentalmente, a compreensão de fenômenos físicos através da discussão, do debate e do enfrentamento de posições. Acredita-se que a utilização de fórmulas matemáticas pode auxiliar a quantificação dos fenômenos, mas que só deve ser utilizada a partir do

⁵ Novak e Gowin (2018, p. 20) exemplificam que “cadeira” é o termo que nós usamos (em português) para designar um objeto que possui pernas, um assento e costas, e que serve para nos sentarmos”.

momento em que os alunos compreenderem os conceitos envolvidos (Carvalho Júnior, 2002, p. 54).

Conforme Duarte e Polito (2023), frente aos inúmeros desafios enfrentados pelo ensino de ciências, os professores têm sido cada vez mais instados a criar métodos e estratégias inovadoras para renovar a prática educativa, o que enseja a procura por abordagens alternativas e criativas e que tem sido a tônica, seja para facilitar a compreensão de conteúdos técnicos, seja para contribuir para a educação integral dos indivíduos.

Dentro do ensino de Eletromagnetismo, destaca-se a relevância da compreensão do fenômeno da indução eletromagnética – trata-se de um conceito central do Eletromagnetismo, inicialmente proposto no século XIX, pelo físico e químico britânico Michael Faraday (1791-1867). Este fenômeno explica de que maneira a corrente elétrica pode ser obtida em condutores através da variação do fluxo magnético.

Dentre as possibilidades para tornar a aprendizagem de Eletromagnetismo mais interessante, mais dinâmica, pode-se explorar experimentos, simuladores, mapas conceituais e outras estratégias de ensino. Nesta senda, “com instrumentos didáticos estruturados, em torno de experimentos integradores, é possível fazer do ensino do Eletromagnetismo algo que forneça real significado aos diversos fenômenos (...)” (Duarte e Polito, 2023, p. 244).

2.2 A Teoria da Aprendizagem Significativa

O psicólogo estadunidense David Ausubel (1918-2008), em *The Psychology of Meaningful Verbal Learning* – 1963, traz à baila uma teoria cognitivista, mais especificamente construtivista, a qual se convencionou chamar de Teoria da Aprendizagem Significativa. Além de Ausubel, esta teoria conta com expoentes como David Novak, Bob Gowin e Marco Antônio Moreira.

De acordo com Moreira (2013), a abordagem cognitivista confere relevo em como o aprendiz internaliza e organiza seu conhecimento na estrutura cognitiva. Por sua vez, a abordagem construtivista ressalta que não se trata meramente de acumular informações. Destarte, é tarefa do docente estabelecer maneiras de se construir o conhecimento, visto que, objetivando-se uma aprendizagem duradoura, não basta ao

docente a intenção de ministrar uma boa aula. Ele deve sustentar sua atuação pedagógica em fundamentos sólidos que possibilitem aos alunos se desenvolverem, valendo-se de meios para que o estudante construa seu conhecimento, sendo, portanto, mediador do processo educativo.

Para Moreira (2013), distinguem-se três tipos de aprendizagem significativa, a *representacional*, a *conceitual* e a *proposicional*, assim como três formas, a *subordinada*, a *superordenada* e a *combinatória*.

Moreira (2010B), preleciona que na forma de aprendizagem subordinada, aos conhecimentos prévios mais gerais e inclusivos são conectados os novos conhecimentos por um processo de ancoragem cognitiva. Na sequência, o autor discorre que na aprendizagem superordenada, os novos conhecimentos nascem de processos de abstração, indução, síntese, o que conduz à compreensão de um conceito mais geral e inclusivo.

Depreende-se de Moreira (2010B), que na aprendizagem combinatória os novos conhecimentos interagem dinamicamente com outros previamente adquiridos, contudo não são mais gerais e inclusivos nem mais detalhados do que os conhecimentos originais, não há relação de subordinação ou superordenação. De acordo com Moreira, aprendizagem significativa

(...) é aquela em que ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe. Substantiva quer dizer não-literal, não ao pé-da-letra, e não-arbitrária significa que a interação não é com qualquer ideia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende (Moreira, 2010B, p. 2)

Ou seja, trata-se de um conjunto de concepções teóricas na área de educação, as quais reverberam que o primordial no que concerne ao ensino é estabelecer relações entre os novos conhecimentos (o que o aluno deve aprender) e as suas experiências pretéritas. Neste ângulo, conforme Novak e Gowin (1996, p. 23),

o conceito principal da teoria de Ausubel é o de aprendizagem significativa, em oposição ao de aprendizagem memorística. Para aprender significativamente, o indivíduo deve optar por relacionar os novos conhecimentos com as proposições e conceitos relevantes que já conhece. Pelo contrário, na aprendizagem memorística, o novo conhecimento pode adquirir-se simplesmente mediante a memorização verbal e pode incorporar-se arbitrariamente na estrutura de conhecimentos de uma pessoa, sem interagir com o que já lá existe.

Entenda-se, nesta pesquisa, conhecimento no sentido ausubeliano, ou seja, como memórias marcantes, armazenadas de maneira consistente e estruturada na memória de longo prazo, em contraste com aquelas dispersas ou desordenadas (Ausubel, 2003). Contudo, é crucial consignar que aprendizagem significativa, *a priori*, não quer dizer aprendizagem de um conhecimento cientificamente aceito, ainda que isto seja um ideal a ser perseguido.

Nesta perspectiva, cabe a diferenciação entre aprendizagem e conhecimento, assim, conforme Novak e Gowin (1996, p. 21), “estamos interessados tanto na aprendizagem como no conhecimento, que não são a mesma coisa. A aprendizagem é pessoal e idiossincrásica; o conhecimento é público e compartilhado”. Neste plano, Ausubel (2003, p. 93) menciona que

quer na aprendizagem conceptual, quer na proposicional, as informações novas e potencialmente significativas ancoram-se, mais frequentemente, a ideias relevantes mais gerais e inclusivas na estrutura cognitiva do aprendiz. Tem-se vindo a referir este processo de relacionamento de novas informações com segmentos subordinantes relevantes e preexistentes da estrutura cognitiva como aprendizagem de subsunção. Uma vez que a própria estrutura cognitiva tem tendência a ser organizada, em termos hierárquicos, no que toca ao nível de abstracção, generalidade e inclusão de ideias, a emergência de novos significados proposicionais reflecte, de um modo geral, uma relação subordinada do novo material a ideias mais subordinantes existentes na estrutura cognitiva.

Assim, pelas conexões estabelecidas entre estes conhecimentos e pelo aprimoramento conceitual obtido, pode-se inferir se houve uma mudança qualitativa nas concepções dos alunos quanto ao tema em apreço. Supõe-se que estes novos conhecimentos possuem um grau de polimento maior, que estão de acordo com um *corpus* de conhecimento aceito, seja no âmbito escolar ou acadêmico/científico, bem como se supõe que não foram simplesmente memorizados.

Consoante Ausubel (2003), por natureza, o que quer que se aprenda dentro do âmbito da instrução formal, intrinsecamente, já deve ser significativo, porquanto relaciona concepções significativas, tanto do ponto de vista lógico quanto do ponto de vista cultural, que estabelecem interligações entre entendimentos relevantes e prévios, ancorados na estrutura mental do aluno, com os conhecimentos que ele deve assimilar.

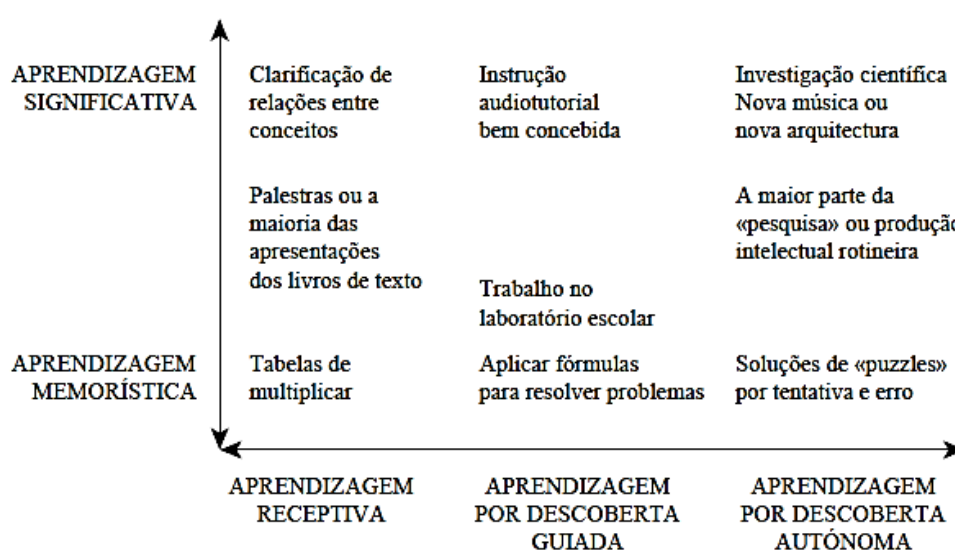
Diferentemente de diversos pesquisadores que defendem a aprendizagem por descoberta, Ausubel (2003) preleciona que a aprendizagem significativa é um

processo que se dá também por recepção e que esta não se dá de modo passivo. Ausubel (2003) argumenta que esta aprendizagem ocorre de maneira ativa, posto que se faz necessário que o discente elabore ações e ponderações acerca do que lhe é repassado em experiência de ensino e, por sua vez, ao docente cabe a missão de facilitar a aprendizagem pelo sequenciamento de sua aula, pelo seu material de apoio, pelos conceitos relevantes e suas relações com conceitos prévios, para que o ensino atinja seu objetivo que é a aprendizagem significativa. Neste sentido, são importantes as considerações de Novak e Gowin (1996, p. 19) acerca da aprendizagem por descoberta:

Para alguns (...), aprender que o conhecimento é construído pode constituir uma surpresa. Generalizou-se o mito de que as pessoas descobrem o conhecimento. A descoberta pode desempenhar um papel na produção de novo conhecimento, mas não é mais do que apenas uma das actividades envolvidas na criação de novo conhecimento. A construção do conhecimento novo começa com as nossas observações de acontecimentos ou objectos com o recurso aos conceitos que já possuímos.

Da análise da esquematização abaixo (figura 1), Novak e Gowin (1996, p. 24) argumentam que “a aprendizagem receptiva e por descoberta formam um contínuo distinto do que é composto pela aprendizagem memorística e significativa”.

Figura 1 – Formas de aprendizagem e atividades exemplificativas destas formas



Fonte: Novak e Gowin (1996, p. 24).

Observa-se que a aprendizagem mecânica, como a que se dá precipuamente pelo simples uso da memória, no entender de Ausubel (2003) não proporciona a ampliação do conhecimento nem substancialmente nem em termos de sua composição, visto que é marcada pela arbitrariedade e literalidade, não acarretando significados expressivos e duradouros. No concernente à aprendizagem mecânica, Ausubel preleciona que

(...) não aumentam a substância ou composição do conhecimento, enquanto a relação das mesmas para com os conhecimentos existentes na estrutura cognitiva for arbitrária, não substantiva, literal, periférica e, geralmente, de duração, utilidade e significado transitórios. Normalmente, possuem (ex.: os números de telefone) uma utilidade limitada, prática e com vista a poupar tempo e esforço (Ausubel, 2003, p. xii).

Pode-se concluir que também são exemplos de aprendizagem mecânica: decorar os elementos da tabela periódica, sem atentar para suas propriedades em famílias e períodos; decorar fórmulas prontas e macetes, sem perceber como as variáveis estão relacionadas e como aplicar estes conhecimentos seja em problemas abstratos seja em problemas práticos.

Em contraponto à aprendizagem mecânica, tem-se a aprendizagem significativa, mas, afinal, quais os requisitos para a sua ocorrência? Entres os conceitos mais importantes da aprendizagem significativa, Ausubel (2003, p. 6) menciona que:

a natureza e as condições da aprendizagem por recepção significativa activa também exigem um tipo de ensino expositivo que reconheça os princípios da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora nos materiais de instrução e que também caracterize a aprendizagem, a retenção e a organização do conteúdo das matérias na estrutura cognitiva do aprendiz.

Deste modo, na aprendizagem significativa, é importante que as aulas e os materiais de ensino tenham por base de sua construção os princípios da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora. Entenda-se que o princípio da diferenciação progressiva visa a, basicamente, conduzir o estudo na direção do amplo ao específico:

Quando se programa a matéria de acordo com o princípio de diferenciação progressiva, apresentam-se, em primeiro lugar, as ideias mais gerais e inclusivas da disciplina e, depois, estas são progressivamente diferenciadas em termos de pormenor e de especificidade. Esta ordem de apresentação

corresponde, presumivelmente, à sequência natural de aquisição de consciência cognitiva e de sofisticação, quando os seres humanos estão expostos, de forma espontânea, quer a uma área de conhecimentos completamente desconhecida, quer a um ramo desconhecido de um conjunto de conhecimentos familiar (Ausubel, 2003, p. 166).

Por sua vez, o princípio da reconciliação integradora age explorando semelhanças e diferenças entre os diversos objetos de conhecimento estudados:

a reconciliação integradora tem a tarefa facilitada no ensino expositivo, se o professor e/ou os materiais de instrução anteciparem e contra-atacarem, explicitamente, as semelhanças e diferenças confusas entre novas ideias e ideias relevantes existentes e já estabelecidas nas estruturas cognitivas dos aprendizes (Ausubel, 2003, p. 6).

Contudo, para que a aprendizagem por recepção significativa ocorra, também é imprescindível que o material de estudos constitua um substrato preparado de modo a permitir que o estudante faça seu melhor uso, ou seja, que ele tenha condições de, partindo-se daquilo que já se sabe, promover a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora. Em relação aos materiais potencialmente significativos como condição para que a aprendizagem ocorra, Ausubel explana que:

(...) o próprio material de aprendizagem possa estar relacionado de forma não arbitrária (plausível, sensível e não aleatória) e não literal com qualquer estrutura cognitiva apropriada e relevante (i.e., que possui significado 'lógico') e que a estrutura cognitiva particular do aprendiz contenha ideias ancoradas relevantes, com as quais se possa relacionar o novo material (Ausubel, 2003, p. 1).

Partindo-se de uma exploração inicial dos conhecimentos prévios, auxiliado pelos materiais potencialmente significativos, os princípios mencionados devem ser a base da atuação do docente em sala de aula.

Além dos princípios já destacados, tem-se o princípio da consolidação, que, consoante Moreira (1997), consiste em se insistir em dominar o que se estuda, antes que novos tópicos da matéria sejam introduzidos, e, desta maneira, acompanhar a sequência estruturada e, por conseguinte, obter um bom desempenho. Não obstante, o autor adverte que “consolidação na perspectiva da aprendizagem significativa não é “repetir, repetir, repetir até não errar”. Isso é comportamentalismo” (Moreira, 2013, p. 40).

2.3 Unidade de Ensino Potencialmente Significativa

Tendo em vista a necessidade de se criar meios mais eficazes de ensino, Moreira, alicerçando-se em pesquisadores como David Ausubel, Joseph Novak, Bob Gowin, Lev Vygotsky, Gérard Vergnaud e Johnson-Laird teorizou a sequência didática denominada de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa.

Da leitura de Moreira (2010), depreende-se que o paradigma da narrativa⁶, sustentáculo principal do modelo tradicional de ensino, privilegia aspectos mnemônicos em detrimento de processos que verdadeiramente produzem modificações nos modelos mentais dos alunos. Desta maneira, a aprendizagem mecânica, a qual tem foco na verbalização e na memória, com o passar dos tempos, tende a desvanecer, pois esta aprendizagem não foi significativa, ou seja, não foi capaz de modificar uma estrutura prévia de pensamento para uma mais elaborada. Neste sentido, Moreira (2010, p. 9) tece a seguinte crítica:

Simplesmente repetir a narrativa do professor não estimula a compreensão, muito menos a criticidade. Centrar o ensino nos alunos, em atividades colaborativas ou individuais, que impliquem externalização dos significados que estão sendo por eles captados. “Negociar” significados.

Assim, constitui tarefa essencial do docente aplicar estratégias de ensino que coloquem a aprendizagem do aluno como finalidade última, pois a aula, com base unicamente na narrativa do professor, não tem se mostrado ser eficiente. Nisto resulta a importância conferida às situações-problema, que, quando bem exploradas induzem os estudantes a externalizarem seus conhecimentos, permitindo-se a interação do docente, seja complementando, seja ajudando o aluno a desenvolver conceitos mais precisos.

2.3.1 Princípios das UEPS

Elenca-se no quadro 1 alguns dos principais princípios aplicados neste tipo de sequência didática. O primeiro princípio, traz à tona que o docente deve,

⁶ Observe-se que a narrativa docente continua a ter o seu espaço no processo pedagógico, inclusive, nas UEPS, há duas etapas adequadas a este propósito. Contudo a atividade de ensino não deve se restringir a isto, sob pena de tolher o aprendizado.

necessariamente, agir de modo a explorar os conhecimentos prévios – subsunçores, mas de que maneira?

Moreira (2011) exemplifica que, para um estudante que já está familiarizado com o princípio da conservação da energia aplicada à energia mecânica, trabalhar questões sobre transformações de energia potencial em cinética somente reforça o subsunçor “Conservação da Energia”. O autor segue explicando que, no entanto, se a primeira Lei da termodinâmica lhe for apresentada como o princípio da conservação da energia aplicada a fenômenos térmicos, o aluno atribuirá um novo significado, todavia mais complexo e associado a novos significados, pois tal princípio se aplicará não apenas ao campo da mecânica, mas também ao campo da termodinâmica e, desta maneira, o referido subsunçor fica cada vez mais estável e diferenciado.

Quadro 1 – Alguns dos princípios aplicados na UEPS

AUTOR	UEPS E SEUS PRINCÍPIOS
Ausubel	O conhecimento prévio é o principal fator que influencia de forma significativa na aprendizagem.
Ausubel; Gowin	É o estudante quem tem o poder de escolher se deseja adquirir um conhecimento específico de forma significativa.
Ausubel	Os organizadores prévios destacam como os novos conhecimentos se relacionam com o conhecimento prévio.
Ausubel	A organização do ensino deve considerar a progressiva diferenciação, a integradora reconciliação e a consolidação.
Moreira	A avaliação da aprendizagem significativa deve ser realizada através da busca de evidências, levando em consideração que essa aprendizagem é progressiva.
Vergnaud/ Moreira	As situações-problema são responsáveis por dar sentido aos novos conhecimentos, sendo necessário criá-las de forma a despertar a intenção do aluno em buscar uma aprendizagem significativa.
Vernaud; Gowin	O professor é o provedor de situações-problema criteriosamente selecionadas, organizador das atividades de ensino e mediador na compreensão dos significados por parte dos alunos.
Moreira	A aprendizagem significativa crítica é impulsionada pela procura de respostas por meio de questionamentos, em vez de se basear na memorização de respostas já conhecidas. Isso é alcançado ao utilizar uma variedade de materiais e estratégias instrucionais, e ao adotar um método de ensino centrado no aluno em vez de se apoiar em narrativas.
Moreira	A aprendizagem precisa ser significativa e crítica, ao invés de se basear simplesmente em processos mecânicos.

Fonte: Moreira (2011).

2.3.2 Aspecto sequencial das UEPS

Os passos (ou etapas) da UEPS devem ser sustentados em seus princípios e condições para garantir que ocorra a aprendizagem significativa. Ela começa pela

identificação do tema e perpassa por diferentes atividades, estudos aprofundados, revisões, bem como avaliações. Assim, conforme Moreira (2011, p. 4 - 5), a UEPS é desenvolvida em oito passos:

1. definir o tópico específico a ser abordado, identificando seus aspectos declarativos e procedimentais tais como aceitos no contexto da matéria de ensino na qual se insere esse tópico;
2. criar/propor situação(ões) – discussão, questionário, mapa conceitual, mapa mental, situação-problema, etc. – que leve(m) o aluno a externalizar seu conhecimento prévio, aceito ou não-aceito no contexto da matéria de ensino, supostamente relevante para a aprendizagem significativa do tópico (objetivo) em pauta;
3. propor situações-problema, em nível bem introdutório, levando em conta o conhecimento prévio do aluno, que preparem o terreno para a introdução do conhecimento (declarativo ou procedimental) que se pretende ensinar; estas situações-problema podem envolver, desde já, o tópico em pauta, mas não para começar a ensiná-lo; tais situações-problema podem funcionar como organizador prévio; são as situações que dão sentido aos novos conhecimentos, mas, para isso, o aluno deve percebê-las como problemas e deve ser capaz de modelá-las mentalmente; modelos mentais são funcionais para o aprendiz e resultam da percepção e de conhecimentos prévios (invariantes operatórios); estas situações-problema iniciais podem ser propostas através de simulações computacionais, demonstrações, vídeos, problemas do cotidiano, representações veiculadas pela mídia, problemas clássicos da matéria de ensino, etc., mas sempre de modo acessível e problemático, i.e., não como exercício de aplicação rotineira de algum algoritmo;
4. uma vez trabalhadas as situações iniciais, apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido, levando em conta a diferenciação progressiva, i.e., começando com aspectos mais gerais, inclusivos, dando uma visão inicial do todo, do que é mais importante na unidade de ensino, mas logo exemplificando, abordando aspectos específicos; a estratégia de ensino pode ser, por exemplo, uma breve exposição oral seguida de atividade colaborativa em pequenos grupos que, por sua vez, deve ser seguida de atividade de apresentação ou discussão em grande grupo;
5. em continuidade, retomar os aspectos mais gerais, estruturantes (i.e., aquilo que efetivamente se pretende ensinar), do conteúdo da unidade de ensino, em nova apresentação (que pode ser através de outra breve exposição oral, de um recurso computacional, de um texto, etc.), porém em nível mais alto de complexidade em relação à primeira apresentação; as situações-problema devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade; dar novos exemplos, destacar semelhanças e diferenças relativamente às situações e exemplos já trabalhados, ou seja, promover a reconciliação integradora; após esta segunda apresentação, propor alguma outra atividade colaborativa que leve os alunos a interagir socialmente, negociando significados, tendo o professor como mediador; esta atividade pode ser a resolução de problemas, a construção de uma mapa conceitual ou um diagrama V, um experimento de laboratório, um pequeno projeto, etc., mas deve, necessariamente, envolver negociação de significados e mediação docente;
6. concluindo a unidade, dar seguimento ao processo de diferenciação progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, porém de uma perspectiva integradora, ou seja, buscando a reconciliação integrativa; isso deve ser feito através de nova apresentação dos significados que pode ser, outra vez, uma breve exposição oral, a leitura de um texto, o uso de um recurso computacional, um áudio-visual, etc.; o importante não é a estratégia, em si, mas o modo de trabalhar o conteúdo da

unidade; após esta terceira apresentação, novas situações-problema devem ser propostas e trabalhadas em níveis mais altos de complexidade em relação às situações anteriores; essas situações devem ser resolvidas em atividades colaborativas e depois apresentadas e/ou discutidas em grande grupo, sempre com a mediação do docente;

7. a avaliação da aprendizagem através da UEPS deve ser feita ao longo de sua implementação, registrando tudo que possa ser considerado evidência de aprendizagem significativa do conteúdo trabalhado; além disso, deve haver uma avaliação somativa individual após o sexto passo, na qual deverão ser propostas questões/situações que impliquem compreensão, que evidenciem captação de significados e, idealmente, alguma capacidade de transferência; tais questões/situações deverão ser previamente validadas por professores experientes na matéria de ensino; a avaliação do desempenho do aluno na UEPS deverá estar baseada, em pé de igualdade, tanto na avaliação formativa (situações, tarefas resolvidas colaborativamente, registros do professor) como na avaliação somativa;

8. a UEPS somente será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de aprendizagem significativa (captação de significados, compreensão, capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema). A aprendizagem significativa é progressiva, o domínio de um campo conceitual é progressivo; por isso, a ênfase em evidências, não em comportamentos finais.

Em outras palavras, para Moreira (2011) o primeiro desafio nesta sequência de aulas consiste em identificar o tema particular, com suas características e, em seguida, elaborar atividades variadas. Com suporte na Teoria de Gérard Vergnaud, Moreira (2011) ressalta-se que se deve considerar os conhecimentos prévios do aluno e prepará-lo para novos conhecimentos por meio de situações-problema introdutórias que deem sentido aos novos conhecimentos. Para o autor, o aluno deve poder mentalmente modelar - conforme sustentado por Johnson-Laird, esses problemas, que podem ser apresentados de diversas formas, desde que sejam desafiadores.

Conforme os passos descritos por Moreira, também se destaca a importância de o docente, após ter introduzido o assunto realizado diferenciações, retomar o conteúdo em nível mais alto de complexidade, utilizando diferentes métodos, apresentar problemas com níveis de dificuldade crescentes, dar novos exemplos enfatizando as semelhanças e diferenças em relação aos anteriores, promover uma integração dos conceitos abordados. Após isto, propor uma atividade individual ou colaborativa.

No tocante à avaliação da aprendizagem, Moreira (2011) ensina que ela requer evidências de aprendizagem, as quais devem ser registradas ao longo da implementação e ressalta que é necessário realizar uma avaliação individual após o sexto passo. O autor preleciona que a avaliação do desempenho da UEPS deve

fornecer evidências de aprendizagem significativa, envolvendo a capacidade de enfrentar situações-problemas, ao invés de focar apenas nos comportamentos finais.

2.4 REVISÃO DA LITERATURA

Como maneira de enriquecer esta pesquisa, é imprescindível efetuar um estudo de revisão da literatura, mais especificamente uma revisão narrativa⁷, acerca de outros trabalhos que também tematizem a aprendizagem significativa e ensino de Eletromagnetismo.

Assim, elabora-se levantamento de dissertações do Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física em repositórios de universidades públicas. Utiliza-se os quatro critérios a seguir descritos para decidir se o trabalho deve ou não constar na revisão de literatura, conforme quadro 2.

- (1) Sobre UEPS;
- (2) Sobre Eletromagnetismo;
- (3) Sobre fluxo e indução eletromagnética;
- (4) Dissertação do programa MNPEF.

Define-se o período de 2015 até 2024, para se analisar trabalhos. Esta delimitação temporal é apenas no sentido de que se trata de pesquisas recentes que, portanto, refletem a situação atual do ensino de Física no Brasil. Desta maneira, o quadro 2 é elaborado conforme os critérios supracitados.

Rocha (2015) concentra esforços na explicação do que são campos, na origem histórica de seu estudo, com as contribuições de Faraday – linhas de força, assim como na maneira como seu conceito é abordado em livros didáticos. Tal estudo é de grande interesse para docentes do ensino básico, visto que é mister que este tenha bons critérios na seleção de seus materiais de apoio. Inúmeros livros didáticos não elaboram acepções corretas acerca de campo elétrico, o que, por conseguinte tem o condão de dificultar o entendimento do aluno.

Neste plano, campos são entidades praticamente onipresentes no estudo da Física Eletromagnética, e sua boa compreensão pode agir como um facilitador para

⁷ Consoante Casarin *et al* (2020), “a Revisão Narrativa é uma forma não sistematizada de revisar a literatura. É importante para buscar atualizações a respeito de um determinado assunto dando ao revisor suporte teórico em curto período”.

que os estudantes entendam os assuntos subsequentes. Um conceito mal-entendido ou não bem explorado em suas diversas nuances pode acarretar os denominados obstáculos epistemológicos, conforme descritos por Bachelard (1996), uma vez que conceitos incorretos ou alternativos podem ser cristalizados no pensamento do aprendiz dificultando o bom entendimento de conhecimentos que deles dependam.

Quadro 2 – Revisão da literatura

ANO	AUTOR	TÍTULO	1	2	3	4
2015	ROCHA, Márcio Oliveira	O conceito de campo no Eletromagnetismo: uma unidade de ensino potencialmente significativa.	x	x	x	x
2017	FUZARI, Alexsandro Fernandes	Uma proposta de UEPS para o ensino de indução eletromagnética.	x	x	x	x
2019	EUZÉBIO, Geison João	Motores elétricos como ideia âncora para a organização sequencial no ensino de eletricidade e magnetismo.	x	x	x	x
2019	SILVA, Sergio Amaral da	Uma unidade de ensino potencialmente significativa fundamentada nos três momentos pedagógicos para o ensino do fenômeno da indução eletromagnética no nível médio.	x	x	x	x
2021	ALVES, Aldeires de Sousa	Discussão sobre conceitos de eletricidade para discentes da modalidade educação de jovens e adultos no Tocantins empregando UEPSS.	x	x		x
2021	XAVIER, Kélen da Silva	O Eletromagnetismo no ensino de ciências: uma proposta de utilização de unidades de ensino potencialmente significativas (UEPS).	x	x	x	x
2023	ALVES, Fabiana Rigamonte	Proposta de uma unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS) para ensino de indução eletromagnética.	x	x	x	x

Fonte: Elaborada pelo autor.

Rocha (2015) desenvolve e aplica UEPS em turma de terceiro ano. Nota-se que os as pesquisas sobre ensino de Eletromagnetismo no nível básico de ensino costumam ser direcionadas para turmas de terceiro ano. Para análise das atividades o autor valeu-se da Análise de Conteúdo de Laurence Bardin⁸.

Verifica-se em Fuzari (2017), cuja dissertação intitula-se “Uma Proposta de UEPS para o Ensino de Indução Eletromagnética”, que se desenvolve sequência de aulas voltada para o ensino de indução eletromagnética, o que demonstra a atualidade da discussão a respeito desta temática, pois se trata de tópico do Eletromagnetismo em que os estudantes, em geral, demonstram grandes dificuldades para aprender. O autor inicia destacando características marcantes acerca do ensino de Física no Brasil, mostrando a predominância da memorização, em que o docente apenas deposita conhecimentos sem preocupar-se se está havendo aprendizado.

Como proposta de ensino, Fuzari (2017), com foco nas premissas da aprendizagem significativa que se estampam na UEPS, confere relevo à Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud, a qual pode ser sintetizada na ideia de que “o conhecimento está organizado em campos conceituais, cujo domínio, de parte do aprendiz, ocorre ao longo de um largo período de tempo, através de experiência, maturidade e aprendizagem” (Moreira, 2002, p. 8). O autor vale-se de diário de bordo para análise dos resultados da aplicação de seu produto educacional em turma de colégio naval.

Euzébio (2019) produz uma dissertação a partir da qual desenvolve uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS). Partindo-se das diretrizes preconizadas por Moreira, ele concebe material instrucional, no qual utiliza os motores elétricos como uma ideia âncora para o ensino do Eletromagnetismo, de modo a contextualizar os conceitos deste tema, com vistas ao entendimento de como funcionam veículos elétricos.

Argumenta-se em Euzébio (2019) ser comum alunos já chegarem sem interesse pelos conteúdos apresentados no Ensino Médio, e que, nesse contexto, ao docente cabe a tarefa de buscar constantemente incentivar os estudantes. O autor também tece críticas ao paradigma de ensino centrado no docente como única fonte

⁸ Metodologia desenvolvida pela professora e pesquisadora francesa Laurence Bardin para elaborar análises de dados qualitativos como textos, discursos ou mesmo imagens em diversas áreas do conhecimento, principalmente nas ciências humanas e sociais.

de conhecimento, assim como ao predomínio da memorização e à posição de passividade, à qual se relega ao estudante.

Com vistas a tornar a aula mais atrativa, o autor citado supra utiliza-se de experimentos constituídos de materiais simples e acessíveis, para, desta maneira, compreender o funcionamento dos eletroímãs e motores elétricos. Seu enfoque reside na aplicabilidade dos conceitos, conduzindo o aprendiz a perceber a interrelação com sua relevância prática. Assim, percebe-se a atualidade do tema desenvolvido, porquanto se está em uma época em que os veículos elétricos⁹ despontam como uma alternativa aos veículos de motor à combustão.

Em Silva (2019) desenvolve-se estudo sobre o ensino de indução eletromagnética em turma de curso técnico de informática em disciplina de eletricidade básica. Para isto valeu-se da compatibilização de uma UEPS com os Três Momentos Pedagógicos de Demétrio Delizoicov e José André Angotti. Conforme o autor, trata-se de “transposição da concepção de educação de Paulo Freire para o espaço da educação formal, tendo como principal característica promover o diálogo entre educador e educando (...)”. Silva valeu-se de inúmeros experimentos reais e virtuais.

Os estudos de Alves (2021) concentram-se na construção e aplicação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa em turma de Educação de Jovens e Adultos, com ênfase na eletricidade, mais especificamente processos de eletrização e conservação da carga. Para isso, utiliza-se de questionários, mapas conceituais e experimentos de baixo custo, assim como simuladores computacionais.

Em Xavier (2021), observa-se conceitos de Eletromagnetismo no ensino de ciências. Elaboram-se e aplicam-se UEPS em turmas de 9º ano, com destaque para aspectos do socio-interacionismo. Diferentemente de outras pesquisas, com apenas uma UEPS, nesta, o docente-pesquisador trabalha três - uma sobre eletricidade, outra sobre magnetismo e uma terceira sobre Eletromagnetismo e, por consequência, a aplicação levou 26 horas-aula em cada turma. Foram aplicadas diversas atividades, entre questionários, mapas conceituais e experimentos. Além disso, ao final os estudantes foram instados a apresentar seus experimentos em uma feira multidisciplinar.

⁹ Segundo matéria publicada em informativo digital, “carros elétricos e híbridos em alta: vendas crescem 149% no ano no Brasil”. Disponível em: <https://insideevs.uol.com.br/news/721962/vendas-carros-eletricos-maio-brasil/>.

Em Alves (2023) já se elabora UEPS sobre ensino de indução eletromagnética inserida no contexto do novo Ensino Médio, em turmas em itinerários de mecânica e de eletrotécnica. Na análise dos resultados a autora estabelece comparação entre a turma de mecânica e a de eletrotécnica, bem como elabora categorização de suas respostas em concepções corretas e em concepções alternativas. Assim como nas outras pesquisas na UEPS vale-se de atividades diversas como situações-problema, questionários, mapas conceituais e experimentos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO DE FÍSICA

Nesta seção, desenvolve-se as ideias e formulações físicas necessárias ao aprofundamento do tema a nível de Ensino Superior. Diversos aspectos mais complexos não são abordados por necessitarem de extensa explanação que foge aos objetivos desta pesquisa. Primeiramente, situa-se historicamente o magnetismo e aborda-se ideias acerca de campos. Em seguida desenvolve-se a matemática da Lei da Indução Eletromagnética, sendo necessário, para boa compreensão, um entendimento de cálculo vetorial básico – integrais de área, de volume e de linha, operadores diferenciais - gradiente, divergente e rotacional, bem como seus teoremas fundamentais.

3.1 Magnetismo – Dos antigos às Leis de Maxwell

Desde a antiguidade chinesa, por volta do séc. III a.C., e grega, com Tales de Mileto no séc. VI a.C., sabe-se da existência de fenômenos magnéticos. Há evidências históricas, conforme Tonidandel, Araújo e Boaventura (2018), que indicam que, no ano de 2637 a.C., tropas de um imperador chinês utilizaram uma carruagem que possuía uma figura feminina com os braços abertos, semelhante a uma bússola, que sempre indicava o sul, independentemente do caminho tomado pela carruagem.

As primeiras observações desta classe de fenômenos provavelmente foram devido a um material chamado magnetita – formado basicamente por óxido de ferro –, que possuía a interessante propriedade de atrair, além de outros fragmentos de magnetita, também pedaços de ferro.

De acordo com Martins (2016), no ano de 1269, o francês Pierre de Maricourt (1220 - 1270) realizou diversos experimentos e indicou propriedades provavelmente desconhecidas até então, entre as quais, a existência de polos magnéticos e os fenômenos de atração dos polos opostos e repulsão dos de igual tipo.

Polos são regiões em que o campo é mais intenso, devido à maior quantidade de linhas de campo. Estas linhas são um artifício para representar o campo, conforme explicado por Feynman (2008, p. 1-4) “um campo vetorial pode ser representado desenhando-se linhas que são tangentes à direção do vetor deste

campo em cada ponto, e fazendo a densidade destas linhas proporcional à magnitude do campo vetorial”.

Contudo, conforme Tonidandel, Araújo e Boaventura (2018), modernamente, no século XVI, com a obra “*De Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure*”, o cientista inglês William Gilbert (1544-1603) foi o pioneiro na sistematização do magnetismo. Atribui-se a ele a propositura de que o planeta Terra pode ser considerado um enorme ímã, bem como que possui linhas de campo que vão de um polo a outro.

Conforme Newton (2007), credita-se aos franceses Hans Christian Oersted (1777-1851) e André-Marie Ampère (1775-1836) uma importante descoberta: perceberam que as correntes elétricas são capazes de gerar magnetismo, que fenômenos elétricos e magnéticos estão relacionados entre si. Sobre Oersted e a abrangência das consequências de sua experiência realizada no ano de 1820, Newton (2007, p. 137) discorre que,

(...). Como ele havia previsto em termos filosóficos – na sua opinião, todas as forças deveriam estar inter-relacionadas – ele descobriu que um fio transportando uma corrente elétrica produzia magnetismo: poderia desviar a agulha de uma bússola. Ele estava procurando por tal efeito durante sete anos sem encontrá-lo porque, embora ele esperasse que a força magnética estivesse na mesma direção da corrente, ela acabou sendo perpendicular a ela. Assim nasceu o Eletromagnetismo; os dois fenômenos da eletricidade e do magnetismo estavam intimamente ligados (Newton, 2007, p. 136-137, tradução nossa¹⁰).

Por sua vez, de modo independente, Joseph Henry (1797 - 1878) em 1830 e Michael Faraday (1791-1867) em 1831, foram os responsáveis por descobrir o efeito inverso, por meio do qual o magnetismo tem a capacidade de produzir correntes. Conforme Dias e Martins (2004, p. 525) “uma nova fase de pesquisas sobre Eletromagnetismo se iniciou somente em 1831, quando Faraday encontrou o que parece ter buscado desde o final de 1825: a indução eletromagnética”

Ao fim do século XIX, o físico escocês James Clerk Maxwell (1831-1879) desenvolveu uma série de estudos buscando sistematizar todo o conhecimento

¹⁰ “As he had anticipated on philosophical grounds—in his opinion all forces ought to be interrelated—he found that a wire carrying an electric current produced magnetism: it could deflect a compass needle. He had been looking for such an effect for seven years without finding it because, whereas he had expected the magnetic force to be in the same direction as the current, it turned out to be perpendicular to it. Thus electromagnetism was born; the two phenomena of electricity and magnetism were intimately connected”. (Newton, 2007, p. 136-137).

existente à época sobre as leis fundamentais que regem os fenômenos elétricos, os fenômenos magnéticos e como eles estão intrinsecamente ligados. As inúmeras equações originais propostas por Maxwell foram sintetizadas para apenas quatro por contribuições de Heinrich Hertz (1857-1894) e de Oliver Heaviside (1850-1925) (Moreira, 2014).

Atualmente, as quatro equações diferenciais parciais de primeira ordem que modelam fisicamente os fenômenos eletromagnéticos, constituindo os fundamentos da teoria clássica, são denominadas de equações (ou, ainda, leis) de Maxwell, elas podem ser expressas na forma diferencial, integral ou, ainda, tensorial. À época de Maxwell ainda não havia a notação ∇ , contudo, “é principalmente devido a Maxwell que a importância das combinações de derivadas, que chamamos de rotacional e divergente se tornou conhecida” (Feynman, 2008, p. 18-1).

3.2 Ideias acerca de campos e campo magnético

Pode-se definir o campo como uma região do espaço em que, cada um de seus pontos, está associado à intensidade de uma grandeza física. Para exemplificar, podemos ter um campo de temperaturas, em que cada ponto do espaço é associado a uma intensidade de temperatura – campo escalar; ou um campo gravitacional, o qual associa cada um dos pontos da região a um vetor aceleração gravitacional – campo vetorial.

Outra forma de definir campo é por meio de seus efeitos. Conforme Rocha (2009), Faraday começou a conceber as forças elétricas e magnéticas como sendo representadas por linhas flexíveis no espaço, que emanavam de ímãs ou corpos eletrizados e podiam ser deformadas. Ainda conforme o autor, essas linhas, conhecidas como *linhas de força*, preenchem o espaço vazio.

Deste modo, pensando em um campo elétrico, uma carga elétrica pontual Q cria um campo ao seu redor e, ao colocarmos uma carga de prova q em suas proximidades, uma força \vec{F} será aplicada sobre ela. Da mesma maneira, um ímã, que é um material com magnetismo¹¹ evidente, gera um campo magnético ao seu redor.

¹¹ “O termo magnetismo provém de uma região da Magnésia, uma província da Grécia onde certas rochas, chamadas de magnetitas, possuem a propriedade surpreendente de atrair pedaços de ferro. Os ímãs foram primeiro empregados em bússolas e usados para navegação pelos chineses no século doze” (Hewitt, 2002, p. 408).

Assim, ao aproximarmos outro material magnetizado¹², surge uma força magnética de interação entre os dois corpos.

Cada distribuição espacial de corrente produz uma determinada configuração espacial do campo magnético \vec{B} . Caso a corrente esteja limitada a fios condutores, esta configuração estará intimamente relacionada à geometria espacial particular do condutor.

Sabe-se que o campo magnético produzido por um fio retilíneo, representado por suas linhas de força, rodeia o fio em círculos cada vez mais espaçados, representando a queda na intensidade do campo com o inverso da distância ao fio. Já uma bobina, com uma única espira (uma espira circular), produz um campo com características de um ímã e se aproxima do campo de um dipolo elétrico para pontos distantes de seu centro.

A partir do conceito de campo, ao se considerar que um solenoide se comporta identicamente a uma barra de ímã, pode-se efetuar simplificações nos cálculos que, de outra maneira, seriam demasiadamente complexos, conforme explicado por Albert Einstein e Leopold Infeld:

“A expressão para uma força agindo em um fio através do qual flui uma corrente e um polo magnético é muito complicado. No caso de dois solenoides, deveríamos ter que investigar as forças com quais duas correntes atuam uma sobre a outra. Mas se fizermos isso, com a ajuda do campo, notamos imediatamente o caráter de todas essas ações no momento em que a semelhança entre o campo de um solenoide e aquele de uma barra magnética é vista” (Einstein e Infeld, 1967, p. 138, tradução nossa¹³).

3.3 Leis de Maxwell

A Lei de Gauss da eletricidade, a Lei de Gauss magnética e a Lei de Ampère são apresentadas a seguir, tanto em suas formas integral quanto diferencial.

¹² Os materiais aqui vulgarmente denominados de magnéticos são, mais precisamente, ferromagnéticos como exemplo, cita-se o ferro e o níquel. Este tipo de material apresenta magnetismo forte e permanente, ainda que na ausência de um campo magnético externo. Na nano escala da matéria os seus domínios magnéticos permanecem alinhados, somente reduzindo significativamente esta condição a uma temperatura característica - temperatura de Curie. Além do ferromagnetismo, tem-se o diamagnetismo (v.g. no ouro e na água) e o paramagnetismo (v.g. no alumínio e no magnésio), contudo, com fracos efeitos magnéticos. Assim, toda a matéria pode, em algum grau, demonstrar magnetismo.

¹³ “The expression for a force acting between a wire through which a current flows and a magnetic pole is very complicated. In the case of two solenoids, we should have to investigate the forces with which two currents act upon each other. But if we do this, with the help of the field, we immediately notice the character of all those actions at the moment When the similarity between the field of a solenoid and that of a bar magnet is seen” (Einstein, A; Lepold I., 1967, p. 138).

Na parte final deste capítulo desenvolve-se a Lei de Faraday, que recebe destaque especial neste trabalho.

3.3.1 Lei de Gauss da eletricidade

A primeira Lei de Maxwell é conhecida como *Lei de Gauss*¹⁴ e trata do fluxo elétrico. Considerando-se o conceito de campo elétrico já exposto, o fluxo elétrico Φ_E é uma quantidade associada ao número de linhas que atravessam determinada superfície S:

$$\Phi_E = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} \quad (1)$$

Por conseguinte, se uma superfície fechada qualquer envolver uma carga, todas as linhas de campo a atravessam e o fluxo elétrico torna-se proporcional à carga:

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{1}{\epsilon_0} q \quad (2)$$

$$\Phi_E = \frac{1}{\epsilon_0} q. \quad (3)$$

A equação (2), que representa a Lei de Gauss na forma integral, é válida tanto para campos estáticos quanto para campos dinâmicos. Observe-se que a constante ϵ_0 é denominada permissividade elétrica¹⁵. Pode-se escrever a carga total q como a densidade volumétrica de cargas ρ integrada em um volume

$$q = \int_V \rho dV. \quad (4)$$

Assim,

¹⁴ Johann Carl Friedrich Gauss (1777-1955), o “príncipe dos matemáticos”, seu epíteto popular.

¹⁵ No vácuo a permissividade elétrica é $8,8541878176 \times 10^{-12}$ F/m.

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = \int_{\mathcal{V}} \frac{\rho}{\epsilon_0} d\mathcal{V}. \quad (5)$$

Evidentemente, a equação na forma integral pode ser imediatamente escrita em sua forma diferencial bastando, para isso, o exercício de aplicar o teorema do divergente¹⁶.

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = \int_{\mathcal{V}} \nabla \cdot \vec{E} d\mathcal{V}. \quad (6)$$

Logo, os integrandos devem ser iguais:

$$\int_{\mathcal{V}} \nabla \cdot \vec{E} d\mathcal{V} = \int_{\mathcal{V}} \frac{\rho}{\epsilon_0} d\mathcal{V}. \quad (7)$$

E, obtemos a equação de Gauss para a eletricidade na forma diferencial:

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}. \quad (8)$$

Aproveitando-se a simetria de sólidos como esferas e cilindros, a forma integral torna-se mais conveniente do que a forma diferencial.

3.3.2 Lei de Gauss magnética

A segunda Lei de Maxwell, que pode ser denominada *Lei de Gauss para o campo magnético* – por sua semelhança com a primeira –, afirma que o divergente do campo magnético é sempre nulo, o que implica a não existência de monopolos magnéticos (cargas magnéticas), ou seja, todo polo magnético necessariamente está ligado ao polo oposto.

¹⁶ Também denominado teorema de Gauss-Ostogradski, diz o seguinte: Dado um campo vetorial \vec{F} , se S é uma superfície de fronteira (fechada) que envolve uma região sólida simples \mathcal{V} , então $\oint_S \vec{F} \cdot d\vec{S} = \int_{\mathcal{V}} \nabla \cdot \vec{F} d\mathcal{V}$. Em palavras, o fluxo vetorial de um campo através de uma superfície fechada é igual à integral do divergente do campo sobre o volume delimitado pela superfície.

Por consequência, as linhas de campo magnético não têm origem, isto é, são linhas contínuas que se fecham em si próprias, então toda linha que entra em uma superfície fechada, necessariamente sai, indicando que o fluxo do vetor campo magnético Φ_B é sempre nulo sobre uma superfície fechada.

$$\Phi_B = \oint_{\mathcal{A}} \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 . \quad (9)$$

Aplicando-se o teorema de Gauss-Ostogradski à equação acima, obtemos

$$\int_{\mathcal{V}} \nabla \cdot \vec{B} \, d\mathcal{V} = 0 . \quad (10)$$

Por consequência, chegamos na forma diferencial:

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 . \quad (11)$$

Interpretando-se o divergente de \vec{B} , o número de "linhas de campo magnético" que entram em um volume é igual ao número que sai, não havendo, portanto, "fontes ou sumidouros" de \vec{B} (inexistem cargas magnéticas), deste modo, as linhas são sempre contínuas, laços fechados.

3.3.3 Lei de Ampère-Maxwell

A Lei de Ampère-Maxwell estabelece a relação entre os campos magnéticos e as correntes elétricas que os produzem. A forma geral desta lei inclui a contribuição do campo elétrico variável no tempo¹⁷, que gera a denominada *corrente de deslocamento*. Na forma integral, teremos,

¹⁷ A parte final da eq. (12) costuma expressa de alguma dessas formas equivalentes $\int_{\mathcal{A}} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \cdot d\vec{A} = \frac{d}{dt} \int_{\mathcal{A}} \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{d}{dt} \Phi_E .$

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i_{enc} + \mu_0 \epsilon_0 \int_{\mathcal{A}} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \cdot d\vec{A} \quad (12)$$

Na equação anterior, i_{enc} é a corrente elétrica encerrada¹⁸ e μ_0 é a permeabilidade magnética do meio¹⁹. Utilizando o teorema de Stokes, esta equação toma a forma diferencial,

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (13)$$

Na lei anterior \vec{J} é o vetor densidade de corrente elétrica e $\nabla \times \vec{B}$ é o rotacional do campo magnético, que indica como ele "gira" em torno de um ponto. Correntes elétricas em condutores produzem campo magnético que circunda o fio e, assim, o rotacional mede essa "circulação".

Ampère obteve a equação $\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J}$, contudo, a parcela $\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$ deve-se a Maxwell, que observou algumas inconsistências quando se aplicava o divergente em $\nabla \times \vec{B}$, cujo resultado é zero e, por conseguinte, o divergente de \vec{J} também deveria ser zero, o que violaria o princípio da conservação da energia²⁰. Tem-se que $\nabla \cdot \vec{J} = 0$ apenas para casos estacionários (magnetostática), enquanto, em situações em que a densidade de corrente varia, tem-se que aplicar a equação da continuidade²¹: $\nabla \cdot \vec{J} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ ou, ainda, na forma integral, $\frac{d}{dt} \int_V \rho dV + \oint_S \vec{J} \cdot d\vec{A} = 0$.

Assim a segunda Lei de Maxwell, $\nabla \cdot \vec{B} = 0$ é sempre válida – para casos estáticos e dinâmicos. No caso da Lei de Ampère reduzida, $\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J}$, é válida somente se todas as densidades de carga são constantes, assim como todas as correntes estacionárias, de maneira que os campos elétricos e os campos magnéticos não variem no tempo – são todos campos estáticos (Feynman, 2008, p. 13-3).

¹⁸ A corrente encerrada é o fluxo da densidade de corrente, $i_{enc} = \int_{\mathcal{A}} \vec{J} \cdot d\vec{A}$.

¹⁹ No vácuo a permeabilidade magnética é $4\pi \cdot 10^{-7} N/A^2$.

²⁰ Ver pág. 18-1 de Feynman (2008).

²¹ Valendo-se da equação da continuidade e da Lei de Gauss elétrica, obtém-se a contribuição de Maxwell à equação de Ampère: $\nabla \cdot (\mu_0 \vec{J}) = \mu_0 \nabla \cdot \vec{J} = -\mu_0 \frac{\partial \rho}{\partial t} = -\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} (\nabla \cdot \vec{E}) = -\nabla \cdot (\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t})$, em que $\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$ denomina-se corrente de deslocamento.

3.4 Breve digressão sobre a Eletrostática

Em termos gerais, considerando-se um campo vetorial qualquer, ele será dito conservativo quando puder ser escrito como o gradiente de uma função escalar²². No caso do campo elétrico, em coordenadas cartesianas, $\vec{E} = E_x\hat{x} + E_y\hat{y} + E_z\hat{z}$, esta função escalar é o potencial eletrostático V , assim, $\vec{E} = -\nabla V$ ²³. Com alguns cálculos²⁴, pode-se também obter o potencial eletrostático em função do campo, calculado em um ponto P, tomando-se um referencial P_0 , $V = \int_{P_0}^P \vec{E} \cdot d\vec{A}$.

O campo elétrico é o gradiente do potencial elétrico pelo fato de apontar a direção e intensidade da variação do potencial. Desta maneira, o sinal negativo demonstra que o campo aponta para onde o potencial diminui, o que está de acordo com a tendência de cargas positivas moverem-se para regiões com menor energia potencial. Desenvolvendo-se o gradiente do potencial eletrostático²⁵:

$$\vec{E} = -\nabla V = -\frac{\partial V}{\partial x}\hat{x} - \frac{\partial V}{\partial y}\hat{y} - \frac{\partial V}{\partial z}\hat{z}. \quad (14)$$

Como consequência, desde que \vec{E} esteja definido em um espaço simplesmente conexo²⁶, seu rotacional será nulo. De modo geral, o campo é conservativo se, e somente se, possui rotacional nulo²⁷. Sendo,

$$\nabla \times \vec{E} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ E_x & E_y & E_z \end{vmatrix} \quad (15)$$

²² Contínua e diferenciável até primeira ordem, rigor matemático.

²³ Convencionou-se que o sinal seja negativo para indicar que o campo elétrico possui sentido do maior potencial elétrico para o menor. Observação importante é que, substituindo-se $\vec{E} = -\nabla V$ na lei de Gauss elétrica $\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$, obtém-se a equação de Poisson, $\nabla^2 V = -\frac{\rho}{\epsilon_0}$.

²⁴ Vide Feynman (2008, p. 4-5).

²⁵ O potencial elétrico é um escalar que descreve a energia disponível por unidade de carga em cada ponto.

²⁶ Essa descrição topológica se refere a uma região que não apresenta buracos ou aberturas que a atravessem por completo, ou seja, que não pode ser representada como a reunião disjunta de regiões abertas não vazias. Por conseguinte, quaisquer curvas fechadas em uma região deste tipo não podem ser reduzidas a um único ponto sem sair da região. Como aprofundamento, sugere-se www.ime.usp.br/~matweb/mat2455/conservativo.pdf.

²⁷ Conforme afirmado na seção 1.6.2 de Griffiths (2011, p. 38).

então,

$$\nabla \times \vec{E} = \left(\frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} \right) \hat{x} + \left(\frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x} \right) \hat{y} + \left(\frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} \right) \hat{z} \quad (16)$$

Por consequência,

$$\begin{cases} \frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} = -\frac{\partial^2 V}{\partial y \partial z} + \frac{\partial^2 V}{\partial z \partial y} = 0 \\ \frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x} = -\frac{\partial^2 V}{\partial z \partial x} + \frac{\partial^2 V}{\partial x \partial z} = 0 \\ \frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} = -\frac{\partial^2 V}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 V}{\partial y \partial x} = 0. \end{cases} \quad (17)$$

Assim ,

$$\nabla \times \vec{E} = 0. \quad (18)$$

Outro raciocínio que conduz à mesma constatação de que o campo elétrico é irrotacional é que, observando-se as linhas de campo elétrico que partem de uma carga puntiforme positiva em condições estáticas (com derivada no tempo igual a zero), nota-se que elas não rotacionam em torno de nenhum ponto.

Formalmente, pode-se demonstrar que o rotacional de qualquer gradiente é nulo, i.e., $\nabla \times \nabla \Psi = 0$, em que Ψ é uma função escalar espacial qualquer. Deste modo, é imediato que, sendo o campo elétrico produzido por uma distribuição de cargas, igual ao gradiente do potencial elétrico, que é uma função escalar, então, $\nabla \times \nabla V(\vec{r}) = 0 = \nabla \times \vec{E}$. Este resultado pode ser generalizado para qualquer distribuição arbitrária de cargas elétricas.

Aplicando-se o teorema de Stokes²⁸ na equação (18):

²⁸ Este teorema é uma ponte entre integrais de linha e integrais de superfície, artifício poderoso para simplificação de cálculos e análise de propriedades de campos vetoriais. Afirma que, a integral de linha de um campo vetorial ao longo de uma curva fechada equivale à integral de superfície do rotacional desse campo sobre a superfície delimitada pela curva, $\oint_C \vec{F} \cdot d\vec{l} = \int_S \nabla \times \vec{F} \cdot d\vec{A}$, em que, $d\vec{A}$ é o elemento de área da superfície S na direção do vetor unitário \hat{n} normal à superfície.

$$\int_S \nabla \times \vec{E} \cdot d\vec{A} = \oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (19)$$

alcança-se

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0. \quad (20)$$

Do resultado acima, a integral de linha ao longo de um caminho fechado é sempre igual a zero. Na prática, isso quer dizer que o trabalho necessário para efetuar o deslocamento de uma carga elétrica em um percurso fechado é zero, o que indica que o potencial elétrico é bem definido. Em suma, de modo geral, na eletrostática são válidos os resultados $\nabla \times \vec{E} = 0$ e $\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$. Conforme Ritz e Milford (1982, p. 230), “estas equações provêm diretamente da Lei de Coulomb e não são invalidadas pela força magnética devida a uma corrente estacionária. Todavia, não se aplicam a campos mais gerais que dependam do tempo”.

3.5 Ajuste para Campos Elétricos Variáveis

Partindo-se da Lei de Gauss magnética $\nabla \cdot \vec{B} = 0$, \vec{B} pode ser expresso como o rotacional de outro campo vetorial, já que o divergente do rotacional de qualquer vetor é sempre zero, resultado básico do cálculo vetorial. Deste modo, $\vec{B} = \nabla \times \vec{A}$ e, por consequência, $\nabla \cdot (\nabla \times \vec{A}) = 0$, em que \vec{A} é denominado de potencial vetor magnético²⁹. Paralelamente, da Lei de Faraday,

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -\frac{\partial (\nabla \times \vec{A})}{\partial t}. \quad (21)$$

Como o rotacional e a derivada temporal são operadores lineares que podem ser trocados de ordem,

²⁹ O potencial vetor magnético \vec{A} é uma ferramenta utilizada para proporcionar a consistência das equações e simplificar a descrição de campos eletromagnéticos. No contexto quântico, \vec{A} influencia diretamente fenômenos observáveis, como o efeito Aharonov-Bohm (Mello e Santos, 1997).

$$\nabla \times \vec{E} = -\nabla \times \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}. \quad (22)$$

$$\nabla \times \left(\vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \right) = 0 \quad (23)$$

Do fato de que é nulo o rotacional de qualquer gradiente, pode-se fazer

$$\vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = -\nabla V. \quad (24)$$

Assim,

$$\vec{E} = -\nabla V - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}. \quad (25)$$

Em que V é o potencial escalar elétrico. Daí, conclui-se que, enquanto na eletrostática tem-se apenas $\vec{E} = -\nabla V$, para campos que dependem do tempo deve-se considerar a contribuição do potencial vetor magnético (parte dinâmica). Após este adendo, cabe considerar as razões que conduzem à Lei de Faraday, partindo-se do conceito de fluxo e de sua formulação matemática.

3.6 Conceito e Matematização do Fluxo

Não obstante o aprofundamento realizado nos tópicos anteriores, neste ponto desta pesquisa é pertinente e justificável uma explanação mais detalhada sobre o conceito de fluxo e sobre raciocínios que conduzem à Lei de Faraday, ênfase deste trabalho. Conforme já explanado, atribui-se a Michael Faraday e Joseph Henry, no início do século XIX, a observação de que a variação do fluxo de um campo magnético induz o surgimento de uma força eletromotriz. A respeito da importância de Faraday e Oersted no estabelecimento das conexões entre campo elétrico e campo magnético, Einstein e Infeld (1967, p. 146) destacam o seguinte:

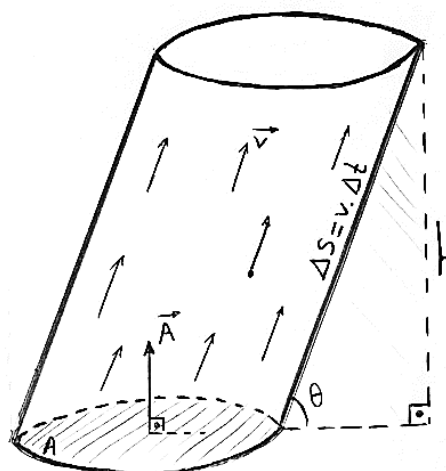
“(…) Assim encontramos os dois pilares mais importantes de suporte para a teoria do campo elétrico e do campo magnético . O primeiro é a ligação entre a mudança do campo elétrico e a do campo magnético. Surgiu da experiência de Oersted sobre a deflexão da agulha devido a um campo magnético e levou à conclusão: um campo elétrico variável é acompanhado por um campo magnético. O segundo conecta o campo magnético variável com a corrente induzida e surgiu do experimento de Faraday. Ambos formaram uma base para a descrição quantitativa”. (Tradução nossa³⁰)

Com os experimentos desses dois pioneiros, desenvolveram-se diversas ideias que levaram, por consequência, à invenção de inúmeros dispositivos modernos, como geradores de eletricidade e transformadores de tensão e corrente.

Para trabalhar a conceitualização e a definição de fluxo, primeiramente, observe-se que a situação mais comum em que este conceito é encontrado é na vazão de um fluido, como a água que entra em uma caixa d’água, ou a vazão de um igarapé, um rio, como o volume (ou massa) de água que atravessa uma seção do curso d’água com o tempo, como exemplos. Nesta senda, o fluxo é definido como o volume de líquido que atravessa a seção em um intervalo de tempo.

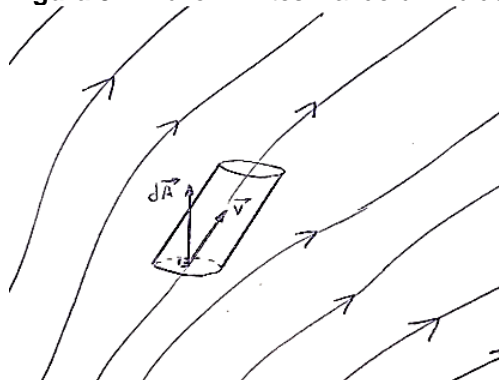
Conforme ilustrado na figura 2, determinado fluido se desloca com velocidade constante \vec{v} por um duto inclinado que possui superfície A e ângulo θ . O volume de fluido que atravessa uma área plana em um intervalo de tempo Δt é $\Delta V = A \cdot v \cdot \Delta t \cdot \cos \theta$. Logo a vazão será, $\Phi = \frac{\Delta V}{\Delta t} = A \cdot v \cdot \cos \theta = \vec{v} \cdot \vec{A}$, em que \vec{A} é definido como uma área A orientada conforme o vetor unitário normal (\hat{n}) à superfície.

³⁰ “Thus we have found the two most important pillars of support for the theory of the electric and magnetic field. The first is the connection between the changing electric field and the magnetic field. It arose from Oersted's experiment on the deflection of a magnetic needle and led to the conclusion: a changing electric field is accompanied by a magnetic field. The second connects the changing magnetic field with the induced current and arose from Faraday's experiment. Both formed a basis for quantitative description” (Einstein e Infeld, 1967, p. 146).

Figura 2 – Fluxo de um fluido em um duto

Fonte: Elaborada pelo autor.

Pode-se imaginar, agora, uma situação mais realística, em que o fluxo de um fluido não é uniforme, bem como uma superfície irregular virtual pela qual parte deste fluido atravessa. Nesta geometria, bastante arbitrária e geral, deve-se visualizar pequenos elementos de superfície de tal maneira que o fluxo que o atravessa seja uniforme, de forma que podemos calcular um fluxo infinitesimal nesta superfície infinitesimal, conforme figura 3.

Figura 3 – Fluxo infinitesimal de um fluido

Fonte: Elaborada pelo autor.

Deste modo,

$$d\Phi = \vec{v} \cdot d\vec{A}. \quad (26)$$

Desta forma, o fluxo através de toda a superfície será a soma destas contribuições infinitesimais, ou seja, a integral

$$\Phi = \oint_{\mathcal{A}} \vec{v} \cdot d\vec{A}. \quad (27)$$

Caso o interesse esteja na vazão de massa, a equação acima transforma-se em

$$\Phi_M = \oint_{\mathcal{A}} \rho \vec{v} \cdot d\vec{A}. \quad (28)$$

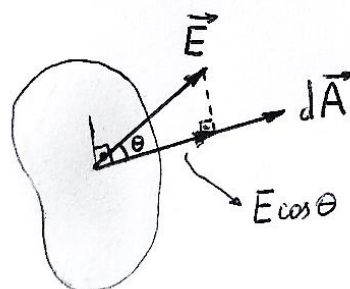
em que ρ é a densidade de massa. A generalização destas duas últimas equações para um campo vetorial qualquer é imediata. Destarte, para um campo genérico, obtém-se

$$\Phi_{\psi} = \oint_{\mathcal{A}} \vec{\psi} \cdot d\vec{A} \quad (29)$$

em que o campo vetorial $\vec{\psi}$ pode ser, por exemplo, o campo elétrico ou o campo magnético.

Para se chegar a uma noção geométrica do fluxo elétrico, considere uma fonte de carga elétrica, como ilustrado na figura 4, abaixo.

Figura 4 – Campo e superfície



Fonte: Elaborada pelo autor.

Suponha uma superfície infinitesimal com um o vetor $d\vec{A}$ a ela ortogonal e que as linhas de campo elétrico estejam orientadas em direções diversas. Pela definição genérica de fluxo,

$$\Phi = \oint_{\mathcal{A}} \vec{E} \cdot d\vec{A} \quad (30)$$

Estamos interessados em compreender a conexão entre os elementos \vec{E} e $d\vec{A}$ em cada ponto da superfície. Para o produto escalar,

$$\vec{E} \cdot d\vec{A} = E \cdot dA \cdot \cos \theta \quad (31)$$

observa-se que $E \cdot dA$ corresponde ao módulo do vetor projeção de \vec{E} sobre o vetor $d\vec{A}$. Desta maneira, apenas a componente de \vec{E} ortogonal à superfície contribui para o fluxo. Por raciocínio análogo, obtém-se o fluxo magnético, por sua vez dado pela integral do campo magnético \vec{B} sobre uma superfície:

$$\Phi = \oint_{\mathcal{A}} \vec{B} \cdot d\vec{A} . \quad (32)$$

Com esta matematização de fluxo magnético, passa-se ao estudo dos experimentos de Faraday.

3.7 O Experimento de Faraday da Indução Eletromagnética

O Experimento de Faraday da Indução Eletromagnética também é chamado de anel de indução, que nada mais é do que um transformador rudimentar. O aparato exibido na figura 5 consiste em um anel de ferro e bobina do experimento de Faraday, expostos no Museu Faraday, localizado na Royal Institution em Londres.

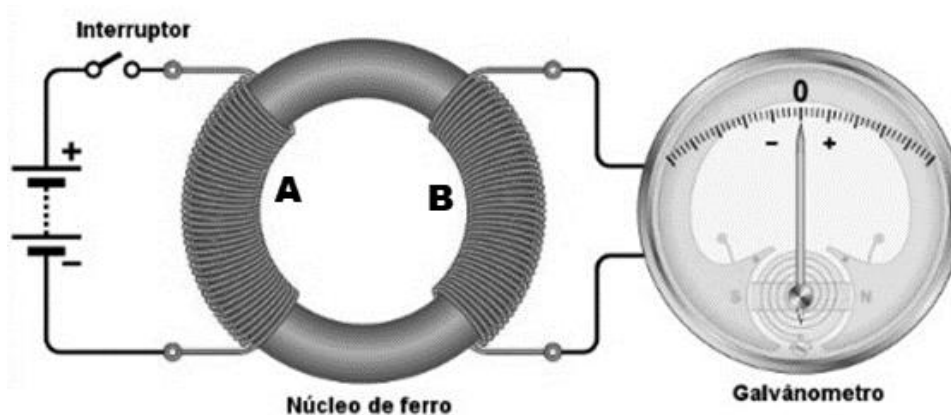
Figura 5 – Anel de ferro e bobina feitos por Faraday



Fonte: Paul Wilkinson - www.rigb.org/explore-science/explore/collection/michael-faradays-ring-coil-apparatus

Modernamente, pode-se representar esquematicamente o experimento de Faraday como mostrado na figura 6.

Figura 6 – Esquematização do experimento de Faraday da Indução Eletromagnética



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/a-inducao-eletromagnetica.htm>

No ano de 1831, o físico Michael Faraday³¹ fez o arranjo mostrado na figura 5, que consiste em um núcleo de ferro em forma de anel com duas bobinas independentes, mais precisamente, conforme a figura 6, uma bobina (A) em circuito fechado com uma bateria e um interruptor, e outra bobina (B) em circuito fechado com um galvanômetro. Ele notou que quando ligava ou fechava a chave do interruptor, a

³¹ “O princípio descoberto era que o movimento de um ímã gera uma corrente elétrica no condutor. O trabalho realizado por Faraday no final de 1831 complementou a descoberta do eletromagnetismo por Oersted, mostrando a existência de um fenômeno inverso (produção de efeitos elétricos pelo magnetismo)” (Dias e Martins, 2004, p. 528).

agulha do galvanômetro se movia e em seguida voltava à sua posição inicial, indicando, desta maneira, a passagem de corrente elétrica durante um curto intervalo de tempo.

Faraday percebeu que, ao acionar a chave interruptora de fem, o galvanômetro, por um curto intervalo de tempo, indicava a presença de corrente elétrica, que logo cessava assim que a corrente elétrica se tornava constante. Desta maneira, ele observou que uma variação do campo magnético do solenoide fazia surgir uma corrente elétrica no circuito, que é detectada pelo galvanômetro – fenômeno denominado de *indução eletromagnética*.

Pode-se estender o raciocínio e concluir também que qualquer variável que provoque uma mudança no campo magnético de um solenoide também influencia no fluxo magnético e, por consequência, na corrente elétrica induzida no circuito associado ao galvanômetro. Assim, a variação do campo magnético, a movimentação relativa entre um campo magnético e um circuito elétrico ou a variação da área envolta pelo circuito, provoca uma força eletromotriz no circuito expressa pela Lei de Faraday,

3.8 Lei de Faraday da Indução Eletromagnética

Faraday comprovou, por meio de experimentos, que uma variação do fluxo magnético em um circuito resulta em uma força eletromotriz ε na região envolta pelo circuito:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt}. \quad (33)$$

Essa lei, em específico, é considerada experimental, ou seja, não pode ser inferida de outras leis existentes. Neste ponto, importa uma distinção entre força eletromotriz e diferença de potencial. O agente físico responsável pela movimentação da corrente elétrica pode ser: “em uma bateria é a força química, em um cristal piezoelétrico a pressão mecânica é convertida em impulso elétrico,(...), e em um gerador de Van der Graff os elétrons são literalmente depositados em uma esteira rolante e levados adiante” (Griffiths, 2011, p. 203). Assim, a força eletromotriz funciona

como uma fonte de energia e pode ser quantificada mesmo que não haja corrente fluindo pelo circuito ou ainda em circuito aberto.

Por exemplo, ao conectar um voltímetro nas extremidades de uma pilha mede-se o valor da fem, assim, “a “força eletromotriz” é a causa da separação de cargas de sinais diferentes entre os eletrodos e, portanto, é a causa da diferença de potencial entre os mesmos” (Rocha, 2014, p. 355). Além disso, observa-se que a fem se mantém inalterada e não é influenciada por uma resistência do circuito, enquanto a diferença de potencial (ddp) pode variar em diferentes partes do condutor, sendo mensurada com a corrente em fluxo.

Observe-se que, para um campo não estático, a fem, em um percurso fechado \mathcal{C} , é não nula e definida como

$$\varepsilon = \oint_{\mathcal{C}} \vec{E} \cdot d\vec{l} . \quad (34)$$

Por sua vez, o fluxo magnético por uma superfície \mathcal{A} é definido por

$$\Phi = \int_{\mathcal{A}} \vec{B} \cdot d\vec{A} . \quad (35)$$

Ao se substituir essas duas últimas expressões na antepenúltima, obtém-se que a força eletromotriz é igual a menos a derivada do fluxo magnético no tempo, que é a forma integral da Lei de Faraday:

$$\oint_{\mathcal{C}} \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi}{dt} . \quad (36)$$

Ou, ainda, podemos formular dessa maneira:

$$\oint_{\mathcal{C}} \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_{\mathcal{A}} \vec{B} \cdot d\vec{A} . \quad (37)$$

Caso o circuito permaneça estático e não haja mudança em sua forma, pode-se calcular a derivada em relação ao tempo dentro da integral, transformando-a

em uma derivada parcial em relação ao tempo. Usando o teorema de Stokes, é possível converter a integral de linha de um campo \vec{E} em uma integral de superfície de $\nabla \times \vec{E}$:

$$\oint_{\mathcal{C}} \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int_{\mathcal{A}} \nabla \times \vec{E} \cdot d\vec{A} \quad (38)$$

Como resultado dessas conversões, obtemos que

$$\int_{\mathcal{A}} \nabla \times \vec{E} \cdot d\vec{A} = - \int_{\mathcal{A}} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{A} . \quad (39)$$

Com essa premissa, aplicando-se a qualquer superfície fixa \mathcal{A} contornada pelo circuito \mathcal{C} , chega-se, por fim, à forma diferencial da Lei de Faraday, que nos diz que o rotacional do campo elétrico equivale a menos a derivada parcial temporal do campo magnético:

$$\nabla \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (40)$$

A presença do sinal negativo na Lei de Faraday demonstra que o sentido da corrente associada à força eletromotriz induzida se opõe à variação que a gerou. Assim, incrementando o fluxo que circula por um circuito, a força eletromotriz induzida terá a tendência de gerar correntes no sentido oposto, de modo a reduzir o fluxo.

Simetricamente, ao se movimentar o polo de um ímã no sentido de entrar em uma bobina, as correntes geradas pela força eletromotriz induzida criam um campo magnético que tem a tendência de repelir o polo do ímã. Pode-se sintetizar a explicação destes fenômenos por meio da Lei de Lenz – quando um fluxo magnético variável atravessa um circuito, surge uma força eletromotriz induzida no circuito, bem como uma corrente elétrica induzida, que se opõe à mudança no fluxo magnético que a criou.

Desta maneira, a Lei de Lenz³², desenvolvida pelo físico russo Heinrich Lenz no século XIX, é um princípio fundamental da Ciência Eletromagnética que explica o caminho da corrente induzida ou o sentido do aumento/diminuição da força eletromotriz em um circuito fechado quando ocorre uma alteração no fluxo magnético ao longo do circuito.

³² A lei de Lenz, por sua simplicidade, possui papel fundamental ao auxiliar na explicação de fenômenos como a indução eletromagnética, além disso ela também é essencial para entender o comportamento dos indutores em circuitos.

4 APLICAÇÃO DA UEPS – DO CAMPO MAGNÉTICO À INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

4.1 Concepções Metodológicas acerca da Aplicação da UEPS em Sala de Aula

Neste relato enfrentamos³³ o problema de se aplicar a Teoria da Aprendizagem Significativa em sala de aula, conforme sua fundamentação e seus princípios. A temática de ensino consistiu em uma linha que foi do campo magnético à indução eletromagnética, com o fito de que o estudante aprendesse de maneira substancial e durável, conforme preconizado pela Teoria Ausubeliana, e não apenas fugaz e mnêmica à lá ensino tradicional.

4.1.1 Aplicação e Descrição do Espaço de Aplicação da UEPS

Trabalhamos a metodologia das UEPS em duas turmas de Ensino Médio regular de uma escola pública no Estado do Pará, localizada na área urbana do município de Santarém, com encontros que ocorreram no turno da manhã, nos meses de novembro e dezembro de 2023. A aplicação ocorreu apenas em sala de aula, pois não fizemos uso do laboratório, que à época encontrava-se interditado. Ao todo a aplicação deu-se em 10,5 h, o equivalente a 14 aulas de 45 min³⁴.

4.1.2 Abordagem Conceitual

Optamos por uma abordagem de ensino que pendeu para a perspectiva conceitual. Entendemos que, com base nos princípios basilares da Teoria da Aprendizagem Significativa, devemos partir dos conhecimentos prévios dos alunos, da maneira como eles compreendem conceitualmente os fenômenos eletromagnéticos, para estabelecer o diálogo a partir de situações-problema propostas e, concomitantemente, avaliar os alunos neste percurso.

³³ Fazemos uso de primeira pessoa, devido ao caráter pessoal da aplicação de uma metodologia.

³⁴ 45 min era a duração padrão dos tempos de aula. E, a cada semana, ocorriam três aulas de Física.

4.1.3 Estratégias e Materiais Diversificados

Para que o ensino de Eletromagnetismo básico seja frutífero, entendemos que o docente precisa explorar os fenômenos eletromagnéticos do cotidiano, levar experimentos, fazer experimentos, estimular a participação dos alunos nas aulas para que exponham situações pelas quais passaram e que acreditem possuir relação com o tópico ensinado e, a partir desta aula dialogada, fazer as conexões para os formalismos do Eletromagnetismo.

Uma estratégia adotada, com base em Vergnaud, foi a discussão em torno das situações-problema, pois ela possibilitou aos alunos estabelecerem pontes cognitivas entre os seus conhecimentos prévios e relacioná-los de maneira substantiva e não-litera aos conhecimentos propostos pelo docente.

No tocante aos materiais potencialmente significativos adotamos textos e vídeos sobre Eletromagnetismo, além de aplicamos alguns experimentos³⁵. Em relação à utilização de experimentos como facilitador do ensino, salientamos a concepção de Duarte e Polito (2023), os quais argumentam que uma maneira de se ensinar é valer-se de estratégias práticas e experimentais que consigam se conectar de maneira significativa com os princípios científicos mais abrangentes. Os referidos pesquisadores destacam que essa conexão mais profunda não ocorre por acaso, que o intuito é evitar que a experiência de aprendizado se limite apenas a ela mesma e seja esquecida rapidamente, sem gerar impactos significativos na perspectiva dos estudantes em relação ao mundo.

4.1.4 Uso de Mapas Conceituais

Consoante Moreira (2012), a teoria que subjaz ao uso de mapas conceituais é a Teoria da Aprendizagem de Ausubel, ainda que este nunca tenha mencionado explicitamente os mapas conceituais em suas obras. Ainda conforme o autor, “trata-se (...) de uma técnica desenvolvida em meados da década de setenta

³⁵ “Outra tendência paralela referida anteriormente, que reflecte o novo interesse para com a aprendizagem por recepção significativa através de um ensino expositivo e de materiais de instrução apropriados, tem sido o declínio das abordagens da ‘aprendizagem pela descoberta’, da ‘aprendizagem processual’, da ‘aprendizagem pela investigação’, etc.” (Ausubel, 2003, p. XVI). Com fundamento neste excerto de Ausubel, nesta pesquisa, adota-se a posição de que, não necessariamente o aluno aprenderá mais por construir o experimento. Desta maneira, opta-se por usar os experimentos em caráter demonstrativo.

por Joseph Novak e seus colaboradores na Universidade de Cornell, nos Estados Unidos” (Moreira, 2012, p.5).

Mapas conceituais são formas de representar estruturalmente conceitos de maneira hierárquica, isto é, de conceitos amplos e gerais em direção a detalhamentos específicos, por meio de linhas, setas e caixas de texto. Servem, por exemplo, para a elaboração de resumos, projetos, planos de ensino, planos de estudo, facilitam a revisão.

Destacamos a importância desta sequência ter materiais diversificados, bem como as estratégias de ensino. As orientações para a elaboração de mapa conceitual foram bastante sucintas, porém compreendidas. Já os mapas mentais foram de livre elaboração, visto que já realizavam em outras disciplinas.

4.1.5 Objetos de Conhecimento

Quanto aos objetos de conhecimento trabalhados, com fundamento na Teoria da Aprendizagem Significativa, primeiramente ensinamos a interação entre cargas elétricas, campos elétricos e campos magnéticos, partimos de conceitos amplos e gerais para, só em seguida, diferenciar progressivamente em temas mais específicos dentro do Eletromagnetismo.

Observamos que é de caráter central que os alunos entendam o que são cargas elétricas, e isso perpassa a compreensão da estrutura básica da matéria (de modo breve), bem como que entendam o conceito geral de campos – campo gravitacional, campo elétrico, campo magnético e mesmo campo vetorial, ainda que este já exija que o aluno entenda o conceito de vetor. No andamento da aplicação da sequência, foi importante a elaboração de revisões, ainda que pontuais, de determinados assuntos que os alunos já tinham visto em séries ou bimestres anteriores, porém que precisavam de uma compreensão mais aprofundada.

4.2 Relato de Aplicação da UEPS – do Campo Magnético à Indução Eletromagnética

A sequência didática aplicada em sala de aula se desenvolveu em etapas organizadas em aulas e tempo de aplicação correspondentes, conforme o quadro 3.

Quadro 3 – Etapas da UEPS e respectivo tempo de aplicação

	ETAPA DA UEPS	NÚMERO DE AULAS (DE 45 MIN)	TEMPO (min)
1	Atividades iniciais	2	90
2	Situações-problema iniciais	2	90
3	Aprofundando e revisando o conhecimento	3	135
4	Novas situações-problema	1	45
5	Aprofundando o conhecimento	4	180
6	Questionário final	1	45
7	Avaliação da própria UEPS	1	45
8	Avaliação da aprendizagem	-	-
	Total:	14	630 min \equiv 10,5 h

Fonte: Elaborada pelo autor.

O planejamento inicial das aulas previa que a aplicação duraria 9 horas ao todo. No decorrer das aulas, entretanto, algumas etapas ficaram um pouco longas, haja vista que cada uma foi ajustada ao tempo de duração das aulas. Há que se observar, contudo que as 9 horas constituíam apenas um referencial para o docente, além do que a extrapolação não foi excessiva, durando ao todo 10,5 h, excetuando-se a avaliação da aprendizagem.

4.2.1 Atividades Iniciais

No primeiro encontro com os estudantes as *atividades iniciais* consistiram na apresentação do tema de estudo, a teoria eletromagnética – do campo magnético à indução eletromagnética –, e na apresentação de vários experimentos de caráter qualitativo, com o intuito de chamar a atenção dos alunos para a realidade física, concreta e lúdica, e os estimular à aprendizagem.

Esta etapa contou com a presença do professor Carlos Machado³⁶, que dialogou e compartilhou seus conhecimentos com os estudantes. Os experimentos

³⁶ Prof. Dr. Carlos Jose Freire Machado (orientador) – Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA).

qualitativos de física foram distribuídos na sala de aula, em mesas e carteiras à frente da lousa onde os alunos podem manuseá-los livremente. Os experimentos foram:

- Canudos de plástico, vidro, plásticos, ebonite e papel para eletrização por atrito;
- Papel e limalha de ferro para visualização do campo magnético;
- Ímãs e eletroímãs e pilhas;
- Bússola;
- Eletroscópio de folha;
- Dínamo;
- Motor elétrico didático e fonte de energia;
- Bobina de tesla e lâmpada fluorescente;

Neste primeiro momento, não adentramos em aspectos conceituais dos fenômenos físicos observados, nos limitamos a explicar sobre os elementos que compõem os experimentos, assim como suas funcionalidades. Deste modo, os experimentos qualitativos serviram como organizadores prévios, contribuindo para um caminho pedagógico entre o saber já consolidado e o saber a consolidar, induzindo os alunos a reorganizarem seus esquemas mentais em novos esquemas, criando, deste modo, um modelo mental que lhes permitissem compreender essa relação – entre campo elétrico, campo magnético e corrente elétrica – de forma mais fundamentada.

No intuito de se fazer uma sondagem sobre os conhecimentos prévios dos discentes, aplicamos no encontro subsequente um questionário inicial. Dentro deste aspecto declarativo, ressaltamos aos alunos que esta atividade não se avaliaria em termos de certo ou errado, mas que serviria de base para ajustar os próximos passos do plano de ensino, conforme as observações realizadas. Esta atividade foi composta de um questionário com 7 itens abertos (apêndice B) sobre os seguintes assuntos:

- Carga elétrica e portadores de carga elétrica;
- Ímãs, polos e monopolo magnético;
- A relação entre magnetismo e corrente elétrica.

Para finalizar esta etapa inicial, propusemos atividades extraclases aos alunos assistirem a um vídeo sobre campo magnético³⁷ (Stoodi, 2014).

Para compor avaliação formativa, orientamos os alunos a elaborarem um mapa conceitual sobre esta vídeo aula e devolverem no próximo encontro. Esta etapa da UEPS durou cerca de 1 hora e meia, equivalente a dois tempos de aula.

4.2.2 Situações-problema Iniciais

Nesta segunda etapa da sequência (segundo encontro), apresentamos situações-problema, que foram dialogadas com os discentes. Levamos alguns dos experimentos apresentados na etapa anterior, para que, conforme as perguntas surgissem, pudéssemos nos valer destes para respondê-las. Procuramos responder as dúvidas dos alunos em relação aos fenômenos físicos, contextualizando-os com fatos do dia a dia do estudante, proporcionando o refinamento conceitual necessário ao posterior aprofundamento da teoria, porém sem transformar esta etapa em aula expositiva. Retomamos uma discussão acerca dos mapas conceituais elaborados – sobre campo magnético – fazendo um breve “tira-dúvidas”. Nesta aula, trabalhamos as seguintes situações-problema:

- Você consegue imaginar como seria o mundo sem a tecnologia que utiliza a eletricidade? Na sua concepção, os motores de veículos movidos a combustíveis fósseis serão substituídos por motores elétricos? Você enxerga esta tendência?
- O que vem à sua mente quando ouve falar em campo? Você saberia dizer semelhanças e diferenças entre os campos magnético, elétrico, gravitacional?
- O que vem à sua mente quando ouve falar em força elétrica e em campo elétrico? E em força magnética / campo magnético?
- Sabe-se que ímãs possuem campo magnético. Esta é a única maneira de se obter um campo magnético?
- É possível separar o polo Sul do polo Norte de um mesmo ímã?

³⁷ <https://www.youtube.com/watch?v=qt1zEVh3nSs> (Stoodi, 2014).

- O campo elétrico e o campo magnético possuem alguma relação? Qual é a relação entre cargas elétricas e campo elétrico / campo magnético? Tem alguma condição para que isso aconteça?
- Na sua concepção, o que é corrente elétrica? Para que serve?

Com estas situações, estabelecemos diálogo, interagimos com os alunos, no fito de estes desenvolverem predisposição para aprender, manifestando suas dúvidas, suas contribuições. Após estas situações-problema iniciais, solicitamos que cada aluno explicasse para o colega ao lado o mapa conceitual elaborado, como relacionaram o que está sendo estudado dentro de uma estrutura hierárquica conceitual do Eletromagnetismo. Esta etapa da UEPS durou cerca de 90 minutos – dois tempos de aula.

4.2.3 Aprofundando e Revisando o Conhecimento

Nesta etapa – terceiro encontro –, o Eletromagnetismo foi abordado como um produto da história humana, desde os gregos, passando por Gilbert, Maxwell até o século XX. Neste percurso histórico, discorreremos sucintamente sobre a estrutura básica da matéria. Este conhecimento é a base para que o aluno entenda, na sequência, os processos de eletrização.

Em seguida, levamos um experimento, o eletroscópio de folhas, para fazer uma revisão de tópicos já trabalhados ou, ao menos, tangenciados na etapa anterior, para discorrer sobre carga elétrica e os processos de eletrização, bem como levamos ímãs e limalha de ferro para visualizar o campo magnético. A opção pelo experimento foi no sentido de estimular o estudante a expor suas dúvidas a partir de um objeto concreto.

Na sequência, apresentamos em um vídeo o experimento de Oersted para estabelecer a relação entre campo magnético e corrente, abordamos o conceito de campos, com ênfase no campo elétrico e no campo magnético, suas origens em cargas elétricas, na corrente elétrica e em materiais com propriedades magnéticas, seus modelos de representação e, adicionalmente, como se dá a interação das forças e campos atuantes, explorando suas semelhanças e diferenças.

Como suporte ao aprendizado – aprofundamento –, indicamos aos alunos a leitura do texto “Conceitos físicos fundamentais sobre o estudo do campo à indução

eletromagnética” (ver seção 3.1 do apêndice A desta dissertação). Como atividade para avaliação formativa, foi proposto aos alunos assistir a um vídeo sobre a história do Eletromagnetismo e elaborar um texto sobre seu entendimento acerca da aula. Delimitamos que esta tarefa fosse feita em até uma lauda. Esta etapa da UEPS teve, aproximadamente, 2 horas e 15 min de duração, ou seja, 3 tempos de aula.

4.2.4 Novas Situações-problema

As situações-problema exploradas nesta etapa da UEPS, quarto encontro, foram em nível de complexidade maior do que as situações já apresentadas. O foco destas situações-problema foi estabelecer a relação entre o campo elétrico e o campo magnético. Para isso, debatemos sobre os experimentos apresentados no início da sequência didática, o que nos possibilitou verificar se os alunos entenderam o que foi explicado, se os alunos compreenderam a relação entre corrente elétrica e magnetismo no experimento de Oersted, se compreenderam a relação entre campo magnético e força magnética no motor elétrico.

Para facilitar a interação, levamos alguns experimentos para a sala de aula, dínamo, ímãs e eletroímã, possibilitando ao aluno manusear, desmontar, montar, testar os experimentos, respondendo aos questionamentos feitos. Enquanto explorávamos os experimentos, trabalhamos as seguintes situações-problema:

- Pensando-se no experimento de Oersted, no qual a corrente flui pelo fio condutor, se for estabelecida uma corrente elétrica atravessando uma bobina, quais efeitos podem ser observados?
- A quantidade de voltas na bobina causa algum tipo de efeito no campo magnético?
- Você sabe o que é um eletroímã? Saberá dizer alguma aplicação prática?
- Quando um ímã se aproxima ou se afasta de uma bobina causa algum efeito/alteração na corrente elétrica? Se sim, quais?
- Que efeitos da variação do fluxo de um campo magnético você consegue perceber ao movimentarmos uma bobina em um campo magnético?
- Uma bobina, ao atravessar um campo magnético, causa alguma alteração no circuito ao qual está ligada a bobina? No caso de resposta positiva, quais?

Em seguida, objetivando-se retomar alguns dos conceitos e proposições sobre Eletromagnetismo já estudados, foi proposto como atividade para casa que os alunos acessassem o simulador *Phet Colorado*³⁸ sobre a Lei de Faraday e expusessem na aula seguinte suas dúvidas.

Esta etapa da UEPS durou cerca de 45 minutos – um tempo de aula.

4.2.5 Aprofundando o Conhecimento

Esta etapa, quinto e sexto encontro, se constituiu de algumas aulas expositivo-dialogadas, no fito de aprofundar conhecimentos no âmbito da interrelação da corrente elétrica com campos magnéticos e com bobinas. Explanamos sobre o conceito de fluxo de um fluido no intuito de preparar terreno para a introdução do conceito de fluxo de um campo magnético. Na sequência, fizemos breve revisão do conceito de potencial elétrico, logo em seguida, adentramos nas ideias de fluxo eletromagnético, do sentido da corrente, conforme a regra de Lenz e, por fim, da Lei de Faraday da Indução Eletromagnética.

A abordagem foi feita, primeiramente, de forma conceitual, isto é, explicando os fenômenos, suas condições, possíveis aplicações, grandezas físicas envolvidas, para, só depois, explorar os elementos de matemática, como intensidades, relações entre as grandezas vetoriais envolvidas, unidades de medida e suas conversões, culminando na Lei da Indução de Faraday, com ênfase em seus aspectos qualitativos.

Na sequência, exploramos os elementos de matemática. Resolvemos, com os alunos, um problema envolvendo a Lei de Faraday – verificamos com eles os dados do problema, estratégias de resolução.

Por fim, repassamos aos alunos o texto intitulado “Experimento de Oersted e experimento de Faraday – Para compreender a relação entre corrente elétrica e campo magnético” (ver seção 3.2 do apêndice A desta dissertação), com vistas a que o aluno exercitasse seu poder de compreensão textual.

Para complementar este aprofundamento de estudos, elaboramos e repassamos para os alunos pequenas videoaulas³⁹ com duração de até 10 minutos

³⁸ https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/faradays-law

³⁹ A princípio as aulas foram repassadas via link do google drive e, posteriormente, postadas no Youtube.

sobre alguns temas que exigiram mais atenção do aluno, para que assistissem, estudassem e revisassem extraclasse:

i. Aula sobre o campo magnético e o experimento de Oersted:

<https://www.youtube.com/watch?v=1VucAD7vXok> .



ii. Aula sobre a Lei de Faraday, a regra de Lenz e o simulador *Phet Colorado*:

<https://www.youtube.com/watch?v=cpmPeCYa68U> .



iii. Aula sobre o fluxo magnético e a Lei de Faraday:

https://youtu.be/_R1ZD91feHs .



Solicitamos que elaborassem um mapa mental sobre as aulas. Esta etapa da UEPS durou cerca de 3 horas – 4 aulas de 45 minutos.

4.2.6 Questionário Final

Nesta etapa da UEPS, sétimo encontro, planejada para não ultrapassar 45 minutos, os alunos foram submetidos a uma avaliação somativa mediante um questionário final, como método de aquisição de dados para verificação posterior da hipótese fundamental da aplicação da sequência didática da UEPS – a assimilação dos conceitos ensinados foi substancial. Este questionário final foi feito com base nos assuntos abordados. Elaboramos o questionário (ver apêndice C) com base nos seguintes tópicos:

- Relação entre corrente elétrica e campo magnético;
- Comportamento do campo magnético no solenoide atravessado por corrente elétrica;

- Relação entre fluxo magnético e corrente induzida;
- Relação entre o movimento de um ímã e o sentido da corrente em uma espira circular – regra de Lenz;
- Fluxo magnético e Lei de Faraday.

4.2.7 Avaliação da Própria UEPS

Com a turma, dialogamos sobre a aplicação da UEPS, verificamos se eles aprovaram o método de ensino, se lhes foi proveitosa a atividade. Ouvimos sugestões de melhoria para reformular a UEPS para possíveis utilizações futuras do método, na mesma turma abordando novos conteúdos, ou em outras turmas.

Este passo permite ao docente aperfeiçoar sua metodologia, o que pode ser feito, *v.g.*, ampliando ou reduzindo o tempo de alguma etapa, adicionando ou retirando algum tópico, contextualizando melhor alguma parte, elaborando melhoria da transposição didática no que concerne aos experimentos para um nível mais facilmente assimilável pelos estudantes, inserindo novas aplicações tecnológicas, inserindo, modificando ou retirando algum item dos questionários, assim como alguma atividade etc. Esta etapa durou 45 minutos de aula.

4.2.8 Avaliação da Aprendizagem na UEPS

Sem a presença dos alunos, neste passo da UEPS, avaliamos a aprendizagem durante a aplicação da sequência didática. Com base na avaliação somativa e na avaliação formativa, analisamos e discutimos sobre os resultados no aspecto ensino-aprendizagem fazendo uma análise qualitativa que usou elementos estatísticos assim como proporcionou uma categorização dos dados.

Para avaliar a UEPS, concentramos esforços na análise qualitativa das respostas obtidas no questionário inicial e no final, subsidiada pelo uso do software *Iramuteq*, o qual possibilita verificar a frequência com que determinadas palavras incidem nas respostas dadas, criação de nuvens de palavras, grafos; análise de similitude, classificação hierárquica descendente e análise fatorial de correspondência, entre outros recursos.

A partir das informações organizadas e geradas pelo software o conjunto de dados pôde ser categorizado, de forma a obter uma compreensão contextualizada

do processo ensino-aprendizagem, tendo sempre em perspectiva a Teoria da Aprendizagem Significativa de modo a poder inferir resultados e tecer conclusões sobre a aprendizagem em sala de aula

4.3 Relato de Observações do Professor durante a Aplicação da UEPS e Avaliação Formativa

As observações ao longo das aulas foram registradas por escrito pelo docente, às vezes durante a aplicação, às vezes após. Ressalta-se que estas observações visaram contemplar a avaliação formativa, a qual ocorreu de maneira contínua nas etapas de aplicação da UEPS, oportunizando ao docente convenientemente interagir por meio do diálogo com os alunos, trabalhando no sentido de ajudar os alunos na compreensão das questões mais relevantes abordadas em sala. Conforme Bloom, Hastings e Madaus (1983, p. 22):

a avaliação formativa, como o próprio nome indica, intervém durante a formação do aluno, e não quando se supõe que o processo chegou a seu término. Ela indica as áreas que necessitam ser recuperadas, de forma que o ensino e o estudo imediatamente subsequentes possam ser realizados de forma mais adequada e benéfica.

Assim, a avaliação formativa também cumpre a função de possibilitar ao docente melhorar suas aulas, torná-las mais compreensíveis e, por conseguinte, proporcionando maior benefício ao aluno. Mas para isso, é necessário que o aluno queira interagir, expor suas dúvidas, seu pensamento. Neste plano, “toda avaliação formativa baseia-se na aposta bastante otimista de que o aluno quer aprender e deseja ajuda para isso, isto é, que está pronto para revelar suas dúvidas, suas lacunas, suas dificuldades de compreensão da tarefa” (Perrenoude, 1999, p. 151).

4.3.1 Principais Questionamentos e Observações

Durante a primeira discussão acerca das situações-problema, destacamos as seguintes observações:

- Em geral, os alunos gostam dos experimentos apesar das dificuldades de entenderem como funcionam;
- Fazem muitas perguntas, algumas partindo, não raramente, de pressupostos incorretos, contudo procuramos encorajá-los na persecução de uma resposta mais adequada;
- Relataram dificuldades para diferenciar força de campo;
- Dificuldades para diferenciar fenômenos magnéticos de fenômenos eletrostáticos. Um aluno, ao ver a experiência da eletrização por atrito – canudo e papel – acreditava que se devia a algum tipo de magnetização;
- Uma pergunta bastante pertinente foi sobre quais as semelhanças entre campo magnético e campo gravitacional. Para sanar, de posse do projetor de imagens, mostramos uma imagem do planeta e uma representação de seu campo gravitacional, e uma outra imagem que mostrava o planeta e seu campo magnético. Exploramos semelhanças e diferenças, principalmente em relação às forças relacionadas e às origens de cada campo;
- A pergunta anterior deu margem para que outro aluno perguntasse ao que se deve a interação magnética⁴⁰, ao que optamos por uma resposta simplificada, relacionada à inseparabilidade dos polos magnéticos de um ímã;
- Ainda durante primeira etapa de situações-problema, um aluno perguntou se o canudo atritado no papel grudou na parede devido à temperatura – “porque esquentou”. Esta pergunta, provavelmente, deve-se à ideia de associar atrito com calor, conforme se estuda nas aulas sobre transformação/ conservação da energia.
- Durante a aplicação do questionário inicial, alguns alunos alegaram que nunca haviam estudado sobre campo magnético, ao que respondemos que, em parte, o que eles já haviam estudado sobre campo elétrico em bimestres anteriores os ajudaria, bem como já haviam tido contato com o assunto no

⁴⁰ Uma explicação interessante poderia ser por meio de uma analogia entre o movimento de translação da Terra ao redor do Sol e seu movimento de rotação em torno de seu eixo. Na translação, tem-se um momento angular e na rotação também se tem um momento angular (de spin). Sabe-se que cargas elétricas aceleradas produzem campo magnético. Pode-se entender que ao movimento do elétron na eletrosfera tem-se um momento magnético e ao elétron cabe um momento magnético de spin. Mas ainda assim, não seria uma resposta satisfatória, visto que o átomo possui vários elétrons e o momento magnético de um pode “compensar” o de outro - spins opostos. Devido a essa dificuldade, optamos por não adentrar à explicação neste sentido.

ensino fundamental nas aulas de ciências, e que, além do mais, o objetivo era verificar seus conhecimentos prévios.

Durante a primeira aula expositivo-dialogada, as seguintes observações foram realizadas:

- Houve alunos que perguntaram se se tratava de uma revisão, pois já haviam estudado sobre campo elétrico, ao que respondemos que a ideia seria, a princípio, explorar o conceito de campo de maneira geral e, desta maneira, perpassaríamos pelo estudo do campo elétrico, campo gravitacional (este sem tanta ênfase), culminando no campo magnético.
- Uma pergunta interessante foi – “qual a diferença entre o motor elétrico e o motor de um carro?”. Ao que procuramos explicar partindo-se do fato de que, enquanto no motor à combustão, temos processos termodinâmicos; no motor elétrico, temos fenômenos eletromagnéticos. Para facilitar a explicação e o entendimento, nos valem de um modelo didático de motor elétrico constituído de espira retangular rotacional entre dois ímãs fixos.

Na nova etapa de situações-problema, algumas dúvidas surgidas durante a aula foram:

- “Por que só com o prego que funciona o eletroímã e com outro material, como alumínio e vidro não funciona?”. Este tipo de pergunta demonstra a curiosidade dos alunos em relação aos diferentes tipos de materiais. Apesar da pergunta ser pertinente, sua explicação requer conhecimentos mais aprofundados. Contudo, explicamos, em suma, que é aos elétrons nos átomos que se deve o campo magnético, que um campo magnético, mais intenso ou menos intenso, deve-se ao alinhamento dos campos em cada átomo, que, como o alumínio não é um metal ferromagnético, por este motivo não tem propriedades magnéticas consideráveis.
- Outro questionamento elaborado por alunos foi – “em relação ao dínamo, por que o ímã parado não faz a lâmpada acender?”. Esta questão está mais relacionada ao objetivo da sequência didática, pois ela já procura explorar o objetivo precípua, qual seja, explicar o fenômeno da indução

eletromagnética. Nesta oportunidade, aproveitamos para contextualizar a relação entre magnetismo e corrente elétrica.

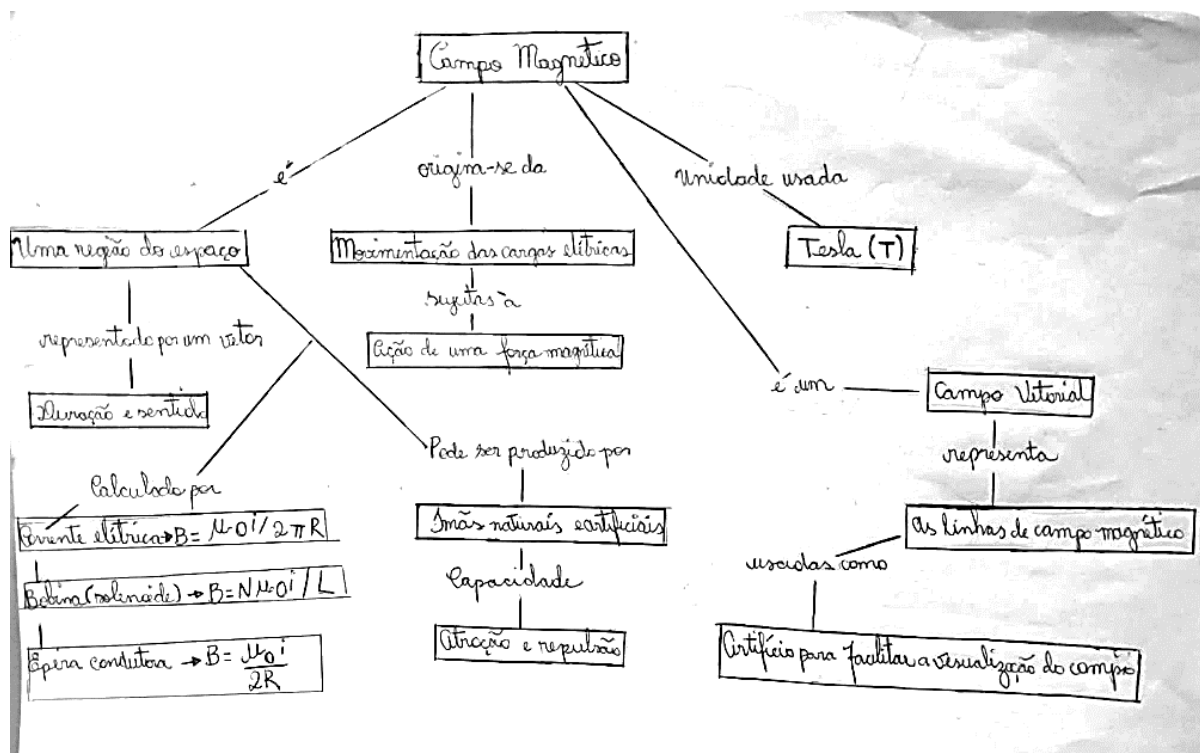
Na segunda etapa de aprofundamento – segunda aula expositivo-dialogada, percebemos que alguns estudantes não entendiam a Lei de Lenz, isto, devido à dificuldade com vetores e orientação no sentido horário e anti-horário. Contudo, gostaram do simulador *Phet Colorado* sobre a Lei de Faraday; alegaram que a aula se tornou mais dinâmica e que tal simulador os ajudou a compreender melhor o funcionamento do dínamo, assim como as ideias acerca de fluxo magnético e sua variação. Também gostaram das videoaulas, pois tal material os possibilitaria revisar o que já foi estudado, bem como reforçar o que foi aprendido.

4.4 Sobre os Mapas Conceituais Elaborados pelos Alunos

Dentre as atividades propostas aos alunos na sequência didática destacamos os mapas conceituais mostrados nas figuras 7 e 8, propostos como atividade na etapa 1 da UEPS. As orientações para elaboração do mapa conceitual foram sucintas. Foi explicado basicamente o que é um mapa conceitual, para que serve e qual a diferença em relação a mapas mentais – estes já conhecidos pela maioria.

O docente enfatizou que “mapa conceitual correto não existe. Cada mapa é um mapa, uma representação externa de quem o fez” (Moreira, 2017, p. 179). Ou seja, como há uma intrínseca dependência da maneira como cada estudante interpreta os conceitos e os aplica em uma situação, por conseguinte existem inúmeras formas de representar o conhecimento em uma estrutura conceitual. Esta concepção deixou os alunos mais tranquilos ao elaborar a atividade.

Figura 7 – Mapa conceitual elaborado por aluno

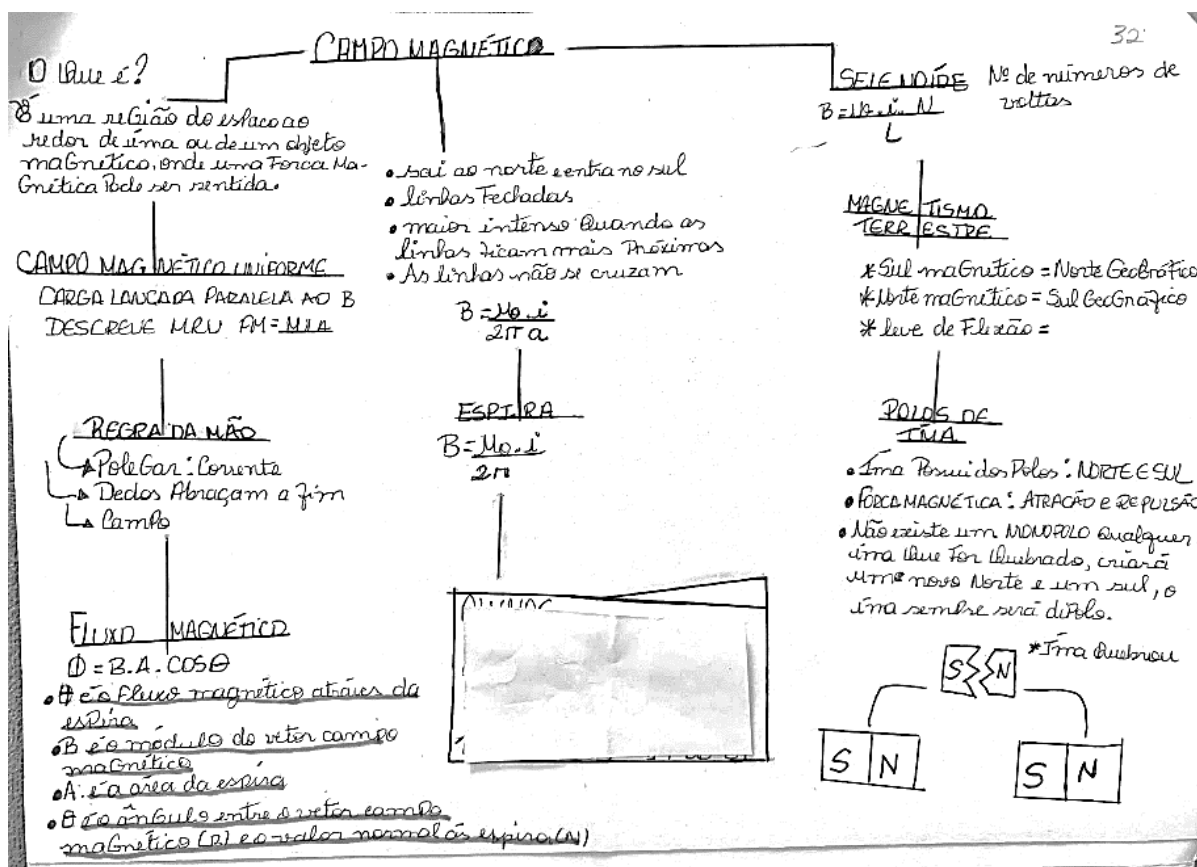


Fonte: Acervo do autor.

O aluno que elaborou o mapa acima colocou a necessária centralidade no conceito de campo magnético, bem como, subordinado ao campo, definiu e comentou sobre sua origem e, além disso, escreveu sobre o cálculo do campo magnético nas principais configurações de condutores estudadas. Confundiu-se ao escrever corrente elétrica no lugar de condutor retilíneo, no canto inferior esquerdo do mapa.

Já o mapa elaborado por outro aluno, conforme a figura 8, é mais abrangente. Centralizou o campo magnético. Abordou sua origem, intensidade do campo magnético nas principais configurações estudadas, além de falar da inseparabilidade dos polos e sobre o fluxo magnético.

Figura 8 – Mapa conceitual elaborado por aluno



Fonte: Acervo do autor.

Alguns alunos desenvolveram os mapas conceituais na escola, enquanto outros fizeram em suas casas. Alguns foram devolvidos para serem refeitos, pois não estavam de acordo com as orientações.

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo elabora-se análise da avaliação somativa, a qual ocorre subsidiada pela utilização de software de análise lexicográfica. Destaca-se que tanto a avaliação formativa quanto a somativa possuem sua importância e seu lugar durante o processo avaliativo da UEPS. Contudo, para os fins a que se propõe este trabalho, opta-se pela verificação da mudança conceitual evidenciada por meio de palavras-chave obtidas dos questionários aplicados, em busca de indícios de aprendizagem significativa.

No âmbito da pesquisa qualitativa, o presente capítulo engendra esforços em analisar e interpretar os resultados obtidos a partir dos questionários inicial e final, os quais foram aplicados durante a implementação da UEPS em sala de aula. Para prospectar evidências de aprendizagem significativa vale-se do software Iramuteq⁴¹ como uma poderosa ferramenta de processamento de dados, mais especificamente para se analisar os *corpora* textuais - termo que se refere ao texto já preparado para a análise.

O Iramuteq teve sua origem na França e foi desenvolvido por Pierre Ratinaud em 2009, é alicerçado no software estatístico R, bem como na linguagem de programação Python. A princípio este software possuía interface unicamente em francês vindo, posteriormente, a ser adaptado também para o português. Para a análise elaborada nesta pesquisa trabalha-se com a versão 0.7 alpha 2.

5.1 Análise de Dados Qualitativa auxiliada pelo Iramuteq

Segundo Yin (2016), a análise de dados qualitativa perpassa algumas etapas, as quais são a compilação dos dados, decomposição, recomposição, interpretação e conclusão. O referido autor ressalta a importância de realizar uma análise reflexiva completa, visto que, em se tratando da utilização de *software* de análise qualitativa, em cada etapa do processo é necessário fornecer instruções e, ao mesmo tempo, manter-se vigilante em relação ao caminho analítico próprio – sua metodologia de trabalho que, no caso desta investigação, trata-se de compatibilizar a

⁴¹ Do francês *Interface de R pour les Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires* – que se traduz para Interface R para análises multidimensionais de textos e questionários.

análise realizada pelo Iramuteq com a metodologia de avaliação da UEPS. Segue a descrição de cada fase.

5.1.1 Compilação

Foi realizada a transcrição das respostas aos questionários aplicados em um arquivo único no formato *docx*. Posteriormente, conforme procedimento descrito por Salviati (2017), eliminou-se formatações e caracteres especiais como negrito, itálico, hífen, aspas. Palavras como ar-condicionado foram escritas como *ar_condicionado*, trocando-se o hífen pelo *underline*. Desta maneira, o software entende como uma palavra única.

Contudo, pelo fato de o formato *docx* possuir codificação incompatível é necessário converter o texto para o padrão UTF-8 (Unicode), o qual, conforme Deitel (2017) possui como vantagem ser uma codificação universal dos caracteres e símbolos utilizados em todo o mundo. Por fim, segue-se com a importação do *corpus* textual pelo Iramuteq.

5.1.2 Decomposição

Em seguida foi inserida em cada texto individual e cada item respondido do questionário a *linha estrela e temática*, conforme roteiro de Salviati (2017). Verificou-se que o *corpus* textual ainda continha palavras com incorreções gramaticais, ao que, efetuou-se estas correções. Outras palavras não possuíam correspondência no dicionário interno do Iramuteq, ao que este atribuiu o rótulo “nr” (do francês, *non reconu*, não reconhecido). Quando conveniente e necessário procedeu-se com a inserção destas palavras no dicionário do Iramuteq⁴².

5.1.3 Recomposição

Esta etapa, conforme Yin (2016), envolve o uso de temas substantivos para rearranjar os fragmentos das notas originais. Na análise do *corpus* textual foi definido

⁴² Geralmente o dicionário, no Windows, está no *patch* C:\Program Files (x86)\Iramuteq\dictionnaires\lexique_pt.txt.

que as formas gramaticais do tipo substantivo, adjetivo, verbo e pronome possuem grau de importância mais elevado do que artigos, numerais e números. Desta maneira, faz-se uma categorização de cada palavra, atribuindo-se 0 às que serão eliminadas, 1 às formas ativas (mais importantes) e 2 às formas suplementares. Assim, produz-se uma *redução lexical*, focalizam-se as palavras que podem ser consideradas as mais relevantes para o estudo.

5.1.4 Interpretação dos dados

Yin (2016, p. 185) preleciona que esta fase compreende “o uso do material decomposto para criar uma nova narrativa, com tabelas e gráficos quando pertinentes, que se tornarão a parte analítica fundamental (...)”. O Iramuteq produz diversas tabelas e gráficos como – dendrograma no qual se expressa a Classificação Hierárquica Descendente (CHD), nuvem de palavras, grafos de similitude e gráfico de análise fatorial de correspondência (AFC). Por meio da observação de padrões dos arquivos de saída do software, bem como de outras observações do pesquisador quando da aplicação do texto base do Iramuteq, desenvolve-se a interpretação dos dados.

5.1.5 Conclusão

Por fim, “esta fase exige a extração de conclusões de todo o seu estudo. Tais conclusões devem estar relacionadas à interpretação na quarta fase e, por meio dela, a todas as outras fases do ciclo.” (Yin, 2016, p. 185). Observe-se que estas fases são recursivas entre si, ou seja, não ocorrem necessariamente de modo linear.

5.2 Descrição dos *Corpora* Textuais

Os *corpora* textuais referem-se aos questionários inicial e final aplicados em duas turmas de terceiro ano do Ensino Médio, modalidade regular, turno matutino, de escola da rede pública do Estado do Pará na cidade de Santarém. O questionário inicial foi aplicado a 61 alunos, enquanto o questionário final foi respondido por 54

alunos. Os questionários aplicados possuem apenas questões do tipo abertas, isto é, não são de múltipla escolha.

5.2.1 Estatísticas do *Corpus* Textual das Respostas ao Questionário Inicial da UEPS

Note-se que o software elabora automaticamente a classificação das formas ativas em substantivo, adjetivo, verbo. Sabe-se que para definir se é adjetivo ou substantivo é necessário verificar o contexto na oração, contudo, tal distinção não se revela importante na presente análise, pois ambas as classes gramaticais são enquadradas como formas ativas, portanto, com o mesmo peso.

No *corpus* textual do questionário inicial preparado para análise há 61 textos, correspondendo à mesma quantidade de alunos, nos quais tem-se 7239 palavras⁴³, as quais, pelo procedimento de *redução lexical*⁴⁴, são reduzidas para 570 formas – entre ativas e suplementares. Também se observa 210 hápax – palavras que aparecem uma única vez no *corpus*. No quadro 4 exemplifica-se as dez formas ativas com maior frequência nas respostas ao primeiro questionário.

Quadro 4 – Formas ativas com maior frequência no questionário inicial

#	Formas ativas	Frequência	Classificação gramatical
1	polo	219	subst.
2	elétrico	214	adj
3	ímã	187	subst.
4	carga	105	subst.
5	norte	104	subst.
6	magnético	88	adj
7	corrente	88	subst.
8	sul	73	subst.
9	repulsão	68	subst.
10	atrair	67	ver

Fonte: Adaptado dos resultados do Iramuteq.

O resultado desta estatística condiz com o esperado, pois os termos mais utilizados revelam conhecimentos prévios (subsunçores) compatíveis com o que um estudante em vias de conclusão do Ensino Médio já deve saber, já que, ainda na etapa

⁴³ O Iramuteq denomina cada palavra de ocorrência.

⁴⁴ Ver seção 5.1.3.

anterior do ensino básico costuma-se ter contato com rudimentos de magnetismo, o que engloba saberes sobre como funciona um ímã, ou o que são polos magnéticos, ou o que acontece se se quebrar um ímã.

5.2.2 Estatísticas do *Corpus* Textual das Respostas ao Questionário Final da UEPS

Por sua vez, no *corpus* do questionário final há 54 textos, cada texto corresponde à resposta de um estudante, nos quais tem-se 5538 palavras, as quais, pelo procedimento de *redução lexical*⁴⁵ são reduzidas para 684 formas. Observa-se 299 hápax. No quadro 5, as formas ativas mais frequentes no questionário aplicado ao final da sequência.

Quadro 5 – Formas ativas com maior frequência no questionário final

#	Formas ativas	Frequência	Classificação gramatical
1	magnético	172	adj
2	fluxo	140	subst.
3	campo	107	subst.
4	ímã	69	subst.
5	movimento	69	subst.
6	área	67	subst.
7	corrente	65	subst.
8	nulo	50	subst.
9	bobina	47	subst.
10	aumentar	46	ver
11	bússola	45	subst.

Fonte: Adaptado dos resultados do Iramuteq.

No questionário acima, os estudantes já demonstram ter entendimento de conceitos físicos mais avançados, pois conseguem estabelecer relações entre termos como magnético, fluxo, campo, ímã e os demais termos elencados. Isto evidencia, como era de se esperar, conhecimentos compatíveis com um aprendizado sobre indução eletromagnética, dado que os termos mais frequentes constituem o cerne desta temática.

⁴⁵ Ver seção 5.1.3.

Figura 10 – Nuvem de palavras do questionário final



Fonte: Elaboração automática do Iramuteq.

Este recurso possui grande apelo visual, porquanto proporciona que facilmente se observe quais palavras são mais utilizadas, o que está intrinsecamente ligado à representatividade destas no *corpus* textual, assim como sugere que as palavras em destaque constituem o cerne do que os estudantes aprenderam.

5.4 Análise de Similitude

Conforme Vergès e Bouriche (2001), a análise de similitude ou ainda, de similaridade, foi desenvolvida na década de 60 por Claude Flament no contexto do desenvolvimento de interfaces entre as ciências humanas e matemática. Ainda consoante os autores:

(...) combinando sua prática de análises estatísticas e as possibilidades abertas pela matemática discreta, ele inventou a Análise de Similaridade. Era necessário um “transmissor” para que a análise dos dados não ficasse reduzida ao labirinto da análise vetorial. (Vergès e Bouriche, 2001, p. 2) (Tradução nossa⁴⁶).

⁴⁶ “(...) associant sa pratique des analyses statistiques et les possibilités ouvertes par les mathématiques du discret, il invente l’Analyse de Similitude. Il fallait un “passeur” pour que l’analyse des données ne se réduise pas au labyrinthe de l’analyse vectorielle” (Vergès e Bouriche, 2001, p. 2).

A análise de similitude⁴⁷ possibilita verificar como as diversas palavras de um texto estão ligadas, se possuem afinidade, isto é, se elas transmitem ideias mais próximas ou mais distantes. Para isto utiliza-se de um grafo do tipo árvore, no qual as palavras são representadas nos vértices da árvore.

Vergès e Bouriche (2001, p. 2, Tradução nossa⁴⁸) argumentam que “A análise de similitude tem a grande qualidade de não eliminar o analista das diferentes fases da análise. Em nenhum momento lhe são oferecidos os resultados de uma caixa preta.” Ainda conforme os autores:

Pelo contrário, a análise de similitude exige que o analista tome decisões em cada etapa do processo. Oferece descrições que devem ser validadas e às vezes podem até ser contraditórias à primeira vista. Em seguida, leva o analista a encontrar sua interpretação na intersecção de duas informações diferentes. (Vergès, P. e Bouriche, 2001, p. 2, Tradução nossa⁴⁹).

Assim, observe-se que esta análise fornece descrições acerca de um *corpus* textual, não dá uma resposta pronta. Requer-se que o pesquisador interprete, por exemplo, verificando a centralidade de algumas palavras, suas frequências, suas semelhanças, suas conexões, por qual motivo estão próximas ou distantes na representação no grafo.

Para ilustrar a análise de similitude realizada pelo Iramuteq, considere a figura 11, a qual contém na sua primeira linha e na sua primeira coluna vértices numerados de 1 a 6. Observe que o vértice 1 e o vértice 2 possuem uma relação de similaridade de 12, enquanto o vértice 1 com o vértice 4 não possuem relação de semelhança.

⁴⁷ Para um aprofundamento na compreensão do algoritmo da análise de similitude, recomenda-se a leitura de VERGÈS, P., BOURICHE, B.. *L'analyse des données par les graphes de similitude*. Auxerre Cedex: Sciences Humaines. 2001. Disponível em: <https://www.scienceshumaines.com/textesInedits/Bouriche.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2024.

⁴⁸ “*L'analyse de similitude a la grande qualité de ne pas éliminer l'analyste des différentes phases de l'analyse. A aucun moment il lui est proposé les résultats d'une boîte noire*”. (Vergès, P. e Bouriche, 2001, p. 2).

⁴⁹ “*Au contraire l'analyse de similitude demande à l'analyste de prendre des décisions à chaque étape de la démarche. Elle propose des descriptions qui doivent être validées et peuvent même être quelque fois contradictoires à première vue. Elle pousse alors l'analyste à trouver son interprétation au croisement de deux informations différentes*”. (Vergès, P. e Bouriche (2001, p. 2).

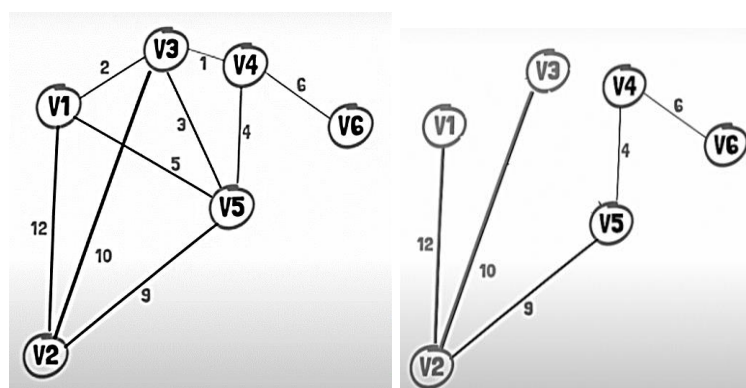
Figura 11 – Quadro representativo de similaridades

	V1	V2	V3	V4	V5	V6
V1	x	12	2	0	5	0
V2		x	10	0	9	0
V3			x	1	3	0
V4				x	4	6
V5					x	0
V6						x

Fonte: Vasconcelos (2021).

Conforme explicação de Vasconcelos (2021), a partir da figura 11 pode-se construir um grafo, primeiramente plotando os vértices e ligando-os por linhas os que possuem alguma relação de similaridade e, em seguida, anotando-se nas linhas o valor da similaridade. Por este procedimento chega-se ao grafo mostrado na figura 12, lado esquerdo.

Para otimizar as relações de similaridade utiliza-se a técnica de árvore máxima, a qual consiste em, a cada triângulo formado eliminar-se a linha com o menor valor de similaridade e proceder-se da mesma maneira em relação a qualquer ciclo fechado formado, consoante explicação de Vasconcelos (2021). Com isto, obtém-se a árvore máxima, conforme mostrado na figura 12, lado direito.

Figura 12 – À esquerda, grafo representativo do quadro da figura 11 e à direita a árvore máxima correspondente

Fonte: Vasconcelos (2021).

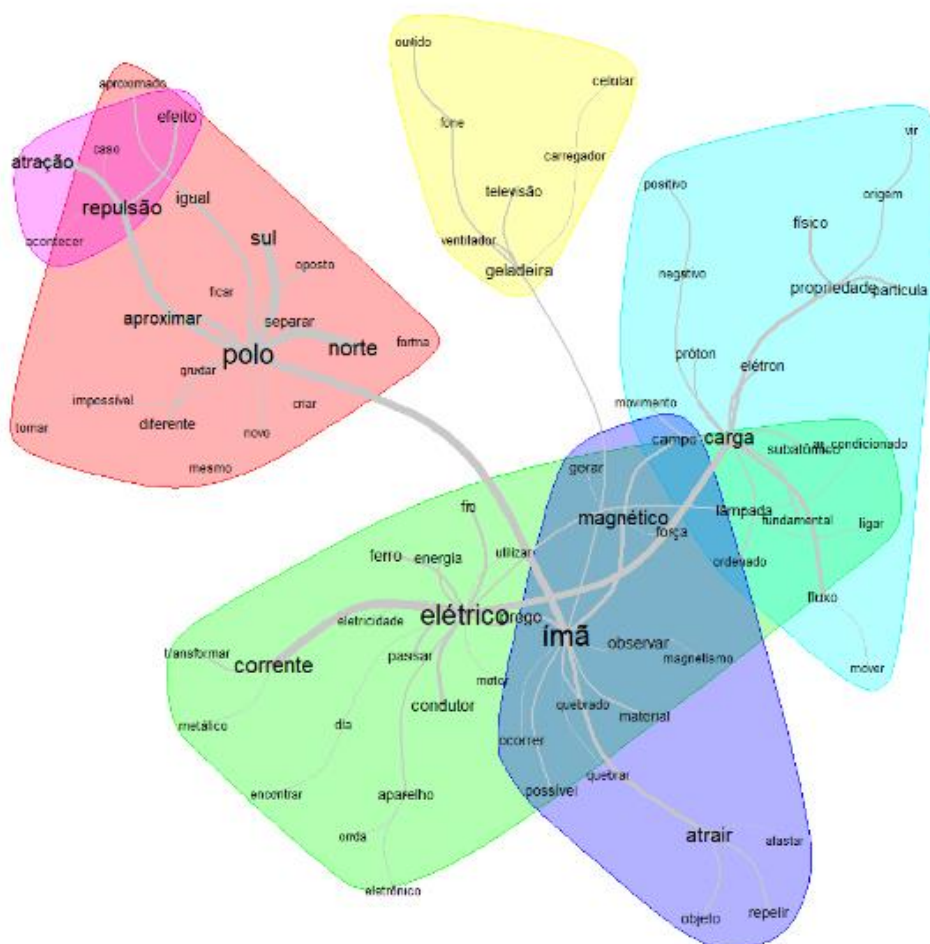
Pelo procedimento anteriormente descrito, no *corpus* textual o Iramuteq estabelece a segmentação do texto. E, em um quadro em que os vértices são as

Diferentemente da nuvem de palavras, em que tão somente considera-se a frequência e a centralidade, no grafo apresenta-se também como as palavras estão ligadas, subordinadas, relacionadas pelo parâmetro da co-ocorrência.

O grafo ficou bastante representativo das respostas ao questionário inicial, destacando a centralidade de palavras como “polo, elétrico, ímã, carga, corrente”. Verifica-se que “elétrico” está diretamente relacionado com “corrente, carga e ímã”. A ímã está diretamente relacionado “polo, elétrico, magnético, geladeira, atrair”, mas apenas indiretamente ligado a corrente.

No grafo da figura 14 lança-se mão do recurso “halo e comunidades”, opções de saída do grafo no software. Estas opções trazem como diferencial agrupar as palavras em cores, facilitando que se verifique similitudes e diferenças. Conforme o grafo da figura 14, é possível ver-se seis comunidades, suas relações e suas interseções.

Figura 14 – Grafo de análise de similitude referente ao *corpus* das respostas ao questionário inicial com destaque em cores para as comunidades



Fonte: Elaborado pelo Iramuteq.

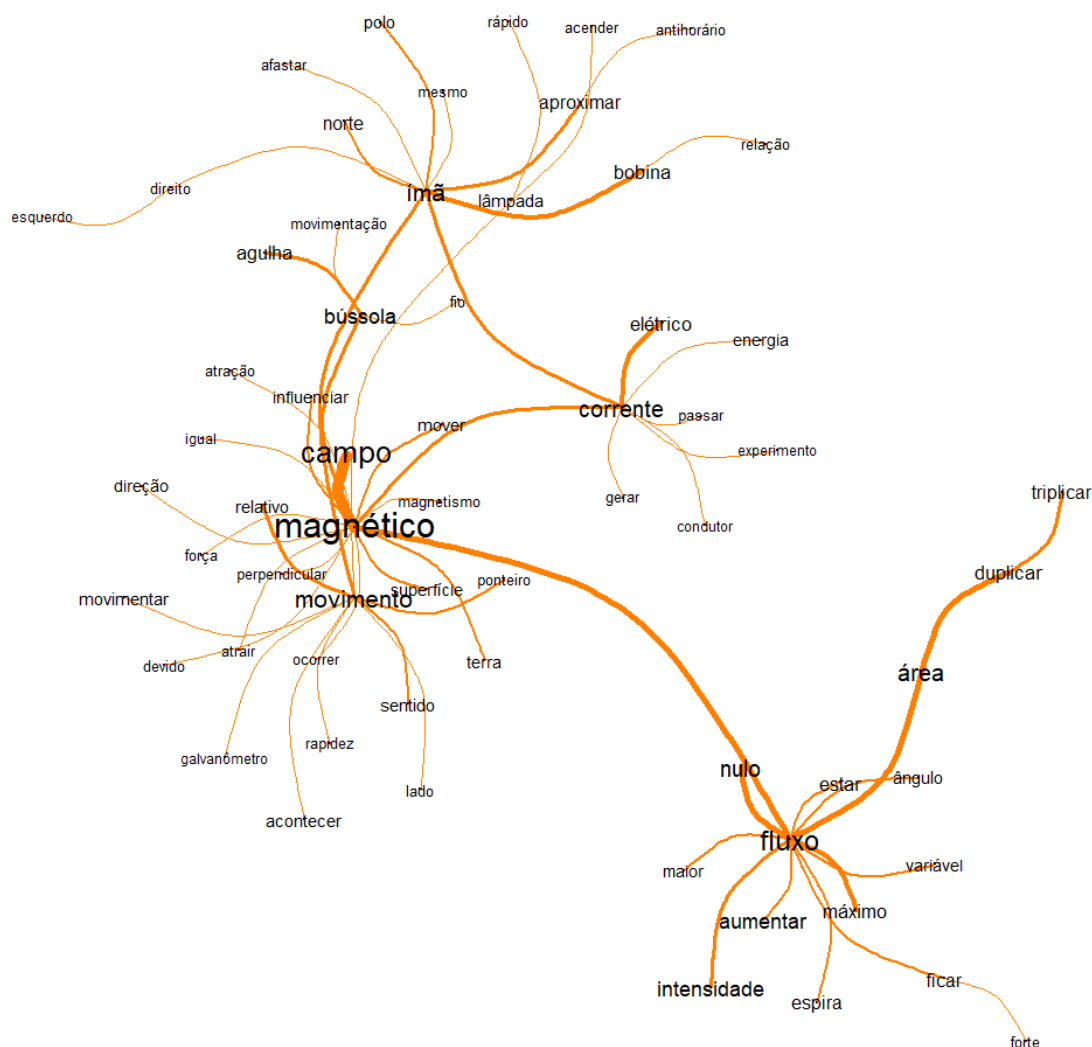
Observe-se que a comunidade em amarelo não possui interseções com as outras comunidades, porquanto seu conteúdo também é distinto, visto que se refere basicamente a aparelhos eletroeletrônicos, os quais funcionam à eletricidade. Já os grupos centrados em “elétrico” e “ímã” aparecem com maior interseção, o que demonstra a interrelação entre o elétrico e o magnetismo – Eletromagnetismo.

Pode-se inferir que os conhecimentos prévios dos estudantes demonstram tanto a interação com os novos conhecimentos, como sua transformação no decorrer da aplicação da sequência, produzindo-se, de modo geral, um aperfeiçoamento conceitual no decorrer das aulas.

5.4.2 Análise de Similitude dos *Corpora* Textuais referentes às Respostas ao Questionário Final

Para elaborar o grafo mostrado na figura 15 foram utilizadas apenas formas ativas com frequência maior do que 10, totalizando 64 palavras. Percebe-se que há uma centralidade nas formas “campo, magnético, movimento, ímã, corrente e fluxo”, das quais há fortes relações de co-ocorrências entre si. Tais relações demonstram que os estudantes estabelecem relações de forma não arbitrária e não literal, posto que os termos em destaque e suas interrelações estão no núcleo do estudo da indução eletromagnética, constituindo as principais variáveis deste fenômeno físico.

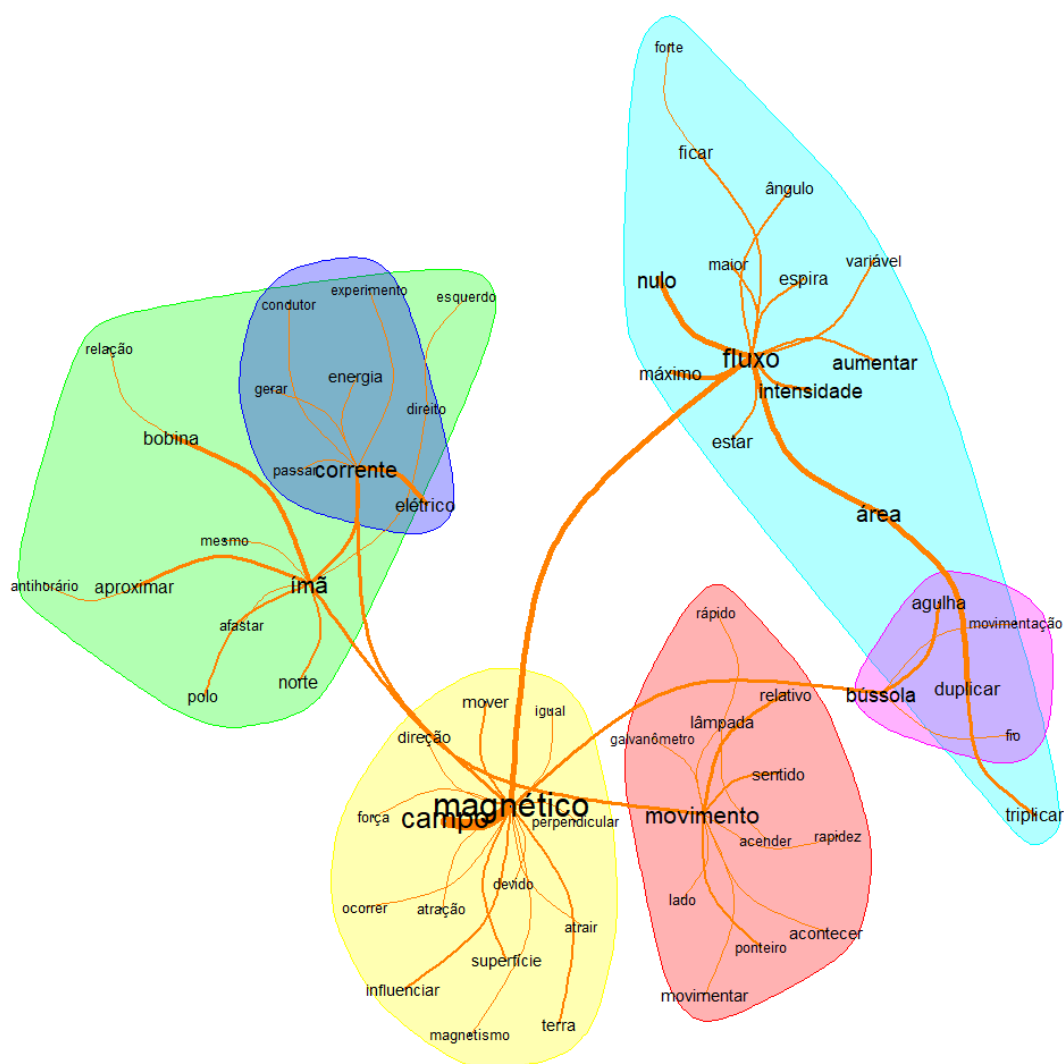
Figura 15 – Grafo de análise de similitude referente ao *corpus* das respostas ao questionário final



Fonte: Elaborado pelo Iramuteq.

Elabora-se, na figura 16, um grafo de similitude com seis comunidades realçadas em cores, o que facilita verificar que há uma intersecção entre a comunidade centralizada em “corrente” e a centralizada em “ímã”, o que vai ao encontro ao que o aluno deve aprender, a relação corrente elétrica – magnetismo. Observa-se que à comunidade centrada em campo magnético os outros grupos subordinam-se.

Figura 16 – Grafo de análise de similitude referente ao *corpus* das respostas ao questionário final com destaque em cores para as comunidades



Fonte: Elaborado pelo Iramuteq.

5.5 Classificação Hierárquica Descendente

Conforme Camargo e Justo (2013), a Classificação Hierárquica Descendente (CHD) - método proposto por Max Reinert no ano de 1990 - é uma técnica empregada para classificar partes de texto de acordo com seus vocabulários. Ainda conforme os autores, o conjunto de segmentos de texto é dividido considerando a frequência das formas reduzidas. A respeito da CHD⁵⁰, Reynert (1983, p. 187) discorre que:

⁵⁰ Para um aprofundamento na compreensão do algoritmo da CHD recomenda-se a leitura de “*Une méthode de classification descendante hiérarchique : application à l’analyse lexicale par contexte*”,

(...) se os indicadores são palavras, o seu significado depende, em parte, do contexto. Além disso, procuramos um procedimento que, inicialmente, permite ao usuário agrupar esses indicadores polissêmicos em classes características de determinados contextos. Estes agrupamentos permitirão então constituir o que chamamos de "indicadores de contexto" cujo significado é mais preciso e que, conseqüentemente, todos provavelmente estarão associados a hipóteses de conteúdo mais bem definidas. (Tradução nossa⁵¹).

A CHD é obtida por meio da utilização do algoritmo *alceste*⁵², o qual integra o Iramuteq. O algoritmo “permite a classificação de fragmentos de texto segundo um procedimento que desvenda as utilizações mais contrastadas das *palavras plenas* ali contidas” (Lima, 2008, p. 95). Desta maneira, o Iramuteq elabora uma CHD na qual se observa as classes em uma representação da estrutura hierárquica conhecida como dendrograma.

Em geral, percebe-se que as classes agrupam palavras que possuem algo em comum, o que cabe ao pesquisador interpretar o porquê de ali estarem, assim como permite observar a distinção em relação ao agrupamento de palavras de outras classes. Pelos ramos do dendrograma pode-se observar a ligação entre as classes, quais estão semanticamente próximas e quais estão distantes. Neste plano, Laura Lima (2008) destaca que “o vocabulário de uma classe caracteriza um tipo de contexto, chamado por Reinert de “campo contextual”(...) , que depende da maneira específica pela qual um *corpus* particular é constituído e das suas regras de elaboração.

5.5.1 Classificação Hierárquica Descendente do *Corpus* Textual das Respostas ao Questionário Inicial da UEPS

Para a elaboração da CHD referente ao questionário inicial, o programa segmentou os 61 textos em um total de 411 partes, das quais classificou 373, que

artigo no qual Max Reynert descreve detalhadamente o referido algoritmo. Disponível em: http://www.numdam.org/article/CAD_1983__8_2_187_0.pdf.

⁵¹ “(...) *si les indicateurs sont des mots, leur sens dépend, pour une part, du contexte. Aussi, nous avons recherché une procédure qui, dans un premier temps, permette à l'utilisateur de regrouper ces indicateurs polysémiques dans des classes caractéristiques de certains contextes. Ces regroupements lui permettront alors de constituer ce que nous avons appelé des "indicateurs de contexte" dont le sens est plus précis et qui, par conséquent, sont susceptibles d'être associés à des hypothèses de contenu mieux définies.*” Reynert (1983, p. 187).

⁵² Sigla com origem em: *Analyse Lexicale par Contexte d'un Ensemble de Segment de Texte* (Sousa et al).

equivale a 90,75%, o que é considerado um bom indicador, pois supera 75%, conforme recomendações de Camargo e Justo (2021). No dendrograma tem-se a porcentagem de formas referentes a cada classe, em que se verificou o resultado mostrado no quadro 6.

Para produzir uma *redução lexicográfica* maior, o programa também elabora uma lematização, que consiste em tornar equivalentes certas formas ativas que sofreram flexão de gênero e/ou número, por exemplo, magnético, magnéticos, magnética e magnéticas. Ou ainda, verbos e suas flexões, como exemplo, acontece, acontecerá, aconteceria, são considerados formas equivalentes.

Quadro 6 – Porcentual de representatividade em cada classe da CHD para o questionário inicial

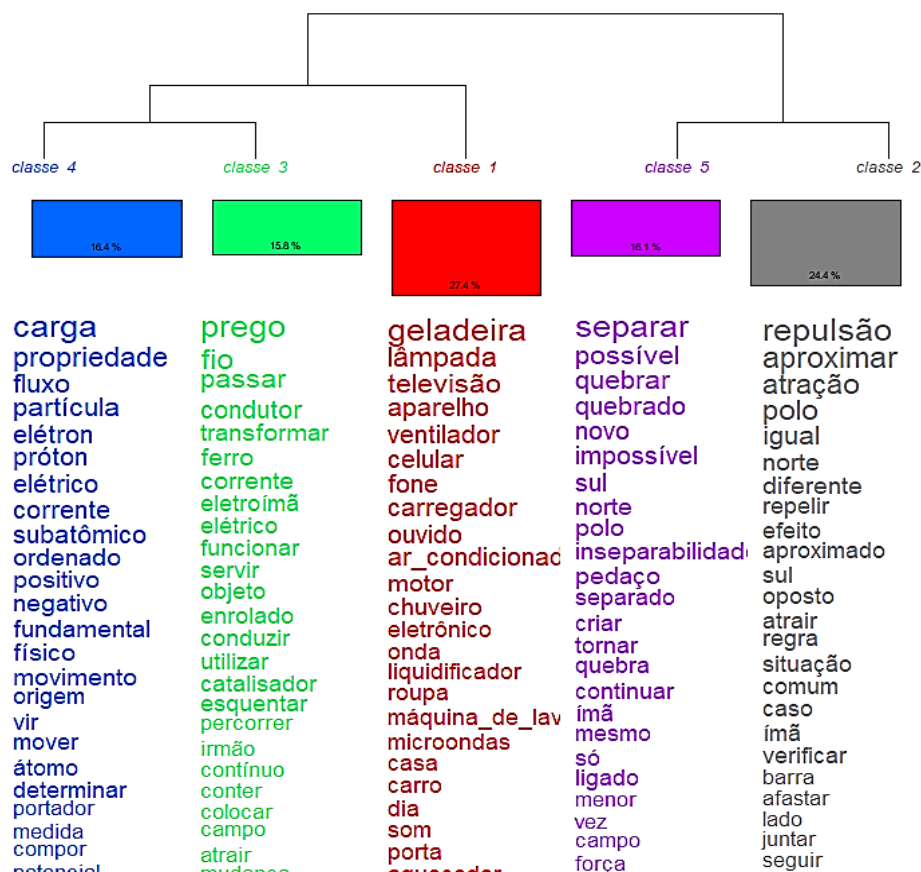
Classe	Representatividade na CHD	Segmentos de texto
classe 1	27,4%	102
classe 2	24,4%	91
classe 3	15,8%	59
classe 4	16,4%	61
classe 5	16,1%	60

Fonte: Dados produzidos pelo Iramuteq.

Esta análise tem como objetivo identificar similaridades entre o vocabulário das classes e, paralelamente, evidenciar vocabulário distinto dos segmentos pertencentes a outras classes, segundo proposições de Camargo e Justo (2021).

Desta maneira, observa-se que nas cinco classes da CHD (figura 17) evidenciam-se aspectos distintos do Eletromagnetismo. Tendo-se em vista que o questionário inicial tem o fito de sondar acerca dos conhecimentos prévios dos estudantes, destaca-se que as classes 2 e 5, derivadas do mesmo ramo do dendrograma, totalizando 40,5 % dos segmentos, referem-se basicamente ao ímã, objeto conhecido pela totalidade dos alunos. Essas duas classes ressaltam propriedades do ímã – atração, repulsão, referindo-se ao conceito de força. Também se destaca nestas classes as palavras – polo, sul, norte, possível, impossível, quebrar, os quais são termos bem específicos que fazem clara referência à inseparabilidade dos polos magnéticos.

Figura 17 – Dendrograma representativo da CHD referente ao questionário inicial



Fonte: Elaboração automática pelo Iramuteq.

Por sua vez as componentes das classes 1, 3 e 4 apresentam diferença notável em relação às das classes 2 e 5, porquanto possuem origem em ramos distintos do dendrograma. Há um destaque na classe 4 para “carga elétrica, partícula, elétron, negativo, próton, positivo, corrente”, que são termos ligados ao conceito de carga elétrica e ao conhecimento da estrutura atômica básica. Estes temas costumam ser estudados ainda no ensino fundamental, o que os fez preponderar na CHD. Por sua vez, a classe 3 evidencia as palavras prego, fio, condutor, corrente, eletroímã – evidenciando-se o eletroímã e seus componentes. Por fim, na classe 2 destaca aparelhos elétricos do dia a dia.

Pode-se inferir que a CHD representa satisfatoriamente o *corpus* analisado, em conformidade as perguntas do questionário inicial (ver apêndice B), porquanto abrange os efeitos do magnetismo e da eletricidade, a compreensão da estrutura fundamental de um átomo, a inseparabilidade dos polos magnéticos e o funcionamento dos eletroímãs.

5.5.2 Classificação Hierárquica Descendente do *Corpus* Textual das Respostas ao Questionário Final da UEPS

Já para a CHD do questionário final, os 54 textos foram convertidos em 212 segmentos, dos quais 172 foram classificados, ou seja, 81,1%, o que, conforme Camargo e Justo (2021), considera-se um bom índice, pois superior a 75% (quadro 7).

Quadro 7 – Porcentual de representatividade nas classes da CHD do questionário final

Classe	Representatividade na CHD	Segmentos de texto
classe 1	17,4%	30
classe 2	23,3%	40
classe 3	25,6 %	44
classe 4	15,7 %	27
classe 5	18,0 %	31

Fonte: Adaptado do Iramuteq.

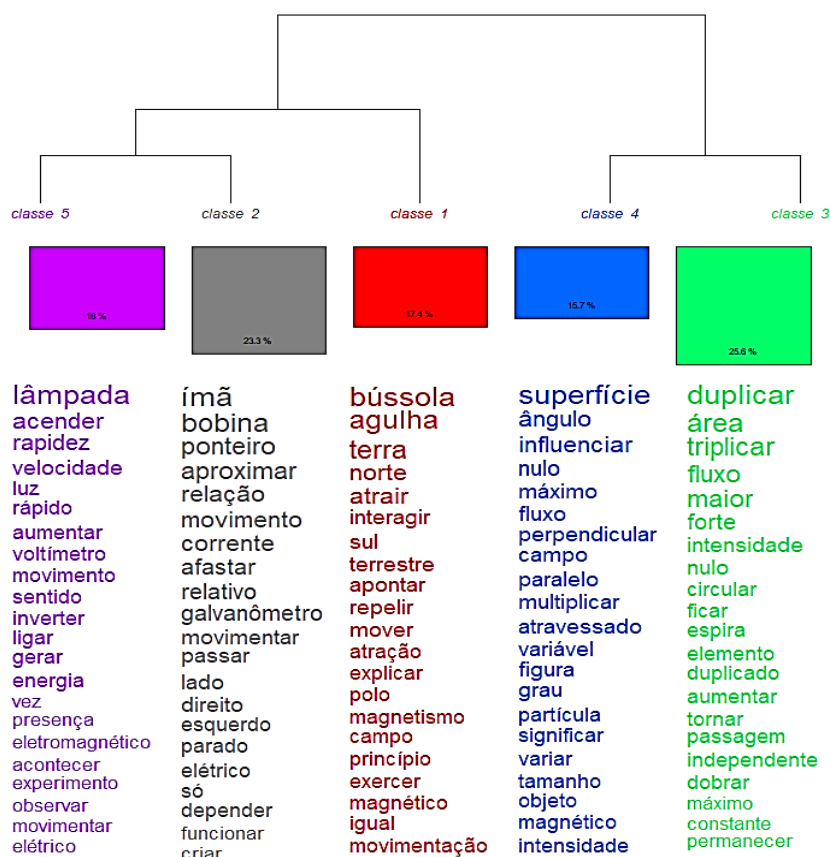
A CHD da figura 18 demonstra que as classes 3 e 4, com origem no mesmo ramo do dendrograma, totalizando 41,3% dos segmentos, possuem afinidade, visto que, entre os vocábulos utilizados destacam-se superfície, ângulo, área e fluxo, os quais estabelecem nítida relação com o fluxo magnético, tema central do estudo, porquanto sua variação indica a existência de indução eletromagnética.

As componentes das classes 3 e 4 revelam um contraste em relação às das classes 1, 2 e 5, as quais totalizam 58,7% dos segmentos, dado que as classes 2 e 5 fazem alusão não ao fluxo, mas a fatores como lâmpada – que indica a passagem de corrente, ímã como objeto que é a origem de um campo magnético e bobina, a qual ao aproximar um campo magnético produz uma variação do campo magnético, e por consequência do fluxo. A classe 1 relaciona-se basicamente com a bússola e suas propriedades.

Comparando-se com o questionário inicial, nota-se que houve uma mudança conceitual. Em parte, esta mudança é um reflexo da natureza do próprio questionário, que possui questões mais específicas. Contudo, há um refinamento conceitual que é decorrência da própria aprendizagem, visto que a CHD deu destaque a termos bem mais técnicos, também em conformidade com o esperado, visto que o questionário final foi elaborado para explorar o experimento de Oersted – e como a corrente elétrica

atravessando um fio condutor faz surgir ao seu redor um campo magnético –, bem como o experimento de Faraday da indução, e como o movimento de um ímã em relação a uma bobina, faz variar o fluxo magnético, produzindo, por consequência, uma corrente elétrica induzida.

Figura 18 – Dendrograma representativo da CHD referente ao questionário final



Fonte: Elaboração automática pelo Iramuteq.

5.6 Análise fatorial de correspondência (AFC)

Conforme Matos e Rodrigues (2019), “a análise fatorial (AF) é utilizada para investigar os padrões ou relações latentes para um número grande de variáveis e determinar se a informação pode ser resumida a um conjunto menor de fatores”. Assim, na análise fatorial de correspondência objetiva-se estabelecer como grupos de variáveis (categorias) são formadas por meio das interrelações entre essas variáveis.

Como produto da aplicação da AFC, obtém-se um gráfico de dispersão no plano cartesiano, ou ainda no plano tridimensional, em que se deve realizar a análise interpretativa das variáveis plotadas - surge a questão subjetividade/ objetividade da

análise deste gráfico. Para exemplificar, se no gráfico de dispersão as variáveis mostram-se espalhadas demais, torna-se necessário reelaborar as perguntas, com vistas ao aperfeiçoamento que produzirá categorias mais distintas. Deste modo, verifica-se que o pesquisador detém certo poder de influir no resultado, o que, mostra-se não como artifício de subjetividade, mas como operação necessária à maximização da objetividade da análise.

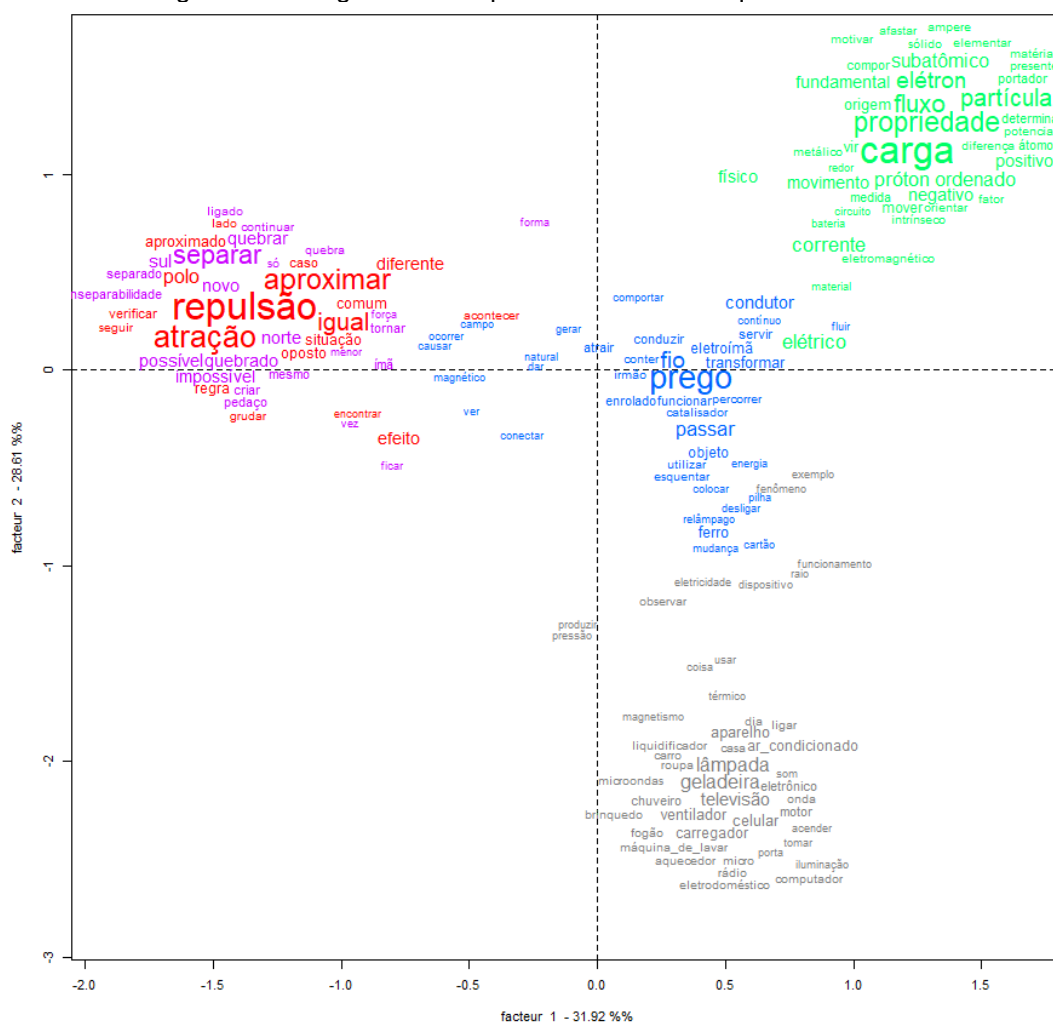
No gráfico de dispersão da AFC analisa-se a partir do critério “distância”. Destarte, as variáveis ou agrupamentos podem estar, *v.g*, próximos no eixo vertical e horizontal, próximos no eixo vertical e longe no horizontal (e vice-versa), entre outras possibilidades.

5.6.1 Gráfico de Dispersão referente às Respostas ao Questionário Inicial da UEPS

No gráfico de dispersão para os fatores 1 e 2, observado na figura 19, nota-se a formação de quatro agrupamentos distintos, em que cada um deles contém variáveis que estão intrinsecamente relacionadas. Desta maneira, este padrão indica que o grupo superior à esquerda com centro em “repulsão, atração, aproximar” encontra-se em oposição ao grupo do quadrante inferior à direita, centralizado nas palavras “lâmpada, geladeira, televisão”, visto que em essência o conteúdo deste aponta os objetos do cotidiano que utilizam-se de eletricidade para funcionar, enquanto naquele há destaque para propriedades ligadas à força magnética e à inseparabilidade dos polos.

No quadrante superior à direita destaca-se “carga, propriedade e partícula”, também em oposição aos dois quadrantes já citados. Observa-se também que, centralizado no gráfico de dispersão, encontram-se termos relacionados basicamente ao eletroímã e seus constituintes, o que demonstra que trata-se de um experimento integrador, haja vista que com ele possibilita-se explicar diversos aspectos dos fenômenos eletromagnéticos e, por conseguinte, estabelecer relações com os conteúdos dos outros quadrantes.

Figura 19 – Diagrama de dispersão referente ao questionário inicial

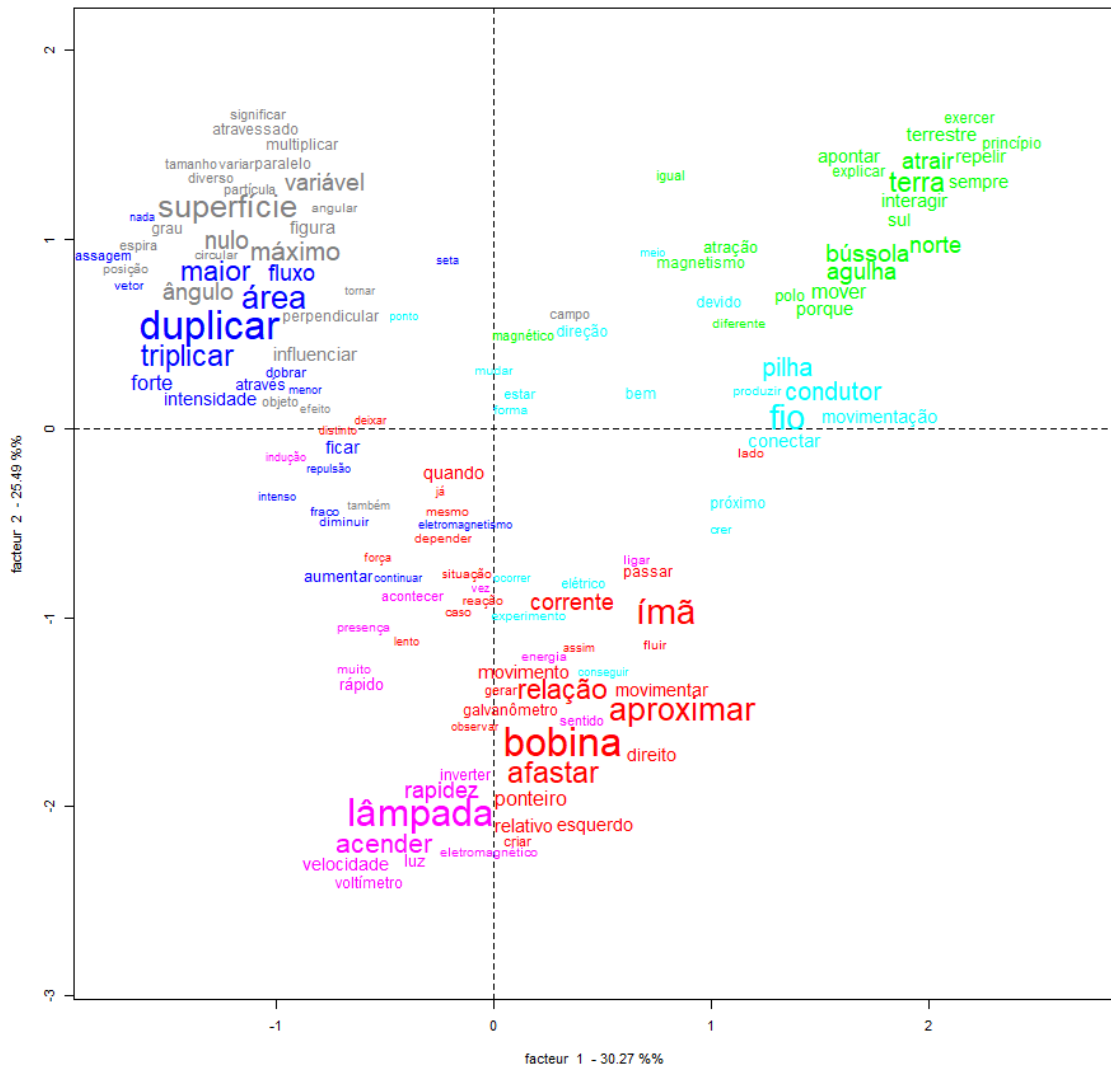


Fonte: Elaboração automática pelo Iramuteq.

5.6.2 Gráfico de Dispersão referente às Respostas ao Questionário Final da UEPS

Na análise das respostas ao questionário final, cujo resultado é mostrado no gráfico de dispersão figura 20, nota-se que as variáveis ficaram menos concentradas do que no questionário inicial, mostrando um contraste menor, ou seja, com conteúdos próximos. Contudo, ainda pode-se verificar que o agrupamento no quadrante superior esquerdo possui conteúdo sensivelmente diferenciado do grupo no quadrante inferior direito, o que de fato justifica-se, visto que, enquanto aquele centra-se em variáveis do fluxo magnético (fluxo, ângulo, área), este centra-se na movimentação do ímã e na bobina. No quadrante superior direito verifica-se elementos que fazem conexão com propriedades dos magnetos, assim como com o magnetismo terrestre e sua orientação sul, norte.

Figura 20 – Diagrama de dispersão referente ao questionário final



Fonte: Elaboração automática pelo Iramuteq.

Por derradeiro, as análises realizadas, ainda que utilizem métodos diversos, confluem para a conclusão de que há claros indícios de aprendizagem significativa. Isto corrobora a validade das abordagens utilizadas, indicando que os objetivos educacionais foram satisfatoriamente alcançados. Adicionalmente, destaca-se ao pesquisador/docente interessado em analisar, reproduzir ou dar continuidade a este trabalho, que não é imprescindível utilizar todos os instrumentos aplicados, basta selecionar aqueles que forem mais pertinentes e adequados ao seu contexto/objetivo de estudo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Espera-se que esta pesquisa seja de grande valia para docentes de Física e ciências, bem como que auxilie na melhoria do ensino de Eletromagnetismo, principalmente no ensino de fluxo e de indução eletromagnética.

Através da UEPS, oportuniza-se aos professores aperfeiçoar suas abordagens de ensino e oferecer aos alunos uma experiência de aprendizado mais significativa e efetiva, com fulcro em pesquisadores como David Ausubel, Bob Gowin, Gérard Vergnaud, Marco Antônio Moreira e outros.

Objetivou-se, com esta pesquisa, ajudar no desenvolvimento profissional dos docentes, visto que muitos desejam implementar métodos alternativos e mais eficazes de ensino. A abordagem baseada na Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira oferece um caminho que, embora desafiador, pode trazer resultados positivos.

Com a aplicação dos fundamentos da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, deve-se ter em mente que ela, por si só, não tem o condão de resolver todos os problemas no ensino de Física, pois estes perpassam não apenas a metodologia de ensino, mas diversas outras variáveis como a estrutura da escola, sua localização, nível de formação do docente, currículo e política educacional. Contudo, trata-se de metodologia consolidada e que indica um bom caminho para o docente seguir.

Consigna-se que, ao contrário do modelo comum, que se sustenta predominantemente na transmissão de conteúdo através de aulas narrativas, ao aderir à abordagem ausubeliana, o professor assume a posição de facilitador da aprendizagem, fazendo a ponte entre os conhecimentos pretéritos dos alunos com os novos conhecimentos a serem assimilados, com fulcro em princípios científicos bem estabelecidos.

Com as análises elaboradas com auxílio do Iramuteq corrobora-se que com a UEPS houve aprendizagem, principalmente quando se comparam os resultados referentes ao questionário inicial e final, demonstrando uma evolução conceitual. No mais, assim como qualquer metodologia, há seus pontos positivos e negativos. Contudo, esta sequência, no mínimo, proporcionou abordagem diferenciada da

tradicional, a qual, mecânica e repetitiva, se mostra ineficaz, porquanto não prioriza a aprendizagem do aluno, mas tão somente a narrativa docente.

Destarte, espera-se que os resultados trazidos pela análise feita no Iramuteq ensejem outros trabalhos na área da pesquisa educacional no ensino de Física e de outras ciências. Haja vista que os recursos de análise lexicográfica propiciam elementos de auxílio ao docente no tocante à percepção de evidências de aprendizagem significativa, contrastando-se com as costumeiras avaliações escolares feitas em termos de certo ou errado, balizando-se por respostas padrões, que o docente espera serem idênticas ao livro-base, instigando a memorização e mecanização do aprendido.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Ítalo D'Artagnan. **Metodologia do trabalho científico**. Recife: Ed. UFPE, 2021. (Coleção Geografia).

ALVES, Aldeíres de Sousa. **Discussão sobre conceitos de eletricidade para discentes da modalidade educação de jovens e adultos no Tocantins empregando uepss**. Dissertação – Universidade Federal do Tocantins, Araguaína, 2021.

ALVES, Fabiana Rigamonte. **Proposta de uma unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS) para ensino de indução eletromagnética**. Dissertação - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2023.

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

BACHELARD, Gaston. **A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento**. Tradução Esteia dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BARROSO, Marta F.; RUBINI, Gustavo; SILVA, Tatiana da. Dificuldades na aprendizagem de Física sob a ótica dos resultados do Enem. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 40, nº 4, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/WgC3RNzBBDDTDvdkrfYJfxHQ/#>. Acesso em: 10 de março de 2024.

MELLO, J. C. ;SANTOS, M. A. Sobre o Efeito Aharonov-Bohm. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 19,nº 4, p. 372, 1997. Disponível em: https://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v19_372.pdf. Acesso em: 07 de março de 2024.

BLOOM, Benjamin S.; HASTINGS, J. Thomas; MADDAUS, George F. **Manual de avaliação formativa e somativa do aprendizado escolar**. São Paulo: Biblioteca Pioneira de Ciências Sociais, 1983.

BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep). **Notas sobre o Brasil no Pisa 2022**. Brasil, 2022. Disponível em: https://download.inep.gov.br/acoes_internacionais/pisa/resultados/2022/pisa_2022_brazil_prt.pdf. Acesso em: 02 ago. 2022.

BRASIL. Conselho Nacional de Educação. **Revisão da Resolução CNE/CEB nº 3/97, que fixa Diretrizes para os Novos Planos de Carreira e de Remuneração para o Magistério dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios**. Parecer CNE/CEB Nº: 9/2009. Relatora: Maria Izabel Azevedo Noronha. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/pceb009_09.pdf. Acesso em 28 abr. 2024.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018. Disponível em:

www.basenacionalcomum.mec.gov.br/images/historico/BNCC_EnsinoMedio_embaixa_site_110518.pdf.

CAMARGO, Brígido Vizeu; JUSTO, Ana Maria. **Tutorial para uso do software de análise textual IRAMUTEQ**. Laboratório de Psicologia Social da Comunicação e Cognição - UFSC- Brasil, 73 p. 2021. Disponível em: http://www.iramuteq.org/documentation/fichiers/Tutorial%20IRaMuTeQ%20em%20portugues_22.11.2021.pdf

CASARIN, S. T.; PORTO, A. R.; GABATZ, R. I. B.; BONOW, C. A.; RIBEIRO, J. P.; MOTA, M. S. Tipos de revisão de literatura: considerações das editoras do Journal of Nursing and Health / Types of literature review: considerations of the editors of the Journal of Nursing and Health. **Journal of Nursing and Health**, v. 10, n. 5, 30 out. 2020.

CARVALHO JÚNIOR, Gabriel Dias de. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 19, n. 1: p. 53-66, abr. 2002. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/9294/14039>.

DEITEL, Paul. **Java: como programar**. Tradução Edson Furmankiewicz; revisão técnica Fabio Lucchini. -- São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2017.

DIAS, Valéria Silva; MARTINS, Roberto de Andrade. Michael Faraday: o Caminho da Livraria à Descoberta da Indução Eletromagnética. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 3, p. 517-530, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/QcVb9BJk6C4RycyjBbLLy3d/?format=pdf>. Acesso em: 02 out. 2024.

DUARTE, I. S. R; POLITO, A. M. M. Uma abordagem ausubeliana para o ensino do eletromagnetismo na interpretação causal. **Revista enseñanza de física**. vol.35. Nº.2 Cordoba, set. 2023. Disponível em: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S2250-61012023000200243&script=sci_arttext&tlng=pt.

EINSTEIN, Albert; LEOPOLD, Infeld. **The evolution of physics**. Ed. Cambridge: University Press, 1967.

EUZÉBIO, Geison João. **Motores elétricos como ideia âncora para a organização sequencial no ensino de eletricidade e magnetismo**. Dissertação - Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2019.

FEYNMAN, Richard P.; LEIGHTON, Robert B.; SANDS, Matthew. **Lições de física de Feynman [recurso eletrônico]** : edição definitiva, vol. 2. Tradução Elcio Abdalla, Cecília Bertoni Martha Hadler Chirenti, Mario Cesar Baldiotti. – Dados eletrônicos. – Porto Alegre : Bookman, 2008.

FUZARI, Alexsandro Fernandes. **Uma proposta de UEPS para o ensino de indução eletromagnética**. Dissertação – Universidade Federal do Espírito Santo, Cariacica, 2017.

GOMES, Gerson G., PIETROCOLA, Maurício. O experimento de Stern-Gerlach e o spin do elétron: um exemplo de quasi-história. In **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.33, 2604-1-2604-11, 2011.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GRIFFITHS, David J. **Eletrodinâmica**. 3ª edição, Pearson Edition, São Paulo, 2011.

INSTITUTO DE FÍSICA SÃO CARLOS. **Laboratório de Eletricidade e Magnetismo**. Universidade de São Paulo, 2010. Disponível em: <https://www.ifsc.usp.br/~strontium/Teaching/Material2010-2%20FFI0106%20LabFisicalll/11-LeidelInducaodeFaraday.pdf>. Acesso em: 24 abr. 24.

LIBÂNEO, José Carlos. **Didática**. Ed. Cortês. 1990.

LIMA, Laura Câmara. Programa Alceste, primeira lição: a perspectiva pragmatista e o método estatístico. **Revista de Educação Pública**. Cuiabá. v. 17, n. 33, p. 83-97 jan.-abr. 2008.

MARTINS, Roberto. O estudo experimental sobre o magnetismo na Idade Média, com uma tradução da carta sobre o magneto de Petrus Peregrinus. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 39, nº 1. 2016. Pág. 1. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/5XFSC9bZVY3ySKhbBL9dHHf/?lang=pt>. Acesso em:

MATOS, Daniel Abud Seabra; RODRIGUES, Erica Castilho. **Análise fatorial -- Brasília: Enap, 2019.**

MINAYO, Maria Cecília. O desafio da pesquisa social. In: MINAYO, M. C. S (Org.). **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. 21. ed. rev. atual. Petrópolis: Vozes, 2002.

MOREIRA, Ildeu de Castro. **As equações de Maxwell fazem 150 anos: descoberta ou construção?** Anais Eletrônicos do 14º Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia – 14º SNHCT. Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 2014. Disponível em: https://www.13snhct.sbhcc.org.br/resources/download/1422884477_ARQUIVO_IldeudeCastroMoreira3.pdf. Acesso em: 03 jul. 2024.

MOREIRA, Marcos Antônio. **Aprendizagem significativa: um conceito subjacente**. 1997. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigsubport.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2024.

MOREIRA, Marco Antônio. **Conferência proferida no II Encontro Nacional de Ensino de Ciências da Saúde e do Ambiente**, Niterói, RJ, 12 a 15 de maio de 2010 e no VI Encontro Internacional e III Encontro Nacional de Aprendizagem Significativa, São Paulo, SP, 26 a 30 de julho de 2010.

MOREIRA, Marco Antônio. **O que é afinal aprendizagem significativa**. Aula Inaugural do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais, Instituto de Física, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, MT, 23 de abril de 2010. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/oqueeafinal.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2024.

MOREIRA, Marco Antônio. Potentially Meaningful Teaching Units – PMTUS. (Unidades de Ensino Potencialmente Significativas –UEPSs). Publish in Spanish in the journal **Aprendizagem Significativa em Revista**, 2011, Vol. 1, N. 2, pp. 43-63. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/UEPSport.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2024.

MOREIRA, Marco Antônio. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2024.

MOREIRA, Marco Antônio. **Aprendizagem significativa em mapas conceituais**. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2013. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/v24_n6_moreira.pdf. Acesso em: 05 jan. 2024.

MOREIRA, Marco Antônio. **Ensino e aprendizagem significativa**. São Paulo: Ed. Livraria da Física, 2017.

MOREIRA, Marco Antonio. Desafios no ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. vol. 43, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/xpwKp5WfMJsfCRNFCxFhqLy/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 10 fev. 2024.

NEWTON, Roger. **From clockwork to crapshoot: a history of physics**. Harvard University Press, 2007.

NOVAK, Joseph D.; GOWIN, Bob. **Aprender a Aprender**. Lisboa: Plátano, 1996.

PERRENOUD, Philippe. **A avaliação entre duas lógicas: da excelência à regulação das aprendizagens**. Porto Alegre: Artmed Editora, 1999.

PIETROCOLA, Maurício. A matemática como estruturante do conhecimento físico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.19, n.1: p.89-109, ago. 2002. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/9297/8588>.

REITZ, John R., MILFORD, Frederick J., CHRISTY, Robert W. **Fundamentos da teoria eletromagnética**. Tradução da 3. edição original. Rene Balduino Sander, Carlos Duarte. Editora: Rio de Janeiro: Campus, 1982.

ROCHA, José Fernando Moura. O conceito de “campo” em sala de aula - uma abordagem histórico-conceitual. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 1, 1604, 2009.

ROCHA, José Fernando Moura. **Origem e evolução do curso de física, licenciatura, noturno, da Universidade Federal da Bahia : o caso das disciplinas**

física básica III e física básica IV. 711 f. Programa de pós-graduação em ensino, filosofia e história das ciências. Tese (doutorado) - Universidade Federal da Bahia, Instituto de Física. Universidade Estadual de Feira de Santana, 2014.

ROCHA, Márcio Oliveira da. **O conceito de campo no eletromagnetismo: uma unidade de ensino potencialmente significativa.** Dissertação - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015.

SALVIATI, Maria Elisabeth. **Manual do Aplicativo Iramuteq - versão 0.7 Alpha 2 e R Versão 3.2.3.** Anexo – Exemplo de uma aplicação. 2017. Disponível em: <http://www.iramuteq.org/documentation/fichiers/anexo-manual-do-aplicativo-iramuteq-par-maria-elisabeth-salviati>. Acesso em 10 de ago. de 2024.

SOUSA, Evie dos Santos; RODRIGUES, Márcio Alexandre dos Santos; ROCHA, Francisco Eduardo de Castro; MARTINS, Cíntia Ribeiro. **Guia de utilização do software Alceste: uma ferramenta de análise lexical aplicada à interpretação de discursos de atores na agricultura.** Planaltina, DF: Embrapa. Cerrados, 2009.

SILVA, Sergio Amaral da. **Uma unidade de ensino potencialmente significativa fundamentada nos três momentos pedagógicos para o ensino do fenômeno da indução eletromagnética no nível médio.** Dissertação - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2019.

STOODI. **Aula física - eletromagnetismo: campo magnético - stoodi.** YouTube, 15 de mai. de 2014. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=qt1zEVh3nSs>. Acesso em: 02 out. 2023.

TONIDANDEL, Danny Augusto Vieira; ARAÚJO, Antônio Emílio Angueth de; BOAVENTURA, Wallace do Couto. História da eletricidade e do magnetismo: da Antiguidade à Idade Média. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 40, p. e4602-2-e4602-8, 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v40n4/1806-9126-RBEF-40-04-e4602.pdf>. Acesso em: 20 de março de 2024.

VASCONCELOS, Alexandre Meira de. **Iramuteq 7 Árvore de Similitude.** YouTube, 27 de set. de 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=KWnaOAFjnx8&t=55s>.

VERGÈS, P., BOURICHE, B. **L'analyse des données par les graphes de similitude.** Auxerre Cedex: Sciences Humaines. 2001. Disponível em: <https://www.scienceshumaines.com/textesInedits/Bouriche.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2024.

XAVIER, Kélen da Silva. **O eletromagnetismo no ensino de ciências: uma proposta de utilização de unidades de ensino potencialmente significativas (UEPS).** Dissertação - Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2021

YIN, Robert K. **Pesquisa Qualitativa do início ao fim [recurso eletrônico]**.
Tradução: Daniel Bueno; revisão técnica: Dirceu da Silva. Porto Alegre: Penso, 2016.

APÊNDICE A — PRODUTO EDUCACIONAL



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 49

PRODUTO EDUCACIONAL

UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA - DO CAMPO
MAGNÉTICO À INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

CARLOS JOSE FREIRE MACHADO
MARCOS PATRICK SOUZA SILVA

SANTARÉM – PA
2024

APRESENTAÇÃO

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: **DO CAMPO MAGNÉTICO À INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA: APLICAÇÃO DE UMA UEPS**, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 49 – UFOPA, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Esse material educacional, elaborado pelos professores Carlos José Freire Machado e Marcos Patrick Souza Silva, destina-se aos docentes do Ensino Médio que pretendam abordar, com ênfase no âmbito conceitual, o ensino do Magnetismo, do campo magnético à indução eletromagnética, para isso, valendo-se da metodologia das UEPS, desenvolvida por Marco Antônio Moreira, a qual baseia-se fundamentalmente na teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel.

Ademais, com esta metodologia o professor desenvolve com os alunos atividades diversificadas como questionários, mapas conceituais, vídeos, experimentos e discussões em sala de aula. Assim, os alunos são encorajados a entender e usar os princípios da Física partindo-se de situações-problema, facilitando o seu desenvolvimento cognitivo.

Por fim, destaca-se que o presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	4
2 DO CAMPO MAGNÉTICO À INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA – UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA	9
2.1 Atividades iniciais.....	9
2.2 Situações-problema iniciais.....	10
2.3 Aprofundando e revisando o conhecimento	12
2.4 Novas situações-problema.....	13
2.5 Aprofundando o conhecimento	14
2.6 Questionário final.....	15
2.7 Avaliação da Própria UEPS	16
2.8 Avaliação da Aprendizagem	16
3 TEXTOS AUXILIARES PARA COMPOSIÇÃO DE MATERIAL POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVO	17
3.1 Conceitos físicos fundamentais sobre o estudo do campo à indução eletromagnética	17
3.1.1 Campo	17
3.1.2 Configurações do Campo Magnético	19
3.1.3 Fluxo de um campo vetorial	20
3.2 Experimento de Oersted e Experimento de Faraday – Para Compreender a Relação entre Corrente Elétrica e Campo Magnético	23
3.2.1 O Dínamo	26
3.2.2 Um outro arranjo da experiência de Faraday para entender indução eletromagnética e a regra de Lenz	30
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

Esse material educacional, criado por docente professor da rede pública estadual, possui aplicabilidade em turmas de Ensino Médio nas quais o docente leciona física básica, partindo-se inicialmente do conceito de campo elétrico e avançando até a indução eletromagnética.

O objetivo dessa sequência de atividades é proporcionar ao professor a oportunidade de contribuir para o desenvolvimento dos conhecimentos de seus alunos em Física com aulas baseadas em uma teoria de ensino eficaz e sólida, que é a Aprendizagem Significativa de Ausubel. Por sua vez, os alunos são expostos a uma forma de aprendizado diferente do método tradicional, que muitas vezes se torna repetitivo e automatizado. Desta maneira, através dessa sequência de aulas, busca-se fornecer aos alunos uma educação mais profunda e duradoura e, para isso, o professor atua como mediador e facilitador do processo de aprendizagem, estabelecendo conexões entre o conhecimento prévio dos alunos e os novos conhecimentos a serem adquiridos.

Essencialmente, na aprendizagem significativa, vai-se além da mera transmissão passiva de informações, uma vez que o professor incentiva ativamente os alunos a participarem por meio de atividades variadas como questionários, mapas conceituais, vídeos, experimentos e discussões em sala de aula. Em vez de apenas memorizar, os alunos são encorajados a entender e usar os princípios da Física partindo-se de situações-problema, o que estimula seu envolvimento na aula e os torna protagonistas de seu próprio desenvolvimento cognitivo.

Portanto, ao incorporar a Abordagem Significativa de Ausubel nessa sequência de atividades, o professor tem a oportunidade de melhorar suas práticas de ensino e promover uma aprendizagem mais significativa e efetiva para seus alunos. Nesta perspectiva, este produto educacional trata-se de uma UEPS – Unidade de Ensino Potencialmente Significativa –, sequência de ensino formulada por Moreira, com fundamento em teóricos como Ausubel, Gowin, Vergnaud e outros.

Sintetiza-se no quadro 1 alguns dos princípios fundamentais da unidade de ensino aqui desenvolvida. Observa-se que há uma dominância das ideias de Ausubel, porquanto esta sequência se apoia principalmente na teoria da aprendizagem

significativa. Já no quadro 2, procura-se tratar resumidamente os oito passos da UEPS.

Quadro 1 – Alguns dos princípios aplicados nas UEPS

AUTOR	UEPS E SEUS PRINCÍPIOS
Ausubel	O conhecimento prévio é o principal fator que influencia de forma significativa na aprendizagem.
Ausubel; Gowin	É o estudante quem tem o poder de escolher se deseja adquirir um conhecimento específico de forma significativa.
Ausubel	Os organizadores prévios destacam como os novos conhecimentos se relacionam com o conhecimento prévio.
Ausubel	A organização do ensino deve considerar a progressiva diferenciação, a integradora reconciliação e a consolidação.
Moreira	A avaliação da aprendizagem significativa deve ser realizada através da busca de evidências, levando em consideração que essa aprendizagem é progressiva.
Vergnaud/Moreira	As situações-problema são responsáveis por dar sentido aos novos conhecimentos, sendo necessário criá-las de forma a despertar a intenção do aluno em buscar uma aprendizagem significativa.
Vernaud; Gowin	O professor é o provedor de situações-problema criteriosamente selecionadas, organizador das atividades de ensino e mediador na compreensão dos significados por parte dos alunos.
Moreira	A aprendizagem significativa crítica é impulsionada pela procura de respostas por meio de questionamentos, em vez de se basear na memorização de respostas já conhecidas. Isso é alcançado ao utilizar uma variedade de materiais e estratégias instrucionais, e ao adotar um método de ensino centrado no aluno em vez de se apoiar em narrativas.
Moreira	A aprendizagem precisa ser significativa e crítica, ao invés de se basear simplesmente em processos mecânicos.

Fonte: Adaptado de Moreira (2011)¹.

¹ Princípios aplicados nas UEPS, conforme Moreira (2011). Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID10/v1_n2_a2011.pdf.

Quadro 2 – Passos das UEPS

Aspecto sequencial da UEPS conforme Moreira (2011)	
1º	Identificar o tema particular a ser discutido, reconhecendo suas características declarativas e procedimentais que são aceitas dentro do contexto da disciplina em que o assunto se enquadra.
2º	Elaborar atividades variadas, como debate, questionário, situações-problema, criação de mapas conceituais, para incentivar os alunos a expressarem seu conhecimento prévio sobre o tema da disciplina.
3º	Considerar conhecimento prévio do aluno e prepará-lo para novos conhecimentos por meio de situações-problema introdutórias que deem sentido aos novos conhecimentos. O aluno deve poder mentalmente modelar esses problemas, que podem ser apresentados de diversas formas, como simulações computacionais, vídeos, problemas do cotidiano, desde que sejam desafiadoras e problemáticas, evitando exercícios comuns.
4º	A estratégia de ensino consiste em introduzir o conhecimento de maneira gradual, começando por aspectos amplos e abrangentes, enfatizando o que é fundamental na unidade de ensino, porém explicitando-o por meio de exemplos específicos. Por exemplo, após breve exposição oral, desenvolver uma atividade colaborativa.
5º	Retomar o conteúdo em nível mais alto de complexidade, utilizando diferentes métodos como recursos computacionais ou textos. Apresentar problemas com níveis de dificuldade crescentes, dar novos exemplos enfatizando as semelhanças e diferenças em relação aos anteriores, promover uma integração dos conceitos abordados. Após isto, propor uma atividade colaborativa em que os alunos interajam e discutam significados.
6º	Prosseguir com a diferenciação progressiva, revisar as principais características do conteúdo de forma integradora, utilizando diferentes métodos, como apresentações orais, leitura de textos ou recursos audiovisuais. Após essa revisão, deve-se propor novas situações-problema mais desafiadoras, que serão resolvidas em atividades colaborativas.
7º	A avaliação da aprendizagem requer evidências de aprendizagem registradas ao longo da implementação. É necessário realizar uma avaliação individual após a etapa seis.
8º	A avaliação do desempenho da UEPS deve fornecer evidências de aprendizagem significativa, envolvendo compreensão, capacidade de explicar e aplicar conhecimentos para resolver situações-problemas. É importante enfatizar as evidências de aprendizagem ao invés de focar apenas nos comportamentos finais.

Fonte: Adaptado de Moreira (2011)².

Esta UEPS é estruturada conforme os passos e princípios básicos, respectivamente, nos quadros 01 e 02. Abaixo, no quadro 03 sintetizamos os passos, ações e tempo de aplicação da UEPS – do campo magnético à indução eletromagnética, desenvolvida e proposta neste produto educacional.

Quadro 3 – UEPS desenvolvida.

PASSO	AÇÕES	TEMPO DE APLICAÇÃO
1 Atividades iniciais	Apresenta-se a teoria eletromagnética por meio de experimentos qualitativos, permitindo que os alunos usem os experimentos sem abordar conceitos teóricos. Em seguida, um questionário é aplicado para avaliar os conhecimentos prévios dos alunos.	90 min

² Princípios aplicados nas UEPS, conforme Moreira (2011). Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID10/v1_n2_a2011.pdf.

	Atividades extraclasse, como leitura de artigos ou vídeos sobre a história da eletricidade, também são sugeridas.	
2 Situações-problema iniciais	Exploram-se situações problema, que devem ser debatidas com os alunos. O docente pode escolher perguntas relacionadas a campos magnéticos e elétricos, forças elétricas e magnéticas, entre outros tópicos. Os alunos participam ativamente do diálogo, compartilhando suas ideias e respondendo às perguntas. Após as situações-problema, o docente pode realizar uma atividade individual ou em grupo.	45 min
3 Aprofundando e revisando o conhecimento	Nesta etapa, o eletromagnetismo é explorado desde a sua origem histórica até os conceitos fundamentais. São realizados experimentos qualitativos, como o eletroscópio de folhas e a visualização do campo magnético com ímãs e limalha de ferro. Os alunos são incentivados a interagirem com os experimentos e a exporem suas dúvidas. Em seguida, abordam-se os conceitos de campos de interação, com ênfase nos campos elétrico e magnético, suas origens e representações. Para a avaliação formativa, os alunos devem assistir/resumir/compartilhar ideias acerca de um vídeo sobre os experimentos.	120 min
4 Novas situações-problema	São apresentadas situações-problema que exploram a relação entre o campo elétrico e o campo magnético. Os alunos devem discutir sobre os experimentos realizados anteriormente e responder a questionamentos sobre corrente elétrica, magnetismo e campo magnético. Além disso, é proposta uma atividade extraclasse com o uso do simulador <i>Phet Colorado</i> para analisar a Lei de Faraday.	45 min
5 Aprofundando o conhecimento	Neste passo, o docente explora a interação entre corrente elétrica e campos magnéticos por meio de aulas expositivo-dialogadas. Os conceitos de fluxo de campo magnético, potencial elétrico e a lei de Faraday da indução eletromagnética são abordados de forma conceitual. O docente pode criar videoaulas curtas sobre tópicos específicos, como a Lei de Lenz e de Faraday, para complementar o aprendizado.	180 min
6 Questionário final	Os alunos são avaliados por meio de um questionário que aborda temas relacionados à relação entre corrente elétrica e campo magnético, comportamento do campo magnético no solenoide, relação entre fluxo magnético e corrente induzida, relação entre movimento de um ímã e sentido da corrente em uma espira circular, e o conceito de fluxo magnético e a Lei de Faraday. A avaliação tem como objetivo verificar se os alunos assimilaram os conceitos ensinados.	45 min
7 Avaliação da própria UEPS	O professor deve discutir com os alunos sobre a eficácia da aplicação do método de ensino UEPS, buscando avaliar se os alunos aprovam e acham proveitosas as atividades. É importante ouvir as sugestões dos alunos para possíveis melhorias na metodologia, como ajustar o tempo, adicionar ou remover conteúdos, utilizar novas tecnologias ou modificar as atividades.	45 min
8 Avaliação da aprendizagem	Neste passo, o professor faz uma avaliação da aprendizagem dos alunos durante a aplicação da sequência didática. É recomendado que essa avaliação seja realizada de forma qualitativa, analisando as respostas dos alunos no questionário final e utilizando o software Iramuteq para auxiliar na análise dos dados. Com base nas informações obtidas, o professor pode refletir sobre o processo de ensino-aprendizagem e categorizar as respostas dos alunos para obter uma compreensão contextualizada.	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na sequência desta unidade de ensino, com vistas à composição de material potencialmente significativo, temos dois textos que podem ser trabalhados nas etapas de aprofundamento e revisão na UEPS.

- I. **Conceitos físicos fundamentais sobre o estudo do campo à indução eletromagnética:** O texto discute conceitos fundamentais sobre o estudo do campo de indução eletromagnética. Primeiramente, são abordados os conceitos de campo e fluxo: o campo é uma região do espaço associada à intensidade de uma grandeza física, e o fluxo é a quantidade de campo que atravessa uma superfície. Em seguida, são explicadas as configurações do campo magnético gerado por diferentes distribuições de corrente, como fios condutores e bobinas. Por fim, é discutido o fluxo de um campo vetorial e analogias com o fluxo de fluidos são feitas para melhor compreensão.
- II. **Experimento de Oersted e Experimento de Faraday – Para Compreender a Relação entre Corrente Elétrica e Campo Magnético:** Neste texto, exploram-se os experimentos de Oersted e Faraday, a partir dos quais observou-se, respectivamente, que a corrente elétrica pode produzir campos magnéticos e, por sua vez, a variação do fluxo de campos magnéticos pode gerar corrente elétrica. Em continuidade, o texto discorre sobre o dínamo, explorando o fato de que quando um ímã passa perto de uma bobina, de forma que suas linhas de campo magnético se movam através dela, uma corrente elétrica é induzida na bobina. Esse fenômeno é conhecido como indução eletromagnética.

2 DO CAMPO MAGNÉTICO À INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA – UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA

2.1 Atividades iniciais

As atividades iniciais consistem na apresentação do tema de estudo, a teoria eletromagnética – do campo magnético à indução eletromagnética –, e na apresentação de vários experimentos de caráter qualitativo, com o intuito de chamar a atenção dos alunos para a realidade física, concreta e lúdica, e os estimular à aprendizagem.

Os experimentos qualitativos de física podem ser distribuídos na sala de aula em mesas e carteiras, à frente da lousa, os quais os alunos podem manusear livremente. Sugere-se como experimentos:

- Canudos de plástico, vidro, plásticos, ebonite e papel para eletrização por atrito;
- Papel e limalha de ferro para visualização do campo magnético;
- Ímãs e eletroímãs e pilhas;
- Bússola;
- Eletroscópio de folha;
- Motor elétrico didático e fonte de energia;
- Bobina de tesla e lâmpada fluorescente;

Neste primeiro momento, não se adentra em aspectos conceituais dos fenômenos físicos observados, limitando-se a explicar sobre os elementos que compõem os experimentos, assim como suas funcionalidades. Deste modo, os experimentos qualitativos servem como organizadores prévios, induzindo os alunos a reorganizarem seus esquemas mentais em novos esquemas, criando, deste modo, um modelo mental que lhes permitam compreender essa relação – entre campo elétrico, campo magnético e corrente elétrica – de forma mais fundamentada.

No intuito de se fazer uma sondagem sobre os conhecimentos anteriores dos discentes, aplica-se um questionário inicial. Dentro deste aspecto declarativo, o

docente deve ressaltar aos alunos que esta atividade não se avalia em termos de certo ou errado, mas que serve de base para ajustar os próximos passos do plano de ensino, conforme as observações realizadas. Esta atividade é composta de um questionário com 7 itens abertos sobre os seguintes assuntos:

- Carga elétrica e portadores de carga elétrica;
- Ímãs, polos e monopolo magnético;
- A relação entre magnetismo e corrente elétrica.

Para finalizar esta etapa inicial, o docente pode propor atividades extraclasse aos alunos, entre elas: leitura de artigo científico, texto e/ou notícia, vídeo sobre história da eletricidade. Para que se possibilite a avaliação formativa, indica-se que os alunos elaborem, como tarefa para casa, um resumo de, no máximo, uma lauda sobre a atividade escolhida pelo docente. Esta etapa da UEPS dura cerca de 90 minutos.

2.2 Situações-problema iniciais

Nesta segunda etapa, apresentam-se situações-problema iniciais, que devem ser debatidas, dialogadas com os discentes. O docente, por sua vez, deve responder às dúvidas dos alunos em relação aos fenômenos físicos estudados, contextualizando-os com fatos do dia a dia do estudante, proporcionando o refinamento conceitual necessário ao posterior aprofundamento da teoria, porém sem transformar esta etapa em aula expositiva.

Como ponto de partida das situações-problema, nesta etapa retoma-se a atividade proposta no passo anterior fazendo um breve “tira-dúvidas”. Feito isso, o docente pode optar, conforme sua percepção da turma e levando em consideração o questionário inicial, entre as seguintes situações-problema:

- Você consegue imaginar como seria o mundo sem a tecnologia que utiliza a eletricidade? Na sua concepção, os motores de veículos movidos a combustíveis fósseis serão substituídos por motores elétricos? Você enxerga esta tendência?
- O que vem à sua mente quando ouve falar em campo? Você saberia dizer semelhanças e diferenças entre os campos magnético, elétrico e gravitacional?

- O que é um campo? Poderiam exemplificar ou fazer uma representação? Qual é a sua relação com as forças?
- O que vem à sua mente quando ouve falar em força elétrica e em campo elétrico? E em força magnética / campo magnético?
- Sabe-se que ímãs possuem campo magnético. Esta é a única maneira de obter um campo magnético?
- É possível separar o polo Sul do polo Norte de um mesmo ímã?
- O campo elétrico e o campo magnético possuem alguma relação? Qual é a relação entre cargas elétricas e campo elétrico/campo magnético? Tem alguma condição para que isso aconteça?
- Na sua concepção, o que é corrente elétrica? Do que é constituída? É semelhante a uma corrente de água? Qual é a utilidade da corrente elétrica?

Deixa-se à escolha do docente a opção pelas situações-problema acima, entretanto se deve ter o cuidado para não fazer um aprofundamento desnecessário na teoria, visto que isto só deve acontecer em etapa subsequente da UEPS. Nestas primeiras situações deve preponderar o estabelecimento do diálogo, a interação com os alunos para que estes desenvolvam predisposição para aprender, manifestem suas dúvidas, suas contribuições.

Subsequentemente, sugere-se uma outra atividade, na qual o docente, por uma técnica denominada de *brainstorm*, pede que os alunos digam algumas palavras-chave sobre o que foi discutido nas situações-problema e anotem no quadro. Em seguida, o docente, a partir das palavras-chave anotadas, constrói com os alunos um mapa conceitual.

Para finalizar esta etapa, cada aluno explica no caderno, com suas palavras, o mapa conceitual elaborado. Esta atividade deve ser observada pelo docente com o intuito de elaborar a avaliação formativa, para que se firme os alicerces do aprendizado e se observe como os alunos relacionam/explicam o que está sendo estudado dentro de uma estrutura hierárquica conceitual do eletromagnetismo.

Esta etapa da UEPS pode ser ministrada em cerca de 45 minutos.

2.3 Aprofundando e revisando o conhecimento

Nesta etapa, aula expositivo-dialogada, aborda-se o eletromagnetismo como um produto da história humana, desde os gregos, com Tales de Mileto, perpassando por Gilbert, Maxwell, Hertz entre outros, até o século XX. Neste percurso histórico, deve-se discorrer, de modo contextualizado, sobre a estrutura da matéria, composta de átomos e moléculas e, principalmente, no que concerne às partículas que a constitui, tais como o próton, o nêutron e o elétron. Este conhecimento é a base para que o aluno entenda, na sequência, os processos de eletrização.

Em seguida, o docente pode levar um experimento; sugere-se: eletroscópio de folhas para que se faça uma revisão de tópicos já trabalhados em bimestre ou série anterior ou, ao menos, tangenciados na etapa anterior, para que discorra sobre carga elétrica e os processos de eletrização, bem como pode levar ímãs e limalha de ferro para visualizar o campo magnético. A opção pelo experimento é no sentido de estimular o estudante a expor suas dúvidas a partir de um objeto concreto (o qual permite verificar e testar alguns aspectos fenomenológicos do fenômeno físico) para, partindo-se disto, criar uma ponte para o que se deseja ensinar.

Na sequência, o professor aborda o conceito de campos de interação (conceito amplo e presente em todo o estudo), com ênfase no campo elétrico e no campo magnético, suas origens em cargas elétricas, na corrente elétrica e em materiais com propriedades magnéticas, seus modelos de representação e, adicionalmente, como se dá a interação das forças e campos atuantes, explorando suas semelhanças e diferenças. Como suporte ao aprendizado, é indicado aos alunos a leitura do texto “Conceitos físicos fundamentais sobre o estudo – do campo à indução eletromagnética” (seção 3.1 deste produto educacional).

Como atividade para avaliação formativa, é proposto aos alunos assistir a um vídeo explicativo, preferencialmente elaborado pelo docente, sobre o experimento de Oersted ou sobre o motor elétrico. Com estes experimentos, objetiva-se trazer, de maneira aplicada, a explicação do campo magnético e sua relação com a força magnética e com a corrente elétrica, bem como clarificar aos alunos como os fenômenos eletromagnéticos formaram os alicerces de várias das tecnologias que predominaram nos séculos XIX e XX. Sugere-se que este vídeo seja assistido fora da aula, com o objetivo, tanto de obter um engajamento maior do estudante, quanto de ganhar tempo para que a UEPS não se torne demasiadamente longa.

Ainda sobre o vídeo, propõe-se que o aluno elabore um texto, um mapa mental ou mapa conceitual resumindo o seu entendimento sobre os experimentos vistos no vídeo, bem como que anote/compartilhe na aula seguinte as suas dúvidas. O docente pode delimitar que esta tarefa seja feita em no máximo uma lauda. Esta atividade é instrumento para que o docente avalie o aprendizado nesta etapa da UEPS, com duração de aproximadamente 120 minutos.

2.4 Novas situações-problema

As situações-problema exploradas nesta etapa são em nível de complexidade maior do que as situações já apresentadas. O foco destas situações-problema reside em se estabelecer a relação entre o campo elétrico e o campo magnético, o que pode ser feito, em um primeiro momento, fazendo-se discussão sobre os experimentos apresentados no início da sequência didática e explicados na videoaula da etapa anterior, o que possibilita ao docente verificar se os alunos entenderam o que foi explicado nos vídeos, se os alunos compreenderam a relação entre corrente elétrica e magnetismo no experimento de Oersted, se compreenderam a relação entre campo magnético e força magnética no motor elétrico.

Para facilitar a interação turma-professor neste passo da sequência didática, sugere-se fortemente que o professor esteja com os experimentos montados em sala de aula, para que, conforme as dúvidas apareçam, o docente consiga elaborar uma resposta que não dependa tão somente de um modelo mental, visto a possibilidade de o aluno e/ou do professor manusear, desmontar, montar, testar os experimentos. Adicionalmente, devem ser dialogadas em sala de aula algumas das seguintes situações-problema:

- Como você explicaria o movimento do rotor do motor elétrico?
- Pensando-se no experimento de Oersted, no qual a corrente flui pelo fio condutor, se for estabelecida uma corrente elétrica atravessando uma bobina, quais efeitos podem ser observados?
- A quantidade de voltas na bobina causa algum tipo de efeito no campo magnético?
- Você sabe o que é um eletroímã? Saberá dizer alguma aplicação prática?

- Quando um ímã se aproxima ou se afasta de uma bobina causa algum efeito/alteração na corrente elétrica? Se sim, quais?
- Que efeitos da variação do fluxo de um campo magnético você consegue perceber ao movimentarmos uma bobina em um campo magnético?
- Uma bobina, ao atravessar um campo magnético, causa alguma alteração no circuito ao qual está ligada a bobina? No caso de resposta positiva, quais?

Em seguida, objetivando-se retomar alguns dos conceitos e proposições sobre Eletromagnetismo já estudados, propõe-se, como atividade para casa que os alunos analisem o simulador *Phet Colorado*³ sobre a Lei de Faraday e exponham suas dúvidas ao docente e à turma.

Esta etapa da UEPS deverá cerca de 45 minutos.

2.5 Aprofundando o conhecimento

Esta etapa é composta por algumas aulas expositivo-dialogadas, no fito de aprofundar conhecimentos no que concerne à interrelação da corrente elétrica com campos magnéticos e com bobinas. O docente explana sobre o conceito de fluxo de um fluido no intuito de preparar terreno para a introdução do conceito de fluxo de um campo magnético. Na sequência, faz-se breve revisão do conceito de potencial elétrico, logo em seguida, adentra-se nas ideias de fluxo eletromagnético, do sentido da corrente, conforme a regra de Lenz, e, por fim, da Lei de Faraday da indução eletromagnética.

A abordagem é conduzida primeiramente de forma conceitual, isto é, explicando os fenômenos, suas condições, possíveis aplicações, grandezas físicas envolvidas, para, só em momento posterior, explorar os elementos de matemática, como intensidades, relações entre as grandezas vetoriais envolvidas, unidades de medida e suas conversões, culminando, por derradeiro, no objetivo final desta UEPS, que é ensinar a Lei da Indução de Faraday, com ênfase em seus aspectos qualitativos e quantitativos.

³ https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/faradays-law

Pressupondo-se que os discentes já possuam bases mínimas sobre os conceitos de campo elétrico, campo magnético e da parte conceitual da Lei de Faraday, é oportuno que o docente dê atenção especial aos elementos de matemática, devido à sua intrínseca importância na formulação das leis da física, de um modo geral, haja vista que estes elementos exigem um nível de abstração maior para uma boa compreensão.

Deste modo, o docente pode resolver, com os alunos, algum problema envolvendo a Lei de Faraday – verificar os dados do problema, estratégias de resolução, conceitos e fenômenos físicos acerca do problema, consequências ao se alterar os dados, condições, gráficos etc.

Para complementar este aprofundamento de estudos, o docente pode elaborar pequenas videoaulas com duração de até 10 minutos sobre alguns temas que exijam mais atenção do aluno, como a regra de Lenz e de Faraday: Aula 1 - <https://youtu.be/1VucAD7vXok> – Campo magnético, experimento de Oersted; Aula 2 - <https://youtu.be/cpmPeCYa68U> – Lei de Faraday, regra de Lenz, simulador Phet Colorado; Aula 3 - https://youtu.be/_R1ZD91feHs – Fluxo magnético, Lei de Faraday.

Por fim, este passo da sequência didática pode ser finalizado com a leitura, fora da aula, de texto que compõe material potencialmente significativo, intitulado “Experimento de Oersted e experimento de Faraday – Para compreender a relação entre corrente elétrica e campo magnético” (Seção 3.2 deste produto educacional). Isto permite que o aluno exercite seu poder de compreensão textual, o qual será necessário ao bom desempenho no questionário final. Esta etapa da UEPS dura cerca de 180 minutos.

2.6 Questionário final

Nesta etapa da UEPS, planejada para não ultrapassar 45 minutos, os alunos são submetidos a uma avaliação somativa mediante um questionário, a partir do qual se verifica se a assimilação dos conceitos ensinados foi substancial. Este questionário final deve ser feito com base nos assuntos abordados, podendo-se repetir alguns itens do primeiro questionário se o docente assim preferir. Recomenda-se que o docente elabore os itens desta atividade com base nos seguintes tópicos:

- Relação entre corrente elétrica e campo magnético;

- Comportamento do campo magnético no solenoide atravessado por corrente elétrica;
- Relação entre fluxo magnético e corrente induzida;
- Relação entre o movimento de um ímã e o sentido da corrente em uma espira circular – regra de Lenz;
- Fluxo magnético e Lei de Faraday;

2.7 Avaliação da Própria UEPS

Em classe, o professor deve dialogar sobre a aplicação da UEPS, verificar se eles aprovam o método de ensino, se lhes foi proveitosa a atividade. É necessário, sobretudo, ouvir dos alunos sugestões de melhoria para, se necessário, reformular a UEPS para possíveis utilizações futuras do método, seja na mesma turma abordando novos conteúdos, seja em outras turmas.

Este momento permite ao docente aperfeiçoar sua metodologia, o que pode ser feito, *v.g.*, ampliando ou reduzindo o tempo de alguma etapa, adicionando ou retirando algum tópico, contextualizando melhor em alguma parte, elaborando melhoria da transposição didática no que concerne aos experimentos para um nível mais facilmente assimilável pelos estudantes, inserindo novas aplicações tecnológicas, inserindo, modificando ou retirando algum item dos questionários, assim como alguma atividade etc. Esta etapa é planejada durar ao redor de 45 min.

2.8 Avaliação da Aprendizagem

Sem a presença dos alunos, neste passo da sequência, o professor deve avaliar a aprendizagem durante a aplicação da sequência didática. Com base na avaliação somativa e na avaliação formativa deve analisar e discutir os resultados do aspecto ensino-aprendizagem, cuja análise pode ser realizada tanto quantitativamente quanto qualitativamente, a critério do docente. Sugerimos fortemente que se faça análise qualitativa, pois esta possibilita uma avaliação mais ampla do discente.

3 TEXTOS AUXILIARES PARA COMPOSIÇÃO DE MATERIAL POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVO

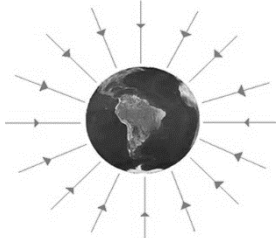
3.1 Conceitos físicos fundamentais sobre o estudo do campo à indução eletromagnética

Primeiramente, partimos de conceitos mais amplos e inclusivos, a saber, campo e fluxo, para só após discorrer sobre a explicação de alguns experimentos utilizados.

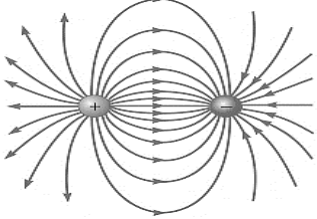
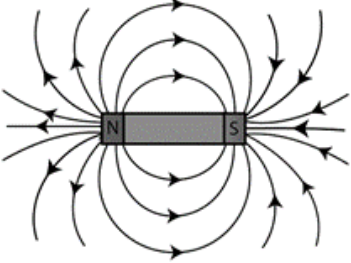
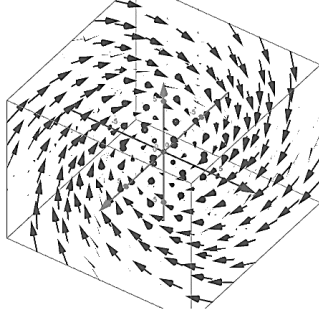
3.1.1 Campo

O campo⁴ pode ser definido como uma região do espaço em que cada um de seus pontos está associada uma intensidade de uma grandeza física. Para exemplificar, podemos ter um campo de temperaturas, em que cada ponto do espaço está associado a uma intensidade de temperatura – campo escalar; ou um campo magnético, o qual associa cada um dos pontos da região a um vetor campo magnético – campo vetorial. Veja no quadro 04 algumas representações e características básicas dos campos.

Quadro 4 – Representações de campos e características básicas

Campo	Imagem representativa	Características básicas
Campo gravitacional	 <p>Fonte: https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/campo-gravitacional.htm#google_vignette</p>	Produzido por uma massa; apenas forças de atração em relação a outros corpos massivos.

⁴ Embora o presente trabalho não se dedique à precisão da conceituação do que é um campo, é importante mencionar a influência significativa de Faraday na sua compreensão. Neste sentido, conforme Rocha (2009), Faraday começou a conceber as forças elétricas e magnéticas como sendo representadas por linhas flexíveis no espaço, que emanavam de ímãs ou corpos eletrizados e podiam ser deformadas. Essas linhas, conhecidas como linhas de força, preenchiam o espaço vazio, formando assim um campo de forças.

<p>Campo elétrico de um dipolo elétrico</p>	 <p>Fonte: Serway; Jewett Jr. Princípios de Física Vol.3. Ed. Thomson. São Paulo, 2006.</p>	<p>Produzido por cargas elétricas; forças de atração ou de repulsão em relação a outras cargas elétricas.</p>
<p>Campo magnético</p>	 <p>Fonte: www.china-magnets-source-material.com/portugal/proshow/magnetic-dipoles.html</p>	<p>Produzido por dipolos magnéticos; força de atração ou de repulsão em relação a outros dipolos magnéticos.</p>
<p>Campo vetorial</p>	 <p>Fonte: https://www.geogebra.org/m/fppinfcj</p> <p>Fonte: Elaborado pelo autor.</p>	<p>Abstração que associa a cada ponto do espaço um vetor.</p>

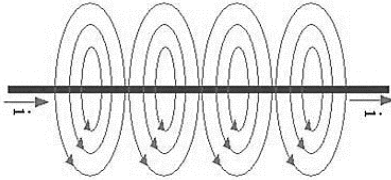
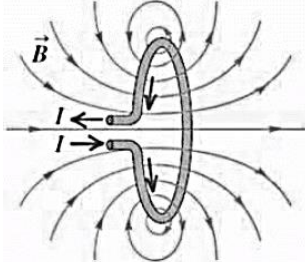
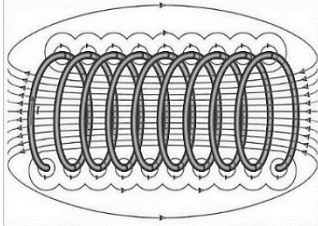
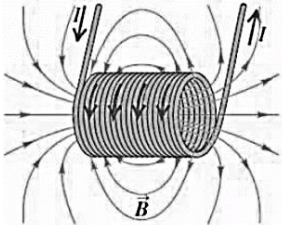
Outra forma de definir campo é por meio de seus efeitos, para ser mais preciso, a força. Deste modo, pensando em um campo elétrico, uma carga elétrica pontual Q cria um campo ao seu redor e, ao colocarmos uma carga de prova q em suas proximidades, surge uma força \vec{F} . Da mesma maneira, um material magnético⁵ gera um campo magnético ao seu redor. Assim, ao aproximarmos outro material magnetizado, surge uma força magnética de interação entre os dois corpos. Mais abstratamente ainda, pode-se definir campo vetorial, que, como o próprio nome faz lembrar, é um campo que associa a cada ponto do espaço um vetor.

⁵ “O termo magnetismo provém de uma região da Magnésia, uma província da Grécia onde certas rochas, chamadas de magnetitas, possuem a propriedade surpreendente de atrair pedaços de ferro. Os ímãs foram primeiro empregados em bússolas e usados para navegação pelos chineses no século doze” (Hewitt, 2002, p. 408).

3.1.2 Configurações do Campo Magnético

Cada distribuição espacial de corrente produz uma determinada configuração espacial do campo magnético \vec{B} . Caso a corrente esteja limitada a fios condutores, esta configuração estará intimamente relacionada à geometria espacial particular do condutor.

Quadro 5 – Representações de campos magnéticos gerados por condutores de diferentes configurações espaciais

CAMPOS MAGNÉTICOS GERADOS POR CONDUTORES DE DIFERENTES CONFIGURAÇÕES ESPACIAIS	
Fio condutor retilíneo	 <p>Fonte: https://brasilecola.uol.com.br/fisica/campo-magnetico-gerado-por-um-fio-condutor.htm</p>
Espira circular	 <p>Fonte: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4125334/mod_resource/content/1/Fonte_Campo_Mag_P1_2x1.pdf</p>
Solenóide	 <p>Fonte: https://brasilecola.uol.com.br/fisica/campo-magnetico-uniforme.htm</p>
Bobina chata	 <p>Fonte: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4125334/mod_resource/content/1/Fonte_Campo_Mag_P1_2x1.pdf Fonte: Elaborado pelo autor.</p>

Observa-se no quadro 5 que o campo magnético produzido por um fio retilíneo, representado por suas linhas de força, rodeia o fio em círculos cada vez mais espaçados, representando a queda na intensidade do campo com o inverso da

distância ao fio. Já uma bobina com uma única espira (uma espira circular), produz um campo com características de um ímã e se aproxima do campo de um dipolo elétrico para pontos distantes de seu centro. Uma estroplação seria a união de muitas espiras justapostas com um eixo comum, em um arranjo geométrico, que chamamos de bobina ou solenoide. O campo no centro é bastante uniforme e fora é muito semelhante ao campo produzido por um ímã com as mesmas dimensões.

No quadro 06, abaixo, sintetizamos as informações mais relevantes acerca das configurações geométricas de condutores mais comuns.

Quadro 6 – Características do campo produzido por um fio retilíneo, por uma espira circular e por uma bobina.

Configuração geométrica	Característica	Forma das Linhas de Força do Campo Magnético	Expressão do Campo Magnético	Posição espacial
Fio retilíneo	Comprimento, L	Círculos concêntricos, mais espaçados quanto mais distante do fio	$\frac{\mu_0 i}{2\pi d}$	Para qualquer ponto a uma distância d do eixo de um fio longo
Espira circular	Raio, r	Campo de um dipolo magnético para pontos distantes do centro.	$\frac{\mu_0 i}{2 r}$	No centro da espira
Bobina	Raio, R ; número de espiras, N .	No interior uniforme. No exterior idêntico a um ímã de mesmas dimensões	$N\mu_0 i \frac{1}{L}$	No interior da bobina

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1.3 Fluxo de um campo vetorial

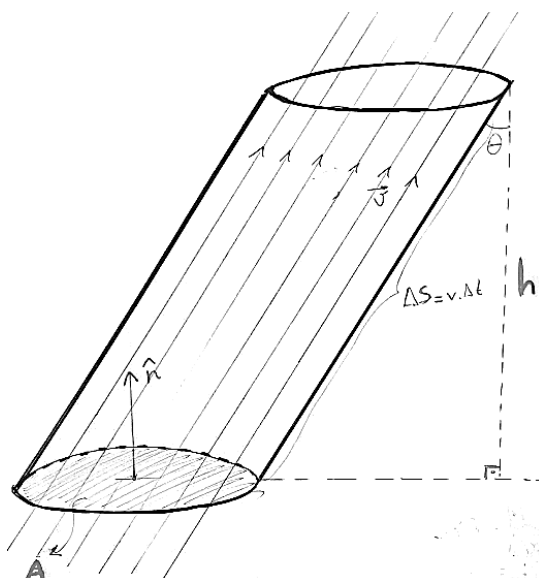
A um campo vetorial podemos sempre associar um fluxo através de uma determinada superfície, ou ainda, através de um elemento de volume. Para fixar a ideia, imagine o fluxo d'água em um igarapé sendo despejado através de um tubo (porque você quer canalizar a água para utilizar na geração de energia elétrica). Neste caso, você precisará saber a quantidade de água que será captada na unidade de

tempo que convir – segundo, minuto, hora etc., ou seja, você precisará saber a vazão. Para calcular a massa de água, basta multiplicar a vazão pela densidade da água.

Partindo-se do entendimento exposto acima, vamos entender melhor a ideia de fluxo magnético⁶ tomando por base uma analogia com o fluxo de um fluido por um elemento de volume cilíndrico, conforme mostrado na figura 01. Pense que a situação abaixo nada mais é do que a água, por exemplo, fluindo por um tubo. Todo o fluxo que passa pela superfície A está contido no volume do cilindro oblíquo definido pela área da base, A , e por uma aresta (geratriz) igual a $v \cdot \Delta t$, onde v é a velocidade de água e Δt é um intervalo de tempo. A aresta faz um ângulo θ com a direção da base (direção perpendicular à superfície da base), de modo que a altura do cilindro é igual a $h = v \cdot \Delta t \cdot \cos \theta$.

O fluxo de um fluido é definido matematicamente como o volume ou, equivalentemente, a massa, que passa por uma determinada área na unidade de tempo. O volume na unidade de tempo leva o nome de vazão, Φ . Deste modo, temos a relação, $\phi = \frac{\Delta V}{\Delta t}$ para a vazão volumétrica ou $\phi = \rho \frac{\Delta V}{\Delta t}$, para a vazão de massa, onde ρ é a densidade de massa do fluido. Uma vez compreendido o conceito de fluxo, podemos derivar uma expressão para o fluxo magnético como segue.

Figura 1 – Fluxo de um fluido por uma seção cilíndrica



Fonte: Elaborado pelo autor.

⁶ “[...] a própria ideia de fluxo é devida em grande parte a Faraday, que imaginava linhas de campo emanando de cargas elétricas e de magnetos para visualizar os campos elétricos e magnéticos, respectivamente. Essa forma de pensar só seria aceita e usada de forma sistemática pelos cientistas após sua morte, mas sua importância pode ser percebida pelo fato de Maxwell ter dado a seu primeiro artigo, de 1856, o título “On Faraday’s lines of force” (Instituto de Física São Carlos, 2010, p. 1).

O volume, ou ainda a sua variação, é calculado multiplicando-se a área da base do cilindro pela sua altura (o segmento de reta que representa a altura possui a mesma direção do vetor normal \vec{n} (figura 1)):

$$\Delta V = A \cdot h$$

O ΔS é a distância percorrida pelo fluido em um intervalo de tempo Δt , assim esta distância pode ser calculada pelo produto da velocidade do fluido pelo intervalo de tempo, $\Delta S = v \cdot \Delta t$. Assim, $h = \Delta S \cdot \cos \theta = v \cdot \Delta t \cdot \cos \theta$, em que θ é o ângulo formado entre a geratriz do cilindro e o seguimento de reta h . Logo, com a substituição em ΔV , obtemos

$$\Delta V = A \cdot v \cdot \Delta t \cdot \cos \theta$$

Da definição de fluxo de um fluido,

$$\phi = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$\phi = \frac{A \cdot v \cdot \Delta t \cdot \cos \theta}{\Delta t}$$

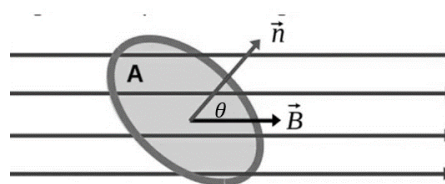
Dividimos por Δt e chegamos em uma expressão para o fluxo de um fluido qualquer, com velocidade v , por um elemento de volume de seção de área A .

$$\phi = A \cdot v \cdot \cos \theta$$

Apliquemos agora o conceito de fluxo ao campo magnético, \vec{B} , cuja percepção física é mais abstrata, já que não existe nada fluindo fisicamente através da superfície, porém \vec{B} é definido em cada ponto desta superfície. Como elaboramos uma analogia entre \vec{v} e \vec{B} , por consequência, obtemos que o fluxo magnético é dado pela da área da seção pela qual atravessam as linhas de campo vezes a intensidade do campo \vec{B} vezes o cosseno do ângulo formado entre \vec{B} e o vetor normal \vec{n} , conforme mostrado na equação abaixo.

$$\phi = A.B.\cos\theta$$

Figura 2– Fluxo magnético através de uma superfície.



Fonte: https://midia.atp.usp.br/impressos/lic/modulo02/eletromag_PLC0012/top09/ex_grupo2_top09.pdf

Na figura 2, acima, representamos o fluxo das linhas de campo magnético por uma superfície de área A . Analisando a expressão a seguir, verifica-se que o fluxo varia em três situações principais

$$\phi = A.B.\cos\theta$$

- Se alterarmos a intensidade de \vec{B} ;
- Se aumentarmos ou diminuirmos a área A da superfície pela qual o fluxo atravessa;
- Se mudarmos a inclinação de \vec{B} , ou seja, o $\cos\theta$.

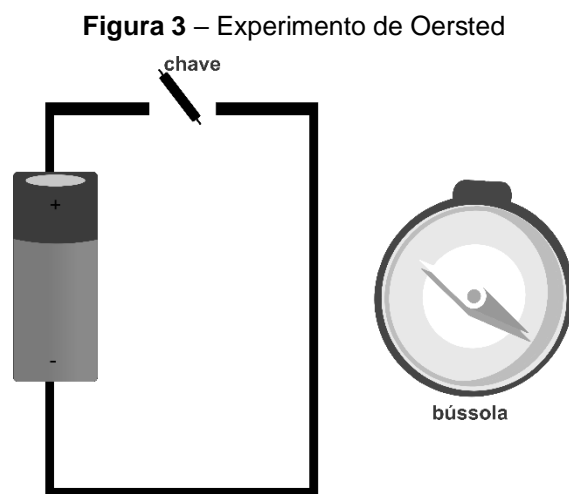
A alteração na intensidade de \vec{B} depende da configuração geométrica e da posição espacial das fontes do campo magnético, se se trata de um ímã, de um condutor retilíneo, de uma espira circular, de um solenoide ou uma outra configuração qualquer. Em geral, para campos magnéticos gerados por correntes elétricas, a intensidade de \vec{B} depende da intensidade da corrente que atravessa o condutor, conforme se verifica no quadro 6.

3.2 Experimento de Oersted e Experimento de Faraday – Para Compreender a Relação entre Corrente Elétrica e Campo Magnético

Ainda no século XVIII, se tratava o magnetismo e a eletricidade como fenômenos absolutamente distintos e sem qualquer ligação entre si. Foi apenas no ano de 1820⁷, que o físico e químico dinamarquês Hans Oersted observou que a

⁷ Conforme Chaib e Assis (2007, p. 42), “tal descoberta foi descrita na Academia Real de Ciências da França em 4 de setembro de 1820”. Com base nisso, Oersted realizou um experimento no qual colocou

agulha da bússola se movimentava ao colocar a bússola perto de um fio percorrido por corrente elétrica, conforme se vê na figura 3.



Deste modo, Oersted percebeu que a corrente elétrica é capaz de produzir campos magnéticos. Sintetizando este resultado, temos:

Corrente elétrica → campos magnéticos.

O experimento acima, resumidamente, explica-se pelo fato de que cargas elétricas consideradas isoladamente produzem campo elétrico, mas não campo magnético. Por sua vez, se as cargas elétricas estiverem em movimento ordenado (corrente elétrica), elas produzem além de campo elétrico, campo magnético. Observando-se o experimento de Oersted, alguns físicos passaram então a questionar o evento simétrico, qual seja, se seria possível que campos magnéticos gerassem corrente elétrica.

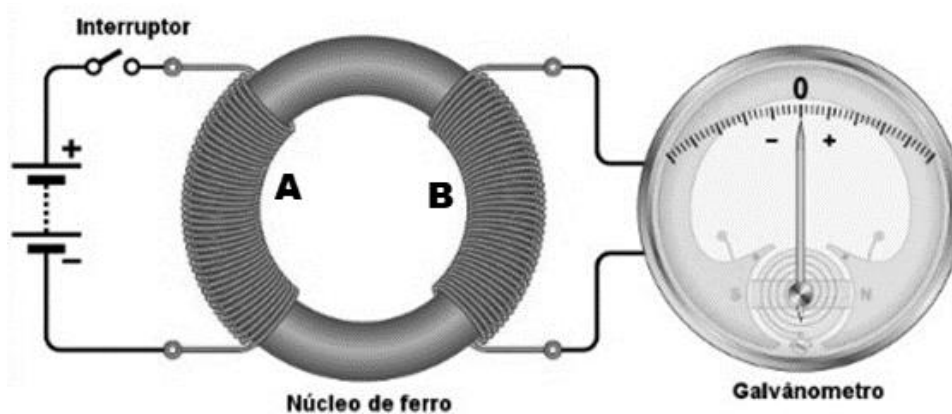
No ano de 1831, o físico Michael Faraday⁸ fez o arranjo mostrado na figura 4, que consiste em um núcleo de ferro em forma de anel com duas bobinas

um fio metálico ao lado de uma agulha magnética que estava alinhada com o meridiano magnético terrestre. Ao passar uma corrente elétrica constante pelo fio, ele observou que a agulha se desviava de sua posição original (Chaib; Assis, 2007).

⁸ “O princípio descoberto era que o movimento de um ímã gera uma corrente elétrica no condutor. O trabalho realizado por Faraday no final de 1831 complementou a descoberta do eletromagnetismo por

independentes, mais precisamente, uma bobina (A) em circuito fechado com uma bateria e um interruptor, e outra bobina (B) em circuito fechado com um galvanômetro (dispositivo utilizado para detectar corrente elétrica). Ele notou que quando ligava ou fechava a chave do interruptor, a agulha do galvanômetro se movia e em seguida voltava à sua posição inicial, indicando, desta maneira, a passagem de corrente elétrica durante um curto intervalo de tempo.

Figura 4 – Experimento de Faraday.



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/a-inducao-eletromagnetica.htm>

Faraday⁹ percebeu que se ele apenas fechasse a chave do interruptor da bobina (A), se detectava uma corrente elétrica na bobina (B). Mas, a corrente da bobina (A), ao se tornar constante (mantendo-se a chave fechada), não mais produzia corrente elétrica na bobina (B), cessando, deste modo. Ocorre que a corrente elétrica na bobina (A) vai de um valor nulo a um valor qualquer, ou seja, varia no tempo e, em seguida, torna-se constante. Em resultado disto, o campo magnético gerado pela bobina (A) também vai de zero a um valor qualquer e, em seguida, torna-se constante. Ou seja, há uma variação da intensidade do campo magnético de (A), a qual induz a formação de corrente elétrica na bobina (B), pois se a intensidade do campo

Oersted, mostrando a existência de um fenômeno inverso (produção de efeitos elétricos pelo magnetismo)" (Dias e Martins, 2004, p. 528).

⁹ Consoante Pires (2011), Michael Faraday (1791-1867) começou sua carreira como aprendiz de encadernador, aos 14 anos, a partir da qual teve acesso a livros sobre eletricidade. Em 1831, Faraday descobriu que a aproximação de um ímã a um fio gera corrente elétrica e que uma mudança na corrente de um fio gera uma mudança correspondente em outro fio próximo. Também lhe é creditada a descoberta da indução eletromagnética e a invenção do dínamo – dispositivo que produz corrente elétrica quando um conjunto de espiras é girado próximo a um magneto.

magnético varia no tempo, o fluxo também variará no tempo. Em síntese, pode-se concluir que:

Fluxo magnético variável → Corrente elétrica.

Deve-se ter em mente que é a variação do fluxo do campo magnético de uma bobina que induzirá a formação de corrente na outra bobina. É um fato experimental que a variação do fluxo de um campo magnético, seja ela provocada por uma variação temporal do campo magnético, pela movimentação relativa entre um campo magnético e um circuito elétrico ou pela variação da área do circuito, provoca uma “força” eletromotriz¹⁰ (fem) no circuito expressa pela Lei de Faraday,

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

Em que $\Phi = B.A.\cos\theta$ é o fluxo do campo magnético através constante através de um circuito elétrico. Esta fem é induzida pela variação temporal de Φ , por este motivo esta lei é também conhecida como a Lei da Indução Eletromagnética de Faraday.

3.2.1 O Dínamo

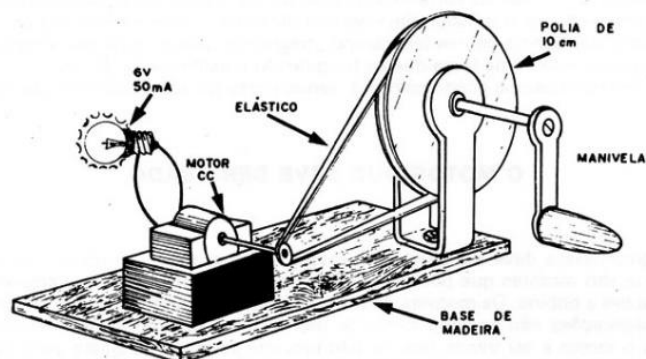
O gerador elétrico é um dispositivo que transforma em energia elétrica qualquer outro tipo de energia. Assim, as pilhas são geradores que transformam a energia das ligações químicas em energia elétrica. Já o dínamo é um gerador que transforma energia mecânica em energia elétrica. Assim, estudando os geradores, percebe-se o princípio da conservação da energia, pela sua transformação em diversas modalidades.

Uma maneira de se obter um dínamo é a partir de um motor elétrico, conforme mostrado na figura 05, que demonstra que o funcionamento do dínamo

¹⁰ Cabe observar que força eletromotriz na verdade não é uma força, mas uma tensão elétrica. Eis o motivo pelo qual ela é medida em volts. Nesta pesquisa, usaremos as aspas de maneira a reforçar esta observação.

guarda semelhanças com o motor elétrico. Enquanto um transforma a energia elétrica em outros tipos, o outro faz exatamente o contrário.

Figura 5 – Dínamo feito com um motor elétrico



Fonte: <https://www.newtonbraga.com.br/mini-projetos/168-educacionais/12568-construa-um-dinamo-min724.html>

O dínamo mostrado na figura 5, apesar de demonstrar claramente a transformação da energia, não transparece o seu funcionamento do ponto de vista do eletromagnetismo. O dínamo mostrado na figura 6, diferentemente do da figura 5, expõe seus componentes mais elementares, mostra mais transparentemente como se dá o seu funcionamento, bem como facilita a observação dos fenômenos físicos em questão. Ele é constituído, basicamente, de uma haste rotatória com ímãs nas extremidades e uma bobina de fio de cobre com as extremidades ligadas a dois diodos, conforme retratado na figura 6.

Figura 6 – Dínamo didático



Fonte: Acervo do autor.

O ímã, ao passar perto da bobina com velocidade relativa¹¹ não nula em relação a ela, faz com que as linhas de campo magnético “cortem” a bobina. Com isso, o fluxo das linhas de campo que atravessam a bobina varia no tempo ($\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \neq 0$) e, por consequência, isto produz na bobina uma corrente elétrica de intensidade variável, denominada corrente induzida, bem como uma diferença de potencial (ddp), a qual, historicamente, convencionou-se chamar força eletromotriz induzida (femi). Ainda que se saiba que não se trata de uma força, o uso do termo persiste. No caso de se ter uma espira, a força eletromotriz induzida (ε) é dada por $\varepsilon = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$, já no caso de uma bobina constituída de N espiras, tem-se $\varepsilon = -N \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$.

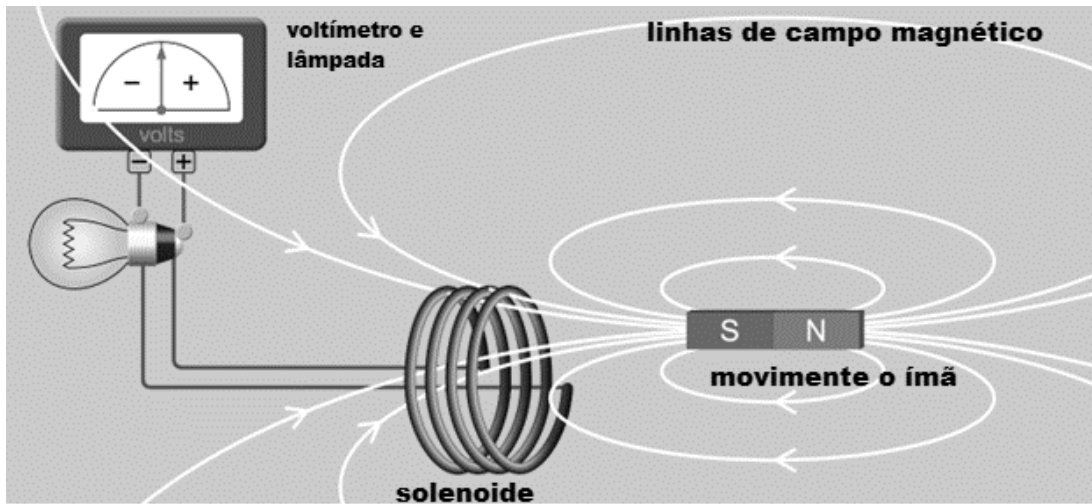
Explicando-se o dínamo de maneira levemente diferente da feita acima, observe que, se o ímã estiver em repouso ($v = 0$), em relação à bobina, o fluxo das linhas de campo que a atravessam não variará com o decurso do tempo, ($\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 0$), assim, não haverá efeito algum em relação à bobina. Todavia, se, por uma força mecânica externa, o ímã for movimentado em relação à bobina, as linhas de campo atravessam a bobina de forma variável, produzindo, por conseguinte, um fluxo variável no tempo (veja a figura 7).

Assim, as linhas de campo magnético induzem a movimentação ordenada dos elétrons livres presentes na bobina¹², e isto acarretará a formação de um polo positivo (com “falta” de elétrons) e de um polo negativo (com “excesso” de elétrons) no circuito em que está inserida. A bobina geralmente é feita de cobre, este, por ser um metal, possui os elétrons livres e, como são partículas com carga elétrica, estão sujeitos ao campo magnético externo. A figura 7 nos mostra, em essência, o funcionamento de um gerador mecânico, movimentando-se o ímã e mantendo a bobina em repouso.

¹¹ Hewitt (2009) preleciona que a concepção de que o magnetismo é afetado pelo movimento relativo foi primeiramente explicada por Albert Einstein em seu primeiro artigo sobre a teoria da relatividade restrita, intitulado “Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento”. De forma notável, o campo magnético revela-se relativo, semelhante ao movimento. Por exemplo, quando uma carga se locomove em relação a você, a presença de um campo magnético é decorrente desse movimento. Entretanto, ao se mover junto com a carga, de modo a anular qualquer movimento relativo, a ausência de um campo magnético associado a ela é observada.

¹² Em geral, as bobinas costumam ser constituídas internamente por cobre ou alumínio. Nestes materiais, a ligação química é do tipo metálica. Nos metais, os elétrons livres podem formar corrente elétrica se submetidos a uma diferença de potencial elétrico.

Figura 7 – Indução eletromagnética

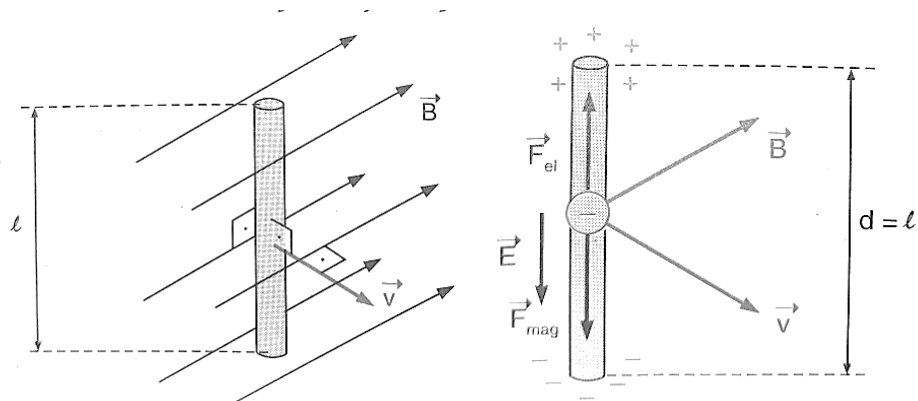


Fonte: <https://phet.colorado.edu/en/simulations/faradays-law>

Agora, analisa-se uma situação simétrica, a saber, quando o ímã está parado e mantemos o condutor em movimento. Para ser mais preciso, considere um condutor retilíneo que se movimenta em um campo magnético. A ação do campo magnético induz a liberação daqueles que estejam fracamente ligados ao átomo. Estes elétrons sofrem a ação da força magnética, acumulando-se em uma extremidade do condutor, criando-se um polo negativo, como mostrado na figura 8. Conseqüentemente, na outra extremidade, cria-se um polo positivo.

Se o condutor for posto em repouso novamente, evidentemente os elétrons não mais são defletidos. O movimento em “vai e vem” do condutor, inserido em um circuito elétrico fechado, é capaz de determinar uma corrente elétrica, a qual pode ser aproveitada para a produção de energia elétrica.

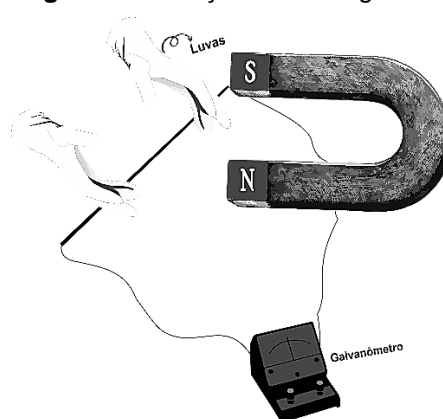
Figura 8 – Condutor retilíneo imerso em campo magnético



Fonte: Shigekiyo, Yamamoto, Fuke. Os alicerces da Física, 1998.

Na figura 9, mostra-se uma maneira de detectar a passagem de corrente elétrica pelo condutor. No ímã em forma de ferradura, mostrado abaixo, tem-se, entre suas extremidades, a formação de um campo magnético bastante intenso. Ao se deslocar o condutor o galvanômetro, ao qual está ligado, defletirá indicando que há passagem de corrente elétrica. Tenha-se em mente que o que interessa é o movimento relativo entre a fonte do campo magnético e o condutor, pois, se o condutor for posto em repouso e se movimentar o ímã, o galvanômetro também detectará a passagem de corrente elétrica.

Figura 9 – Indução eletromagnética

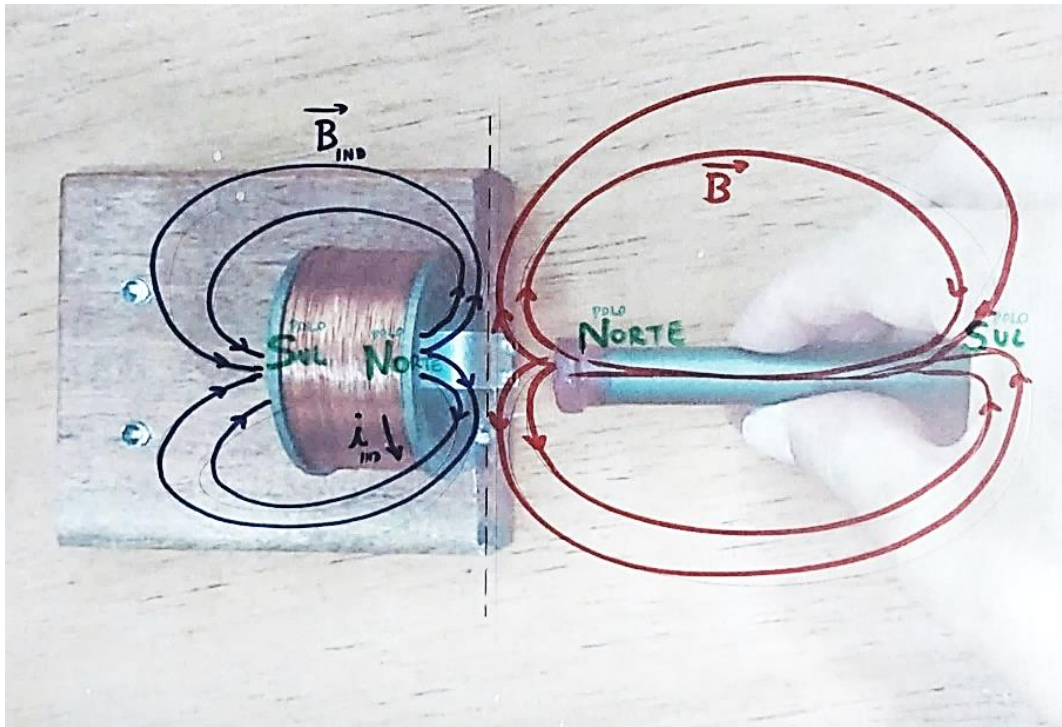


Fonte: Elaborada pelo autor.

3.2.2 Um outro arranjo da experiência de Faraday para entender indução eletromagnética e a regra de Lenz

O arranjo experimental mostrado na figura 10 é, em essência, similar ao experimento de Faraday. Contudo, o experimento aqui estudado permite-nos fazer algumas investigações a respeito da Lei de Faraday em relação ao sentido da corrente elétrica (regra de Lenz). Ele é constituído, basicamente, de uma bobina em circuito fechado com dois leds e de uma barra de ferro com dois ímãs em suas extremidades. Os leds são apenas para permitir a verificação da inversão do sentido da corrente elétrica. Por sua vez, a barra é para aproximar (ou afastar) da bobina produzindo uma variação do fluxo do campo magnético.

Figura 10 – Aproximação do polo norte da barra



Fonte: Elaborada pelo autor.

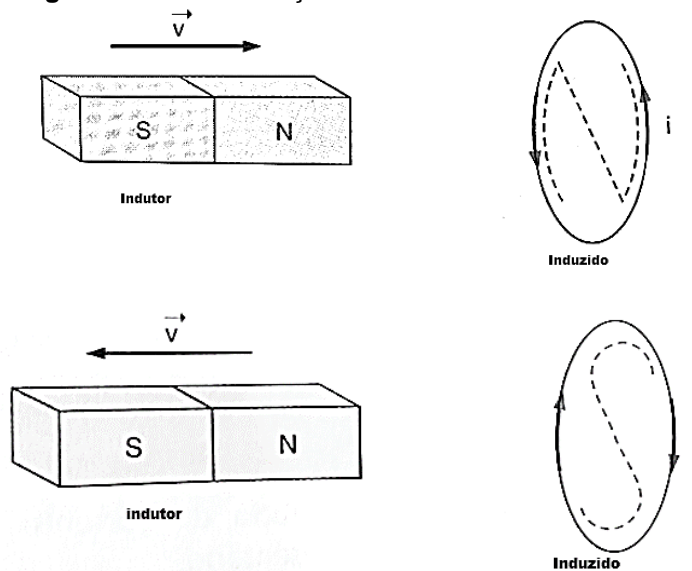
Conforme mostrado na figura 10, ao aproximarmos da bobina o polo norte da barra surge nesta, também, um polo norte, de tal modo que ocorre uma repulsão entre estes polos. Isto ocorre, pois é consequência do fato de que a aproximação do campo magnético da barra produziu uma variação do fluxo eletromagnético na bobina. Por consequência, constata-se a presença de uma corrente elétrica circulando na bobina, a qual denominamos corrente induzida. A questão natural que se apresenta é saber o sentido da corrente, o qual pode ser determinado pela lei de Lenz.

Conforme a lei de Lenz, ao se produzir uma variação do fluxo magnético atuante sobre um condutor fechado (no caso em estudo, a bobina), neste surge um campo magnético que se opõe à referida variação de fluxo. Assim, se o indutor (barra de ferro) tem seu fluxo aumentando, o induzido (bobina) atua contra este aumento. Se o indutor tem seu fluxo diminuindo, o induzido atua contra a diminuição do fluxo indutor.

Na figura 11, ilustra-se algumas situações acerca da lei de Lenz para se determinar o sentido da corrente elétrica ao se aproximar ou afastar o polo norte de um ímã. Observe que, ao afastar o polo norte do indutor, a corrente no condutor induzido percorre a espira no sentido horário, já ao se aproximar o polo norte, surge

no induzido uma corrente que percorre a espira no sentido anti-horário (fig. 11 parte superior). Raciocínio análogo se aplica em caso de aproximação ou afastamento do polo sul do indutor.

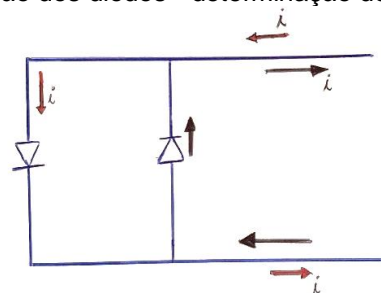
Figura 11 – Determinação do sentido da corrente elétrica



Fonte: Adaptada de Kazuchito e Fuke (1998).

Resumidamente, retomando a figura 10, observa-se que, ao se aproximar o polo norte da barra de ímã indutora, ocorre um aumento do fluxo magnético, ao mesmo tempo, surge na bobina induzida um campo magnético induzido com polo norte voltado para o polo norte do ímã, bem como uma corrente induzida no sentido anti-horário. E, analogamente, ao se afastar o polo norte da barra, o fluxo magnético diminui e surge na bobina um campo magnético induzido e corrente elétrica induzida em sentido horário. A fig. 12 mostra os diodos associados de tal maneira que, se a corrente for no sentido horário, acenderá um diodo e, se a corrente for no sentido anti-horário, o outro diodo acenderá.

Figura 12 – Associação dos diodos - determinação do sentido da corrente.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Do ponto de vista do princípio da conservação da energia, sucede que, por meio do trabalho mecânico realizado na aproximação (ou no afastamento) do ímã se produz corrente elétrica/energia elétrica na bobina.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Resumidamente, ao implementar a Abordagem Significativa de Ausubel nessa sequência de atividades, o professor tem a chance de melhorar suas estratégias de ensino e proporcionar uma aprendizagem mais significativa e efetiva para os alunos. Essa abordagem permite que os aprendizes se envolvam ativamente em diversas atividades, o que incentiva sua compreensão e aplicação dos princípios da Física em situações-problema.

Ao contrário do paradigma convencional, que se apoia exclusivamente na transmissão de conteúdo através de aulas narrativas, ao aderir a essa abordagem, o educador assume o papel de facilitador da aprendizagem, promovendo a interligação entre o conhecimento prévio dos estudantes e as novas informações a serem assimiladas.

Por fim, este material educacional representa uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), fundamentada em teóricos, como Ausubel, Gowin, Vergnaud, Moreira e outros, e tem o objetivo de proporcionar aos alunos uma educação mais profunda e duradoura.

Acredita-se que este recurso educacional será muito útil no desenvolvimento profissional dos professores, já que muitos estão em busca de métodos alternativos e eficazes de ensino. A abordagem baseada na teoria da aprendizagem significativa crítica de Moreira oferece um caminho que, embora desafiador, pode trazer resultados positivos.

REFERÊNCIAS

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

DIAS, V. S.; MARTINS, R. A. Michael Faraday: o Caminho da Livraria à Descoberta da Indução Eletromagnética. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 3, p. 517-530, 2004.

HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

INSTITUTO DE FÍSICA SÃO CARLOS. **Laboratório de Eletricidade e Magnetismo**. Universidade de São Paulo, 2010. Disponível em: <https://www.ifsc.usp.br/~strontium/Teaching/Material2010-2%20FFI0106%20LabFisicall/11-LeidelInducaodeFaraday.pdf>. Acesso em: 24 abr. 24.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa em Revista** – Vol. 1, pp. 43-63, 2011.

PIRES, A. S. T. **Evolução das Ideias da Física**. 3ª ed. Ed. Livraria da Física, 2011.

ROCHA, J. F. M. O conceito de “campo” em sala de aula - uma abordagem histórico-conceitual. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 1, 1604, 2009.

LISTA DE OBRAS CONSULTADAS

BISCUOLA, Gualter José; VILLAS BÔAS, Newton; DOCA, Ricardo Helou. **Tópicos de Física**. Vol. 3. 18. ed. — São Paulo : Saraiva, 2012.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. 8. ed. Rio de Janeiro, LTC, 2009 vol. 3;

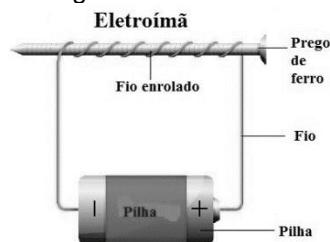
SEARS, Francis Weston; ZEMANSKY, Mark Waldo; YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física III: eletromagnetismo**. 12. ed. São Paulo, SP: Pearson Addison Wesley, c2008-2009 vol. 3.

SHIGEKIYO, Carlos Tadashi; YAMAMOTO, Kazuchito; FUKE, Luiz Felipe. **Os Alicerces da Física**. Vol. 3. 11 ed. 1998.

APÊNDICE B — QUESTIONÁRIO INICIAL

- 1) No seu dia a dia, onde você observa os efeitos (fenômenos) do magnetismo? Cite alguns desses efeitos.
- 2) No seu dia a dia, onde você observa os efeitos da eletricidade? Cite alguns desses efeitos.
- 3) Tendo por base que a estrutura básica de um átomo é constituída por prótons, elétrons e nêutrons, o que você pode dizer sobre carga elétrica? E sobre corrente elétrica?
- 4) Um ímã gera ao seu redor um campo magnético. Deste modo, ao aproximar ímãs ou materiais magnéticos, você pode notar alguns efeitos. Quais efeitos você observa?
- 5) Considere ímãs em forma de barra com o polo norte em vermelho. O que acontece se aproximarmos polos nortes entre si? E se aproximarmos o polo sul de um do polo norte de outro ímã?
- 6) Na sua concepção, se quebrarmos um ímã, é possível separar o polo norte do polo sul? Explique.
- 7) Na figura 01 está representado um eletroímã, que consiste em um fio condutor, por onde passa uma corrente elétrica, enrolado em um prego de ferro. Nesta situação, acontece alguma coisa com o sistema (prego mais condutor enrolado)? Explique.

Figura 13: Eletroímã

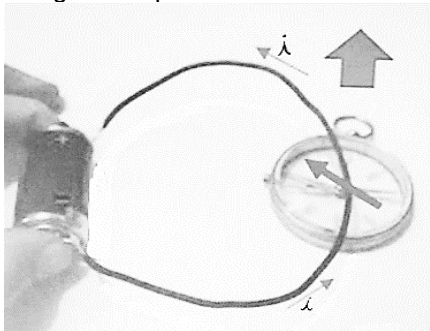


Fonte: <https://educador.brasilescola.uol.com.br/estrategias-ensino/ensino-eletromagnetismo-construindo-um-eletroima.htm>

APÊNDICE C — QUESTIONÁRIO FINAL

01) Observe o arranjo experimental mostrado na figura abaixo.

Fig. 14: experimento de Oersted

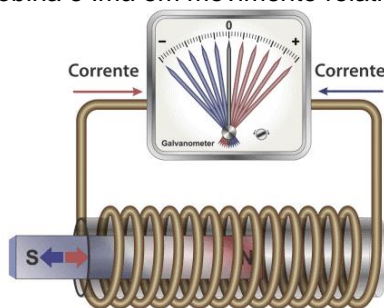


Fonte: Adaptado de http://www.fisica.seed.pr.gov.br/arquivos/File/sequencia_de_aulas/sequencia_magnetismo.pdf

Como você explica a movimentação da agulha da bússola?

2) Observe o arranjo experimental esquematizado na figura abaixo.

Fig. 15: Bobina e Ímã em movimento relativo entre si.



Fonte: <https://aprovatotal.com.br/gerador-eletromagnetico/>

A corrente elétrica pode fluir para a direita (em vermelho) ou para a esquerda (em azul).

Nota-se que o ponteiro do galvanômetro¹³ se movimenta nas seguintes situações:

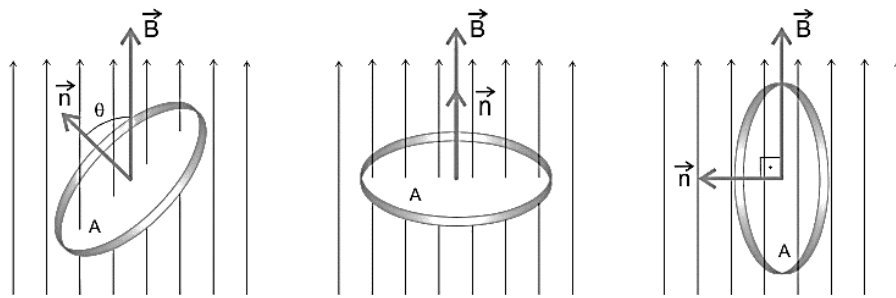
- i) quando aproximamos (ou afastamos) o ímã em relação à bobina;
- ii) quando aproximamos (ou afastamos) a bobina em relação ao ímã.

Como você explicaria fisicamente as situações i e ii? E se não houver movimento relativo, o que acontece?

03) Na figura abaixo ilustramos o fluxo do campo magnético B através de uma superfície de área A em três situações distintas. Explique quais variáveis influenciam no fluxo magnético, quando o fluxo será máximo e quando será nulo.

Fig.16: Fluxo magnético através de uma espira circular

¹³ **Galvanômetro** é um dispositivo utilizado para detectar a presença de corrente elétrica.

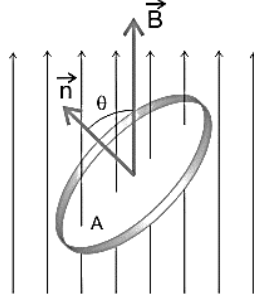


Fonte:

www.professorpanosso.com.br/documentos/formulario%20de%20fisica%20professor%20panosso%20vers%C3%A3o%202015.pdf

04) Sabe-se que o fluxo magnético (ϕ) em um campo magnético uniforme é dado pela expressão $\phi = A \cdot B \cdot \cos\theta$, em que os elementos A, B e θ estão esquematizados abaixo.

Fig. 17: Fluxo magnético através de uma espira circular



Fonte:

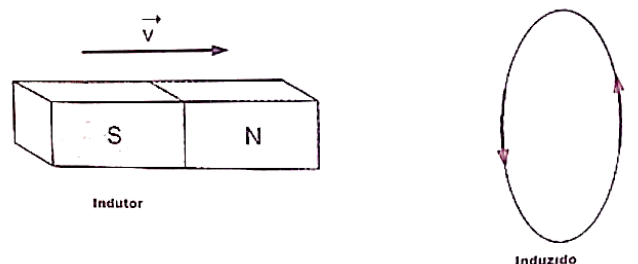
www.professorpanosso.com.br/documentos/formulario%20de%20fisica%20professor%20panosso%20vers%C3%A3o%202015.pdf

A partir disto responda o que acontece com o fluxo se:

- duplicarmos a área A?
- triplicarmos a intensidade do campo magnético B?
- o ângulo θ for 90° ?
- o ângulo θ for nulo?

5) ¹⁴ Conforme esquematizado ao lado, uma barra de ímã move-se em direção à espira com seu polo norte voltado para a espira.

Figura 18: Sentido da corrente



¹⁴ Devido ao caráter fechado e objetivo desta questão, suas respostas não foram analisadas no corpus textual inserido no Iramuteq.

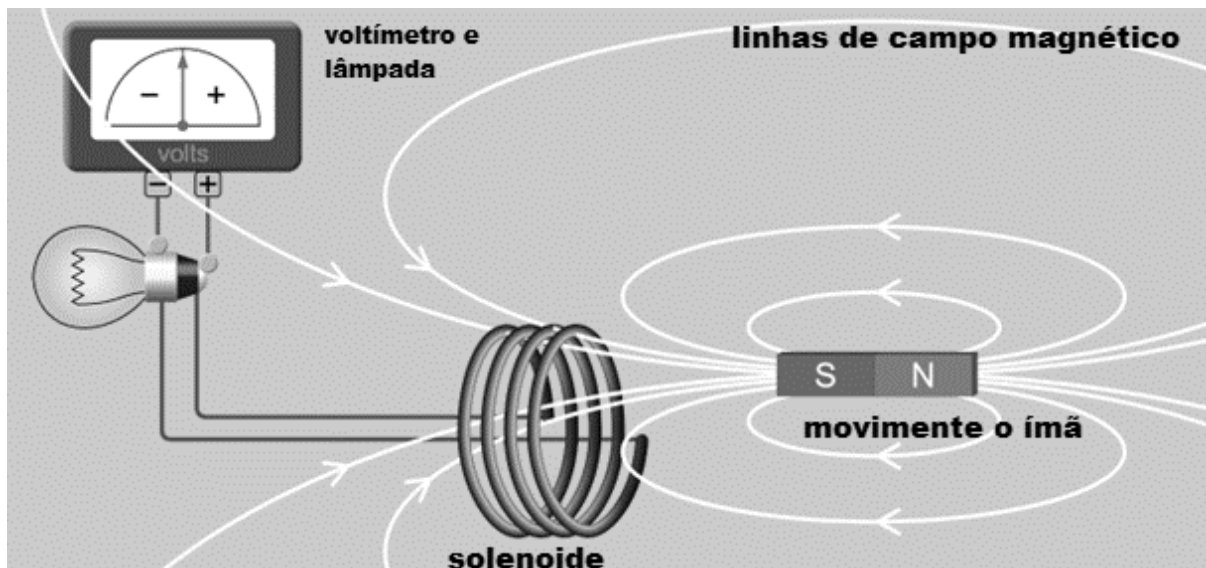
Fonte: SHIGEKIYO, YAMAMOTO, FUKE. Os alicerces da Física, 1998.

Com base nesta representação responda às seguintes situações no quadro abaixo.

Situação	Corrente elétrica move-se no sentido
O ímã se aproxima com o polo norte voltado para a espira	anti-horário
O ímã se afasta com o polo norte voltado para a espira	
O ímã se aproxima com o polo sul voltado para a espira	
O ímã se afasta com o polo sul voltado para a espira	
O ímã está em repouso em relação à espira	

6) Considere a figura abaixo.

Figura 19: Lei de Faraday



Fonte: Phet Colorado – Faraday's Law.

Se você movimentar o ímã em relação à bobina com certa rapidez, em uma determinada direção e sentido.

- O que acontece se você aumentar a rapidez do movimento relativo? Explique sua resposta.
- O que acontece se você inverter o sentido do movimento? Explique sua resposta.