

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

EVERTON CORREA FERREIRA

**ATIVIDADES DE EXPERIMENTAÇÃO COMO RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS
NO ENSINO DE ELETROMAGNETISMO**

Alfenas/MG
2017

EVERTON CORREA FERREIRA

**ATIVIDADES DE EXPERIMENTAÇÃO COMO RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS
NO ENSINO DE ELETROMAGNETISMO**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre pelo Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física/MNPEF, polo da Universidade Federal de Alfenas/MG. Linha de Pesquisa: Física no Ensino Médio. Orientadora: Thirza Pavan Sorpreso.

Produto: Unidade de Ensino de Eletromagnetismo

Alfenas/MG
2017

FICHA CATALOGRÁFICA

EVERTON CORREA FERREIRA

**ATIVIDADES DE EXPERIMENTAÇÃO COMO RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS
NO ENSINO DE ELETROMAGNETISMO**

A Banca examinadora abaixo-assinada aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre pelo Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física/MNPEF, polo da Universidade Federal de Alfenas/MG.

Aprovada em _____

Prof. Dr. Hugo Bonette de Carvalho
Universidade Federal de Alfenas

Prof. Dr. Leandro Londero da Silva
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Profa. Dra. Thirza Pavan Sorpreso
Universidade Federal de Alfenas

Dedico a Deus, a minha esposa e filhos, aos meus pais e amigos pelo apoio e paciência durante a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Enfim os agradecimentos, não foi fácil chegar até aqui. A luta foi árdua, do processo seletivo até a conclusão do mestrado foi um longo caminho percorrido, com várias noites em claro. Primeiramente começo agradecendo a Deus, pois durante essa jornada ele esteve sempre comigo.

Agradeço aos meus amigos discentes pelo companheirismo durante o Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, realizado na Universidade Federal de Alfenas.

Agradeço a todos os docentes do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Alfenas pelo conhecimento abarcado no decorrer do curso.

Faço um agradecimento especial à orientadora Prof Dr Thirza Pavan Sorpreso, por sua dedicação, conselhos, dicas e, sobretudo por sua competência e profissionalismo. Tenha certeza de minha gratidão e saiba que graças a sua orientação terminei esse mestrado com uma nova concepção de como lecionar Física.

Agradeço a CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela oportunidade e apoio financeiro durante o curso.

Também expressei meus sinceros e profundos agradecimentos a minha esposa, que durante este período esteve sempre ao meu lado dando força e incentivando.

Agradeço com ternura aos meus filhos: Lucas, Leonardo e Beatriz, por entenderem que minha ausência se fez necessária, mas que essa vitória lhes sirva de exemplo, e que vocês também possam alcançar seus sonhos.

Agradeço a minha mãe por entender minha ausência e pelos conselhos sábios, e ao meu pai (em memória), mas que me ensinou a sempre terminar o que começar.

Agradeço a Escola Estadual Dr Emílio Silveira e aos alunos que participaram desta tese de mestrado.

Agradeço aos Prof Dr Hugo Bonette Carvalho, Prof Dr Leandro Londero da Silva, Prof Dr Artur Justiniano Roberto Jr, Prof Dr Cassiano Pagliarini, Prof^a Dr^a Thirza Pavan Sorpreso por comporem a banca examinadora.

Meus sinceros agradecimentos ao Prof Dr Leandro Londero da Silva pela confiança e incentivo para entrar no mestrado.

RESUMO

É explícito e inegável que em minha experiência profissional pude observar que nossas escolas trabalham às cegas, no que se refere às práticas de ensino e aprendizagem, demandando assim uma enorme necessidade de mudança. É irrefutável que a prática de ensino e aprendizagem adotada pelas escolas estaduais segue uma abordagem tradicional, quando o professor aborda conceitos abstratos de forma expositiva utilizando apenas lousa e giz, muitas vezes sem conectar tais conceitos com o cotidiano. Em face do desinteresse e da dificuldade dos alunos no que tange o ensino de física, em especial no eletromagnetismo, apresento neste trabalho uma unidade de ensino que acredito ser enriquecedora para regência de aula do professor, pois abordamos o eletromagnetismo de forma diferenciada do método tradicional. Para isso foram abordados conceitos de eletricidade, magnetismo e eletromagnetismo conectando-os com situações experimentais para facilitar sua significação pelos alunos. Buscou-se por meio da unidade que os alunos pudessem compreender o funcionamento de um artefato tecnológico de uso social, a Usina Hidrelétrica. Concomitantemente com a experimentação foram utilizadas outras formas de representação como: formalismo matemático, animações, simulações e exposição. Este trabalho foi desenvolvido com 19 alunos do primeiro ano de ensino médio na Escola Estadual Doutor Emílio da Silveira, localizada na cidade de Alfenas, Minas Gerais. Os 19 alunos de turmas diferentes se inscreveram voluntariamente para pesquisa. Durante o desenvolvimento da unidade de ensino as aulas foram registradas em áudio e vídeo e em atividades escritas pelos estudantes. Esses registros foram posteriormente analisados no que se refere as compreensões dos estudantes e possíveis deslocamentos dos mesmos sobre conceitos importantes para o funcionamento de uma Usina Hidrelétrica. Os resultados indicaram que a aplicação desta unidade transcorreu como o planejado, os alunos tiveram contato com experimentos, o que permitiu que fossem construindo conhecimentos a partir de elementos concretos em associação com elementos abstratos. Houve uma melhora significativa entre concepções iniciais e posteriores sobre conceitos de eletromagnetismo. Os estudantes apresentaram respostas diversificadas, no decorrer da unidade, não se restringindo à reprodução do que era dito pelo autor. Observamos ainda que no final da unidade grande parte dos alunos preocuparam com a utilização correta de termos científicos e com o domínio desses termos.

Palavras-chave: Ensino de Física. Experimentação. Eletromagnetismo. Ensino Médio. Resolução de Problemas.

ABSTRACT

Our schools are blind to teaching and learning approaches, what implicates a huge necessity of changes. In fact, the public schools' practices are traditional, namely, concepts are taught through abstract lectures, without connection to its material reality, and teachers are used to employ only black board and chalk. Due to the lack of interest and the difficulties showed by students in learning physics, especially in electromagnetism, we present a teaching unity that avoid the traditional teaching method and, we believe, that will enrich the teacher's practice. Therefore, concepts of electricity, magnetism and electromagnetism were linked to experimental situations to make their signification easier for students. Through this teach unity, our aim was that students could understand a technological artefact of social use, Hydroelectric Power Plants. Simultaneously with experiments, we applied other forms of representation: mathematical formalism, animations, simulations and lectures. This work was developed among 19 students in first year of high school at *Escola Estadual Doutor Emílio da Silveira*, in *Alfenas, Minas Gerais*. During the development of the teaching unity, the classes were recorded in audio and video and students did writing activities. We analyzed this data searching for students' conceptions and their changes in relation to important concepts for the understanding of Hydroelectric Power Plants. The results show that the development of the teach unit occurred as planned, since the contact of students with experiments allowed them to build abstract knowledge linked to concrete elements. There was improvements between initial and final conceptions of students about electromagnetism concepts. Students presented diversified answers, during the teaching unit, their answers were not restricted to reproductions of the teacher's speech. Besides that, students were concerned about the use of scientific language.

Keywords: Physics Teaching. Experimentation. Electromagnetism. High School. Problem Solving.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bancada experimental.	21
Figura 2 - Bancada experimental.	21
Figura 3 - Bancada experimental.	21
Figura 4 - Máquina eletrostática de Franklin.	23
Figura 5 - Quantidade de carga.	25
Figura 6 - Indução eletrostática.	26
Figura 7 - Indução eletrostática.	26
Figura 8 - Experimento ponte H.	27
Figura 9 - Esquema ponte H.	27
Figura 10 - Múltiplas pontes H.	29
Figura 11 - Guindaste.	29
Figura 12 - Controle de velocidade por potenciômetro.	30
Figura 13 - Controle de velocidade por potenciômetro.	30
Figura 14 - Sentido real da corrente.	31
Figura 15 - Relação entre ddp e corrente elétrica.	31
Figura 16 - Voltímetro, amperímetro e multímetro.	32
Figura 17 - GIF utilizado para discutir a relação entre a formulação matemática da Lei de Coulomb e representação pictórica do fenômeno associado.	32
Figura 18 - Captura de tela de simulador de campo elétrico.	34
Figura 19 - Bobina (fio de cobre enrolado) ligada a um amperímetro e ímã em forma de U. Valor registrado no amperímetro (zero).	35
Figura 20 - Corrente no amperímetro (+70 mA), deslocamento do ponteiro para direita.	35
Figura 21 - Corrente no amperímetro (-70 mA), deslocamento do ponteiro para esquerda. ...	36
Figura 22 - Simulador referente ao magnetismo	37
Figura 23 - Ilustração da atração e repulsão entre ímãs.	37
Figura 24 - Representação da inseparabilidade dos polos magnéticos.	37
Figura 25 - Linhas de campo magnético.	38
Figura 26 - Vetor indução magnética.	39
Figura 27 - Orientação de uma bússola.	39
Figura 28 - Orientação de bússolas na presença de ímã.	39
Figura 29 - Lei de Lenz.	40

Figura 30 - Experiência de Oersted, sem a passagem da corrente elétrica.	41
Figura 31 - Experiência de Oersted.	41
Figura 32 - Experiência de Faraday.	42
Figura 33 - Motor gerador.	42
Figura 34 - Fio enrolado em forma de bobina.	42
Figura 35 - Imã vermelho (norte) e imã verde (sul).....	42
Figura 36 - Leds acesos após girar o motor da figura 32.	43
Figura 37 - Experiência de Faraday.	43
Figura 38 - Linhas de força geradas por corrente em fio retilíneo.	44
Figura 39 - Regra da mão direita.	44
Figura 40 - Polos magnéticos de espira circular.	45
Figura 41- Solenoide.	45
Figura 43 - Solenoide com fio vermelho (positivo), próximo da bússola.	46
Figura 42 - Solenoide com fio azul (negativo) próximo da bússola.	46
Figura 44 - Regra da mão direita em um solenoide.	46
Figura 46 - Norte da bússola apontando para o norte do solenoide em concordância com a Figura 44.	47
Figura 45 - regra da mão direita para um solenoide.	47
Figura 47- Campo magnético em um solenoide.	47
Figura 48 - Lei da indução de Faraday.....	48
Figura 49 - Lei de Faraday.	48
Figura 50 - Variação do fluxo magnético afastando ou aproximando um imã de uma espira.	50
Figura 51 - Variação do fluxo magnético com a movimentação do condutor (AC).	50
Figura 52 - Variação do fluxo magnético variando o ângulo da normal da espira com as linhas de campo magnético.	50
Figura 53 - Ferro cilíndrico solto em um tubo de cobre.....	51
Figura 54 - Imã cilíndrico solto em um tubo de cobre.....	51
Figura 55 - Motor de micro-ondas.	52
Figura 56 - Hélice marrom simulando as turbinas.	52
Figura 57 - Leds acesos após girar a hélice marrom (turbina).	53
Figura 58 - Simulação de uma usina eólica.....	53
Figura 59 - Simulação de uma usina eólica.....	53
Figura 60 - Simulação de uma usina térmica.	54

Figura 61 - Cooler de computador desmontado.	54
Figura 62 - Resposta do aluno A9 representando interações eletromagnéticas como ondas. ...	61
Figura 63 - Funcionamento de uma usina hidrelétrica por A12	63
Figura 64 - Funcionamento de usina hidrelétrica por A9	63
Figura 65 - Funcionamento de usina hidrelétrica por A11.....	63
Figura 66 - Funcionamento de usina hidrelétrica por A1	64
Figura 67 - Funcionamento de usina hidrelétrica por A4.	64
Figura 68 - Funcionamento de usina hidrelétrica por A8	64
Figura 69 - Funcionamento de usina hidrelétrica por A3	65
Figura 70 - Funcionamento de usina hidrelétrica por A16.....	65
Figura 71 - Explicação de A9 para a determinação de direção e sentido de campo elétrico. ...	70
Figura 72 - Resposta do estudante A6 para a quarta questão do apêndice 3.....	71
Figura 73 - Resposta do estudante A13 para a quarta questão do apêndice 3.....	72
Figura 74 - Resposta do aluno A9 ao buscar representar o vetor campo magnético no entorno de um ímã	76
Figura 75 - Resposta do aluno A9	77
Figura 76 - Resposta do aluno A5	78
Figura 77 - Resposta do aluno A14	78
Figura 78 - Resposta do aluno A5	79
Figura 79 - Resposta do aluno A18	79
Figura 80 - Resposta do aluno A9	79
Figura 81 - Desenho do grupo formado por A16, A5 e A14.....	82
Figura 82 - Esquema de hidrelétrica do grupo composto por A6, A7, A15.....	83
Figura 83 - Esquema de energia eólica do grupo composto por A6, A7, A15.....	83
Figura 84 - Esquema de termelétrica do grupo composto por A6, A7, A15.....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cronograma de desenvolvimento da unidade de ensino.....	22
Tabela 2 - Categorias de respostas para as questões 1 e 2 do apêndice 2.	56
Tabela 3 - Categorias de respostas para as questões 3, 4 e 6 do apêndice 2.	59
Tabela 4 - Categorias de respostas para a questão que investigava a compreensão dos alunos sobre as usinas hidrelétricas	62
Tabela 5 - Categorias e número de respostas para a relação entre distância entre cargas e força elétrica	67
Tabela 6 - Categorias e número de respostas associadas a determinação de módulo, direção e sentido de campo elétrico	69

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVAS	12
1.1	PROBLEMA, OBJETIVO E QUESTÕES DE PESQUISA	14
2	ATIVIDADES EXPERIMENTAIS E CONCEITOS DEELETROMAGNETISMO	16
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	20
4	DESENVOLVIMENTO DA UNIDADE DE ENSINO	21
4.1	LEVANTAMENTO DAS CONCEPÇÕES INICIAIS E INSERÇÃO DO PROBLEMA	22
4.2	ELETRICIDADE	23
4.3	MAGNETISMO.....	34
4.4	ELETROMAGNETISMO	40
4.5	AVALIAÇÃO FINAL COM PROBLEMAS COMPLEXOS.....	52
5	RESULTADOS.....	56
5.1	CONCEPÇÕES INICIAIS	56
5.1.2	Síntese das concepções iniciais.....	65
5.2	ELETRICIDADE.....	67
5.2.1	Síntese dos resultados sobre eletricidade.....	72
5.3	MAGNETISMO.....	73
5.3.1	Síntese dos resultados sobre magnetismo.....	76
5.4	ELETROMAGNETISMO	76
5.4.1	Síntese dos resultados sobre eletromagnetismo.....	80
5.5	GERAÇÃO DE ENERGIA EM USINAS.....	81
5.5.1	Síntese dos resultados sobre funcionamento de usinas.....	84
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
	REFERÊNCIAS	90
	APÊNDICES.....	94

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVAS

Penso e acredito na Física como uma ciência que tem por objetivo solucionar e explicar tudo o que acontece a nossa volta, em nosso cotidiano. Além disso, tendo o raciocínio lógico como sua principal característica e a matemática como sua principal ferramenta, a Física enquanto disciplina escolar possibilita também o desenvolvimento de nosso intelecto.

Se considerarmos o contexto histórico-social, acredito que a Física é um dos principais motivos de uma nação ser considerada de primeiro mundo, visto que uma nação com desenvolvimento tecnológico possui melhores equipamentos na área da saúde, educação, armamento militar, agricultura, transportes, fazendo-se assim respeitada e conceituada.

Por outro lado, após 12 anos atuando como professor de Física na rede pública de ensino do estado de Minas Gerais é possível afirmar que a Física está entre as disciplinas que provoca mais aversão nos estudantes do ensino médio. Tal aversão pode estar associada à dificuldade de êxito da maioria dos estudantes nessa disciplina, o que por sua vez associa-se a diversos fatores: a formação e qualificação profissional dos professores; a ausência de abordagens de ensino diversificadas; ausência de desenvolvimento de atividades experimentais; hegemonia da prática da resolução de exercícios; dificuldades dos estudantes em leitura e escrita; dificuldades dos estudantes na realização de cálculos matemáticos; dentre outros.

Considero, por experiência própria, que grande parte dos professores de Física formada nas universidades, possui em sua bagagem poucas aulas experimentais, devido à precariedade dos laboratórios, aparelhos e equipamentos. Acabamos por sermos ensinados, ou melhor dizendo, adquirimos estratégias e habilidades apenas para a resolução de exercícios de Física em sala de aula. Como ensinar, por exemplo, circuitos elétricos se jamais manuseei um multímetro ou outro aparelho em um laboratório, em meu curso de graduação?

Acredito que seria mais prazeroso para o professor e para os estudantes se as aulas fossem desenvolvidas de forma concreta, por meio de atividades experimentais. Trabalhei ao longo desses 12 anos, com muitos experimentos construídos com materiais recicláveis, e percebia que em algumas experiências quando associadas aulas teóricas despertava a curiosidade e aumentava o interesse dos alunos no ensino da física.

No entanto, a prática experimental pode ser desenvolvida de diversas formas. A simples inclusão de demonstrações ou a execução de roteiros de laboratório pelos estudantes não garante uma aprendizagem efetiva da Física. A forma como um professor conduz uma atividade experimental pode não ultrapassar uma prática de ensino tradicional, na qual o estudante

simplesmente executa procedimentos sem compreender seu significado físico. Nesse sentido, o planejamento da prática experimental deve ser acompanhado de embasamento teórico sustentado pelas pesquisas educacionais de forma a buscar-se um ensino de Física mais significativo e crítico.

Também observo, em minha vivência como professor, que outros problemas dificultam o trabalho com a Física no Ensino Médio nas escolas públicas brasileiras. Muitos desses problemas estão associados ao próprio sistema de ensino, como, por exemplo, a falta de equipamentos e materiais para a prática experimental.

Dado o exposto até aqui e acreditando na potencialidade das atividades experimentais para a aprendizagem da Física, durante a realização do curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física, desenvolvi uma unidade de ensino sobre conceitos do eletromagnetismo por meio da experimentação com materiais de baixo custo como mediação da prática de resolução de problemas. Essa unidade foi desenvolvida com estudantes do Ensino Médio e teve seus limites e possibilidades para a aprendizagem científica analisados no contexto real do ensino público de uma escola da cidade de Alfenas – MG.

A ideia de trabalhar experimentação na resolução de problemas ganhou força após um insight durante as aulas de teorias de aprendizagem. Bachelard então ganha minha admiração, pois sempre fui crítico dos teóricos, achando que falavam muito sem ter experiência nenhuma em sala de aula. Mas, quando tentaram definir Bachelard, erraram, e sua resposta, de forma inteligente, foi o que me cativou, pois segundo ele, seu conceito do que é agora, já não é mais depois de algum tempo. Essa é a perspectiva descontínuista de seu pensamento. Isto me fez enxergar que após adquirir novos conceitos os meus podem sofrer modificações, e que assim eu deveria fazer. Sendo esse pensamento de que nós seres humanos estamos à frente dos animais, pois podemos pesquisar, questionar, raciocinar e construir novos pensamentos e que isso acarreta na mudança do meu eu. Abandonando a partir daqui a prática comportamentalista, na qual a abordagem do ensino se dá apenas com o professor iniciando a abordagem introduzindo os conceitos, aplicando a fórmula na resolução de exercícios, aplicando a seguir um trabalho em forma de listas de exercício e aplicando uma avaliação final em forma de prova, e que assim se repete anos após anos. Já na abordagem da aplicação desta unidade, o autor faz um levantamento das concepções iniciais, utilizam-se outros recursos além de livro e lousa, tais como: experimentos para auxiliar no entendimento dos conceitos, Gifs animados (Graphics Interchange Format ou formato de intercâmbio de gráficos) e simuladores do Phet colorado (interactive simulations for science and math) para ilustrar o que acontece de forma abstrata em

um experimento, como por exemplo, a movimentação dos elétrons dentro de um fio ou as linhas de campo magnético em um ímã, e ainda, aplicando questionários para verificar simultaneamente a evolução dos alunos diante do conceito abordado, tais questionários substituem as listas de exercícios em forma de trabalho. A vantagem desses questionários é que o aluno representa o que entendeu, dissertando ou em forma de desenhos e que possibilita ao professor diagnosticar e perceber respostas diferenciadas que podem ser observadas nas análises dessa unidade. Como forma de avaliação, ao invés de prova, exercícios escritos em uma folha, o autor apresenta três experimentos e pede aos alunos para dissertarem e ou desenhar, explicando todos os conceitos abarcados durante as aulas.

Pela primeira vez em doze anos de trabalho, lecionando agora com uma outra perspectiva educacional, em uma sala de aula com 40 alunos do 1º ano do ensino médio, na qual todos participaram da aula, sem precisar chamar atenção do aluno, sem barganhar sua atenção e seu silêncio, ao término da aula, alunos com olhos brilhantes e com as seguintes falas: “Todo professor deveria dar aula assim”; “Nem vi o tempo passar, que aula”; “Física é legal”; “Não acredito que exista um professor assim”.

Embora até este momento tivesse sempre cativado meus alunos com aulas vibrantes, ao ponto de ter uma média de quatro alunos ingressando na universidade para cursar física, pude perceber que estava trabalhando com potência mínima e que com essa nova metodologia poderia cativar meus alunos muito mais, com o intuito de quebrar esse paradigma de que a física é chata e inacessível e ainda instigar em nossos alunos o questionamento, a argumentação, o pensamento crítico, quero com isso dizer que não podemos ensinar nossos alunos somente a reproduzirem ou repetir o que lhes é ensinado, mas que eles podem aprender Física e desenvolver habilidades como levantamento de hipóteses e seleção de soluções, não com respostas uniformes, prontas e decoradas, mas sim com respostas diferenciadas e reflexivas.

1.1 PROBLEMA, OBJETIVO E QUESTÕES DE PESQUISA

Dado que a prática tradicional, exposição teórica e resolução de exercícios, não têm sido efetivas no sentido de proporcionar uma aprendizagem que conecte elementos concretos e a modelagem conceitual da Física, pretendeu-se desenvolver uma unidade de ensino constituída de atividade experimental, com materiais de baixo custo, como mediação da prática de resolução de problemas e analisar a efetividade dessa unidade para o aprendizado dos conceitos do eletromagnetismo.

Enuncie a seguir as questões de estudo:

- a) Quais aspectos devem ser considerados para a constituição de atividades de resolução de problemas por meio de práticas experimentais de eletromagnetismo?
- b) Qual a contribuição de atividades de resolução de problemas por meio de práticas experimentais para o aprendizado de conceitos de eletromagnetismo por estudantes do 1º ano do Ensino Médio?
- c) Quais os limites impostos pelo contexto real do ensino público para a realização de atividades de resolução de problemas por meio de práticas experimentais?

2. ATIVIDADES EXPERIMENTAIS E CONCEITOS DE ELETROMAGNETISMO

Neste item apresento uma revisão bibliográfica realizada em artigos de pesquisa publicados de 2010 a 2015 nos periódicos: Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Investigações em Ensino de Ciências, Ciência & Educação e Revista Brasileira de Ensino de Física sobre atividades experimentais e alguns conceitos do eletromagnetismo.

Alguns pesquisadores discutem a forma como a abordagem experimental tem sido realizada e como os professores a encaram. Brock e Rocha-Filho (2011) preocupados com os fatores que impedem que estudantes escolham a carreira de professor observam algumas características que são apontadas como sendo comuns entre professores em exercício. Dentre essas características eles apontam que os estudantes se afastam da Física influenciados pelo relacionamento com seus professores, o excesso de matematização em detrimento de um tratamento mais conceitual dos conteúdos e a ausência de experimentação.

Andrade e Massabni (2011) afirmam que os professores manifestam ter dificuldades e insegurança na realização de aulas práticas e sofrem com a falta de apoio e infraestrutura escolar. Além disso, quando lançam mão dessa abordagem ela ocorreria apenas como forma de ilustrar conceitos após a abordagem teórica. Com isso as autoras consideram que a mudança da prática escolar perpassa pela mudança das condições estruturais do ensino brasileiro, além disso, a valorização dessa prática pelo professor.

Observa-se que a pesquisa em Ensino de Física indica as diferentes possibilidades de tratamento da abordagem experimental. Andrade e Massabni (2011) consideram que quando as atividades experimentais são desenvolvidas de forma investigativa possibilitam a valorização da Ciência e sua utilização no cotidiano.

García e Rodriguez (2012) consideram que quando a atividade experimental é trabalhada como forma de resolução de problemas ela permite que os estudantes desenvolvam habilidades como levantamento de hipóteses e seleção de soluções.

Laburú et. al. (2010) consideram a importância da abordagem quantitativa no que se refere à prática experimental, os autores consideram que os professores não utilizam a abordagem quantitativa devido a pouca compreensão de como tratar dados experimentais com os estudantes.

Ramos e Vertchenko (2011) descrevem uma atividade experimental na qual os estudantes exploram, testam e discutem o comportamento de uma borracha tracionada auxiliando-os na compreensão de conceitos, leis e princípios físicos.

Souza et al. (2014) reproduziram o experimento de Joule sobre o equivalente mecânico do calor. Com esse experimento os autores procuraram explorar elementos da natureza da ciência como sua complexidade, o papel da experimentação, seu contexto e a dificuldade para estabelecer um valor exato do equivalente mecânico do calor. Os autores consideram que experimentos históricos proporcionam o desenvolvimento da argumentação e problematização.

Ribeiro (2014) apresenta uma prática diferenciada para um experimento com espelhos planos. Ele ressalta que o mesmo experimento pode ser tratado de formas diferenciadas.

Alguns dos trabalhos revisados nos auxiliam a compreender a importância das atividades experimentais, dentre elas apontamos: associar a teoria com o mundo real, aumentar a capacidade de observação dos estudantes, facilitar a compreensão conceitual, estimular o interesse dos estudantes pela Física, auxílio às aulas teóricas e, no caso das atividades de baixo custo, estas podem ser utilizadas em escolas com poucos recursos (Monteiro et. al., 2010).

As atividades práticas também permitem a abordagem de elementos importantes para a compreensão da natureza da ciência. Senra e Braga (2014) utilizaram as atividades de investigação para que os estudantes pudessem compreender como se dá a construção do conhecimento científico. Isso implicava em não tratar a atividade investigativa com roteiros prontos e sim de forma mais aberta. É importante ressaltar que os autores declaram que atividades abertas levam a erros e que estes foram importantes para a aprendizagem dos estudantes. A atividade contribuiu para o desenvolvimento da criatividade dos estudantes e proporcionou momentos de reflexão.

Já Laburú e Silva (2011) ressaltam a importância do laboratório didático para a aprendizagem conceitual. Os autores consideram que a ação experimental é uma forma de representação do mundo real. Essa forma de representação carregaria em si a natureza do conhecimento científico, mas, principalmente, permitiria a construção do pensamento científico.

Diversos artigos de pesquisa destacam as potencialidades pedagógicas das práticas experimentais, dentre elas o tratamento dos conhecimentos prévios dos estudantes, a argumentação e participação dos alunos e o desequilíbrio de idéias de senso comum. Coelho et al. (2010) consideram que as atividades experimentais quando abordadas como atividades

investigativas proporcionam ao professor a valorização dos conhecimentos prévios dos alunos proporcionando maiores oportunidades de aprendizagem.

Filho e Pacca (2011) analisam a prática de professores do Ensino Médio durante sua participação em um programa de formação continuada e a influência dessa formação nos seus planejamentos pedagógicos e na focalização do aluno. Os resultados indicam que o planejamento inicial é modificado ao longo das aulas e que as professoras buscaram dar voz aos alunos nas atividades experimentais tornando as aulas dialógicas.

Pereira e Coutinho-Silva (2010) consideram que a prática experimental pode ser relevante para desequilibrar compreensões do senso-comum dos estudantes, principalmente quando associadas ao cotidiano. Os autores desenvolveram práticas experimentais durante uma exposição científica intitulada “Luz, Cor e Formação de Imagens” e observaram que ela possibilitou um maior interesse dos estudantes pela ciência.

Diversos dos artigos de pesquisa contemplam a utilização de experimentos realizados com materiais e baixo custo. Duarte (2012) considera que experimentos de baixo custo, além de contornar o problema da ausência de recursos nas escolas, também contribuem para aproximar a ciência do cotidiano do aluno, tornar a ciência menos abstrata e aumentar o interesse dos estudantes.

Ludke (2010) explicita os detalhes da construção de um indutímetro com materiais de baixo custo para ser usado como ferramenta pedagógica em aulas de eletromagnetismo de forma a contribuir com a compreensão do conhecimento teórico.

Magno et al. (2010) apresentam uma proposta de construção de um sensor de campo magnético que possibilita a realização de experimentos associados às leis de Ampère, Faraday e Gauss, além do estudo de propriedades magnéticas.

Micha et al. (2011) explicitam como realizar experimentos que abordam conceitos de emissores e sensores de radiação infravermelha e espectro eletromagnético com materiais de baixo custo.

Jesus e Macedo Jr. (2011) apresentam uma proposta de experimento desenvolvido com materiais de baixo custo para o estudo na hidrodinâmica. Com a atividade realizada com garrafas Pet, os autores buscaram despertar a curiosidade científica dos estudantes.

Neves (2013) faz uma abordagem dos conteúdos de ondas transversais, ondas estacionárias e polarização de ondas por meio de um aparato experimental construído com materiais de baixo custo. O autor ressalta a importância de aliar a prática experimental a outras formas de representação como textos, figuras e esquemas. O autor considera que atividades

demonstrativas são mais efetivas do que as aulas de expositivas com simples utilização do quadro negro e giz.

Quanto ao conteúdo específico de eletromagnetismo observamos a ocorrência de alguns trabalhos. Assis e Haruna (2011) apresentam uma tradução para o português de um trabalho de Faraday, no qual são apresentados elementos concernentes à descoberta da indução de correntes elétricas.

Silveira e Marques (2012) mostram como construir motores de indução e exploram sua fundamentação teórica, em especial a Lei de Faraday-Lenz.

Caluzi (2012) apresenta uma resenha da obra “Eletrodinâmica de Ampère” na qual os autores André Koch Torres de Assis e João Paulo Chaib traduzem e contextualizam dois dos principais trabalhos de Ampère sobre eletrodinâmica.

Silva e Laburú (2013) apresentam detalhes da construção de uma variante do motor elétrico de Faraday, uma versão de peso e dimensões que permitem seu transporte e utilização em sala de aula.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Com objetivo de responder às questões anteriormente propostas iniciou-se esse trabalho pela realização de revisão bibliográfica abarcando artigos dos periódicos Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Investigações em Ensino de Ciências, Ciência & Educação e Revista Brasileira de Ensino de Física que tratavam da resolução de problemas, experimentação e eletromagnetismo, publicados nos anos de 2010 a 2015.

Em seguida determinou-se os aspectos principais a serem considerados para a constituição de atividades de resolução de problemas por meio de práticas experimentais.

Foi então desenvolvida uma unidade de ensino sobre eletromagnetismo com abordagens de resolução de problemas e experimentação, posteriormente mediada em uma turma do 1º ano do ensino médio da Escola Estadual Doutor Emílio Silveira, em Alfenas, Minas Gerais, durante os meses de outubro e novembro de 2016. Estiveram presentes nas aulas aproximadamente 19 alunos. As aplicações ocorreram nos períodos vespertino e noturno e foram lecionadas 12 aulas de 50 minutos em três dias.

As aulas foram filmadas e gravadas em áudio. Durante o desenvolvimento da unidade os estudantes desenvolveram diversos trabalhos escritos. Esse material (áudio, vídeo e registros escritos) constitui-se como dados para as análises apresentadas a seguir. Tais análises buscaram explicitar a contribuição da unidade para o aprendizado de conceitos de eletromagnetismo pelos estudantes do Ensino Médio. Também se buscou, com base no material coletado, esclarecer os limites impostos pelo contexto real do ensino público para a realização das atividades propostas.

Apresentamos a seguir o detalhamento do desenvolvimento e mediação da unidade de ensino.

4. DESENVOLVIMENTO DA UNIDADE DE ENSINO

Para a aplicação da unidade de ensino foi utilizada uma sala de aula inativa, literalmente abandonada na escola. Com o auxílio da direção e dos alunos foi estruturada uma sala ambiente, com ar condicionado, bancada experimental (construída pelo autor), caixa de som e data show. Nas figuras 1, 2 e 3, podem ser observados alguns dos equipamentos da bancada e a sala ambiente.

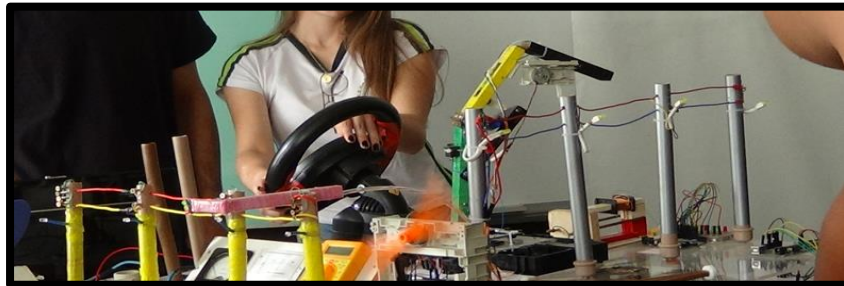


Figura 1 - Bancada experimental.
Fonte: Do próprio autor



Figura 2 - Bancada experimental.
Fonte: Do próprio autor



Figura 3 - Bancada experimental.
Fonte: Do próprio autor

A bancada experimental abarca experimentos de eletromagnetismo, um dos temas mais complexos e de mais difícil entendimento pelos alunos devido à necessidade de abstração e dificuldade de representação.

Na tabela 1 apresentamos um cronograma que sintetiza as datas de desenvolvimento da unidade de ensino, o número de aulas, as atividades e conteúdos abordados. Cada aula teve a duração de 50 minutos, de forma que a unidade totalizou 10 horas.

Tabela 1 - Cronograma de desenvolvimento da unidade de ensino.

Data	Nº aulas	Atividades e Conteúdos
07/11 Noturno	04	<ul style="list-style-type: none"> Levantamento das concepções dos alunos, com questionários oral e escrito e inserção do problema. Abordagem de conceitos de eletricidade: campo elétrico, corrente elétrica, quantidade de carga, força elétrica.
09/11 Noturno	02	<ul style="list-style-type: none"> Questionário sobre conceitos de eletricidade. Abordagem de conceitos de magnetismo: lei da atração e repulsão, inseparabilidade de polos, linhas de força e vetor indução magnética.
16/11 Vespertino	03	<ul style="list-style-type: none"> Exercícios e problemas sobre magnetismo. Abordagem de conceitos de eletromagnetismo: campo magnético gerado por corrente, corrente gerada por campo magnético variável, espiras e solenoides. Exercícios e problemas sobre eletromagnetismo.
17/11 Vespertino	03	<ul style="list-style-type: none"> Avaliação final com problemas complexos

Fonte: Do próprio autor.

4.1 LEVANTAMENTO DAS CONCEPÇÕES INICIAIS E INSERÇÃO DO PROBLEMA

A aplicação da unidade iniciou pelo levantamento das concepções iniciais dos 19 alunos presentes, com mínima interferência do autor nas respostas, por meio de questionamentos orais que seguiram um roteiro exposto no apêndice 1. Essa atividade foi filmada e durou cerca de 15 minutos. Em seguida, ainda continuando com o levantamento das concepções dos alunos, os mesmos responderam a um questionário (Apêndice 2). Essa atividade durou 35 minutos.

Na segunda aula, com duração de aproximadamente 50 minutos, foram inicialmente exibidos três vídeos com intuito de problematizar artefatos científico-tecnológicos de usos sociais associados aos conceitos de eletromagnetismo que seriam posteriormente trabalhados na unidade de ensino. Pretendia-se com estes três vídeos que os alunos observassem que a geração de energia elétrica pode ser realizada a partir de várias fontes, porém percebessem que, em todos os casos apresentados, um fluido seria responsável por girar uma turbina acoplada a um gerador.

O primeiro vídeo exibido intitula-se “Como funciona uma usina hidrelétrica?” (COMO FUNCIONA, 2014) e demonstra que a eletricidade pode ser produzida a partir da utilização de um recurso natural, nesse caso a água. O vídeo mostra que um gerador ao ser acionado pela força da água produz energia elétrica.

O segundo vídeo exibido intitula-se “Na trilha da energia dos ventos” (NA TRILHA, 2015) e demonstra que a eletricidade pode ser produzida por meio da utilização de outro recurso natural, nesse caso o vento. O vídeo mostra que um gerador ao ser acionado pela força do vento produz energia elétrica.

Já o terceiro vídeo é intitulado “Arquitetura de reatores nucleares” (MARTINHO Jr., 2013) e demonstra que a eletricidade pode ser produzida através de reações nucleares. Nesse processo o aquecimento proporcionado pela fissão nuclear faz com que a água contida num reservatório entre em ebulição, passando do estado líquido para o estado de vapor que ao atravessar as turbinas de um gerador produz energia elétrica.

Após a exibição dos filmes o autor discutiu os mesmos com os estudantes. A discussão foi filmada e focou-se na familiaridade dos estudantes com as diversas formas de produção de energia e nas semelhanças e diferenças que os estudantes estabeleciam entre elas.

4.2 ELETRICIDADE

Na terceira e quarta aula, com duração de 100 minutos, iniciou-se a organização do conhecimento científico sobre carga elétrica.

Foi exibido um vídeo sobre Benjamin Franklin (MELO, 2013) que conta a história do empenho do cientista na pesquisa e desenvolvimento de maneiras para dominar a eletricidade, até então apenas utilizada para realização de truques em apresentações de mágicos, e direcioná-la para uso social. Para isso, Franklin construiu um gerador eletrostático (Figura 4) que:



Figura 4 - Máquina eletrostática de Franklin.
Fonte: Museu Nacional de História Americana, Centro
Kenneth E. Behring.

É um dispositivo de geração de eletricidade estática de alta-voltagem usado [...] para pesquisas sobre fenômenos elétricos. Seus componentes principais são um globo de vidro que gira em torno de um eixo através de uma manivela; uma almofada de tecido em contato com o globo girante; um conjunto de agulhas de metal para afastar a carga desenvolvida no globo pelo seu atrito com a almofada; e uma garrafa de Leiden – um capacitor de alta-voltagem – para acumular a carga. (Museu Nacional de História Americana, Centro Kenneth E. Behring).

Outro importante fenômeno físico que se destaca nesse vídeo é que Benjamin Franklin percebeu que a eletricidade não era criada, só transferida de um ponto a outro e que tudo no mundo continha eletricidade, formulando assim uma primeira versão do princípio da conservação da carga elétrica que consiste em considerar que a quantidade de carga num determinado sistema deve ser constante. (O conceito de carga para Franklin não tinha o mesmo significado que tem nos dias atuais).

Um importante artefato físico que teve seu desenvolvimento iniciado por Benjamin Franklin, de acordo com o vídeo, foram as baterias. Ele associava vários capacitores (garrafas de Leyden) e dessa forma podia armazenar uma grande quantidade de cargas elétricas em um só lugar.

O vídeo mostra ainda que Benjamin Franklin percebeu acidentalmente algo que lhe deixara muito intrigado e que seria uma de suas maiores contribuições para nosso mundo atual: “o poder das pontas”. Ele conjecturou que faíscas que eram produzidas por seu gerador assemelhavam-se aos raios observados durante as tempestades e foi capaz de criar um para-raios, que nada mais era que um condutor de metal ligado ao chão. Esse sistema é utilizado até hoje, embora tenha sofrido modificações, visto que os primeiros para-raios eram de latão, material que derretia quando recebia uma descarga elétrica muito intensa. O poder das pontas é a capacidade que os corpos eletrizados têm de serem descarregados pelos objetos pontiagudos. O agrupamento de cargas nas regiões pontiagudas de um corpo resulta na geração de um campo elétrico mais intenso do que em outras regiões desse corpo, isso favorece o fluxo de cargas nessa região, o que explica, portanto, o funcionamento de um para-raios.

O vídeo ainda relata a fúria dos clérigos que se opunham às experiências de Benjamin Franklin, pois, para os clérigos, proteger as casas da fúria de Deus por meio dos para-raios era algo inaceitável. Franklin por sua vez mostrou-se um bom articulador ao responder que isso nada tinha a ver com a fúria de Deus, pois o homem já teria construído as casas para se proteger da fúria da natureza (ventos fortes, chuvas etc.) ou “fúria de Deus”. Após a exibição do filme o

autor iniciou um debate oral sobre os elementos nele mencionados. Nesse momento os alunos destacaram a fúria dos clérigos e o autor intensificou a discussão abordando também os aspectos políticos e sociais envolvendo as pesquisas científicas.

Em seguida o autor começou uma aula expositiva na qual, por meio de apresentações em Power Point, imagens animadas (GIFs), lousa e giz explicou, aos 19 alunos presentes, a relação entre quantidade de carga e carga elementar. A quantidade de carga (Q) que atravessa uma determinada área da secção transversal de um condutor metálico é igual ao número de elétrons (n) que atravessa esse condutor metálico multiplicado pela carga elementar ($e = 1,6 \times 10^{-19} \text{C}$). Essa relação é exemplificada e representada na Figura 5 e pode ser expressa pela Equação 1:

$$Q = n \cdot e$$

Equação 1

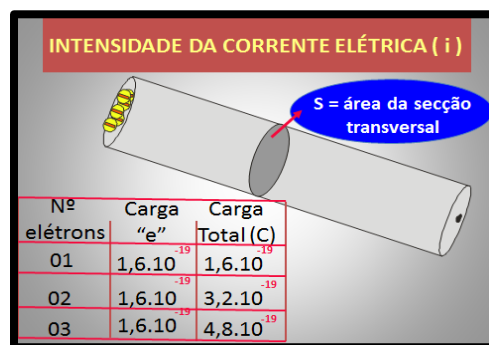


Figura 5 - Quantidade de carga.
Fonte: ELETRODINAMICACORRENTE
ELETRICA.ppt

Na Equação 1, a variável Q representa a quantidade de carga, em Coulombs (C); n representa o número de elétrons em excesso e e representa a carga elementar, em Coulombs (C).

Ainda foi explicado aos alunos que os prótons são cargas positivas e elétrons cargas negativas; cargas de sinais opostos se atraem e de mesmo sinal se repelem e que essa interação entre cargas elétricas corresponde à força eletrostática.

Em seguida foram realizados dois experimentos simples para demonstração da ação da força eletrostática. No primeiro experimento da Figura 6 foram picados pedacinhos de papel, em seguida friccionamos uma régua nos cabelos e ao aproximarmos a régua dos pedacinhos de papel observamos a atração entre ela e o papel. No segundo experimento da Figura 7, utilizando uma furadeira, furamos uma placa de acrílico e pôde-se observar que os resíduos da placa de

acrílico eram atraídos pela própria placa. Foi explicado aos alunos que nos dois experimentos o fenômeno envolvido é chamado eletrização, que pode ocorrer de três formas: por atrito, por contato e por indução.



Figura 6 - Indução eletrostática.
Fonte: Do próprio autor



Figura 7 - Indução eletrostática.
Fonte: Do próprio autor

A eletrização por atrito ocorre quando friccioneamos dois corpos inicialmente neutros (mesmo número de cargas positivas e negativas) que após separados ficam, cada um, com cargas em excesso de sinais opostos. Isso ocorre porque há passagem de elétrons de um corpo para o outro, o corpo que recebe elétrons fica negativo (excesso de elétrons) e o corpo que perde elétrons fica positivo (excesso de prótons). No caso representado na figura 6, a régua ao ser friccioneada no couro cabeludo ficaria eletrizada, ou seja, com excesso de cargas negativas ou positivas, pois ocorrerá passagem de elétrons ou do couro cabeludo para régua ou vice-versa.

Ao aproximarmos a régua dos pedaços de papel, eletricamente neutros, ocorreria uma polarização (isolante) que é análoga a indução eletrostática (condutor), que é o processo de separação de cargas. O corpo eletrizado (indutor) no caso a régua, se aproxima dos pedaços de papel (induzido), que está eletricamente neutro, ocorrendo nos pedaços de papel apenas a separação espacial das cargas positivas e negativas, ou seja, cargas positivas em uma extremidade do papel e as cargas negativas na outra.

A partir desse momento, o autor iniciou a abordagem do conceito de corrente elétrica definindo que a mesma corresponde à quantidade de cargas que atravessam uma seção transversal em um determinado intervalo de tempo. O autor também esclareceu que corrente elétrica é o movimento “ordenado” de cargas livres (As cargas elétricas tendem a se mover no sentido de diminuir a energia potencial) e que, no caso estudado, por se tratar de condutores metálicos, corrente elétrica seria o movimento “ordenado” dos elétrons. A fórmula que expressa matematicamente a corrente elétrica é dada pela Equação 2:

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

Equação 2

Na Equação 2, a variável i corresponde à corrente elétrica, medida em Ampères (A); Δq corresponde à quantidade de cargas que atravessa uma determinada secção transversal, medida em Coulombs (C); Δt representa o intervalo de tempo durante o qual as cargas atravessam a secção transversal, medido em segundos (s).

Em seguida foram realizados três experimentos da bancada experimental associados ao conceito de corrente elétrica. Buscou-se por meio da demonstração desses experimentos facilitar a relação entre conceitos abordados em sala de aula e a compreensão de artefatos tecnológicos de uso social.

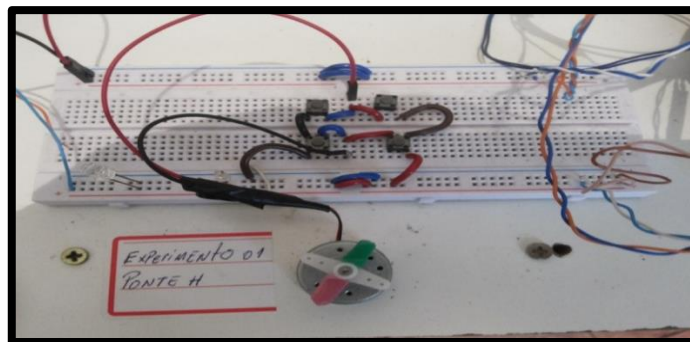


Figura 8 - Experimento ponte H.
Fonte: Do próprio autor.

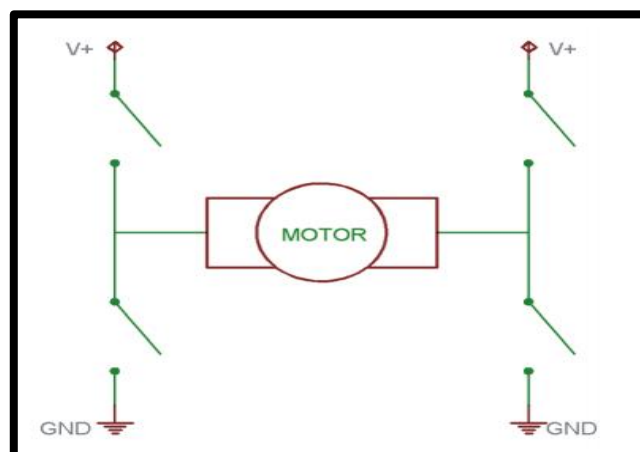


Figura 9 - Esquema ponte H.
Fonte: FP LUIS, 2006.

O primeiro experimento (figura 8) corresponde a uma ponte H¹. A ponte H é um circuito eletrônico (esquema da ponte H, figura 9) com o qual se pode fazer variar o sentido da corrente invertendo a polaridade da tensão. Buscava-se com esse experimento enfatizar que o caminho a ser percorrido pela corrente pode ser alterado, pois é convencionalizado que a corrente elétrica vai do polo positivo para o polo negativo. Ao apertar, na diagonal, duas chaves momentâneas simultaneamente (quando o botão é apertado, os contatos entre os terminais de cada lado são ligados entre si permitindo a passagem da corrente elétrica) temos uma polaridade que faz com que a corrente elétrica se movimente de forma a girar um motor no sentido horário. Quando apertamos as outras duas chaves momentâneas na diagonal invertemos a polaridade e a corrente elétrica circula de forma a girar o motor no sentido anti-horário.

O segundo experimento da Figura 10 corresponde a uma série de pontes H que controlam o Guindaste Eletromagnético da Figura 11. O objetivo deste experimento era ilustrar que a partir de uma série de equipamentos simples pode ser construído um artefato tecnológico mais complexo. Neste experimento foram feitas várias pontes H, por meio de um volante de um videogame Play Station 2 (doze chaves momentâneas, que correspondem a três pontes H), que controlam o guindaste. Também faz parte do experimento um servo motor controlado por um Arduino. “Um servo motor tipo RC consiste essencialmente em um motor de corrente contínua com um circuito de controle de posição acoplado. Os servos motores não dão uma volta completa em seu eixo, eles possuem uma faixa ou de 90 ou 180 graus em seu eixo” (LABDEGARAGEM, 2012, não paginado) que é acionado por meio de um potenciômetro que está dentro do volante. Como percebemos na Figura 8 quatro chaves momentâneas (uma ponte H) controlam o sentido de rotação (horário e anti-horário) de um único motor, como no volante temos doze chaves momentâneas conseguimos controlar três motores instalados conforme a Figura 11.

¹ Para mais detalhes do experimento ver vídeo produzido pelo autor: < https://www.youtube.com/channel/UCREcAOgDPu_yP7PRr2sNiSw >



Figura 10 - Múltiplas pontes H.
Fonte: Do próprio autor.

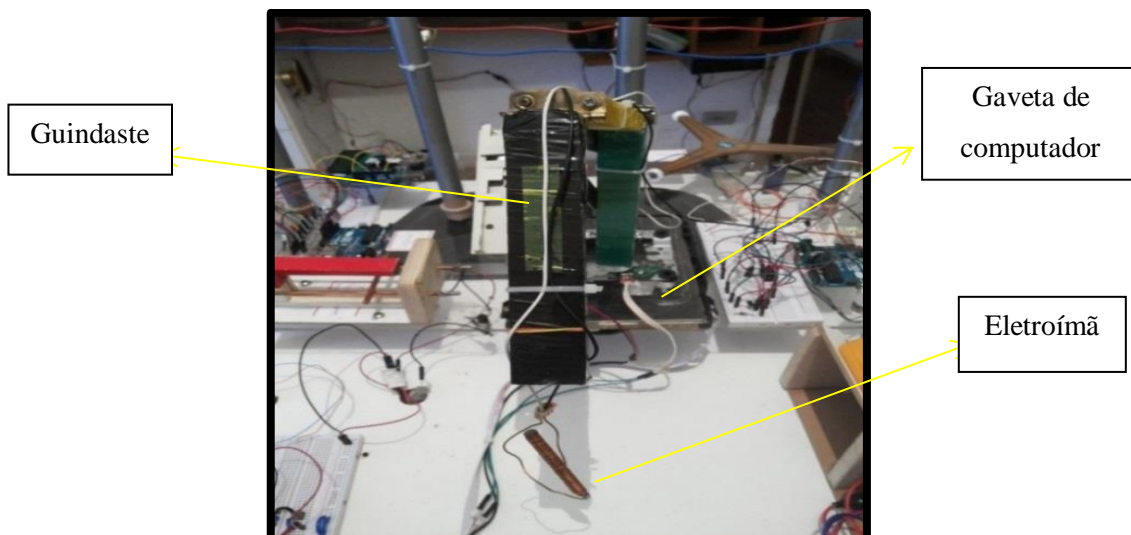


Figura 11 - Guindaste.
Fonte: Do próprio autor.

Na Figura11 temos uma gaveta de computador que quando o motor gira em um determinado sentido abre, fazendo o guindaste ir para frente e quando invertemos o sentido de rotação do motor a tampa fecha, fazendo o guindaste ir para trás, quatro chaves momentâneas controlam esse motor. Outras quatro chaves controlam outro motor instalado em cima da gaveta de computador, que quando acionadas fazem o guindaste girar ou no sentido horário ou no anti-horário. E por fim, outras quatro chaves no centro do volante controlam um motor instalado no guindaste com a finalidade de movimentar sua extremidade para cima e para baixo. Já quando giramos o volante giramos simultaneamente o potenciômetro que está dentro do volante, este

por sua vez libera uma corrente elétrica que irá acionar o servo motor que gira, fazendo o guindaste subir e descer. Nesse guindaste foi construído também um eletroímã, que nada mais é do que um ímã artificial construído com fio de cobre enrolado em um prego de ferro. Quando uma diferença de potencial é aplicada nas extremidades do fio de cobre, gera-se uma corrente elétrica que produz campo magnético, de forma que o prego se magnetiza.

Na Figura 12 e na Figura 13 observa-se um experimento em que, por meio da variação da intensidade da corrente, podemos controlar a velocidade de um motor de 12V acoplado a uma hélice².

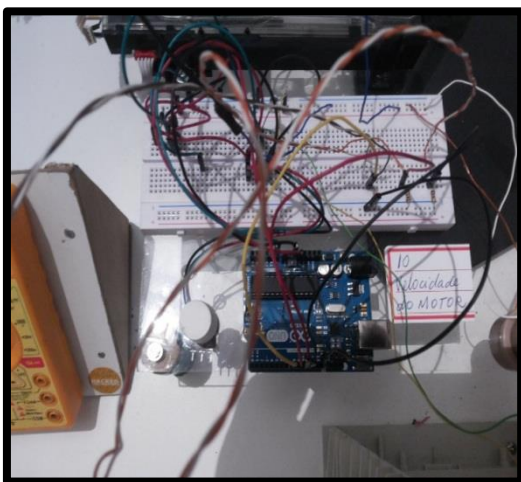


Figura 12 - Controle de velocidade por potenciômetro.
Fonte: Do próprio autor

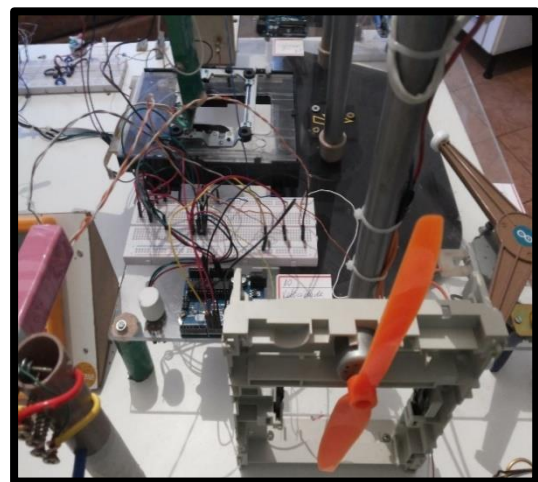


Figura 13 - Controle de velocidade por potenciômetro.
Fonte: Do próprio autor

A variação da corrente é realizada por meio de um potenciômetro (resistor com variação da resistência controlável) que permite ou dificulta a passagem da corrente elétrica. Quanto maior a corrente elétrica no motor mais rápido ele gira e vice-versa. É importante ressaltar aqui que o potenciômetro ‘informa’ um Arduino que libera corrente com intensidade determinada. Como nesse caso não temos uma ponte H, o motor gira em um único sentido.

Em seguida, contando com o recurso de Data Show, foi realizada uma apresentação em Power Point de GIFs para ilustrar os sentidos real e convencional de correntes elétricas e a relação entre corrente elétrica, diferença de potencial e resistência. A Figura 14 ilustra que

² Para mais detalhes do experimento ver vídeo produzido pelo autor: <
https://www.youtube.com/channel/UCREcAOgDPu_yP7PRr2sNiSw

sentido real da corrente elétrica é o sentido imaginário das cargas positivas, ou seja, o mesmo do campo elétrico.

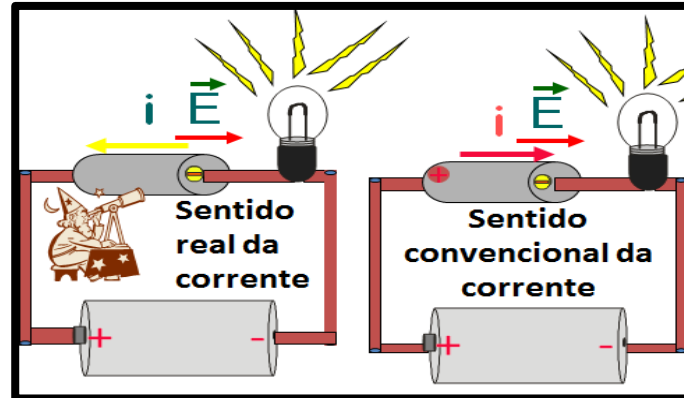


Figura 14 - Sentido real da corrente.

Fonte: ELETRODINAMICA CORRENTE ELETRICA.

Na Figura 15 apresentamos a captura de tela de uma simulação que foi utilizada para que os alunos pudessem refletir sobre relações entre diferença de potencial (ddp), corrente elétrica e resistência em um circuito ôhmico. Utilizando a simulação em conjunto com a equação 3 foi possível manter cada uma das grandezas constantes observando-se o que ocorria com as outras duas.

$$U = R \cdot i$$

Equação 3

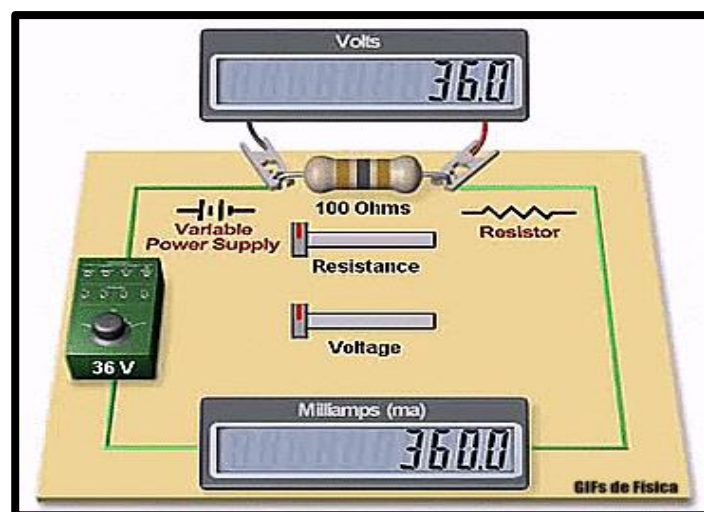


Figura 15 - Relação entre ddp e corrente elétrica.

Fonte: Phet colorado.

Na equação 3, U é a ddp (em volts, V), R é a resistência elétrica (em Ohms, Ω) e i a corrente elétrica (em Ampères, A).

Esses conceitos também foram estudados por meio da utilização de aparelhos de medição: voltímetro, multímetro e amperímetro, instalados na bancada experimental (Figura 16) e os alunos puderam observar algumas medidas de ddp e corrente elétrica (em equipamento digital e analógico) e testar a relação entre a variação da corrente e a variação da resistência de um potenciômetro: ao girar o botão do potenciômetro, aumentando a resistência, o valor medido da corrente elétrica no amperímetro diminuía e vice-versa.



Figura 16 - Voltímetro, amperímetro e multímetro.
Fonte: Do próprio autor.

Na mesma aula exibiu-se o gráfico animado da Figura 17 representando a atração e repulsão elétrica entre corpos associando-as à lei de Coulomb. Essa lei descreve a interação de corpos eletricamente carregados, ou seja, a força eletrostática, e determina que tal força é diretamente proporcional a quantidade de carga desses corpos e inversamente proporcional ao quadrado da distância que os separa.

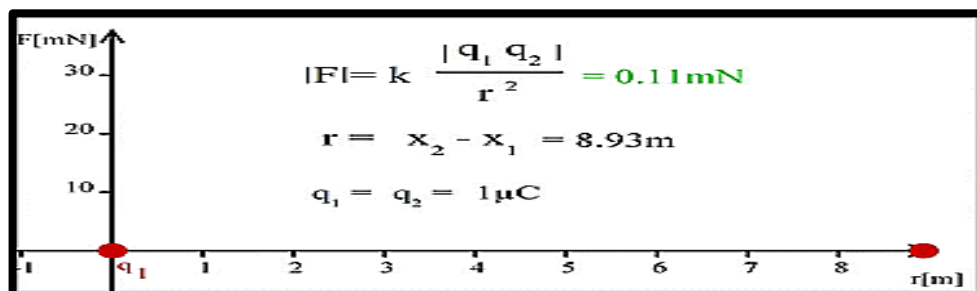


Figura 17 - GIF utilizado para discutir a relação entre a formulação matemática da Lei de Coulomb e representação pictórica do fenômeno associado.
Fonte: GIFS, 2016. de Física - Da série: Eletromagnetismo.... | Facebook, 27/11/2016

Em seguida foi explicado pelo autor que é possível investigar o fenômeno elétrico por meio da utilização do conceito de força entre cargas elétricas. Essa possibilidade foi explorada partindo-se da Lei de Coulomb em sua expressão matemática (Equação 4), conforme demonstrado a seguir:

$$F = \frac{k \cdot Q \cdot q}{d^2} \quad \text{Equação 4}$$

Na equação 4, F representa a força eletrostática, em Newtons (N), entre as cargas q (carga de prova) e Q (carga geradora), em Coulombs (C); k representa a constante eletrostática (em $\text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$) e d a distância em metros (m) que separa as duas cargas. Considerando-se que o campo elétrico não depende da carga de prova, mas apenas da carga geradora, o autor explicou que para determinar o campo elétrico no ponto do espaço onde se localizava a carga de prova, bastava retirar desse ponto a carga de prova. Matematicamente esse procedimento corresponde a dividir a expressão da força elétrica (equação 4) naquele ponto pela carga, assim obtemos a equação 5:

$$\frac{F}{q} = \frac{K \cdot Q \cdot q}{d^2 \cdot q} \quad \text{Equação 5}$$

$$\frac{F}{q} = \frac{K \cdot Q}{d^2} \quad \text{Equação 6}$$

Essa expressão corresponde então ao campo elétrico no ponto onde originalmente se encontrava a carga de prova q . A equação 6 pode ser escrita como:

$$E = \frac{K \cdot Q}{d^2} \quad \text{Equação 7}$$

A equação 7 representa matematicamente o fato de que o campo elétrico só depende da carga geradora.

Sobre a lei de Coulomb, o professor reforçou que a partir do instante em que é inserida uma carga de prova dentro da região em que há ação de um campo elétrico passa a existir uma interação, força de atração ou de repulsão, entre as cargas de prova e geradora.

Também foi explicado o caráter vetorial do campo elétrico e a necessidade então de se especificar sua direção, intensidade e sentido. Foi utilizada uma simulação do site Phet Colorado conforme a Figura 18 com o intuito de facilitar a relação dos estudantes com o caráter vetorial do campo elétrico, por meio da qual se buscou que os estudantes familiarizem-se com a distribuição do campo ao redor de cargas. Por meio da simulação eles puderam observar que os vetores são radiais e maiores nas proximidades das cargas geradoras, convencendo-se que apontam no sentido contrário ao centro das cargas positivas e no sentido do centro das cargas negativas.

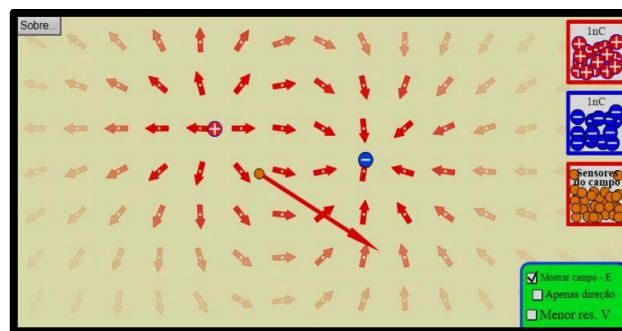


Figura 18 - Captura de tela de simulador de campo elétrico.
Fonte: Phet colorado

Explorou-se ainda a relação vetorial entre campo e força elétrica. Explicou-se aos alunos que o campo e a força elétricos possuem mesma direção e mesmo sentido quando a carga de prova é positiva e mesma direção, porém sentidos opostos quando a carga de prova é negativa.

Após finalização da abordagem de conceitos de eletricidade, na quinta aula, os 10 alunos presentes responderam um questionário, com o qual procurávamos investigar deslocamentos em suas compreensões sobre conceitos de cargas, força e campo elétrico. A atividade durou cerca de 30 minutos e o questionário encontra-se no Apêndice 3.

4.3 MAGNETISMO

Ainda na quinta aula, iniciou-se a abordagem do magnetismo. Inicialmente foram realizadas algumas demonstrações experimentais, por meio das quais buscava-se que os estudantes explicitassem seus conhecimentos prévios e também facilitar a construção de conceitos bastante abstratos como os de linhas de campo e a geração de corrente elétrica a partir da variação de fluxo magnético.

Numa primeira demonstração utilizou-se limalhas de ferro e um ímã para auxiliar os estudantes a construírem o conceito de linhas de campo magnético. Também foi realizado um experimento da bancada que consiste na aproximação de um ímã, em forma de U, de uma bobina enrolada ligada a um amperímetro que acusava a existência de uma corrente elétrica devido à variação de fluxo magnético em seu interior e que permitiu aos estudantes observarem que o sentido da corrente elétrica dependia do sentido do deslocamento do ímã³.

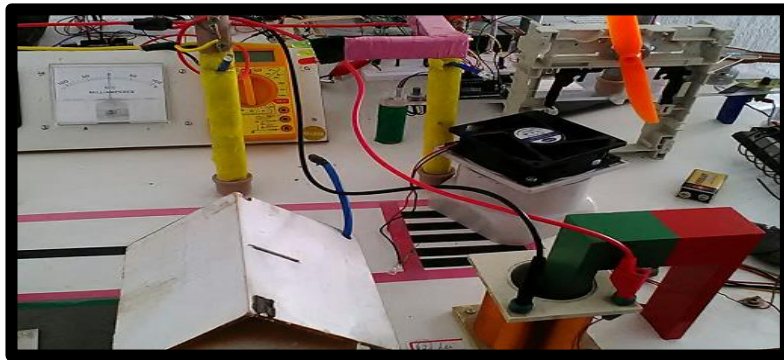


Figura 19 - Bobina (fio de cobre enrolado) ligada a um amperímetro e ímã em forma de U. Valor registrado no amperímetro (zero).

Fonte: Do próprio autor.

Na Figura 19, com o ímã em repouso, não é registrada leitura no amperímetro. Já na Figura 20, aproximando o ímã da bobina, o amperímetro registrava o valor de +70 mA com o ponteiro deslocado para a direita.

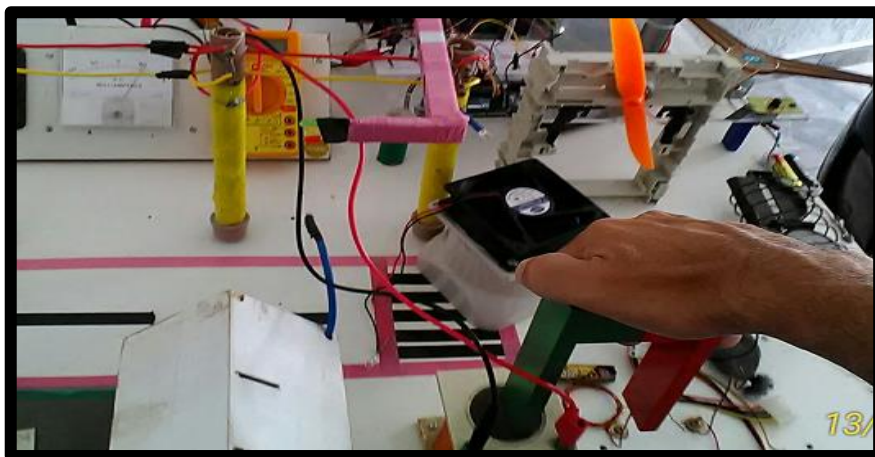


Figura 20 - Corrente no amperímetro (+70 mA), deslocamento do ponteiro para direita.

Fonte: Do próprio autor.

³ Para mais detalhes do experimento ver vídeo produzido pelo autor: < https://www.youtube.com/channel/UCREcAOgDPu_yP7PRr2sNiSw >

Na Figura 21, afastando-se o ímã da bobina, o amperímetro registrava um valor de -70 mA com o ponteiro deslocado para a esquerda. Esperava-se que essas observações facilitassem a construção de dois princípios da Física, a Lei de Lenz, “[...] O sentido da corrente induzida é tal que o campo que ela produz se opõe à variação do fluxo magnético que a produziu.” (SITES.IFI.UNICAMP, 2013), e a Lei de Faraday, que determina que a variação do fluxo magnético próximo a um fio condutor (fio de cobre enrolado em forma de bobina) produz corrente elétrica.

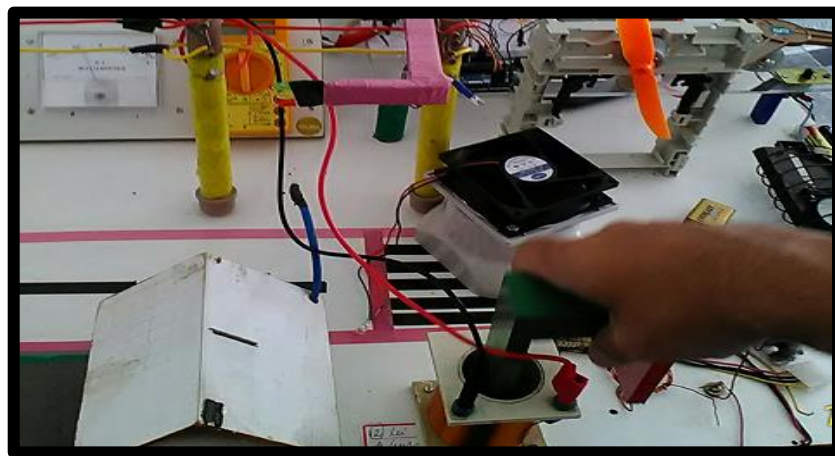


Figura 21 - Corrente no amperímetro (-70 mA), deslocamento do ponteiro para esquerda.

Fonte: Do próprio autor.

Como forma de facilitar a explicitação de conhecimentos prévios dos estudantes e mediar a construção de conceitos, o professor iniciou uma discussão com eles sobre os fenômenos demonstrados experimentalmente questionando-os se sabiam o que estava ocorrendo com a limalha de ferro e porque surgia uma corrente elétrica no amperímetro com a movimentação do ímã.

Em seguida o autor apresentou os seguintes conteúdos de magnetismo: propriedades dos ímãs, lei da atração e repulsão, inseparabilidade de polos magnéticos, linhas de força magnética, vetor indução magnética e orientação de uma bússola na presença de um campo magnético. A apresentação contou com recursos de data show, GIFs e simulações do site Phet Colorado.

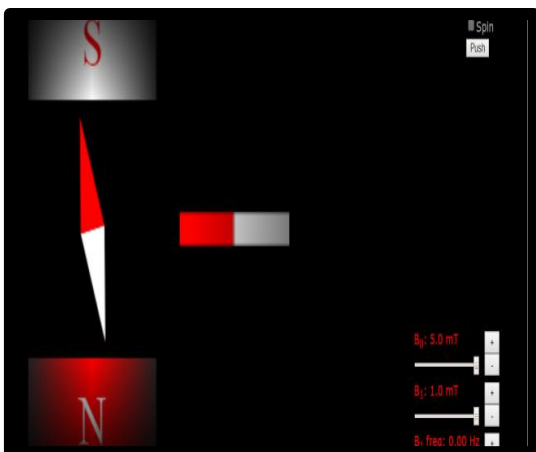


Figura 22 - Simulador referente ao magnetismo
Fonte. Fonte: Phet Colorado



Figura 23 - Ilustração da atração e repulsão entre ímãs.

Fonte: Pietra Da Silva

Com o intuito de demonstrar as propriedades magnéticas, o autor aproximou um ímã em forma de U de alguns materiais ferrosos demonstrando que havia interação entre o ímã e o material, ilustrando a primeira propriedade dos ímãs. Em seguida com a intenção de ilustrar a segunda propriedade dos ímãs, atração e repulsão, o autor utilizou um simulador do Phet Colorado da Figura 22 e um GIF animado da Figura 23.

O autor explicou aos alunos, a partir da sexta aula, que cada ímã possui dois polos (dipolo magnético), norte e sul, que polos de mesma polaridade se repelem e de polaridades diferentes se atraem e ilustrou o fenômeno utilizando dois ímãs.

O autor expôs o GIF da Figura 24 para ilustrar a terceira propriedade dos ímãs, a inseparabilidade dos polos magnéticos, ou seja, por mais que quebre um ímã ele sempre apresentará dois polos magnéticos, não sendo possível separá-los.



Figura 24 - Representação da inseparabilidade dos polos magnéticos.

Fonte: Pietra Da Silva

Para fechar o tópico sobre propriedades de um ímã, o autor suspendeu um ímã e ligou a ele um prego. Em seguida, foi ligando outros pregos sucessivamente de forma que ficassem enfileirados. O autor retirou então o ímã e, para surpresa dos alunos, os pregos continuaram magnetizados, enfileirados, por alguns instantes e só então perderam a propriedade magnética. Assim, o autor abordou a quarta propriedade de um ímã, o poder de magnetizar certos tipos de materiais.

O autor abordou o conceito de linhas de força magnética, mais uma vez com o auxílio dos GIFs. Foi convenicionado que as linhas de força magnética saem do polo norte de um ímã e entram no polo sul e que sua concentração indica a intensidade do campo magnético conforme Figura 25. Ainda foi determinado que campo magnético é a região ao redor de um ímã onde pode haver forças de origem magnética quando inserido um objeto ferromagnético ou outro ímã. Ainda foi comentado pelo autor que o fenômeno magnético é consequência da orientação dos momentos de dipolo magnético de elétrons.

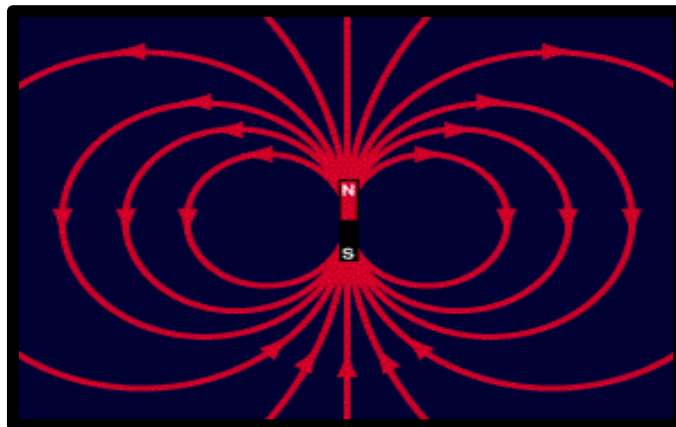


Figura 25 - Linhas de campo magnético.
Fonte: <http://www.grupoescolar.com/>

O autor abordou o conceito de vetor campo ou vetor indução magnética, utilizando o quadro negro no qual foi feito um desenho de um ímã com suas respectivas linhas de campo magnético e os vetores eram desenhados sempre tangentes e no mesmo sentido das linhas de força do campo magnético (figura 26). Ressaltou-se ainda que o módulo do vetor dependia da intensidade do campo magnético.



Figura 26 - Vetor indução magnética.
Fonte: Pietra Da Silva

Por fim, para encerrarmos a aula sobre magnetismo foi realizada uma analogia entre a agulha de uma bússola e o vetor indução magnética, ou seja, a agulha de uma bússola tem sempre mesma direção do vetor indução magnética com o polo norte apontando no mesmo sentido do vetor indução magnética conforme observa-se na Figura 27.



Figura 27 - Orientação de uma bússola.
Fonte: Pietra Da Silva

Para reforçar este conceito ainda foi exibido o simulador do Phet Colorado conforme figura 28, com o qual é possível movimentar um ímã e ver o comportamento de várias bússolas ao seu redor.

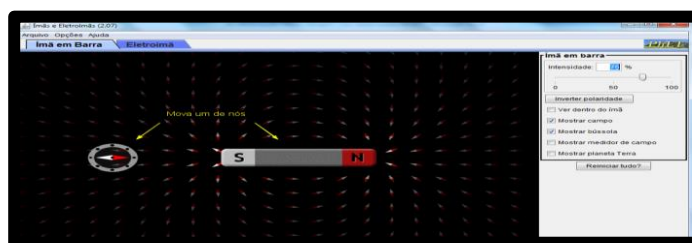


Figura 28 - Orientação de bússolas na presença de ímã.
Fonte: Phet Colorado

Após o término da aula sobre magnetismo os alunos responderam um questionário (Apêndice 4) com o qual procurávamos investigar os possíveis deslocamentos em suas compreensões sobre os conceitos de magnetismo.

4.4 ELETROMAGNETISMO

Na sétima, oitava e na nona aula foram abordados conceitos sobre eletromagnetismo. O autor iniciou a sétima aula ressaltando que o desenvolvimento da Lei de Faraday-Neumann-Lenz até chegar a sua formulação atual, ocorreu em três etapas: a Lei de Faraday com a parte experimental, o fenômeno físico propriamente dito, ou seja, Faraday percebeu que conseguiria produzir corrente elétrica ao variar o fluxo magnético próximo a um fio condutor. Vale aqui ressaltar que um dos assuntos mais importantes do eletromagnetismo clássico é a indução eletromagnética:

O fenômeno da indução elétrica foi descoberto por M. Faraday (1791-1867) em 1831. Ele descobriu que podia induzir uma corrente elétrica em um circuito secundário variando a corrente em um circuito primário. Enquanto a corrente no primário permanecesse constante, nada era induzido no circuito secundário. Ele também verificou que ocorria indução mantendo-se a corrente no primário constante e movendo um circuito em relação ao outro. Mais ainda, também podia obter a corrente induzida no secundário aproximando ou afastando um ímã permanente, ou mantendo o ímã em repouso em relação à terra e aproximando ou afastando o circuito secundário. Denominamos de indução por translação a estes casos em que ocorre um movimento relativo entre o circuito primário e secundário, ou entre o ímã e o circuito secundário. (CARVALHO e SILVA, 2012, p.4314-1).

Já a expressão matemática foi desenvolvida por Neumann e a explicação para o sinal negativo na expressão matemática foi definida por Lenz. A lei da indução foi desenvolvida de forma quantitativa em 1845 pelo físico alemão Franz Ernst Neumann e essa relação é expressa pela equação 8.

$$\mathcal{E} = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad \text{Equação 8}$$

A Figura 29 abarca qualitativamente o significado do sinal negativo em acordo com Lenz, “em que o sinal negativo garante que a fem induzida é no sentido de criar um campo magnético que vai se opor à variação do fluxo”. (IFSC/USP, s.d., p3).

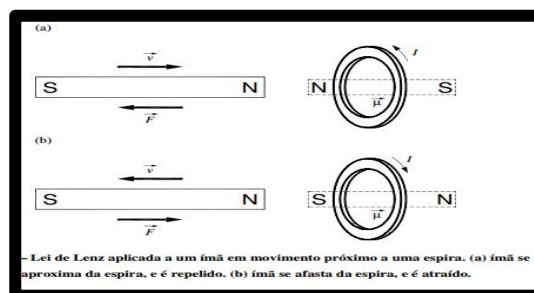


Figura 29 - Lei de Lenz.
Fonte: IFSC/USP

Para facilitar a explicitação de ideias prévias dos estudantes e facilitar a construção de conceitos, o autor realizou três demonstrações com a bancada experimental. A primeira demonstração corresponde a uma réplica da experiência de Oersted⁴, por meio da qual se observou que quando uma corrente elétrica atravessa um condutor de cobre, produz um campo magnético ao seu redor conforme as Figuras 30 e 31.

Observa-se na Figura 30 que a bússola está quase perpendicular a um eixo horizontal imaginário no interior do solenoide, e que, após ser aplicada uma ddp nos terminais do solenoide gera-se uma corrente elétrica em seu interior e a bússola rotaciona de forma que seu norte aponta para o norte do solenoide conforme Figura 31.

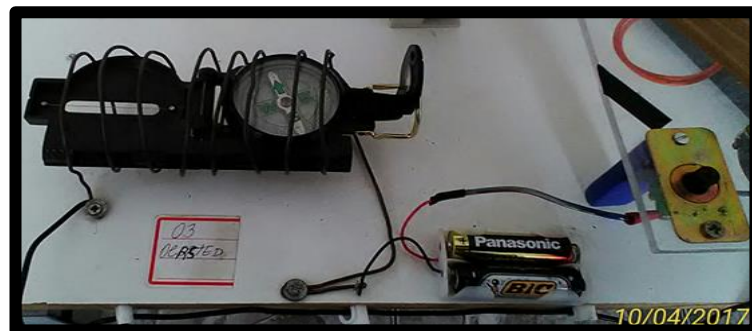


Figura 30 - Experiência de Oersted, sem a passagem da corrente elétrica.

Fonte: Do próprio autor.



Figura 31 - Experiência de Oersted.

Fonte: Do próprio autor.

⁴ Para maiores detalhes do experimento ver vídeo produzido pelo autor: < https://www.youtube.com/channel/UCREcAOgDPu_yP7PRr2sNiSw >

A segunda demonstração corresponde ao experimento da Figura 32 que permitiu discutir a Lei de Faraday, por meio dele observou-se que a variação no campo magnético produz corrente elétrica. Esperava-se com esse experimento que o aluno percebesse que dentro do motor da Figura 33 há um ímã fixo próximo a uma bobina (fio condutor de eletricidade enrolado) que ao se movimentar provoca uma variação no fluxo magnético e que essa variação produz corrente elétrica, sendo, portanto, um raciocínio inverso do que foi proposto no experimento de Oersted. Para isso, o autor desmontou nesse instante um motor e obteve os itens da Figura 34 e Figura 35, mostrando aos alunos que, dentro desse motor temos fios enrolados em forma de bobina em acordo com a Figura 34 que giram próximos aos ímãs fixos da Figura 35.



Figura 32 - Experiência de Faraday.
Fonte: Do próprio autor.

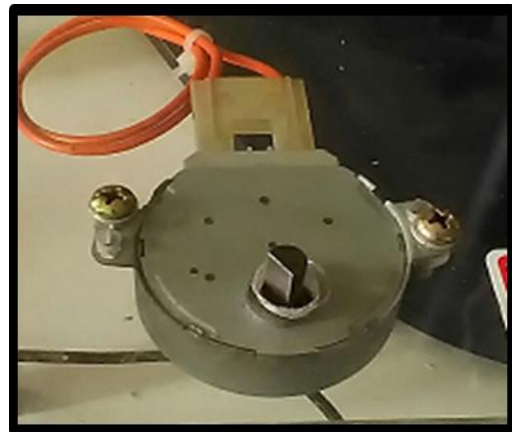


Figura 33 - Motor gerador.
Fonte: Do próprio autor



Figura 34 - Fio enrolado em forma de bobina.
Fonte: Do próprio autor.

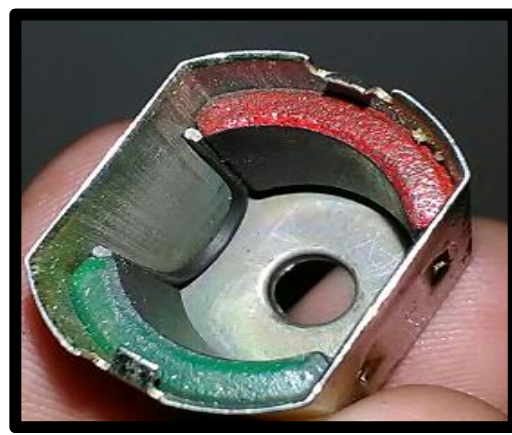


Figura 35 - Ímã vermelho (norte) e ímã verde (sul).
Fonte: Do próprio autor.

Já na Figura 36 temos a produção de energia elétrica proporcionada pela corrente gerada no motor da figura 33. Podemos observar nesta figura que os *leds* estão acesos, ilustrando assim os conceitos mencionados por Faraday.

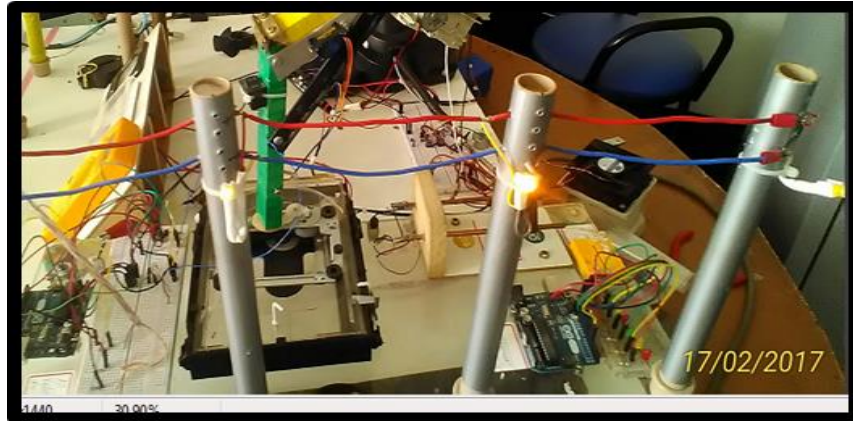


Figura 36 - Leds acesos após girar o motor da figura 32.
Fonte: Do próprio autor.

O autor realizou a terceira demonstração que também abarcava conhecimentos desenvolvidos por Faraday⁵ em acordo com a Figura 37. É uma demonstração muito interessante, de baixo custo, fácil de realizar e com elevadíssimo poder de instrução experimental e conceitual, pois é possível demonstrar ao aluno que movimentando um ímã (variação do fluxo magnético) próximo de um fio condutor enrolado (bobina), gera-se corrente elétrica. Dentro do recipiente temos dois ímãs cilíndricos que se deslocam quando o aparato é movimentado para frente e para trás provocando assim uma variação no fluxo magnético próximo ao fio condutor enrolado em forma de bobina no próprio recipiente. A variação no fluxo magnético produz então eletricidade.



Figura 37 - Experiência de Faraday.
Fonte: Do próprio autor

⁵ Para mais detalhes do experimento ver vídeo produzido pelo autor: < https://www.youtube.com/channel/UCREcAOgDPu_yP7PRr2sNiSw >

Durante essa demonstração o autor fazia perguntas para gerar discussões: “Posso acender o *led* com esse experimento que não possui baterias, pilhas, ou seja, não possui uma ddp? O que tem dentro do recipiente? Por que então que o *led* não acende (sem movimentar)? Por que o *led* ainda não acende (movimentos lentos)”? As respostas a estas perguntas serão discutidas nas análises da aplicação desta unidade.

Após essas demonstrações iniciais o autor começou a oitava aula realizando uma apresentação dos seguintes tópicos do eletromagnetismo: campo magnético gerado por corrente elétrica num fio retilíneo e longo, numa espira circular e num solenoide e regra da mão direita.

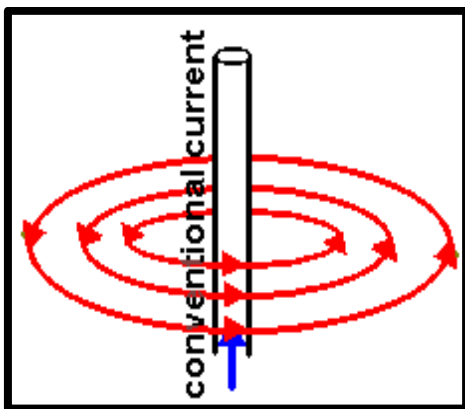


Figura 38 - Linhas de força geradas por corrente em fio retilíneo.

Fonte: Geocities

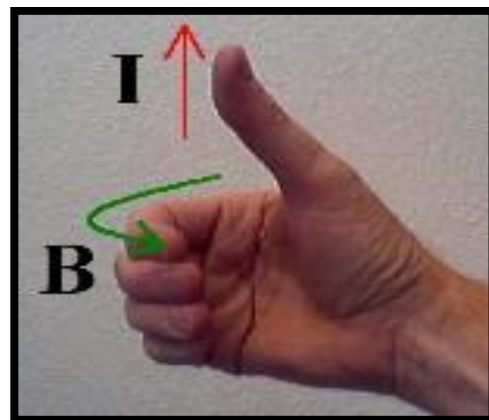


Figura 39 - Regra da mão direita.

Fonte: oocities.org

Exibindo o GIF da Figura 38, o autor explicou que ao redor de um condutor retilíneo percorrido por uma corrente elétrica existe um campo magnético cujas linhas de força são circunferências concêntricas ao fio. Aplicando a regra da mão direita conforme a Figura 39 é possível determinar o sentido do campo magnético: envolve-se a mão direita no fio condutor, o polegar indicará o sentido da corrente elétrica e o restante dos dedos indicarão o sentido do campo magnético. Foram então realizadas algumas demonstrações com a bancada experimental com o intuito de ilustrar que quando uma corrente elétrica percorre uma espira circular gera-se um campo magnético em seu centro. Esse campo magnético é perpendicular ao plano que contém a espira. O esquema da figura 40 nos permite identificar os polos norte e sul de uma espira circular.



Figura 40 - Polos magnéticos de espira circular.
Fonte: Pietra Da Silva.

A experiência da Figura 41 ocorreu do seguinte modo: colocamos uma bússola em uma das extremidades de um solenoide, aplicamos uma ddp, por meio de uma fonte de computador de 5 V, de forma a produzir uma corrente elétrica ligando o fio positivo (vermelho) em uma das extremidades do solenoide e o negativo (fio azul) na outra extremidade.

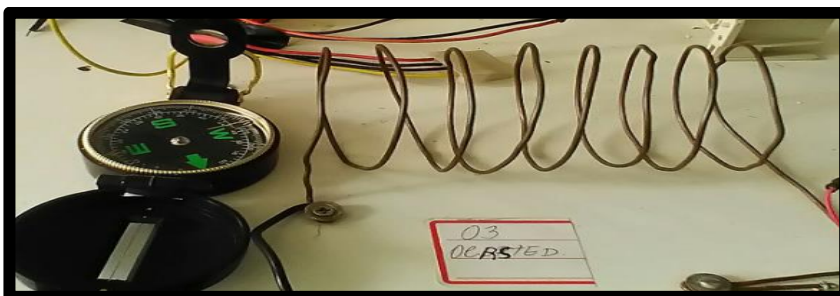


Figura 41- Solenoide.
Fonte: Do próprio autor.

Utilizando-se a regra da mão direita, de acordo com a Figura 40, se as linhas de campo estiverem entrando temos o polo sul e se estiverem saindo temos o polo norte (que o leitor se atente que na Figura 40, na espira da esquerda, aparece um (S) de sul e a da direita um (N) de norte).

Na Figura 43 percebemos que o fio azul (negativo) está próximo da bússola, e que o polo norte da bússola era atraído e o polo sul da bússola era repelido. Na Figura 42 invertermos os fios positivo e negativo, trocando-os de extremidade, ou seja, modificando o sentido da corrente elétrica, ocorrendo então uma inversão do fenômeno, isto é, o polo norte era repelido e o polo sul atraído.



Figura 43 - Solenoide com fio azul (negativo) próximo da bússola.

Fonte: Do próprio autor.

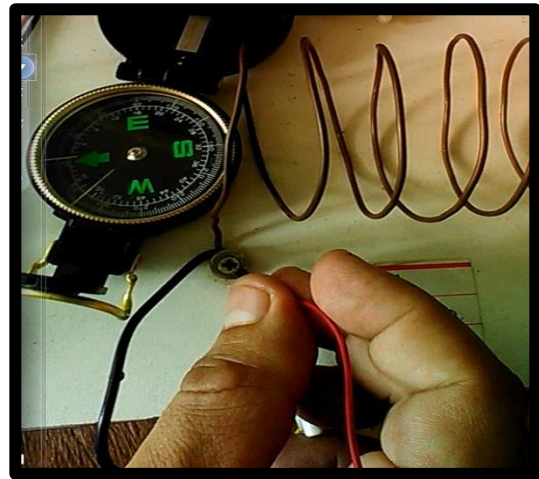


Figura 42 - Solenoide com fio vermelho (positivo), próximo da bússola.

Fonte: Do próprio autor.

Um segundo experimento foi realizado em seguida utilizando o mesmo aparato da Figura 41, mas agora com o intuito de demonstrar o campo magnético gerado no solenoide. Colocando a bússola dentro do solenoide e aplicando uma ddp, determinamos os polos norte e sul do solenoide utilizando a regra da mão direita (figura 44).

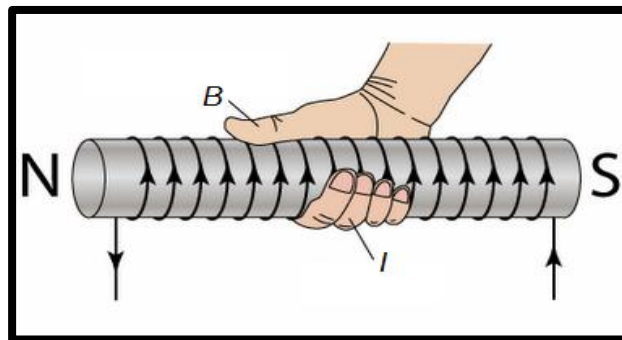


Figura 44 - Regra da mão direita em um solenoide.

Fonte: Do próprio autor

Vale reforçar aqui, que para esta situação, o polegar indica o polo norte do solenoide e o restante dos dedos o sentido da corrente elétrica. Portanto, quando o solenoide for atravessado pela corrente a bússola gira e o norte da mesma vai coincidir com o polegar, indicando assim o polo norte do solenoide de acordo com as Figuras 45 e 46.



Figura 46 - regra da mão direita para um solenoide.
Fonte: Do próprio autor

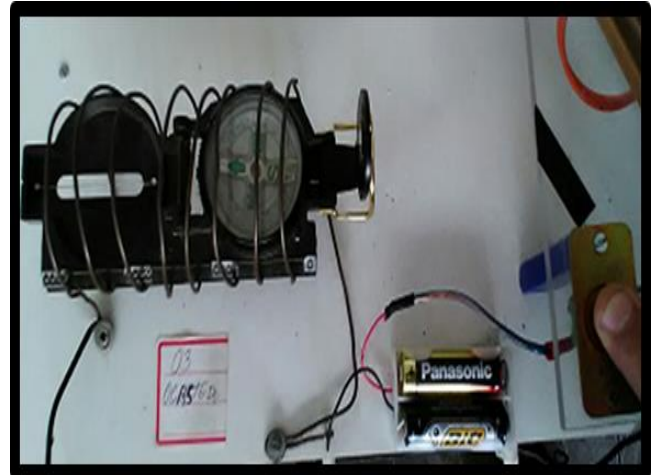


Figura 45 - Norte da bússola apontando para o norte do solenoide em concordância com a Figura 44.
Fonte: Do próprio autor.

Ainda, para ajudar na compreensão do fenômeno acima citado sobre campo gerado em um solenoide, foi exibido um GIF (figura 47). Esse GIF ilustra o experimento das Figuras 45 e 46, pela utilização da regra da mão direita conseguimos identificar o polo norte e sul do solenoide.

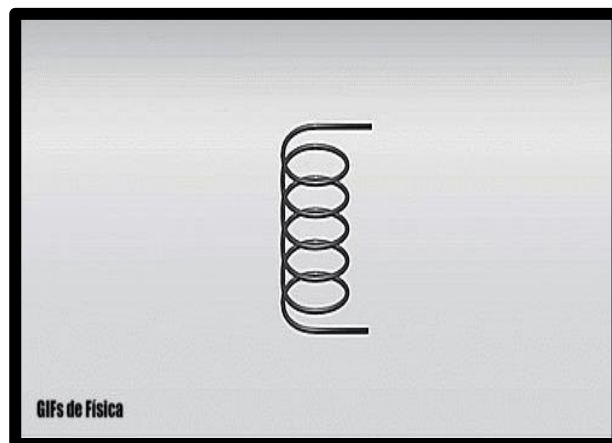


Figura 47- Campo magnético em um solenoide.
Fonte: Facebook ,17 de julho, 2016

Posteriormente foi apresentado pelo autor um GIF que ilustra que a corrente elétrica pode ser produzida por um campo magnético variável conforme a Figura 48.

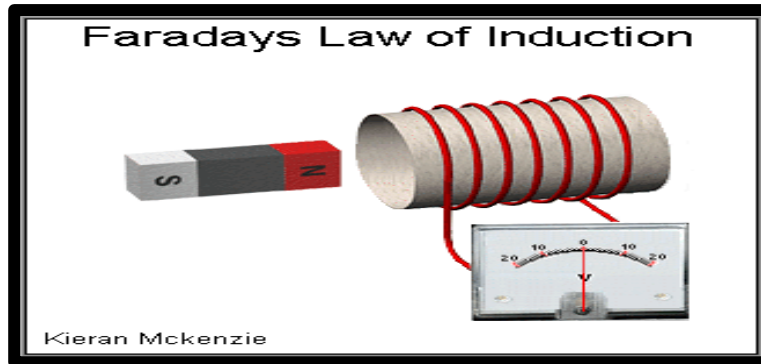


Figura 48 - Lei da indução de Faraday.
Fonte: Museu virtual de física

Em seguida foi realizada uma simulação do site Phet Colorado, que nos permitiu representar virtualmente conceitos sobre a indução de Faraday que não são visualizados experimentalmente conforme a Figura 49.

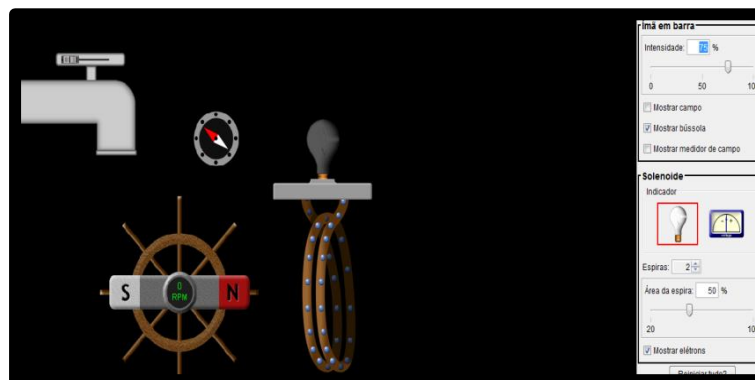


Figura 49 - Lei de Faraday.
Fonte: Phet colorado

Nessa simulação foi possível trabalhar virtualmente com os seguintes aparatos: ímã; bússola; solenoide, eletroímã, transformador, gerador e lâmpada. Por meio da simulação foi possível representar virtualmente as linhas de campo magnético geradas ao movimentar-se um ímã próximo de um solenoide. Também pode-se observar que com a variação do fluxo, gerava-se corrente elétrica no solenoide permitindo-se que uma lâmpada acoplada a ele acendesse. A simulação também nos permitia fazer variar o número de espiras e suas áreas, mostrando assim que a intensidade da corrente elétrica varia dependendo da constituição do aparato. Ainda utilizando a simulação foi possível representar os elétrons em corrente alternada atravessando o condutor de um eletroímã e as linhas de campo magnético geradas e novamente observou-se os diferentes resultados ocasionados pela variação do número de espiras.

Por fim, simulou-se, com o mesmo software, um gerador, elemento focado neste trabalho. Demonstrou-se com ele que quanto maior for a variação do fluxo magnético maior será a intensidade da corrente elétrica gerada. Também nessa simulação foi possível modificar o número de espiras e sua área, variando então a intensidade da corrente elétrica.

Após o trabalho com as simulações foi abordada a formulação matemática (Equação 9) da Lei de Faraday-Neumann que representa que quanto maior for a variação do fluxo magnético para um determinado intervalo de tempo maior será a força eletromotriz.

$$\varepsilon = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad \text{Equação 9}$$

Nesta equação, a força eletromotriz induzida é representada por ε , em Volts (V); $\Delta\Phi$ representa a variação de fluxo magnético, em Tesla (T) e Δt é o intervalo de tempo em segundos (s).

Retomou-se a discussão realizada por meio da simulação do gerador ressaltando-se para os alunos que quanto maior for a variação do fluxo magnético maior será a corrente elétrica, associando dessa forma a representação matemática com a representação virtual e conceitual do fenômeno.

Dando continuidade explicou-se aos alunos a representação matemática do fluxo magnético que representa a medida da quantidade de linhas de campo que atravessam uma determinada superfície:

$$\phi = B.A.\cos\theta \quad \text{Equação 10}$$

Nessa equação, ϕ é o fluxo magnético, B é vetor indução magnética, A é a área da superfície atravessada pelo fluxo magnético, θ é o ângulo entre o vetor normal a área da espira (n) e o vetor indução magnética (B).

Foi abordado ainda que a variação do fluxo magnético em uma espira, para gerar uma corrente elétrica induzida, pode ocorrer de três maneiras:

1º) Variando o fluxo magnético “B” aproximando-se ou afastando-se um ímã de uma espira conforme ilustração da Figura 50;

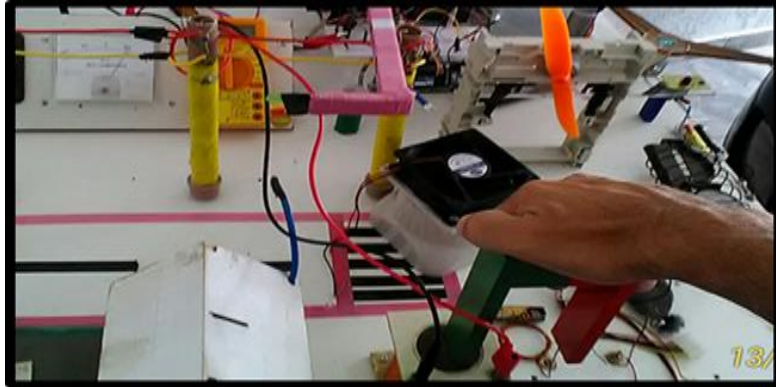


Figura 50 - Variação do fluxo magnético afastando ou aproximando um ímã de uma espira.
Fonte: Do próprio autor.

2º) Variando a área “A” da espira, deslocando-se um condutor sobre a espira como mostra a Figura 51;

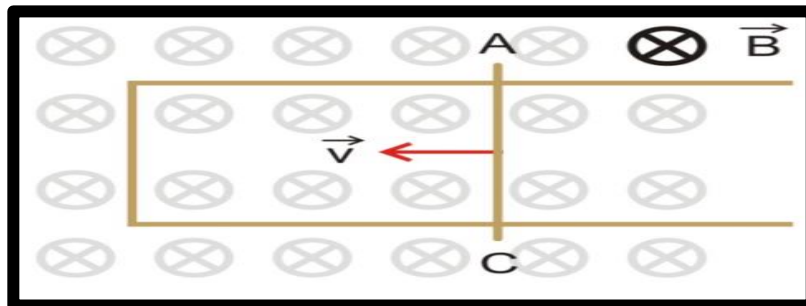


Figura 51 - Variação do fluxo magnético com a movimentação do condutor (AC).
Fonte: Os Fundamentos da Física, quarta-feira, 13 de novembro de 2013.

3º) Variando-se o ângulo “ θ ” entre a normal à área da espira e o vetor campo magnético, para isso basta somente girar a espira, conforme ilustração da Figura 52.

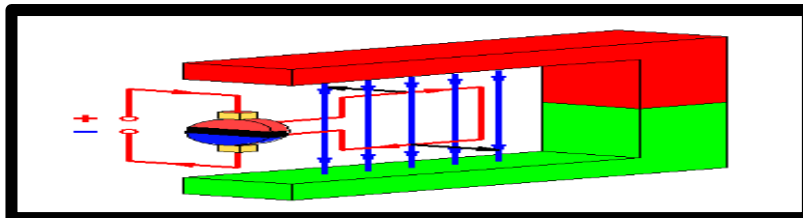


Figura 52: Variação do fluxo magnético variando o ângulo da normal da espira com as linhas de campo magnético.
Fonte: Tecnologia & Informática

Concluindo a aula nove, foi abordada pelo autor a Lei de Lenz: “[...] O sentido da corrente induzida é tal que o campo que ela produz se opõe à variação do fluxo magnético que

a produziu” (SITES.IFI.UNICAMP, 2013) por meio da utilização da bancada experimental, com o experimento mostrado nas figuras 53 e 54.

Aproximamos o ímã e o ferro cilíndrico dos canos de cobre e PVC, mostrando que não surge força de atração entre eles. Depois soltamos o ferro cilíndrico dentro do cano de plástico e fizemos o mesmo procedimento com o ímã e pudemos perceber que o tempo de queda de ambos era o mesmo. Posteriormente soltamos o ferro cilíndrico dentro do cano de cobre conforme mostra a figura 53 e em seguida, fizemos o mesmo procedimento com o ímã conforme mostra a figura 54 e pudemos perceber que o ímã demorou mais tempo em sua queda, ilustrando assim a Lei de Lenz. Tal experimento recebe o nome de freio magnético.

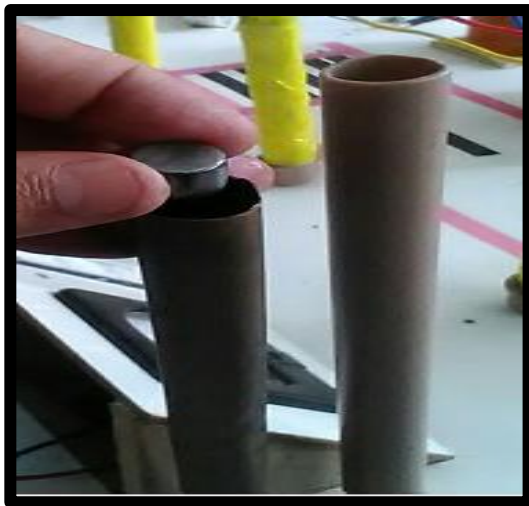


Figura 53 - Ferro cilíndrico solto em um tubo de cobre.

Fonte: Do próprio autor.



Figura 54 - Ímã cilíndrico solto em um tubo de PVC.

Fonte: Do próprio autor.

O fenômeno ocorre porque no tubo de PVC o ímã desce em movimento acelerado, pois somente a força peso atua sobre ele se desprezarmos o atrito e a resistência do ar. Já no caso do tubo de cobre percebemos o surgimento da força magnética em sentido oposto ao da força peso, o que faz com que o ímã, nesta situação, desça com velocidade reduzida em relação à situação anterior, pois a força magnética anula o efeito da força peso. Ao descer, o ímã produz uma variação de fluxo magnético o que gera uma corrente elétrica induzida que circula no tubo de cobre e conseqüentemente surge um campo magnético induzido que se opõe a variação do fluxo magnético.

Finalizando a aula os estudantes responderam um questionário (apêndice 5) com o qual buscávamos analisar possíveis deslocamentos nos conhecimentos dos alunos gerados pela mediação dos conteúdos.

4.5. AVALIAÇÃO FINAL COM PROBLEMAS COMPLEXOS

Como forma final de avaliação, nas aulas 10, 11 e 12 foi elaborado um problema complexo. Esse problema consistiu de três experimentos que retomavam a problematização inicial, realizada nas primeiras aulas e esperava-se que, após a mediação do conhecimento durante o desenvolvimento da unidade, os alunos fossem capazes de dissertar com coerência sobre algumas formas de produção de energia (hidrelétrica, eólica e térmica), assim como tivessem a habilidade de identificar os conceitos e fenômenos físicos envolvidos nos processos de geração de energia. A avaliação final iniciou com a demonstração pelo autor de três experimentos que obedeceram a sequência explicitada a seguir:



Figura 55 - Motor de micro-ondas.
Fonte: Do próprio autor.



Figura 56 - Hélice marrom simulando as turbinas.
Fonte: Do próprio autor.

Os experimentos das figuras 55, 56 e 57 ilustram a simulação de uma usina hidrelétrica. A figura 55 mostra um motor que ao ser girado pela hélice marrom, simulando uma turbina conforme figura 56, acendia 04 *leds* dispostos em fileiras suspensos por canos de PVC de forma a simular postes de iluminação pública conforme mostrado na figura 57.

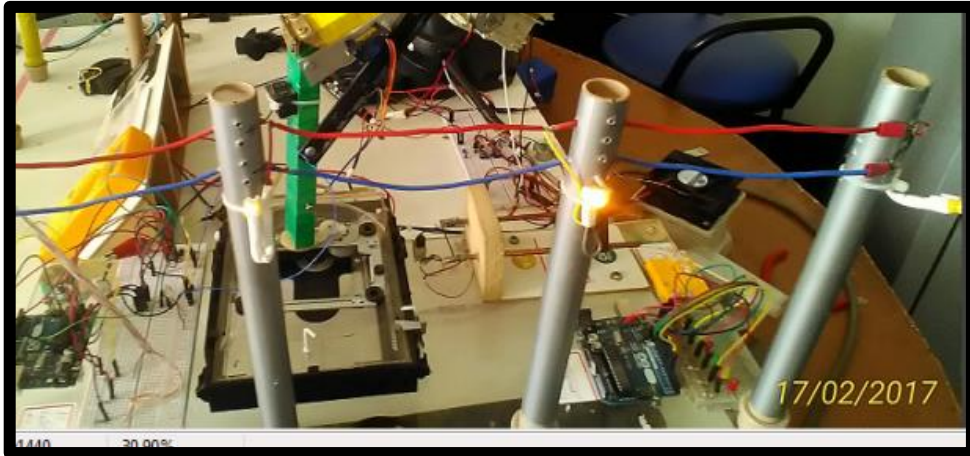


Figura 57 - Leds acesos após girar a hélice marrom (turbina).
Fonte: Do próprio autor.

Ao contrário da experiência de Oersted, na qual o movimento de elétrons cria um campo magnético, neste experimento o movimento de ímãs dentro do motor produz uma variação de fluxo magnético que por sua vez produz corrente elétrica, que é o movimento ordenado de elétrons, por se tratar de um condutor metálico. Ao chegar aos *leds*, estes acendem devido à diferença de potencial entre seus terminais e a corrente elétrica vai do polo positivo para o negativo (sentido convencional).

A segunda demonstração foi o experimento das figuras 58 e 59 que simula uma usina eólica. Aqui a produção de energia ocorre de forma similar à hidrelétrica excetuando o recurso utilizado para geração da mesma, que nesse caso ao invés da água é o vento. A partir do acionamento da hélice do ventilador os fenômenos físicos ocorrem da mesma maneira que já explicada no caso da usina hidrelétrica.



Figura 58 - Simulação de uma usina eólica.
Fonte: do próprio autor.

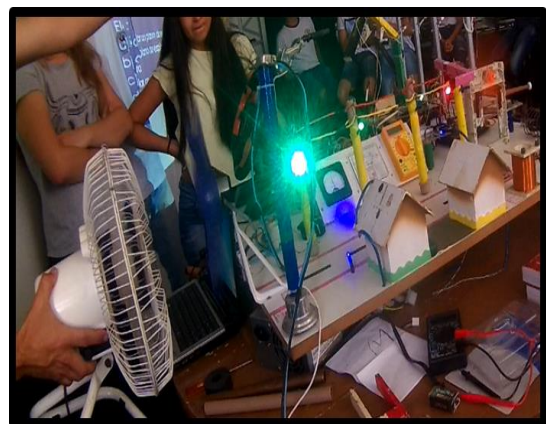


Figura 59 - Simulação de uma usina eólica.
Fonte: do próprio autor.

Já na terceira demonstração foi feita uma simulação de uma usina térmica como mostra a 60.

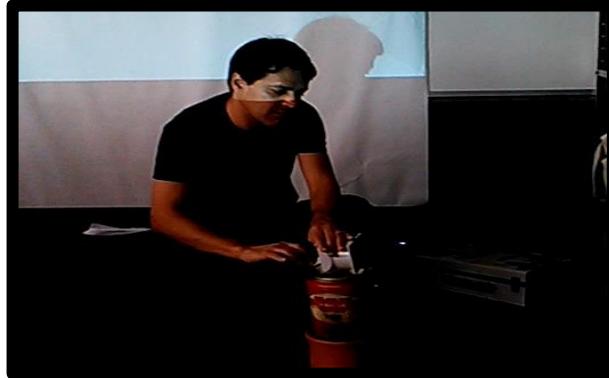


Figura 60 - Simulação de uma usina térmica.
Fonte: Do próprio autor.

Dentro de uma talha d'água de barro foi depositada uma lata de refrigerante cortada com álcool que funcionou como fonte de aquecimento. Sobre a talha foi depositada uma lata de tinta tampada com água. A água ao ser aquecida até o ponto de ebulição transformava-se em vapor que, estando aprisionado, aumentava a pressão dentro da lata de tinta simulando uma caldeira. O vapor era então liberado através de uma torneira de talha d'água acoplada na tampa da lata de tinta e atravessava um cooler ligado a um LED que se acendia. Vale ressaltar mais uma vez que, a partir do acionamento da hélice contida no cooler, todo fenômeno físico se repete, assim como ocorrera na usina térmica e eólica, o que diferencia essa forma de produção de energia mais uma vez é o recurso utilizado para girar as pás das turbinas, sendo neste caso o vapor, ao invés da água (hidrelétrica) e do vento (eólica).

Também foi desmontado um cooler como mostra a figura 61, para que os alunos pudessem visualizar como era por dentro, mas antes de desmontar eles foram questionados quanto ao que esperavam encontrar em seu interior. Esperava-se com essa pergunta que os alunos respondessem ímã e fio de cobre enrolado conforme a figura 61.



Figura 61- Cooler de computador desmontado.
Fonte: do próprio autor.

Foi então solicitado aos alunos que se reunissem em grupos de três ou quatro pessoas e que explicassem, dissertando e/ou desenhando, o funcionamento das usinas hidrelétrica, eólica e térmica, desde o momento em que a água, vento ou vapor acionava as turbinas até o acendimento dos *leds*, descrevendo os fenômenos e conceitos físicos durante todo processo de produção de energia elétrica.

5. RESULTADOS⁶

Com o objetivo de verificar os possíveis deslocamentos dos alunos em relação as suas concepções iniciais após a aplicação da unidade, apresento na sequência as concepções iniciais dos alunos com suas respectivas sínteses.

5.1 CONCEPÇÕES INICIAIS

Antes do início da abordagem dos conteúdos, os estudantes responderam um questionário (apêndice 2), com o qual se buscava compreender suas ideias prévias sobre elementos que seriam abordados durante a unidade de ensino.

As questões: “1) *como seria viver em um mundo sem eletricidade*” e “2) *Como você explicaria para um habitante de um mundo sem luz, o que é a luz?* ” Não abarcavam o formalismo e a linguagem tipicamente presentes em aulas de Física. Observamos que para respondê-las raramente os estudantes utilizaram conhecimentos, conceitos ou linguagem científica. Além disso, houve uma forte relação entre suas respostas e seu cotidiano científico e tecnológico em especial dispositivos de comunicação e de veiculação de informações. Na tabela 2 são categorizadas as respostas dos alunos para as questões 1 e 2 (apêndice 2).

Tabela 2 - Categorias de respostas para as questões 1 e 2 do apêndice 2.

Categorias de Respostas	Nº de respostas
• Ausência de eletricidade associada com caráter negativo	11
• Eletricidade associa-se com luz, cor, iluminação	10
• Luz e eletricidade associam-se com biologia ou religião	10
• Eletricidade associa-se com tecnologias cotidianas	06
• Eletricidade associa-se com conhecimento e/ou comunicação	06
• Eletricidade e luz associadas com elementos da Física	03

Fonte: Do próprio autor.

⁶ Para cada estudante é indicada a letra A (Aluno) seguida de um número que o identifica.

Nas transcrições são exemplificadas algumas das respostas que explicitam as associações estabelecidas pelos estudantes entre eletricidade/luz e cor, conhecimento, comunicação ou tecnologias cotidianas.

“Sem possibilidades de comunicação, seria escuro apenas a luz da lua e do sol, sem comunicação a distância [...]” **A3**

“Seria um mundo sem sentido; um mundo neutro, praticamente preto e branco. [...] vivemos com inteligência; a internet é o nosso mentor, o que a gente quer, tem ali; A luz é boa para quem sabe usá-la, ela é uma necessidade boa, só se você quiser” **A10**

“Muito ruim, sem internet, nem eletricidade para carregar alguma coisa, eu não ia aguentar, seria um mundo muito chato [...]” **A8**

“Seria um mundo sem cor [...] a luz é algo que dá a verdadeira cor para tudo, sem ela não há nada” **A17**

O depoimento de A10 nos faz refletir sobre qual papel a escola tem para esse estudante, já que se refere à internet como ‘o nosso mentor’ ou aquilo que nos provê do que precisamos.

Muitos dos estudantes associaram um mundo sem eletricidade com aspectos negativos como: difícil, desatualizado, ruim, chato, sem sentido, sem graça e sem evolução, o que também indica que enxergam luz e/ou eletricidade como desenvolvimento benéfico para o ser humano. Observamos isso em algumas de suas respostas a seguir:

“Não se criaria as tantas tecnologias que nos beneficiam e nos trazem boa qualidade de vida [...]” **A15**

“O mundo ficaria sem sentido as pessoas ficariam sem funções estabelecidas nada existiria” **A19**

“Seria um mundo sem graça onde não aconteceria nada, acho que não teríamos como viver sem eletricidade [...] não conseguiríamos viver sem ela é uma das importâncias da eletricidade, é uma ferramenta que usamos” **A18**

“Seria um mundo escuro, sem vida a noite, o conhecimento seria muito pouco [...] luz é modernidade dos seres humanos” **A11**

Poucos alunos não fizeram essa mesma associação entre benefícios e eletricidade/luz, alguns inclusive criticaram a intensa dependência humana desses elementos e outros imaginaram um momento histórico em que era possível viver sem luz ou eletricidade. Esses elementos são apontados nos trechos em negrito nas transcrições a seguir:

“Não teríamos as tecnologias que temos hoje, não haveria avanço tecnológico, **iríamos praticamente ser ‘pré-históricos’, sem nenhuma evolução em máquinas, indústrias, enfim, sem mercado capitalista consumidor**, iríamos depender somente da luz do Sol” **A13**

“Seria muito difícil, **só não digo que seria impossível por que a humanidade já viveu sem [...]** eu usaria o dia como exemplo, falaria que faz a noite aparecer dia” **A4**

“Nós não saberíamos viver em um mundo assim, pois somos todos cômodos demais. Eletrodomésticos e tudo isso que estamos acostumados não existiria. Um mundo escuro que não se abre a uma nova ideia, um círculo onde andaríamos e sempre voltariamos para o mesmo lugar onde evolução jamais foi vista até que ao invés de fogo, uma lâmpada iluminasse [...] Na verdade, acho que eu pediria uma explicação para esse habitante, como viver sem eletricidade. [...]” A12

Alguns alunos associaram luz e/ou eletricidade com elementos mais próximos da biologia como: vida, evolução dos seres humanos, adaptação para sobrevivência e um dos alunos associou luz com religião.

“[...] teríamos que adaptar para sobreviver porque será difícil ficar sem eletricidade” A19

“Luz [...] equilibra as coisas do nosso mundo, pois nada conseguiria viver sem ela” A1

“Seria um mundo escuro, sem vida [...], sem harmonia. Luz é vida.” A16

“Criação! - Vida! Já dizia o homem mais sábio de todos os tempos (Deus) ‘haja luz’” A15

Poucos dos estudantes utilizaram elementos da Física em suas respostas, no entanto os significados desses elementos não se aproximaram dos conceitos e ideias científicos, por exemplo, igualaram energia e eletricidade, consideraram que luz é corrente elétrica ou que luz seria movida por eletricidade. Esses aspectos são exemplificados nos trechos em negrito a seguir:

“Seria um mundo difícil. Não iria existir eletroeletrônicos, internet, luzes, etc... Haveria menos acessibilidade com o mundo inteiro [...] é uma iluminação, como o sol e a lua, mas em uma forma de lâmpada, movida de eletricidade, em uma forma menor do que a do sol e lua” A9

“Seria ruim [...] para mim luz é uma corrente elétrica que serve para iluminar” A6

“a luz é tudo, a eletricidade move tudo, até o ser humano é movido pela energia” A3

Com as questões 3, 4 e 6 (apêndice 2) buscávamos compreender as concepções dos alunos sobre cargas, força elétrica e campos elétrico e magnético. Observamos que essas questões utilizavam o formalismo e linguagem da Física, apesar de tratar, como nas anteriores, de elementos de eletromagnetismo, e nesse caso observamos um índice grande de respostas não sei ou em branco.

Tabela 3 - Categorias de respostas para as questões 3, 4 e 6 do apêndice 2.

CATEGORIA DAS RESPOSTAS	Nº de respostas
Categoria de Respostas – Questão 3	Nº de respostas
• Não sei	09
• Campo elétrico associa-se com bateria ou armazenamento de substância	03
• Determina-se características de campo elétrico por meio de interação	03
• Resposta sem sentido	01
Categoria de Respostas – Questão 4	Nº de respostas
• Afastando-se cargas ‘algo’ diminui	07
• Afastando-se cargas força entre elas aumenta	04
• Não sei	04
• Respostas sem sentido	02
Categoria de Respostas – Questão 6	Nº de respostas
• Não diferenciam força elétrica e magnética	08
• Não sei	06
• Carga elétrica diminui magnetização de ímã	04
• Ímã é afetado por cargas em movimento	01

Fonte: Do próprio autor.

Em resposta à questão três, “*Descreva como se pode determinar experimentalmente o módulo, direção e sentido de um campo elétrico em um ponto do espaço*”, três alunos associaram campo elétrico à bateria ou a algum tipo de armazenamento de substância que seria posteriormente utilizada:

“Campo elétrico acho que um local onde se concentra alto teor de eletricidade que é distribuído para outros lugares” **A19**

“Eu acho que é um campo por onde a eletricidade passa e se divide indo para outros lugares, onde ela se acumula” **A18**

“Usando uma bateria e achando o número de prótons e elétrons” **A2**

Três alunos consideraram que seria necessário algum tipo de interação para determinar características de um campo elétrico, conforme observamos em suas respostas a seguir:

“Com redes ou obstáculos que podem conduzir a energia” **A3**

“Imagino que atrairia as coisas para o centro” **A6**

“O campo elétrico atrairia as forças para o meio” **A7**

O estudante A3 considerou que essa interação deveria ser com algo que conduz energia, já o estudante A6 não considerou característica específica para o elemento que interage com o campo e A7 considerou que o que interage são forças, ao invés de considerar a força como a própria interação (provavelmente esse aluno teria compreensão equivocada do próprio conceito de força). Notamos que provavelmente A6 e talvez A7 concebem uma simetria circular ou esférica para o campo, já que o elemento seria atraído para meio ou centro.

O estudante A1 talvez não tenha entendido a questão, em seu depoimento abaixo observamos que ele procura formas de modificar o campo e não de identifica-lo. Essa modificação ‘do sistema’, de acordo com A1, seria possível por meio do fornecimento de energia.

“Eu imagino que tem que haver uma carga de energia para poder mudar o sentido e a direção de um campo elétrico” **A1**

Observamos por meio dessas respostas que eles conhecem conceitos e linguagem científica associados ao eletromagnetismo, mas a compreensão que têm desses conceitos e o uso da linguagem muitas vezes são equivocados.

Em resposta à questão quatro, “*Se duplicar a distância entre dois corpos carregados, como varia a força elétrica que se estabelece sobre eles? Se quiser faça um esquema para explicar*”, observamos nas transcrições que alguns alunos indicaram que algo diminuiria e ainda que nem todos utilizaram linguagem científica ou conceitos de maneira correta:

“A energia concentrada nos dois são altas quando se afastam essa tensão vai caindo a corrente elétrica” **A19**

“Acho que a energia dos corpos irá diminuir pois estarão mais longe” **A3**

“A força da energia se diminuiria” **A5**

Nesses três depoimentos os estudantes provavelmente confundem força e energia. No depoimento de A19 observamos o conhecimento de diversos conceitos, porém utilizados equivocadamente.

Os depoimentos de A18 e A4 indicam a resposta correta e A12 aproxima-se dela. Notamos que para A12 a carga não é conservada, a diminuição da força seria originada pela diminuição da carga com a distância.

“A força vai diminuir só que vai ficar um pouco fraca, mas mesmo assim eles ficam ligados (carregados)” **A18**

“Quanto maior a distância menor seria sua atração, carga elétrica seria menor” **A12**

“Ao duplicar a distância a força se diminuiria” **A4**

O estudante A9 (figura 62) além de considerar que a força diminuiria, também quantificou essa diminuição apesar de equivocarse já que a força seria 4 vezes menor. Para ele a interação ocorreria por meio de ondas e a força envolvida também seria magnética, ou seja, ele não diferenciava os fenômenos elétricos e magnéticos.

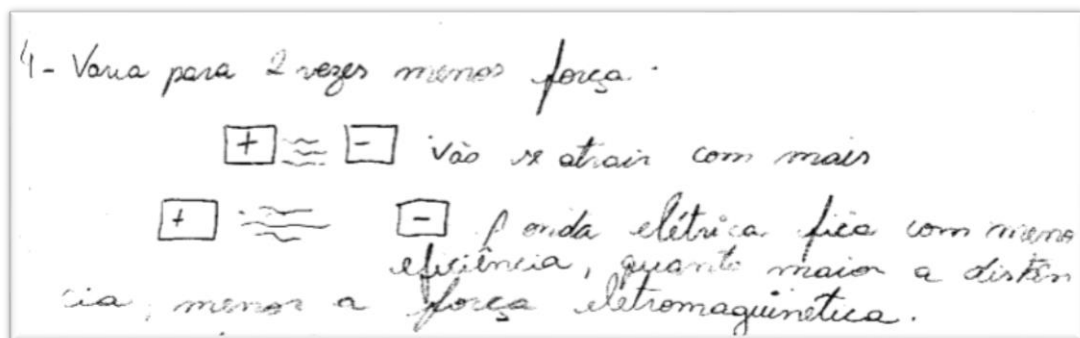


Figura 62 - Resposta do aluno A9 representando interações eletromagnéticas como ondas.
Fonte: Dos próprios alunos.

Alguns depoimentos afastaram-se bastante das respostas esperadas. No depoimento de A1 a seguir, o tipo de carga, positiva ou negativa, poderia variar com a distância.

“Pode ser força negativa e positiva ou forças iguais” **A1**

“Seria a força de uma corrente elétrica” **A2**

Em resposta à questão 6, “*Em que condições as cargas elétricas podem afetar um ímã?*”, alguns alunos consideraram que cargas elétricas poderiam diminuir a magnetização de um ímã ou até mesmo destruí-lo, conforme observamos em suas respostas a seguir.

“Acho que ele perde sua força o magnetismo” **A18**

“Eu acho que se aplicar eletricidade o ímã perde seu magnetismo” **A19**

“Um ímã atraído pelo outro tem atração e a energia (cargas elétricas) pode afetar essa atração afastando os ímãs” **A3**

“Se for uma grande carga pode destruí-lo completamente” **A1**

Diversos alunos não diferenciaram força elétrica e magnética, para eles seriam ambos um mesmo fenômeno:

“Quanto mais cargas elétricas mais o ímã será atraído” **A5**

“Se ele estiver próximo a um objeto de carga oposta haverá uma atração” **A4**

“Quanto maior carga elétrica atraída mais atraído o ímã vai ficar” **A8**

“Depende se a carga for positiva e a do ímã negativa para se atrair” **A2**

Na próxima resposta o estudante A9 pareceu indicar que se houvesse movimento de cargas o ímã seria afetado, seu depoimento parece aproximar-se da resposta esperada do ponto de vista da Física:

“Sendo de cargas opostas, tendo um movimento ddp, ordenado” **A9**

Uma das questões buscava explicitar os conhecimentos dos alunos sobre o problema complexo, foco dessa unidade. Solicitou-se aos alunos que fizessem um esquema simples explicando o funcionamento de uma usina hidrelétrica.

Tabela 4 - Categorias de respostas para a questão que investigava a compreensão dos alunos sobre Usinas Hidrelétricas.

Categoria de Respostas – Usina Hidrelétrica	Nº de respostas
• Não sei	03
• Apenas desenhou	03
Elemento citados ou desenhados	
• Água	12
• Turbina	07
• Gerador	04
• Torres de transmissão	03
• Barragem	03
• Transformador	01
• Corrente	01
• Energia	01

Fonte: Do próprio autor.

Observamos que em nenhum esquema ou resposta foram identificados ímãs ou componentes eletromagnéticos que fariam parte do gerador ou componentes internos de geradores e transformadores. Reproduzimos nas figuras a seguir algumas respostas dos alunos

que explicaram detalhadamente o processo de produção de energia em Usina Hidrelétrica e/ou desenharam um esquema:



Figura 63 - Funcionamento de uma usina hidrelétrica por A12
Fonte: Dos próprios alunos.

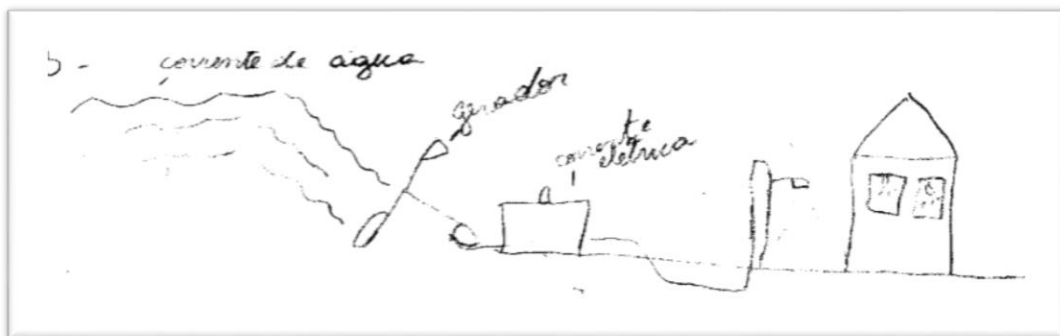


Figura 64 - Funcionamento de usina hidrelétrica por A9
Fonte: Dos próprios alunos

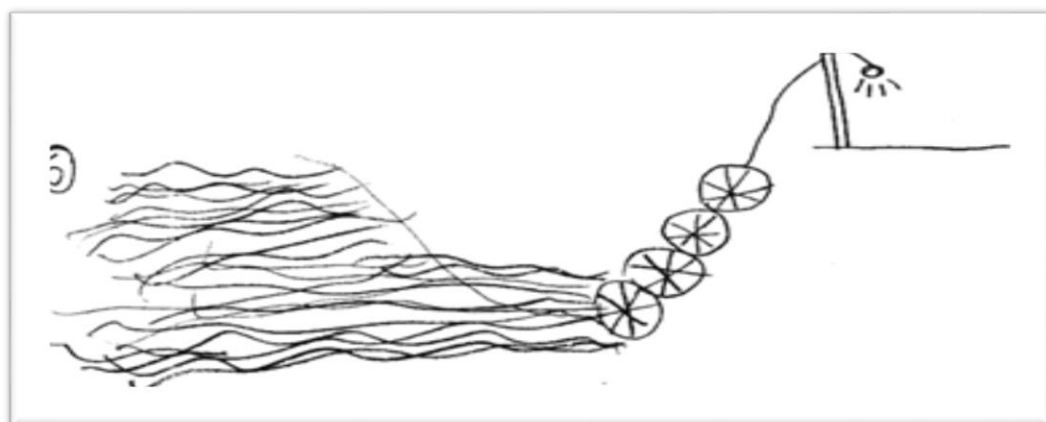


Figura 65 - Funcionamento de usina hidrelétrica por A11
Fonte: Dos próprios alunos.

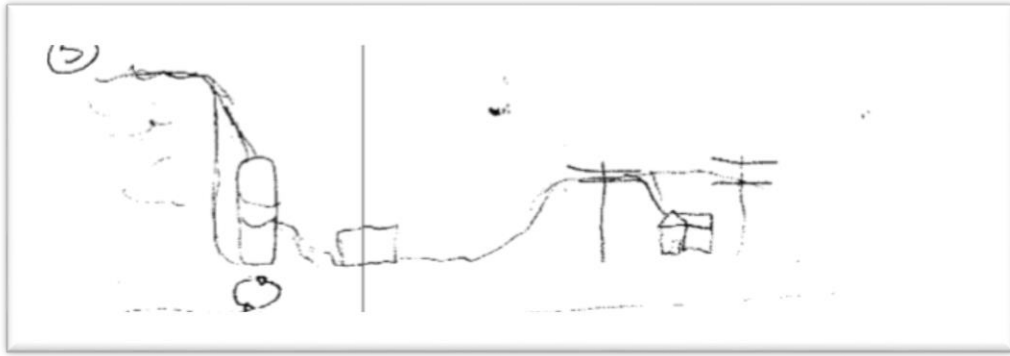


Figura 66 - Funcionamento de usina hidrelétrica por A1
 Fonte: Dos próprios alunos.

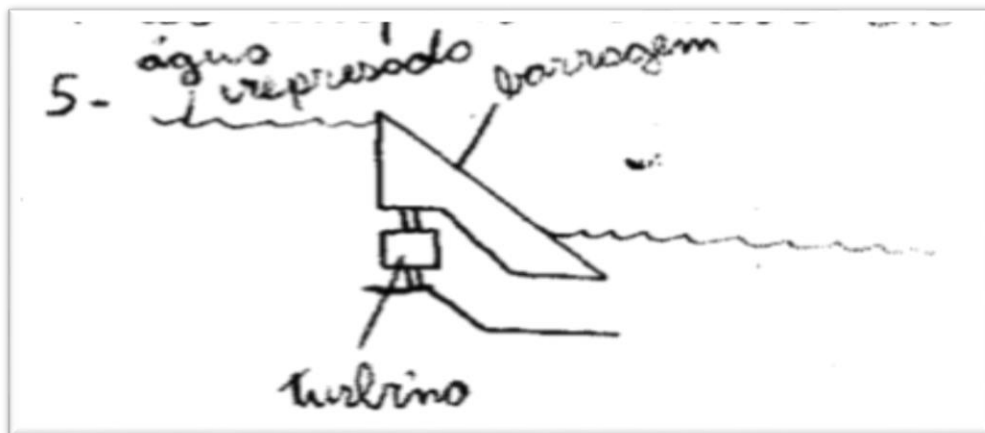


Figura 67 - Funcionamento de usina hidrelétrica por A4.
 Fonte: Dos próprios alunos.

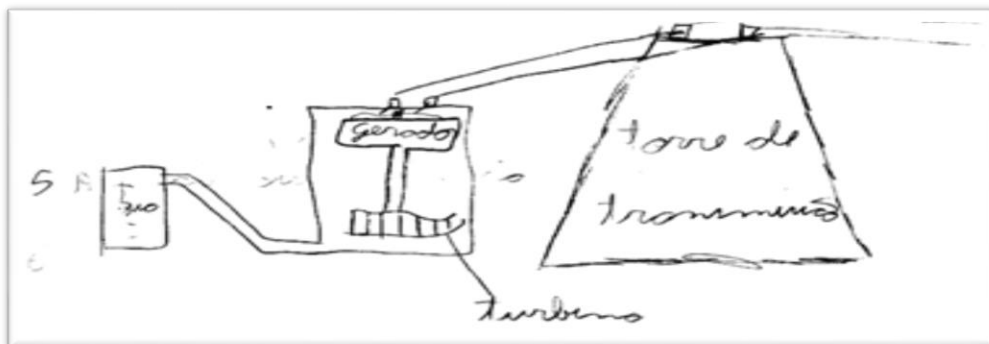


Figura 68 - Funcionamento de usina hidrelétrica por A8
 Fonte: Dos próprios alunos.

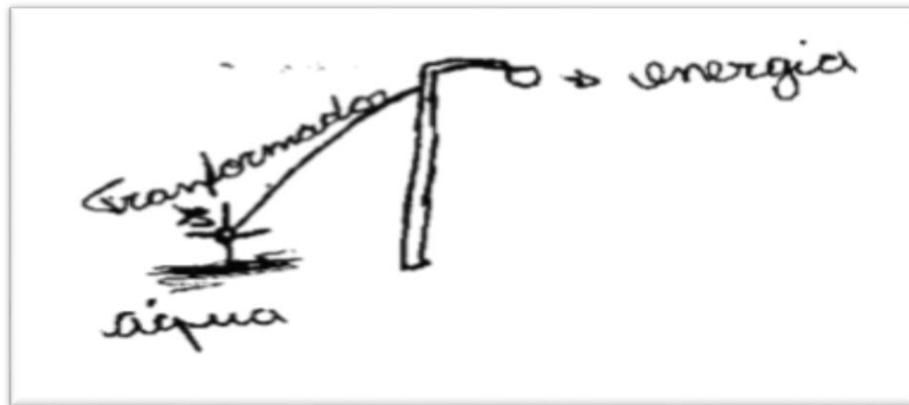


Figura 69 - Funcionamento de usina hidrelétrica por A3
Fonte: Dos próprios alunos.

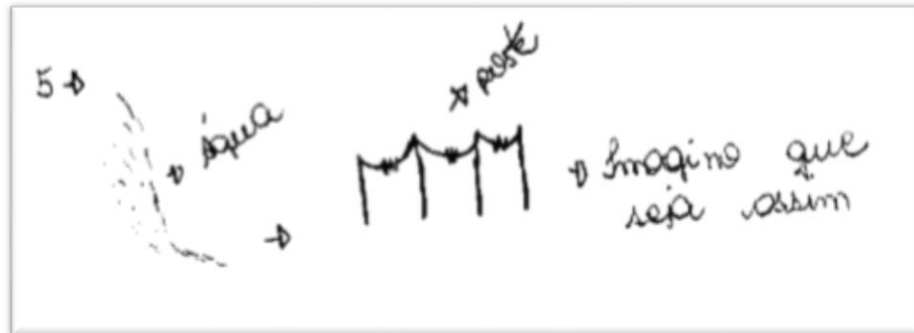


Figura 70 - Funcionamento de usina hidrelétrica por A16
Fonte: Dos próprios alunos.

5.1.2 Síntese das concepções iniciais

Observamos que em questões menos escolarizadas raramente os estudantes utilizaram conhecimentos, conceitos ou linguagem científica. Em questões mais escolarizadas utilizaram linguagem científica, mas muitas vezes com significado equivocado, além disso houve nesse caso maior índice de respostas em branco ou não sei. Observamos forte relação entre suas respostas e seu cotidiano científico e tecnológico, além de atribuição de caráter benéfico à ciência e tecnologia, quando as questões utilizavam pouco formalismo da Física, nesse caso suas respostas também não se restringiram à Física, mas associaram eletricidade e luz à biologia e religião.

No que se refere às suas concepções sobre elementos de eletromagnetismo de forma geral observamos: associação entre luz, eletricidade e corrente elétrica; igualdade entre energia e eletricidade; igualdade entre luz e corrente elétrica; consideração de que luz é 'movida' por

eletricidade; compreensão equivocada de força; compreensão de energia como substância; confusão entre energia, tensão e corrente elétrica.

No que se refere as suas compreensões sobre campo elétrico, este apareceu associado à forma de armazenamento de ‘substância’ (usualmente essa substância foi denominada eletricidade) e em algumas respostas teria simetria esférica ou circular. Para identificar módulo, direção e sentido de campo consideraram a necessidade de alguma interação ou consideraram que a existência de campo provocaria alguma atração sem especificar o que seria atraído, em alguns casos consideraram que forças seriam atraídas ao invés de considerar a força como a própria atração. O campo esteve associado com atração e em nenhuma resposta com repulsão. É interessante notar que essa omissão de fenômenos de repulsão também ocorre na história do desenvolvimento da eletricidade (KUHN, 2011).

No que se refere as suas compreensões sobre força elétrica, a maioria dos estudantes associou uma maior distância entre corpos carregados com diminuição de alguma quantidade que poderia ser: usualmente energia ‘contida’ nesses corpos; carga elétrica ou corretamente a força elétrica. Em apenas uma resposta o estudante buscou quantificar a força elétrica, mas a quantificou de forma equivocada. Um dos estudantes considerou que a interação entre corpos carregados se daria por meio de ondas. Novamente não houve menção à repulsão, somente atração.

No que se refere a relação entre corrente elétrica e campo magnético, os estudantes consideraram que cargas elétricas (e não correntes) poderiam diminuir a magnetização de um ímã ou poderiam destruí-lo. Observamos que a maioria dos estudantes não diferenciou fenômenos elétricos de magnéticos. Apenas um estudante pareceu indicar uma relação entre cargas em movimento e campo magnético, porém pouco elaborada.

No que se refere a suas compreensões sobre o funcionamento de uma usina hidrelétrica, observamos que o elemento que mais apareceu em suas respostas foi a turbina e em apenas um terço das respostas foi citado o gerador. Outros elementos associados ao eletromagnetismo identificados em poucas das respostas foram o transformador, a corrente e a energia. Em nenhuma das respostas foram identificadas as partes componentes de um gerador.

5.2 ELETRICIDADE

Após a abordagem de conceitos de eletricidade os estudantes responderam um questionário (apêndice 3), com o qual se buscava identificar suas compreensões e possíveis deslocamentos com relação as suas concepções iniciais.

Em resposta à questão 1, “*Se duplicarmos a distância entre dois corpos carregados, como varia a força elétrica que se estabelece sobre eles? Se quiser faça um esquema para explicar*”, observamos que há avanço nas respostas se comparamos a tabela 3 com a tabela 5.

Tabela 5 - Categorias e número de respostas para a relação entre distância entre cargas e força elétrica

Categoria de Respostas	Nº de respostas
• Afastando-se cargas ‘algo’ diminui	14
• Consideram apenas a atração	10
• Não sei ou não respondeu	05
• Consideram atração ou repulsão	01
• Afastando-se cargas força entre elas aumenta	0

Fonte: Do próprio autor.

Destacamos a resposta do estudante A13 por ele articular conhecimentos sobre eletrização por indução para responder à questão:

“Quando se une um corpo positivo e outro neutro, os elétrons (-) do corpo neutro se juntam com os prótons (+) do corpo positivo, quando duplicamos a distância entre eles, os elétrons e prótons voltam na sua posição inicial” **A13**

A resposta indica que o estudante busca articular um fenômeno que foi discutido durante as aulas teoricamente e por meio de experimentos e GIFs e a situação geral do qual trata a questão. Sendo assim, ele busca tornar o problema mais concreto ao supor uma situação específica, conhecida por ele, que o auxilia a refletir sobre uma proposição mais abstrata proposta na questão. Ele utiliza o resultado conhecido de que ao afastar os corpos envolvidos na eletrização por indução a interação entre as cargas diminui.

Observamos nas transcrições a seguir algumas das respostas dos alunos que indicaram diminuição de algo utilizando linguagem científica, porém sem quantificar essa diminuição ou quantificando de forma errada:

“A força fica mais fraca” **A4**

“Quanto mais distância, menor atração haverá” **A5**

“Ela vai ficar mais fraca, vai ter menos atração” **A18**

“Haverá pouca atração e vai voltar a sua posição inicial” **A8**

“Quando os corpos vão se distanciar mais ainda haverá eletricidade, porém em pequenas quantidades” **A19**

O mesmo estudante que procurou quantificar a resposta no questionário inicial (A9) tentou fazê-lo novamente, porém quantificou de forma errada. No depoimento do estudante A19 observamos que ele confundiu eletricidade com força, e a eletricidade parece ser alguma ‘substância’ (pequenas quantidades) que diminuiria com o distanciamento dos corpos.

A questão 2 buscava investigar se os estudantes compreenderam o significado de carga e corrente, sua relação e a relação dessas grandezas com suas unidades: “*O coulomb e o Ampère são unidades de carga? Explique*”.

Alguns estudantes deram indícios de que não apenas memorizaram o significado das unidades, pois tentaram explicá-las a partir dos fenômenos aos quais elas se referiam, tentando estabelecer relações entre grandezas por elas representadas. Transcrevemos a seguir suas respostas:

“Sim, Coulomb quantidade de carga por segundo na corrente elétrica que determina o Ampère” **A15**

“Sim, porque o Coulomb é a unidade que soma para dar o resultado da carga dada em Ampère” **A3**

“Sim, pois para achar a corrente elétrica precisa de Coulomb que é a carga que resulta ao Ampère” **A20**

“C= sim o Coulomb e Ampère são cargas, mas, porém, uma tem mais carga elétrica” **A19**

Observamos que se fosse necessário apenas responder sim ou não, todas essas respostas estariam erradas e algumas das explicações se afastariam da compreensão Física para os fenômenos em questão. No entanto, ressaltamos que todas as explicações expressam de alguma forma que a corrente (representada pelo Ampère) estaria associada a um conjunto de cargas (representadas pelo Coulomb) apesar de não considerarem movimento dessas cargas. É possível afirmar que estes estudantes estão buscando associar unidades e fenômenos.

Nas duas respostas a seguir os estudantes estabelecem relação entre corrente e carga e, além disso, recorrem a expressões matemáticas para dar significado às unidades.

“Sim porque $i = \frac{\Delta C}{\Delta T} = A$ ” **A4**

“Sim, você precisa do Coulomb para achar o Ampère $\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \text{Ampère}$ ” **A18**

Em outras respostas observamos, que diferentemente das anteriores, os estudantes não associaram as unidades aos fenômenos nem estabeleceram relações entre carga e corrente. Talvez tenham apenas tentado memorizar e reproduzir a resposta, porém o fazem de forma equivocada.

“A carga elétrica é representada em Coulomb. Já a intensidade é representada em Ampère. Ambos são unidades de carga” **A1**

“Sim. Coulomb é a carga elétrica e Ampère é ddp (diferença de potencial) de uma corrente elétrica” **A9**

Em resposta à questão 3 “*Descreva como se pode determinar experimentalmente o módulo, direção e sentido de um campo elétrico*” observamos avanços nas explicações dos alunos a partir da comparação das tabelas 3 e 6.

Tabela 6 - Categorias e número de respostas associadas a determinação de módulo, direção e sentido de campo elétrico.

Categoria de Respostas	Nº de respostas
• Não sei ou não respondeu	08
• Utilizam carga geradora para explicar direção e sentido	04
• Utilizam carga de prova para explicar direção e sentido	03
• Utilizam carga de prova e geradora para explicar direção e sentido	01
• Explicam como se determina módulo	0

Fonte: Do próprio autor.

Transcrevemos a seguir as respostas dos estudantes que consideraram o movimento da carga de prova para determinação da direção e sentido do campo elétrico:

“O elétron se movimenta em direção contrária do próton” **A20**

“Pela carga positiva, a carga negativa se movimenta em direção contrária” **A4**

“Direção é mesma de \vec{F} . Se $q > 0$ o sentido é o mesmo da força, se $q < 0$ o sentido é contrário a força” **A1**

Na resposta do estudante A20 há indícios de que o sentido do campo dependeria do sinal da carga de prova, porém ele não elabora a resposta explicando qual seria esse sentido. Já A4 detalha sua resposta ao considerar que a carga de prova seria positiva e seu movimento indicaria direção e sentido do campo e posteriormente esclarecendo que uma carga negativa se movimentaria em sentido contrário ao do campo. O estudante A1 associou campo e força, provavelmente sofrida pela carga de prova, e considerou os sinais possíveis para a carga para indicar o sentido do campo.

Transcrevemos a seguir as respostas dos estudantes que consideraram apenas a carga geradora. Observamos que o estudante A18 iguala linhas de campo com eletricidade.

“Pode-se determinar a direção e o sentido dependendo da carga, se for positiva o campo elétrico sai se for negativa o campo elétrico entra” **A3**

“No campo elétrico tem o ponto positivo e negativo, a eletricidade sai do positivo e vai para o negativo” **A18**

“Negativo=entra. Positivo=sai. Assim pode-se determinar a direção e o sentido” **A16**

Na resposta apresentada na figura 72, o estudante A9 pareceu considerar tanto a carga de prova quanto a carga geradora:

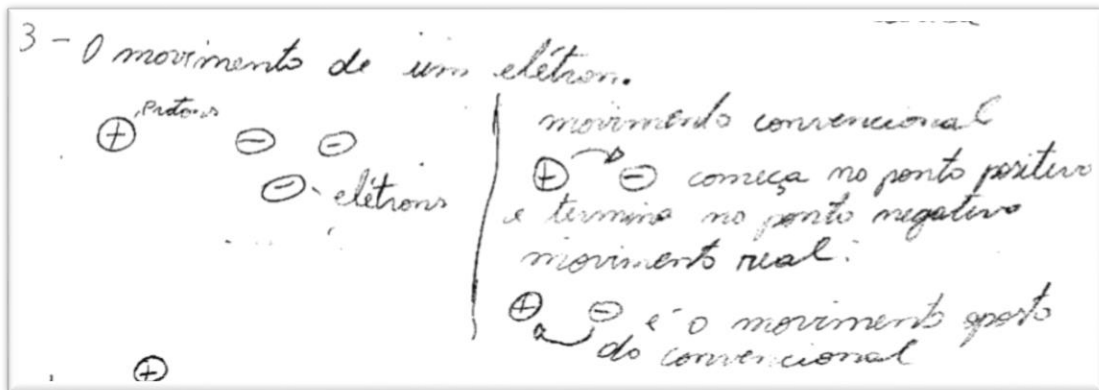


Figura 71 - Explicação de A9 para a determinação de direção e sentido de campo elétrico.
Fonte: Dos próprios alunos.

Nessa resposta observamos que, para o estudante, o movimento de um elétron indicaria a direção e sentido do campo. Ele compõe a segunda parte de sua resposta provavelmente considerando a carga geradora, mas parece se confundir com a questão do movimento convencional e real de corrente em condutor. Apesar de não apresentar uma resposta bem articulada, parece que o estudante buscou refletir sobre os elementos que comporiam a resposta,

cargas de prova e geradora, seus sinais e o possível sentido do movimento. As três respostas a seguir se afastam da explicação Física esperada:

“Usando uma bateria com cargas positivas e negativas” **A2**

“Em um polo positivo e em um polo negativo” **A10**

“No campo elétrico tem o [bolinha positiva] e [bolinha negativa] a eletricidade é tanto para horizontal quanto para vertical e o positivo se for a força maior atrai o negativo de ambas as partes” **A19**

O estudante A19 considerou que a direção seria horizontal ou vertical, provavelmente por influência da definição de direção usual nas aulas de mecânica. Ele procurou associar força e campo, mas parece que uma compreensão equivocada da Terceira Lei de Newton o levou a considerar que a força entre duas cargas poderia ser maior sobre uma ou outra. Nesse caso notamos a interferência do aprendizado em mecânica para a compreensão do eletromagnetismo.

Para a questão quatro, “Coloca-se um objeto de prova carregado negativamente num campo elétrico em que o vetor campo elétrico tem uma direção vertical e sentido para baixo. Qual é o sentido da força que se exerce na carga de prova. Se quiser faça um desenho para explicar sua resposta”, os estudantes deveriam utilizar os mesmos conhecimentos da questão três porém aplicados a uma situação específica, na qual estavam determinados a orientação do campo e o sinal da carga de prova. No entanto, observamos que, dos 19 estudantes que responderam a questão, apenas 02 responderam corretamente, 12 responderam incorretamente, 04 deram respostas confusas e 01 afirmou não saber. É provável que eles tiveram dificuldade em aplicar seus conhecimentos em situação específica ou tenham se confundido, já que, pelo teor das respostas, observamos que muitos deles (07 alunos) reproduziram um desenho feito pelo autor para explicar potencial elétrico e não campo, conforme exemplificado nas figuras a seguir.



Figura 72 - Resposta do estudante A6 para a quarta questão do apêndice 3
Fonte: Dos próprios alunos.

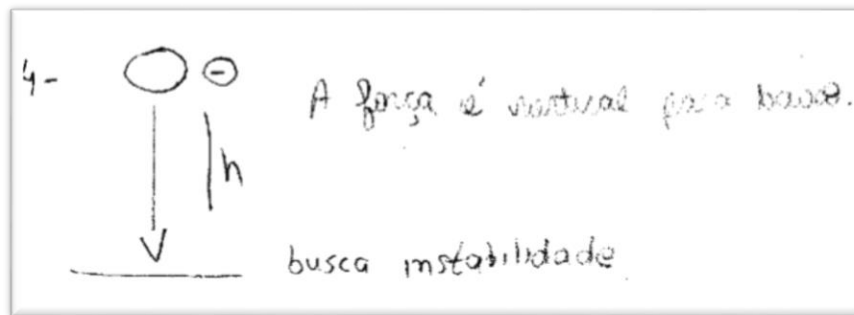


Figura 73 - Resposta do estudante A13 para a quarta questão do apêndice 3
 Fonte: Dos próprios alunos.

5.2.1 Síntese dos resultados sobre eletricidade

Após abordagem de conteúdos sobre eletricidade repetiu-se a mesma questão realizada no questionário inicial sobre força elétrica e observou-se que o número de associações entre aumento da distância entre corpos carregados e diminuição de alguma quantidade passou de 07 respostas (questionário inicial) para 14 (neste questionário), sendo que grande parte das respostas consideraram corretamente que o que diminuiria seria a força. Apenas um estudante buscou quantificar a resposta, mas novamente sem sucesso. Observamos que, mais uma vez, muitos dos estudantes consideraram apenas atração e poucos consideraram o caso geral (atração e/ou repulsão). Um estudante confundiu eletricidade com força, e para ele a eletricidade pareceu significar um tipo de ‘substância’ que diminuiria com o distanciamento dos corpos.

No que se refere as suas compreensões sobre carga e corrente elétricas e suas unidades, observamos que ao buscar explicar o significado das unidades Coulomb e Ampère aproximadamente metade dos estudantes as associaram aos fenômenos nos quais estariam envolvidas, procedimento muito importante no que se refere ao aprendizado da Física. Eles expressaram de formas variadas que a corrente (representada pelo Ampère) estaria associada a um conjunto de cargas (representadas pelo Coulomb) apesar de não considerarem movimento dessas cargas. Em outras respostas os estudantes não associaram unidades e fenômenos, talvez simplesmente reproduzindo sua definição, e dois estudantes utilizaram expressões matemáticas para explicar o significado das unidades.

No que diz respeito ao campo elétrico, novamente os estudantes foram questionados sobre como fariam para determinar seu módulo, direção e sentido. Os estudantes explicaram como determinariam a direção e sentido do campo: a partir da carga geradora e/ou a partir de movimento de carga de prova. Assim como no questionário inicial, nenhum estudante explicou como poderia ser determinado o módulo do campo elétrico. Observamos que um dos estudantes

pareceu confundir eletricidade com linhas de campo. Apenas três respostas afastaram-se da explicação da Física para a questão e pudemos observar interferências de conhecimentos prévios da mecânica (sobre força e direção) na busca de solução para a questão.

Ainda tratando-se de campo elétrico, foi proposta uma situação em que a direção e sentido do campo eram especificados, além do sinal da carga de prova sob ação desse campo. Nesse caso observamos que houve grande número de respostas erradas, talvez pelos estudantes não terem conseguido aplicar conhecimentos mais gerais (utilizados em questão anterior) a uma situação específica ou por terem confundido o problema sobre campo elétrico com uma explicação sobre potencial elétrico realizada pelo autor, conforme evidenciado por suas respostas.

5.3 MAGNETISMO

Após a abordagem de conceitos de magnetismo os estudantes responderam um questionário (apêndice 4), com o qual se buscava identificar suas compreensões e possíveis deslocamentos com relação as suas concepções iniciais.

Em resposta a primeira questão, de múltipla escolha: *“Quebrando-se um ímã pela metade, vamos obter: a) um ímã só com polo norte e outro só com polo sul; b) dois ímãs só com polo sul; c) dois ímãs só com polo norte; d) dois ímãs iguais ao primeiro”* observou-se que, dentre os 10 alunos que responderam, 09 estiveram corretos e 01 errado. A maioria das justificativas foi a consideração que os polos são inseparáveis.

Todos os estudantes responderam corretamente a questão 02: *“Região do espaço onde atua a atração de um ímã: a) campo gravitacional; b) campo polar; c) campo magnético; d) campo elétrico”*. Observamos que nesse momento não houve confusão entre fenômenos elétricos e magnéticos. As justificativas de alguns dos alunos são apresentadas a seguir:

“Nome que recebem os campos de atração do ímã” **A1**

“Pois trata-se de um ímã, ímã é magnético” **A9**

“Pois se trata de um ímã” **A19**

“Porque se trata de um ímã e um ímã é uma força magnética” **A2**

Observamos que o estudante A2 não diferenciou força de campo e A1 e A13 consideraram apenas a atração e não a repulsão.

Todos responderam corretamente a resposta da questão 3: “*Se aproximarmos o polo sul de um ímã ao polo sul de outro ímã: a) eles se atraem; b) eles se repelem; c) nada acontece; d) eles se unem*”, algumas de suas justificativas são exibidas a seguir:

“Porque polos iguais não se atraem” **A17**

“Pois dois iguais se repelem e dois polos diferentes se atraem” **A13**

“Elas se repelem porque são sul e sul então se repelem se fosse norte e sul iria atrair” **A2**

“Porque são cargas iguais, aí elas se repelem” **A18**

“Pois os opostos se atraem se for cargas iguais não atraem” **A19**

Observamos que A18 e A19 confundiram carga e polo. Apesar da ênfase nos momentos anteriores com relação a atração, os estudantes não tiveram dificuldades para admitir nessa questão que se tratava do fenômeno de repulsão.

Todos os estudantes responderam corretamente a questão 04, “*Por mais que cortemos um ímã, nunca conseguiremos separar seus polos. Qual o nome deste fenômeno? a) desintegrabilidade dos polos; b) separabilidade dos polos; c) inseparabilidade dos polos; d) magnetibilidade dos polos*”. Reproduzimos a seguir algumas de suas justificativas:

“Inseparabilidade dos polos porque eles jamais iam se separar” **A2**

“Eles sempre terão dois polos (norte e sul)” **A13**

“Cada vez que parte o ímã criará outro ímã” **A19**

“Por mais que corte um ímã é impossível separar seus polos” **A9**

“Inseparabilidade, não - separa” **A15**

Observamos que em resposta a questão “*(UFMG-MG) fazendo uma experiência com dois ímãs em forma de barra, Júlia colocou-os sob uma folha de papel e espalhou limalhas de ferro sobre essa folha. Ela colocou os ímãs em duas diferentes orientações e obteve os resultados mostrados nas figuras I e II. Nessas figuras os ímãs estão representados pelos retângulos. Com base nessas informações, é CORRETO afirmar que as extremidades dos ímãs voltadas para a região entre eles correspondem aos polos: a) norte e norte na figura I e sul e norte na figura II; b) norte e norte na figura I e sul e sul na figura II; c) norte e sul na figura I e sul e norte na figura II; d) norte e sul na figura I e sul e sul na figura II*” 08 respostas estavam corretas e duas erradas. Dentre as respostas corretas observamos que a maioria das justificativas

associavam-se à atração e repulsão. Destacamos as 04 respostas a seguir pelo uso de termos ou conceitos científicos:

“Na figura 1 norte e sul, pois as linhas de força estão corretas e os ímãs se atraem. Na figura 2, sul e sul, pois as linhas de força estão desordenadas e há uma repulsão dos ímãs” **A13**

“I Na primeira as linhas de força estão entrando e saindo no ímã. II As linhas de força estão desordenadas e saindo do ímã” **A15**

“Porque cargas diferentes atraem e iguais repelem e acaba criando um campo magnético” **A18**

“Cargas diferentes atrai e iguais repelem” **A19**

Nas respostas de A13 e A15 os estudantes associam a distribuição da limalha de ferro sobre o papel com linhas de força, A15 ainda considera que há continuidade entre linhas de força no caso da atração e que isso não ocorre no caso da repulsão. A18 identifica o campo ao redor do ímã. Observamos que A18 e A19 confundem carga e polo.

Dentre as respostas erradas, transcrevemos a seguir as justificativas:

“Na figura I os polos se repelem, ou seja são iguais. Na figura II os polos se unem, ou seja são diferentes” **A9**

“I limalhas de ferro se separam. II elas se juntaram” **A1**

Em sua resposta, A9 reconhece que polos opostos se atraem e iguais se repelem, porém não é capaz de identificar a partir da representação de linhas de força pela configuração da limalha de ferro qual figura se refere a cada caso. Essa resposta nos indica a importância de ensinar aos alunos a leitura de imagens de Física.

Em resposta a questão 6, os estudantes deveriam expressar sua compreensão sobre o vetor campo magnético em pontos do espaço ao redor de um ímã (a questão completa encontra-se no apêndice 4). Observamos que 09 estudantes acertaram e apenas um errou a questão. A maioria das respostas considerou que polos opostos se atraem e vice-versa, conforme observamos nas transcrições de algumas justificativas a seguir:

“Cada polo atrai seu oposto” **A1**

“Porque o sul vai atrair o norte e o norte vai atrair o sul” **A17**

“Pois o sul atrai o norte e o norte atrai o sul” **A13**

Na figura 74, observamos que o estudante A9 confundiu as linhas de força com o que denominou de corrente magnética.

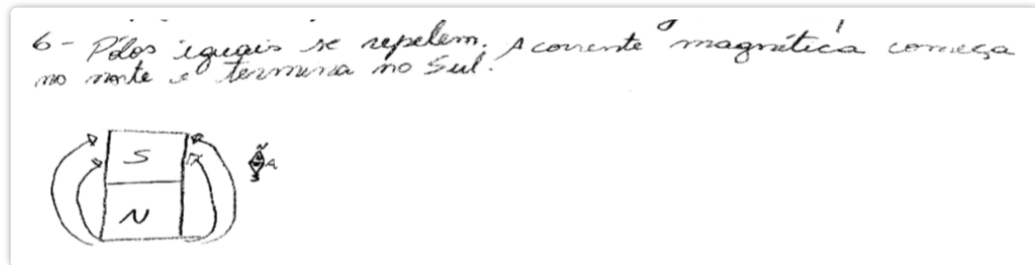


Figura 74 - Resposta do aluno A9 ao buscar representar o vetor campo magnético no entorno de um ímã.

Fonte: Dos próprios alunos.

5.3.1 Síntese dos resultados sobre magnetismo

Observamos que em algumas das justificativas para as suas respostas no questionário sobre magnetismo os estudantes usaram linguagem científica de forma adequada.

Apesar da ênfase nos momentos anteriores com relação a atração, os estudantes não tiveram dificuldades para reconhecer o fenômeno de repulsão em duas das questões propostas.

Em momentos anteriores os estudantes confundiram fenômenos elétricos e magnéticos, após as explicações sobre magnetismo eles não tiveram dificuldade em reconhecer que os ímãs estão associados a fenômenos magnéticos. No entanto, alguns deles confundiram carga e polo, linhas de força com ‘corrente magnética’ e força e campo.

Um dos estudantes, teve dificuldade em responder uma das questões a qual apresentava duas fotografias (limalha de ferro espalhada sobre ímãs), apesar de ter demonstrado em sua resposta que compreendia os conceitos e fenômenos associados. Isso alerta-nos sobre a necessidade de ensinar os estudantes a lerem imagens que se referem à Física, pois como apontam Londero e Almeida (2013) uma imagem não é um simples registro mecânico da realidade, mas incorpora formas de ver e implica em interpretação.

5.4 ELETROMAGNETISMO

Durante a abordagem do eletromagnetismo o autor discutiu o experimento da figura 36 com os estudantes, sua compreensão implica no entendimento de Lei de Faraday. Reproduzimos abaixo o diálogo do autor com os alunos e observamos que eles reconhecem que é necessário um ímã em movimento para que o *led* acenda:

“Autor: Posso acender o *led* com esse experimento que não possui baterias, pilhas e não está ligada a eletricidade?”

Vários alunos: sim!

Autor: O que tem dentro do recipiente?

Alguns alunos: A resposta foi um ímã.

O professor pegou o experimento e o segurou sem movimenta-lo, sem que o *led* acendesse.

Autor: porque então o *led* não acende?

Alguns alunos: O senhor precisa movimentar.

O professor então movimenta o experimento, mas devagar, e o *led* novamente não acende.

Autor: porque o *led* ainda não acende?

Alguns alunos: movimenta mais rápido.

E por fim, então, o professor movimenta rapidamente e o *led* acende.

Autor: Concluímos então, que para que o *led* possa acender é necessário que exista uma variação do fluxo magnético e que quanto mais rápida era a movimentação do experimento maior era variação do fluxo magnético, consequentemente maior seria a intensidade da corrente elétrica”

Após a abordagem de conceitos de eletromagnetismo os estudantes responderam um questionário (apêndice 5), com o qual se buscava identificar suas compreensões e possíveis deslocamentos com relação as suas concepções iniciais.

Observamos que dos 12 estudantes que responderam a questão 1, a qual focava-se nas características de campo magnético gerado no interior de uma espira percorrida por corrente, 09 selecionaram a alternativa correta e 03 selecionaram a alternativa errada (a questão detalhada encontra-se no apêndice 5).

Dentre os alunos que responderam corretamente, quatro representaram o desenho da situação com um único vetor no centro da espira. Apresentamos a seguir as reproduções de umas de suas respostas:

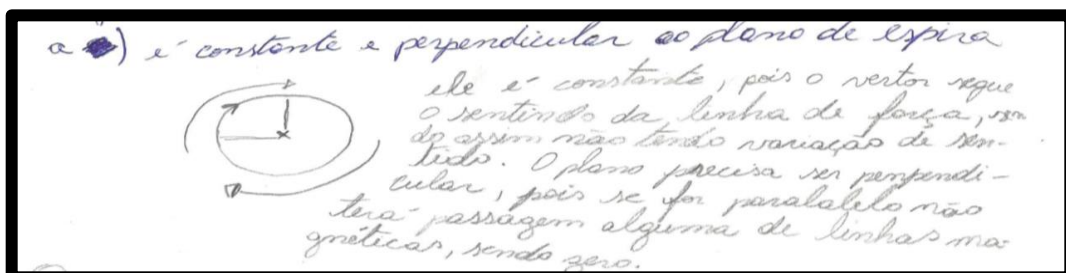


Figura 75 - Resposta do aluno A9

Fonte: Dos próprios alunos.

Observa-se que A9 associou o termo constante à direção do campo, o que chamou de sentido, e não a sua intensidade.

Ainda no que se refere aos estudantes que acertaram a alternativa, observamos que 03 deles não representaram o vetor campo no entro da espira, mas como espiral ao redor do fio atravessado por corrente:

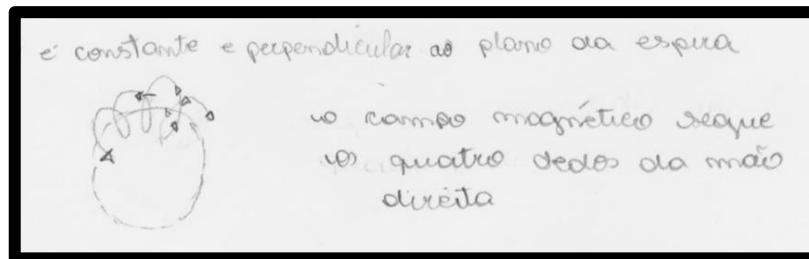


Figura 76 - Resposta do aluno A5
Fonte: Dos próprios alunos

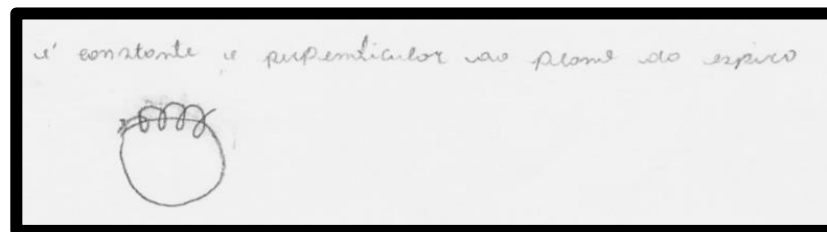


Figura 77 - Resposta do aluno A14
Fonte: Dos próprios alunos.

Observamos que dois estudantes que acertaram a questão apresentaram justificativas que não tem sentido do ponto de vista da Física:

“Porque não é variável” **A19**

“Letra a porque ela é constante e não variável e também é circular” **A18**

Apresentamos a seguir a justificativa dos estudantes que erraram a questão.

“Letra d porque depende do sentido da carga” **A15, A7, A6**

Observamos que o erro se deve a terem considerado que o sentido provavelmente da corrente interferiria no campo, o que é correto, porém a interferência se refere apenas ao sentido do campo, mas não a direção que é abordada na questão.

A questão 02 solicitava que fosse determinado o módulo, direção e sentido de um campo magnético no centro de uma espira atravessada por corrente (a questão completa encontra-se

no apêndice 5). Observamos que 02 alunos não responderam; 06 indicaram a resposta mas não justificaram, 01 deles afirmou que não sabia fazer as contas. Os 06 alunos que apenas indicaram a respostas, o fizeram incorretamente sendo que 04 selecionaram a resposta (a) e dois selecionaram a resposta (c). Outros 04 alunos justificaram a resposta e procuraram realizar o cálculo, destes, 03 acertaram a alternativa e 01 errou assinalando a alternativa (a).

Apresentamos a seguir as respostas dos estudantes que justificaram a questão e procuraram realizar os cálculos.

$$B = 4\pi \times 10^{-7} \frac{8.0}{2.0} = 8.0$$

a) Para é de intensidade $8.0\pi \times 10^{-5} \text{ T}$

Figura 78 - Resposta do aluno A5
Fonte: Dos próprios alunos.

09. De acordo com a regra da mão direita esta indicando para dentro

$$B = \mu \frac{I}{2r}$$

$$B = 4\pi \times 10^{-7} \frac{8}{2.0} = 8\pi \times 10^{-5}$$

Acho que é a letra b)

Figura 79 - Resposta do aluno A18
Fonte: Dos próprios alunos.

2) $B = \mu \frac{I}{2r}$

$$B = \mu \frac{8}{2.0} = \frac{8}{0.4} = 20$$

$$\mu = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A}$$

$$20 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A}$$

$$20 = 4 \cdot 3.14 \times 10^{-7} \text{ T.m/A}$$

$$20 = 12.56 \times 10^{-7} \text{ T.m/A}$$

$$20 = 12.6 \times 10^{-7} \text{ T.m/A}$$

$$7.4 = 10^{-7} \text{ T}$$

De acordo com a regra da mão direita esta dentro.

b) dentro de intensidade $8.0\pi \times 10^{-5}$

Figura 80 - Resposta do aluno A9
Fonte: Dos próprios alunos.

Observamos a partir destas respostas que apenas A18 conseguiu realizar os cálculos e que os outros tiveram dificuldades em sua realização nos passos que envolviam a quantidade μ_0 , provavelmente por tratar-se de notação científica.

A pergunta 3 focava a produção de corrente elétrica a partir da variação de fluxo magnético que atravessava uma bobina (a questão completa encontra-se no apêndice 5). Observamos que dos 12 alunos que responderam à questão apenas um selecionou a alternativa errada (c: Bobina em atrito com o campo magnético no circuito fechado gera uma corrente elétrica), todos os outros selecionaram a alternativa correta (e: Corrente elétrica é gerada em circuito fechado quando há variação do campo magnético). Dentre os que acertaram apenas o estudante A9 justificou sua resposta, que é transcrita a seguir:

“Corrente elétrica é gerada em circuito fechado quando há variação do campo magnético. É a letra ‘e’ pois é necessária a modificação do fluxo magnético que faz gerar a corrente elétrica” **A9**

Ressaltamos que o estudante A9, na resposta acima, foi além do que estava declarado na questão ao afirmar que a variação de fluxo magnético está envolvida no surgimento da corrente elétrica.

A pergunta 4 focava o mesmo fenômeno da questão anterior, a produção de corrente em bobina atravessada por fluxo magnético variável. Observamos que todos os estudantes acertaram essa questão. Somente A18 justificou sua resposta que é transcrita a seguir:

“Eu acho que é a letra e porque ocorre quando há um movimento de um ímã” **A18**

Notamos que A18 provavelmente associou a movimentação do ímã com a variação do campo magnético já que selecionou como corretas II e III e não só a situação II que corresponde exclusivamente ao movimento um ímã que foi sua justificativa.

5.4.1 Síntese dos resultados sobre eletromagnetismo

Observamos que houve um índice grande de acertos nas questões de múltipla escolha, mas nem sempre os estudantes demonstraram compreender os fenômenos ao justificarem suas respostas.

Duas fontes grandes de dificuldades foram a representação do campo magnético gerado por corrente elétrica a partir da utilização da regra da mão direita e a realização de cálculo com utilização de notação científica.

Ressaltamos que dois estudantes observaram que para ser gerada corrente em espira é necessário variar o fluxo ou campo magnético que a atravessa, os demais apenas identificaram que deve haver movimento da fonte de campo nas proximidades de uma espira ou bobina.

5.5 GERAÇÃO DE ENERGIA EM USINAS

Solicitou-se que os estudantes, em grupo, explicassem como seria o processo de produção de energia eólica, hidrelétrica e termo elétrica, por escrito e por meio de desenho, apontando as semelhanças e diferenças de cada processo.

Observamos que um dos grupos se aproximou mais da explicação Física, com base em conceitos de eletromagnetismo. Transcrevemos abaixo tal resposta e observamos que a explicação não foi acompanhada de desenho como fizeram os outros grupos:

“Hidrelétrica: a água se concentra em um local represada. Depois essa água é conduzida a uma turbina (hélice) que é ligada a um **gerador que faz com que modifique o fluxo magnético gerando corrente** que é conduzida por vários **fios de cobre** e a **eletricidade** é distribuída a população. Eólica: uma hélice (cata vento) movida a vento que **gira uma turbina magnética modificando seu fluxo magnético gerando corrente elétrica** transferida do cata vento por **fio de cobre [de cobre, acrescentado depois] terra** até a central distribuindo para a população. Termoelétrica: é a queima de combustível sendo em uma caldeira armazenada de água que está sendo ferventada pela queima do combustível gerando o vapor liberado com pressão **girando uma turbina magnética modificando seu fluxo magnético gerando corrente elétrica**. Semelhanças: todas **possuem turbinas magnéticas** que precisa de um ‘combustível’ para que ela **possa girar e mudando seu fluxo magnético gerando campo corrente elétrica**. Diferenças: são os ‘combustíveis’ usados para girar as turbinas gerando corrente elétrica” **A19, A18, A9**

Observamos que eles reconhecem que a corrente surge devido a uma variação de fluxo magnético causada pela rotação do gerador nos três casos e isso é ressaltado quando explicitam as semelhanças. O grupo também apontou a necessidade do fio ser de cobre, provavelmente pela necessidade de ser um condutor e não qualquer fio para transporte de corrente. Observamos que eles se preocuparam com a utilização correta de termos científicos já que acrescentaram

em trecho o termo cobre e em outro trecho modificaram o termo campo por corrente (trechos sublinhados).

Os outros três grupos fizeram desenhos e não explicitaram o que aconteceria dentro do gerador, alguns apenas detalharam quais materiais deveriam existir dentro do gerador. Além disso, nos demais três grupos, com respostas transcritas a seguir, observamos a ênfase em explicitar que a corrente transportada da usina para as casas geraria campo magnético ao seu redor. Transcrevemos a seguir suas respostas e desenhos.

“Hidrelétrica. Eólica: vento gira a hélice que manda para a turbina que manda para o **transformador que faz a corrente elétrica**. Termo elétrica: o fogo esquenta a água fazendo com que ela vire vapor, o vapor gira uma turbina que manda para o **transformador, transformando-a em energia elétrica**. Igualdade: que todas movem uma turbina que mandam para o transformador que transforma em energia elétrica. Diferença: cada uma é gerada por matéria diferente. **Dentro do gerador contém cobre e ímã que faz com que a turbina gire** mandando para o transformador que manda a corrente elétrica pelos fios que produz **corrente elétrica que são os elétrons todos no mesmo sentido**, contendo **ao redor do fio campos magnéticos gerando a energia**”
A16, A5, A14

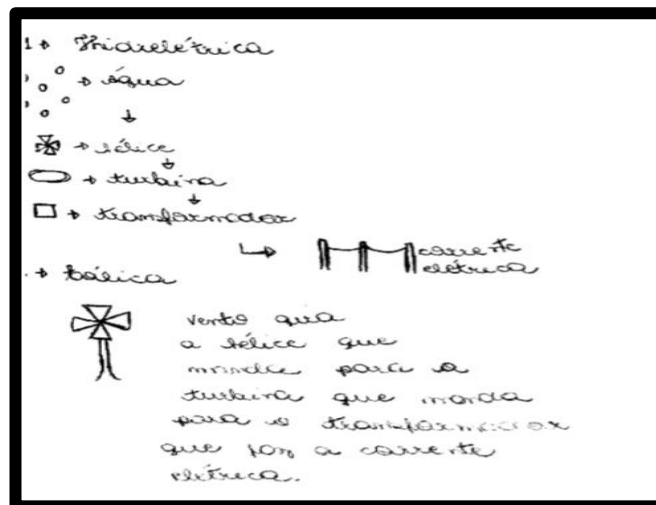


Figura 81 - Desenho do grupo formado por A16, A5 e A14

Fonte: Dos próprios alunos.

Nessa resposta observamos que eles indicaram os materiais que existiriam dentro do gerador, mas não compreenderam o processo que ocorre dentro do gerador, já que consideraram que ímã e cobre são responsáveis por girar a turbina. Os estudantes ressaltaram que a corrente seria o movimento ordenado de elétrons. Apesar da importância da compreensão de que fios atravessados por corrente geram campo magnético, observamos que no final da resposta eles

pareceram indicar que a energia é gerada a partir dos campos magnéticos que surgem ao redor dos fios com corrente e provavelmente por isso ressaltam esse fenômeno.

Na resposta a seguir os estudantes também enfatizaram o fato de que a corrente transportada da usina para sua destinação final gera campos magnéticos ao seu redor, provavelmente por considerarem que a energia elétrica utilizada está de alguma forma relacionada com esses campos.

“Hidrelétrica: a força da água roda a turbina que passa para o gerador (**que contém ímã e fio de cobre**) **que gera carga corrente elétrica** e passa para uma torre (e fios longos e retilíneos) até chegar aos ~~postes~~ as casas. **Os fios contêm campo elétrico e magnético**. Eólica: a força do vento roda a turbina que passa essa força para o gerador **que contém ímã e fio de cobre**, gerando corrente elétrica que passa por fios debaixo do solo até chegar na cidade. Termoeletrica: o fogo aquece a água, que gera o vapor, que faz rodar as turbinas que passa a força para o gerador que produz **corrente elétrica (movimento ordenado dos elétrons)** que passa pelos fios e leva a energia para a cidade” A6, A7, A15

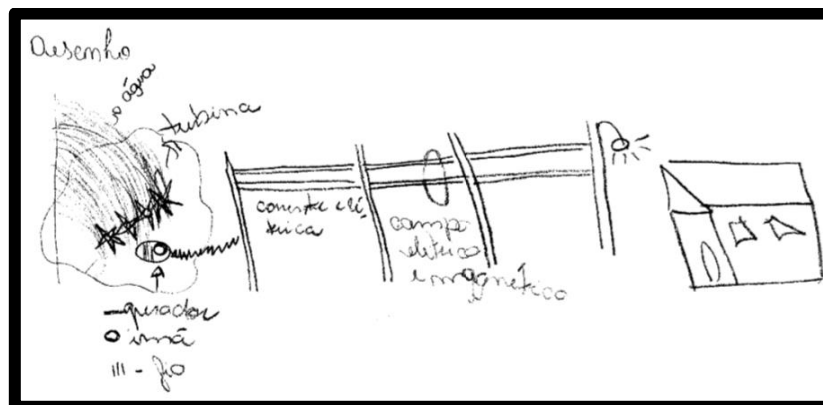


Figura 82 - Esquema de hidrelétrica do grupo composto por A6, A7, A15
Fonte: Dos próprios alunos.

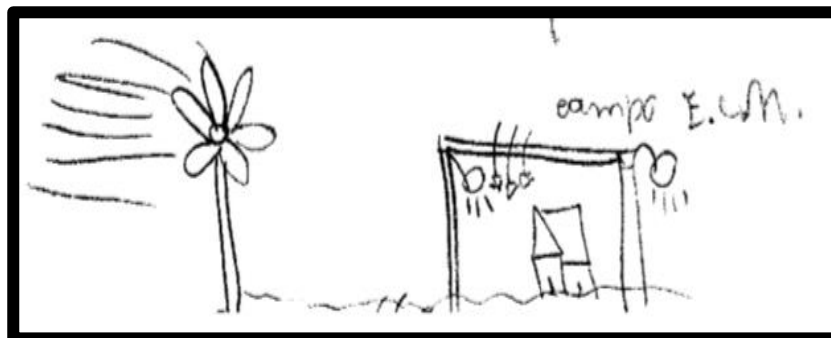


Figura 83 - Esquema de energia eólica do grupo composto por A6, A7, A15
Fonte: Dos próprios alunos.

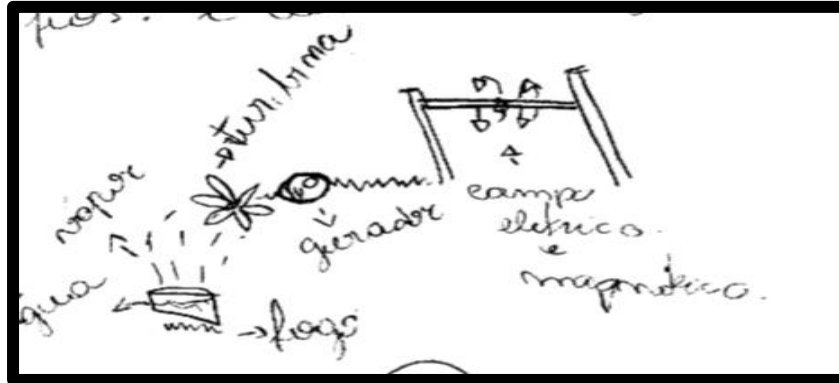


Figura 84 - Esquema de termelétrica do grupo composto por A6, A7, A15

Fonte: Dos próprios alunos.

Diferentemente do grupo anterior eles reconheceram que a corrente seria produzida no gerador. Assim como o grupo anterior eles ressaltaram a necessidade de determinados elementos no gerador: ímã e fio de cobre. Observa-se em suas respostas o cuidado com o uso correto de termos científicos, já que eles inicialmente afirmaram que o gerador geraria carga e modificaram posteriormente carga por corrente elétrica. Ressaltamos que tanto na explicação quanto em seus desenhos eles ressaltaram que ao redor dos fios percorridos por corrente forma-se campo magnético indicando a compreensão do fenômeno de geração de campo magnético por corrente. Observamos, no entanto, que deram mais ênfase a esse fenômeno para a produção de energia elétrica do que para o fenômeno inverso, produção de corrente a partir de variação de fluxo magnético.

O terceiro grupo foi o que incorporou menos elementos de eletromagnetismo em sua resposta e além disso pareceram não compreender a semelhança existente entre os processos, principalmente no que se referiu a produção de energia em termoelétricas, apresentada de forma bem sintética e sem especificarem que também nesse caso há necessidade de um gerador.

“Usina hidrelétrica: a água ao passar pela hélice faz o gerador girar ligando a turbina levando energia as casas. Usina eólica: o vento faz a hélice girar, dentro de cada hélice tem um gerador, embaixo dessas hélices tem um ‘túnel’ que chega até o inversor. Usina termoelétrica: o fogo aquece a gasolina e faz vapor” **A13, A12, A17**

5.5.1 Síntese dos resultados sobre funcionamento de usinas

Apenas um dos grupos reconheceu que a corrente surge devido a uma variação de fluxo magnético causada pela rotação do gerador. Os outros grupos não especificaram o que ocorreria dentro do gerador, alguns apenas citaram seus materiais constituintes (ímã e fio de cobre). Os

outros grupos também pareceram compreender que a energia elétrica seria gerada ao redor dos fios, de alguma forma associada com o campo magnético gerado pela corrente atravessando tal fio.

Observamos que alguns dos grupos se preocuparam com a utilização correta de termos científicos e o domínio desses termos, já que se observou correções em suas respostas tornando-as mais claras ou corretas do ponto de vista da Física.

Em geral os grupos apontaram a necessidade de fios feitos de material condutor e não qualquer fio para transporte de corrente e ressaltaram que a corrente seria o movimento ordenado de elétrons.

Um dos grupos apresentou respostas aquém do esperado, já que incorporou poucos elementos de eletromagnetismo em sua resposta e além disso pareceram não compreender a semelhança existente entre os processos, no que se refere aos fenômenos eletromagnéticos. Esse grupo inclusive ao se referir à produção de energia em termoelétricas nem especificou a necessidade de um gerador.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da unidade compreendeu estratégias e recursos diversificados, tais como: aulas teóricas e expositivas em quadro negro, a construção de experimentos que auxiliaram na demonstração dos conceitos abordados, GIFs que possibilitaram a representação de alguns dos fenômenos estudados e o Arduino que auxiliou no controle eletrônico de experimentos mecânicos.

Em concordância com a revisão bibliográfica realizada neste trabalho que considera que professores se afastam da experimentação por não saber elaborar práticas experimentais, fazer coletas de dados e etc., a escolha da linha de pesquisa e a determinação do produto educacional partiram da experiência própria do autor, visto que, um forte obstáculo para entender determinados conceitos se fez presente quando era discente em detrimento da experimentação e, portanto, seria evidente que como docente esses obstáculos ressurgissem.

Os aspectos de ensino associados à aplicação desta unidade transcorreram como o planejado, pois os alunos tiveram contato com a parte experimental, o que permitiu que fossem construindo conhecimentos a partir de elementos concretos em associação com elementos mais abstratos. Em duas situações observamos indícios de que os estudantes buscaram atribuir significados para unidades e conceitos a partir da reflexão sobre os fenômenos abordados durante as aulas.

No que se refere ao foco da unidade, a produção de energia em hidrelétricas, inicialmente os estudantes explicaram e esquematizaram o funcionamento das mesmas de forma pouco detalhada e sem identificar seus componentes eletromagnéticos. Na atividade final da unidade de ensino os esquemas e explicações passaram a incorporar não apenas componentes eletromagnéticos das usinas, mas também fenômenos envolvidos, como a produção de campo magnético ao redor de fios percorridos por corrente (a maioria dos alunos) e a produção de corrente por variação de fluxo magnético (poucos alunos). No entanto, nem todas as respostas registradas para o problema proposto evidenciaram tais compreensões.

Quanto ao uso da linguagem científica observamos que progressivamente os estudantes passaram a utilizar termos específicos do eletromagnetismo com significado correto, indicando deslocamentos com relação ao questionário inicial em cujas respostas utilizaram linguagem científica de maneira equivocada. Na última atividade inclusive observamos a busca de termos científicos corretos e de domínio desses termos, já que os alunos se preocuparam em corrigir suas respostas tornando-as mais claras ou corretas do ponto de vista da Física.

No que diz respeito ao campo elétrico, observou-se mudança evidente em relação ao questionário inicial já que os estudantes passaram a considerar formas específicas para determinação de características desse campo, e não interações genéricas como no questionário inicial, percebendo que o campo é gerado por e atua em cargas. No entanto, observamos que eles tiveram dificuldade em quantificar o campo e abordá-lo em situação específica.

No que se refere à compreensão dos estudantes sobre força elétrica, observamos que houve avanço na consideração de que com afastamento de cargas há diminuição da intensidade da força. Ressaltamos ainda que durante o desenvolvimento da unidade observamos indícios de que a compreensão dos alunos sobre força e Leis de Newton pareceram interferir na significação desse conceito no âmbito do eletromagnetismo. Houve ainda uma ênfase em fenômenos de atração entre cargas em detrimento da repulsão, omissão que se observa na própria história do desenvolvimento da eletricidade (KUHN, 2011), no entanto, a repulsão foi reconhecida em atividades em que era enfatizada.

Sobre a relação entre corrente elétrica e campo magnético, apesar de inicialmente considerarem que cargas elétricas poderiam interagir com polos magnéticos, demonstraram clareza, na atividade final da unidade, de que cargas em movimento é que geram campos magnéticos.

Em geral os estudantes tiveram dificuldade na quantificação de fenômenos e apontamos que a utilização de notação científica pareceu particularmente problemática para eles durante a resolução de exercício.

Os resultados aqui observados estão em concordância com o artigo revisado de Monteiro et. al. (2010) que apontam que a experimentação permite associar a teoria com o mundo real, aumentar a capacidade de observação dos estudantes, facilitar a compreensão conceitual, estimular o interesse dos estudantes pela Física, auxílio às aulas teóricas e, no caso das atividades de baixo custo, estas podem ser utilizadas em escolas com poucos recursos.

Considerando o interesse como um dos parâmetros para avaliar as estratégias utilizadas, ressalta-se que os alunos chegaram a comentar que todas as aulas de Física deveriam ser abordadas da mesma forma em que foi realizada essa unidade e que seria um pesar o pouco tempo de sua aplicação.

Outro fator que chamou atenção foi que, ao solicitar-se que os alunos expressassem suas opiniões sobre a aplicação da unidade, eles afirmaram que as atividades realizadas durante as aulas foram muito melhores do que aquelas desenvolvidas tradicionalmente, ou seja, aulas exclusivamente expositivas baseadas em explicação e realização de exercícios tendo como

recurso apenas giz e lousa. Esse aspecto está em concordância com o trabalho já citado de Brock e Rocha-Filho (2011). Esses autores apontam que os estudantes se afastam da Física influenciados pelo relacionamento com seus professores, o excesso de matematização em detrimento de um tratamento mais conceitual dos conteúdos e a ausência de experimentação.

Um dos limites que se pode apontar sobre essa unidade, foi o pouco tempo disponível (apontado pelos participantes) em face a uma quantidade significativa de tópicos a serem abordados. Percebeu-se que os estudantes entendiam os tópicos trabalhados, mas que, com o decorrer do curso e a abordagem de novos tópicos, eles iam se esquecendo dos conceitos iniciais.

Além disso, durante o desenvolvimento da unidade, a escola onde essa se desenvolvia foi ocupada como forma de protesto contra a implementação da Proposta de Emenda Constitucional 241, que regulará os gastos públicos nos próximos anos, incluindo em educação, causando alguns transtornos para o desenvolvimento deste trabalho, visto que os alunos se encontravam muito agitados. Ressaltamos que não estamos julgando a necessidade ou não da ocupação, apenas observamos que de fato ela constituiu-se como interferência para a programação prévia planejada para a unidade de ensino.

Outro limite a ser apontado sobre esta unidade de ensino é bastante discutido no âmbito escolar a respeito da dificuldade de se ensinar Física. É praticamente impossível aplicar esta unidade de ensino dando somente duas aulas por semana de 50 minutos, e nem sempre sendo aulas seguidas. Em uma aula de 50 minutos em que o professor tem que fazer chamada, organizar a sala, controlar a indisciplina e usar todos os recursos desta unidade é praticamente inviável. Por isso a aplicação desta unidade se deu em turno extra, com aulas duplas ou triplas. Esse seria com certeza o maior obstáculo a ser enfrentado pelo professor ao aplicar uma unidade tão recheada de recursos, o que nos faz recordar dos bons tempos onde tínhamos quatro aulas por semana na disciplina de Física.

Outros fatores também se tornam limites e atrapalham um bom desenvolvimento na aplicação de uma unidade de ensino desta complexidade. As interrupções das aulas, com avisos da equipe diretiva, alunos que batem à porta para chamar outros, o cancelamento de aulas, pois aparece uma palestra de última hora, ou outra coisa qualquer e isso quebra a sequência didática deixando uma aula mais distante da outra.

Enfim, são muitos os obstáculos a serem enfrentados pela Sociedade Brasileira de Física, para que o ensino de Física volte novamente a ser mais significativo nas escolas

estaduais, mas isso é uma briga de todos os físicos contra um sistema que pouco valoriza o ensino da ciência.

Como continuação e com a convicção do sucesso da aplicação desta unidade, ela será novamente abordada em aulas regulares, porém concomitante a uma recuperação paralela dos tópicos abordados que serão trabalhados com mais calma e tempo, o que acredita-se melhorará a consolidação da aprendizagem e gerará maior aproximação das compreensões dos alunos com as concepções científicas.

Os alunos também consideraram que, para melhorar o desenvolvimento da unidade, seria interessante que eles mesmos construíssem os experimentos. A partir dessa consideração e como forma de enriquecer mais ainda esta unidade buscar-se-á orientá-los na construção de experimentos, começando as aulas com a parte experimental e posteriormente consolidando o ensino e aprendizagem buscando ir do concreto para o abstrato, como já comentado.

Como autor desta unidade, posso afirmar ao leitor que o trabalho foi muito rico e que embora apresente enormes dificuldades, desde a construção dos experimentos e o estabelecimento de relações com os conceitos abordados, até as elaborações das aulas em Power Point com o auxílio de GIFs (pois tais preparações demandam muito tempo e quero aqui reforçar, muito tempo mesmo!), o esforço nos recompensa com o brilho nos olhos dos alunos ao verem que a Física é realmente interessante e que se faz presente no seu cotidiano. O sucesso foi tão grande que temos hoje um projeto ganhando força na escola, com o auxílio da direção, no âmbito do qual iremos abordar a Física por meio de resolução de problemas com a utilização do Arduino e contando com a construção de experimentos pelos alunos, ou seja, “mãos na massa”!

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, M. L. F.; MASSABNI, V. G. O. Desenvolvimento de atividades práticas na escola: um desafio para os professores de ciências. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 17, n. 4, p. 835-854, 2011.
- ASSIS, A. K. T.; HARUNA, L.F. Pesquisas experimentais em eletricidade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 28, n. 1, p. 152-204, 2011.
- NICOLAU, G. F. Os fundamentos da física, 2013. Disponível em: < http://osfundamentosdafisica.blogspot.com.br/2013/11/cursos-do-blog-eletricidade_13.html > Acesso em: 27 abr. 2017.
- BROCK, C.; ROCHA-FILHO, J. B. Algumas origens da rejeição pela carreira profissional no magistério em física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 28, n. 2, p. 356-372, 2011.
- CALUZI, J. J. Eletrodinâmica de Ampère: análise do significado e da evolução da força de Ampère, juntamente com a tradução comentada de sua principal obra sobre eletrodinâmica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 29, n. 2, p. 345-349, 2012.
- CARVALHO, H. B.; SILVA, R. T. A indução eletromagnética: análise conceitual e fenomenológica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 4, 4314, 2012.
- COELHO, S. M.; TIMM, R. M. B.; SANTOS, J. M. Educar pela pesquisa: uma experiência investigativa no ensino e aprendizagem de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 27, n. 3, p. 549-567, 2010.
- COMO funciona uma usina hidrelétrica. 2014. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=3xshEp2AIBY>>. Acesso em: 28 abr. 2017.
- COMPASS MR. Disponível em: < <http://www.drcmr.dk/CompassMR/> > Acesso em: 27 abr. 2017.
- DUARTE, S. E. Física para o ensino médio usando simulações e experimentos de baixo custo: um exemplo abordando dinâmica da rotação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 29, n. Especial 1, p. 525-542, 2012.
- ELETRODINAMICA. Disponível em: <<http://www.inf.unioeste.br/~reginaldo/Instrumentacao/ELETRODINAMICA%20CORRENTE%20ELETRICA.ppt>>. Acesso em: 28 abr. 2017.
- CORRÊA FILHO, J. A. C.; PACCA, J. L. A. Relatos de aulas de óptica no ensino médio: o que eles nos revelam sobre a atuação de professores? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 28, n. 2, p. 297-324, 2011.
- GARCÍA, J. J.; RODRIGUEZ, E. R. La medición de la capacidad de resolución de problemas en las ciencias experimentales. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 18, n. 4, p. 755-767, 2012.

GEOCITIES. **Campo magnético criado por condutores**. Disponível em: < <http://www.geocities.ws/saladefisica6/eletromagnetismo/magncondutores.html> > Acesso em: 28 abr. 2017.

GIPHY, CLAUDEKAFKA, 2016. Disponível em: < <https://media.giphy.com/media/3o6Zt70XTbrUMFTGgw/giphy.gif> >. Acesso em: 27 abr. 2017.

GIFS De Física. Disponível em: < <https://www.facebook.com/gifsdefisica/posts/1798093417077880> > Acesso em: 28 abr. 2017.

GRUPO ESCOLAR. **Campo magnético**. Disponível em: < <http://www.grupoescolar.com/pesquisa/campo-magnetico.html> > Acesso em: 28 abr. 2017.

INSTITUTO DE FÍSICA DE SÃO CARLOS. **Lei de indução de Faraday**. Disponível em: < <http://www.ifsc.usp.br/~strontium/Teaching/Material2010-2%20FFIO106%20LabFisicaIII/11-LeideInducaodeFaraday.pdf> > Acesso em: 27 abr. 2017.

JESUS, V. L. B.; MACEDO JR.; M. A. V. Uma discussão sobre hidrodinâmica utilizando garrafas PET. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 33, n. 1, p. 1507, 2011.

KHUN, T. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. 11. ed. São Paulo: Perspectiva, 2011.

LABORATÓRIO DE GARAGEM, 2012. Disponível em: < <http://labdegaragem.com/profiles/blogs/tutorial-arduino-com-servomotor> > Acesso em: 27 abr. 2017.

LABURÚ, C. E.; SILVA, O. H. M.; SALES, D. R. Superações conceituais de estudantes do ensino médio em medição a partir de questionamentos de uma situação experimental problemática. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 32, n. 1, p. 1402, 2010.

LABURÚ, C. E.; SILVA, O. H. M. O laboratório didático a partir da perspectiva da multimodalidade representacional. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 17, n. 3, p. 721-734, 2011.

LONDERO, L.; ALMEIDA, M. J. P. M. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 9, EMPEC, 9, 2013, São Paulo. **Atas....** As imagens na leitura sobre relatividade restrita: uma discussão na formação de professores, Águas de Lindóia, SP, nov. 2013.

LOPES, A. R. C. Bachelard: o filósofo da desilusão. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 13, n. 3, p. 248-273, 1996.

LUDKE, E. Um indutímetro para laboratório didático de eletromagnetismo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 32, n. 1, p. 1505, 2010.

MAGNO, W. C.; ANDRADE, M.; ARAÚJO, A. E. P. Construção de um gaussímetro de baixo custo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 32, n. 3, p. 3403, 2010.

MARTINHO JR., A. C. **Arquitetura de reatores nucleares**. 2013. Disponível em < <https://www.youtube.com/watch?v=Ac8TnB7-1yU> >. Acesso em: 27 abr. 2017.

MELO, W. Benjamin Franklin - **O para-raios**, 2013. Disponível em:
<<https://www.youtube.com/watch?v=UNvqRWGYjOc>>. Acesso em: 27 abr. 2017.

MICHA, D. N. et al. Desenvolvimento em Ensino de Física “Vendo o invisível”. Experimentos de visualização do infravermelho feitos com materiais simples e de baixo custo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 1501, 2011.

MONTEIRO, I. C. C. et al. As atividades de uma demonstração e a teoria de Vigotski: um motor elétrico de fácil construção e de baixo custo. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 27, n. 2, p. 371-384, 2010.

MORTIMER, E. F. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 20-39, 1996.

NA TRILHA da energia dos ventos. 2015. Disponível em
<<https://www.youtube.com/watch?v=jfFAD53HtWM>>. Acesso em: 28 abr. 2017.

NEVES, U. M. Ensinando sobre ondas transversais, ondas estacionárias e ondas polarizadas utilizando um simples motor à pilha. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 1, p. 1307, 2013.

OOCITIES, **Regra da mão direita**. Disponível em:
<<http://www.oocities.org/br/saladefisica3/laboratorio/maodireita/maodireita.htm>> Acesso em: 28 abr. 2017.

PEREIRA, G. R.; COUTINHO-SILVA, R. Avaliação do impacto de uma exposição científica itinerante em uma região carente do Rio de Janeiro: um estudo de caso. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 32, n. 3, p. 3402, 2010.

INTERACTIVE SIMULATIONS PROJECT AT THE UNIVERSITY OF COLORADO (PhET). Disponível em: < https://phet.colorado.edu/sims/html/ohms-law/latest/ohms-law_pt_BR.html > Acesso em: 27 abr. 2017.

INTERACTIVE SIMULATIONS PROJECT AT THE UNIVERSITY OF COLORADO (PhET). Disponível em: < https://phet.colorado.edu/sims/charges-and-fields/charges-and-fields_pt_BR.html>. Acesso em: 27 abr. 2017.

INTERACTIVE SIMULATIONS PROJECT AT THE UNIVERSITY OF COLORADO (PhET). Disponível em:< https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/magnets-and-electromagnets>. Acesso em: 27 abr. 2017.

INTERACTIVE SIMULATIONS PROJECT AT THE UNIVERSITY OF COLORADO (PhET). Disponível em: < https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/generator >. Acesso em: 27 abr. 2017.

RAMOS, T. C.; VERTCHENKO, L. Uma abordagem experimental das propriedades dos corpos deformáveis no ensino de física geral para os cursos de engenharia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 1502, 2011.

RIBEIRO, J. L. P. Pesquisa em ensino de física construção geométrica e demonstração experimental da formação da “imagem cíclopica” em uma associação de dois espelhos planos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 4, p. 4401, 2014.

SENRA, C. P.; BRAGA, M. A. B. Pensando a natureza da ciência a partir de atividades experimentais investigativas numa escola de formação profissional. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 31, n. 1, p. 7-29, 2014.

SILVA, P. **Propriedades magnéticas campo magnético vetor indução magnética**. Disponível em: < <http://slideplayer.com.br/slide/3195024/> >. Acesso em: 28 abr. 2017.

SILVA, O. H. M.; LABURÚ, C. E. Uma versão compacta do motor elétrico de Faraday para demonstração em sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 30, n. 2, p. 385-395, 2013.

SILVEIRA, F. L.; MARQUES, N. L. R. Motor elétrico de indução: “uma das dez maiores invenções de todos os tempos”. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 29, n. 1, p. 114-129, 2012.

SOUZA, R. S.; SILVA, A. P. B.; ARAUJO, T. S. James Prescott Joule e o equivalente mecânico do calor: Reproduzindo as dificuldades do laboratório. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 3, p. 3309, 2014.

TADA, P. M. **Ciência, educação, criação e tecnologia**. Disponível em: < <https://mauriciotada.wordpress.com/basicos-experimentos/lei-de-faraday-da-inducao-eletromagnetica/> >. Acesso em: 27 abr. 2017.

THE NATIONAL MUSEUM OF AMERICAN HISTORY. Globe-type Electrostatic Machine. Disponível: < http://americanhistory.si.edu/collections/search/object/nmah_712387 >. Acesso em: 28 abr. 2017.

X-RAY Machines blog, **Faraday’s law of induction**. Disponível em: <<http://www.xraymachines.info/article/769831226/faraday-s-law-of-induction-and-the-correlation-between-biot-savart-concept/>>. Acesso em: 27 abr. 2017.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Questionário para levantamento das concepções iniciais dos alunos.

1. Como é produzida a eletricidade que vocês utilizam em casa para ligar a TV, ligar aparelhos eletrodomésticos, videogame, computador?
2. O que é corrente elétrica?
3. Já ouviram falar em carga elétrica? O que é carga elétrica? Alguém já viu uma carga elétrica? Então, como vocês sabem que existe carga elétrica?
4. Já ouviram falar em fluxo elétrico e fluxo magnético? E o que vocês ouviram falar?
5. Na casa de vocês os aparelhos podem ser ligados em 110V ou 220V, mas o que é 110V e 220V?
6. O que é um ímã? De qual material é feito esse ímã? Ímã atrai qualquer tipo de material? Porque ele atrai certos materiais e não atrai outros?

APÊNDICE B - Questionário para levantamento das concepções iniciais dos alunos.

1. Como seria viver em um mundo sem eletricidade?
2. Como você explicaria para um habitante de um mundo sem luz, o que é luz?
3. Descreva como alguém poderia determinar experimentalmente o módulo, a direção e o sentido de um campo elétrico em um ponto do espaço.
4. Se duplicarmos a distância entre dois corpos carregados, como varia a força elétrica que se estabelece entre eles? Faça um esquema para explicar.
5. Faça um esquema simples explicando como funciona uma usina hidrelétrica.
6. Em que condições as cargas elétricas podem afetar um ímã?

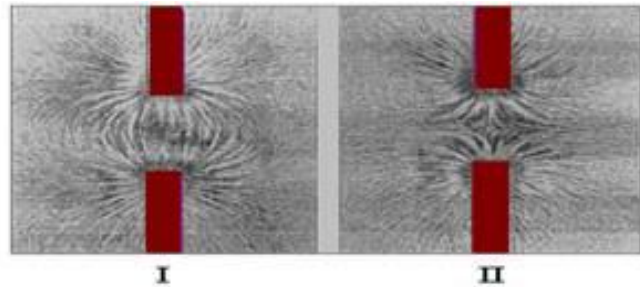
APÊNDICE C - Questionário sobre conceitos de eletricidade

1. Se duplicarmos a distância entre dois corpos carregados, como varia a força elétrica que se estabelece entre eles? Se quiser faça um esquema para explicar.
2. O Coulomb e o Ampère são unidades de carga? Explique.
3. Descreva como alguém poderia determinar experimentalmente o módulo, direção e sentido de um campo elétrico em um ponto do espaço.
4. Coloca-se um objeto de prova carregado negativamente num campo elétrico em que o vetor campo elétrico tem uma direção vertical e sentido para baixo. Qual é o sentido da força sobre a carga de prova. Se quiser faça um desenho para explicar sua resposta.

APÊNDICE D - Questionário sobre conceitos de magnetismo.

1. Quebrando-se um ímã pela metade, vamos obter: (a) um ímã só com polo norte e outro só com polo sul; (b) dois ímãs só com polo sul; (c) dois ímãs só com polo norte; (d) dois ímãs iguais ao primeiro.
2. Região do espaço onde atua a atração de um ímã é o: (a) campo gravitacional; (b) campo polar; (c) campo magnético; (d) campo elétrico.
3. Se aproximarmos o polo sul de um ímã do polo sul de outro ímã: (a) eles se atraem; (b) eles se repelem; (c) nada acontece; (d) eles se unem.
4. Por mais que cortemos um ímã, nunca conseguiremos separar seus polos. Qual o nome deste fenômeno? (a) Desintegrabilidade dos polos; (b) Separabilidade dos polos; (c) Inseparabilidade dos polos; (d) Magnetibilidade dos polos.

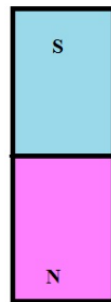
5. (UFMG-MG) Fazendo uma experiência com dois ímãs em forma de barra, Júlia os colocou sob uma folha de papel espalhou limalhas de ferro sobre essa folha. Ela os colocou em duas diferentes orientações e obteve os resultados mostrados nas



uma ímãs em colocou e ferro colocou obteve os figuras I

e II: Nessas figuras, os ímãs estão representados pelos retângulos. Com base nessas informações, é CORRETO afirmar que as extremidades dos ímãs voltadas para a região entre eles correspondem aos polos: (a) norte e norte na figura I e sul e norte na figura II; (b) norte e norte na figura I e sul e sul na figura II; (c) norte e sul na figura I e sul e norte na figura II; (d) norte e sul na figura I e sul e sul na figura II.

6. Uma bússola é colocada na proximidade da figura sobre o ponto A. Sabendo que o vermelho corresponde ao polo norte da bússola, qual será a orientação da agulha sobre o ponto A:

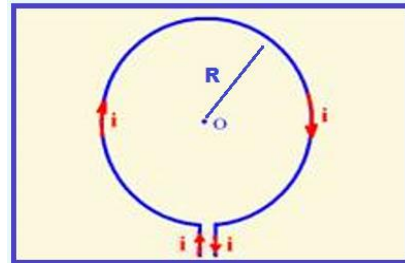


- A
- a)
 - b)
 - c)
 - d)
- do ímã sobre o

APÊNDICE E - Questionário sobre conceitos de eletromagnetismo.

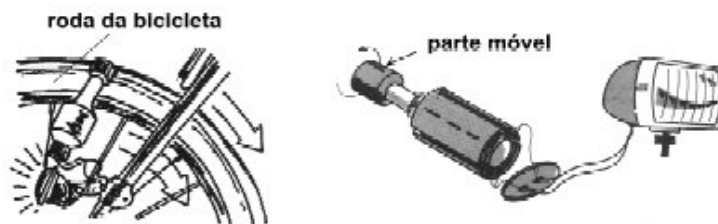
1. (Fund. Carlos Chagas-SP) Uma espira circular é percorrida por uma corrente elétrica contínua, de intensidade constante. Quais são as características do vetor campo magnético no centro da espira? Ele: (a) É constante e perpendicular ao plano da espira; (b) É constante e paralelo ao plano da espira; (c) É nulo no centro da espira; (d) É variável e perpendicular ao plano da espira; (e) É variável e paralelo ao plano da espira

2. (OSEC-SP) Uma espira circular de 4 cm de diâmetro é percorrida por uma corrente de 8,0 ampères (veja figura). Seja $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A}$. O vetor campo magnético no centro da espira é perpendicular ao plano da figura e orientado para: (a) fora e de intensidade $8,0\pi \times 10^{-5} \text{ T}$; (b) dentro e de intensidade $8,0\pi \times 10^{-5} \text{ T}$; (c) fora e de intensidade $\pi \times 10^{-5} \text{ T}$; (d) dentro e de intensidade $4,0\pi \times 10^{-5} \text{ T}$.



- O
(a)
4,0
5 T.

3. (ENEM) Os dínamos são geradores de energia elétrica utilizados em bicicletas para acender uma pequena lâmpada. Para isso, é necessário que a parte móvel esteja em contato com o pneu da bicicleta e, quando ela entra em movimento, é gerada energia elétrica para acender a lâmpada. Dentro desse gerador encontram-se um ímã e uma bobina. O princípio do funcionamento desse equipamento é explicado pelo fato de que a: (a) Corrente elétrica no circuito fechado gera um campo magnético; (b) Bobina imersa no campo magnético em um circuito fechado gera uma corrente elétrica; (c) Bobina em atrito com o campo magnético no circuito fechado gera uma corrente elétrica; (d) Corrente elétrica é gerada em circuito fechado por causa da presença do campo magnético; (e) Corrente elétrica é gerada em circuito fechado quando há variação do campo magnético.

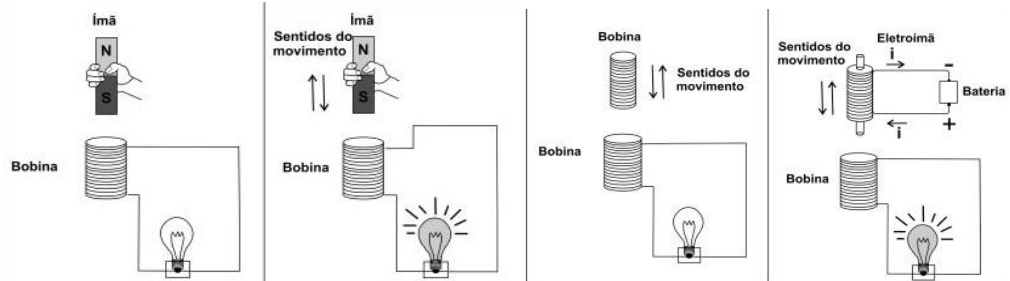


Dinamo de bicicleta

O princípio do funcionamento desse equipamento é explicado pelo fato de que a: (a) Corrente elétrica no circuito fechado gera um campo magnético; (b) Bobina imersa no campo magnético em um circuito fechado gera uma corrente elétrica; (c) Bobina em atrito com o campo magnético no circuito fechado gera uma corrente elétrica; (d) Corrente elétrica é gerada em circuito fechado por causa da presença do campo magnético; (e) Corrente elétrica é gerada em circuito fechado quando há variação do campo magnético.

4. (FUVEST 2009) Uma das mais importantes formas de produção de energia elétrica, em nossa vida cotidiana, é proveniente de processos de transformação que envolvem a obtenção dessa energia pelo movimento. A construção de geradores de energia elétrica baseia-se nos

estudos de Faraday, que observou correntes elétricas (induzidas) em circuitos fechados, sem que pilhas ou baterias estivessem conectadas aos mesmos. As figuras representam, esquematicamente, situações fundamentais para a compreensão das condições necessárias para a obtenção de corrente elétrica induzida.



Correntes elétricas induzidas aparecem em um circuito fechado quando: (I) Um ímã ou uma bobina permanecem parados próximos ao circuito; (II) Um ímã ou um eletroímã movem-se na região do circuito; (III) Ocorrem variações, com o tempo, do campo magnético na região do circuito. Está correto o que se afirma apenas em: (a) I; (b) II; (c) III; (d) I e III; (e) II e III.