



ENSINO DE ELETRICIDADE E MAGNETISMO ORIENTADO POR PROJETOS DE PESQUISA COM SUCATA ELETRÔNICA

Francisco Andréázio Lôbo de Andrade

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Universidade Federal Rural do Semiárido, no Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador

Prof. Dr. Carlos Alberto dos Santos

Co-Orientador

Prof. Dr. Geovani Ferreira Barbosa

Mossoró
Novembro, 2018

ENSINO DE ELETRICIDADE E MAGNETISMO ORIENTADO POR PROJETOS
DE PESQUISA COM MATERIAIS DE SUCATA TECNOLÓGICA

Francisco Andreázio Lôbo de Andrade

Orientador

Prof. Dr. Carlos Alberto dos Santos

Co-Orientador

Prof. Dr. Geovani Ferreira Barbosa

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal Rural do Semiárido, no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Aprovada por:



Prof. Dr. Carlos Alberto dos Santos

Orientador: MNPEF-UFERSA



Prof. Dr. Makarius Oliveira Tahim

Membro Externo: UECE – Campus Quixadá



Prof. Dra. Subênia Karine de Medeiros Neo

Membro interno: MNPEF-UFERSA



Prof. Dr. Carlos Antonio Lópiz Ruiz

Membro interno: MNPEF-UFERSA

Mossoró
Novembro, 2018

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)

Biblioteca Central da Universidade Federal Rural do Semiárido, RN, Brasil.

A553e	<p>Andrade, Francisco Andreázio Lôbo de Ensino de eletricidade e magnetismo orientado por projetos de pesquisa com materiais de sucata tecnológica / Franciso Andreázio Lôbo de Andrade; orientador Carlos Alberto dos Santos; co-orientador Geovani Ferreira Barbosa. -- Mossoró, 2018. 153 p.</p> <p>Dissertação (Mestrado – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal Rural do Semiárido, 2018.</p> <p>1. Ensino de Física. 2. Eletricidade. 3. Magnetismo. 4. Ensino Orientado por Projetos. 5. Sucata Tecnológica. I. Santos, Carlos Alberto dos, oriente.. II. Barbosa, Geovani Ferreira, co-orient. III. Título.</p>
-------	--

Dedico esta dissertação à minha esposa, Maria Elita Franco Sousa Lôbo de Andrade, à minha mãe, Ana Cleide lôbo de Andrade, e ao meu pai, Raimundo Araújo de Andrade, com todo amor e reconhecimento.

Agradecimentos

Ao Professor Carlos Alberto dos Santos, pelos ensinamentos e pela incansável orientação, sem o que o sonho desta dissertação não teria sido realizado.

Ao ex-Coordenador do Curso, Prof. Geovani Ferreira Barbosa, pela dedicação e compromisso em fazer um mestrado de qualidade, e também pela sua atuação como co-orientador na dissertação.

Aos meus companheiros de viagem, “Os amigos do carro”, por toda a ajuda que foi compartilhada durante o período das aulas nas viagens Fortaleza-Mossoró-Fortaleza, agradeço de coração.

A todos os professores do MNPEF – UFERSA, por todos os ensinamentos aqui recebidos. Foi uma experiência Ímpar.

Ao Núcleo Gestor da escola onde apliquei o produto educacional, em especial ao Coordenador Cláudio Márcio Fonteneles.

Aos meus alunos, com os quais muito aprendi.

A Francisco Alberto da Silva Filho, colega de trabalho, que em tantas ocasiões me ajudar com algumas dúvidas nas atividades do mestrado.

À CAPES pela bolsa concedida durante o curso.

RESUMO

ENSINO DE ELETRICIDADE E MAGNETISMO ORIENTADO POR PROJETOS DE PESQUISA COM SUCATA TECNOLÓGICA

Francisco Andreázio Lôbo de Andrade

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto dos Santos

Co-Orientador: Prof. Dr. Geovani Ferreira Barbosa

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal Rural do Semiárido, no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Apresenta-se nesta dissertação o planejamento, a elaboração e a testagem de um produto educacional intitulado *Ensino de Eletricidade e Magnetismo Orientado por Projetos de Pesquisa com Sucata Eletrônica*. A intervenção didática inclui um semestre de aulas convencionais apoiado no livro-texto adotado na escola; investigação de concepções alternativas sobre circuitos elétricos simples, e a utilização de uma *sequência didática* similar às unidades de ensino potencialmente significativas (UEPS). Durante o segundo semestre a turma foi dividida em cinco grupos, três dos quais ficaram encarregados de construir uma bobina de Tesla, e os outros dois construíram um detector de metais. Esses equipamentos foram construídos com componentes extraídos pelos próprios alunos, de computadores que se encontravam fora de uso na escola. Ficou evidente o prazer que os alunos tinham na desmontagem dos computadores e na montagem dos equipamentos. Apesar de ao final da intervenção didática os alunos tenham demonstrado razoável conhecimento declarativo, no sentido ausubeliano, muitos deles continuaram apresentando as concepções alternativas exibidas durante o pré-teste. Esse resultado é similar a muitos reportados na literatura, dando conta da forte persistência de algumas concepções alternativas.

Palavras-chave: Ensino de Física, Eletricidade, Magnetismo, Ensino Orientado por Projetos, Sucata Eletrônica.

ABSTRACT

ENSINO DE ELETRICIDADE E MAGNETISMO ORIENTADO POR PROJETOS DE PESQUISA COM SUCATA ELETRÔNICA

Francisco Andreázio Lôbo de Andrade

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto dos Santos

Co-Orientador: Prof. Dr. Geovani Ferreira Barbosa

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal Rural do Semiárido, no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

This dissertation presents the planning, elaboration and testing of an educational product entitled *Teaching Electricity and Magnetism Oriented by Research Projects with Electronic Waste*. The didactic intervention includes a semester of conventional classes supported in the textbook adopted in the school; investigation of misconceptions about simple electrical circuits, and the use of a didactic sequence similar to potentially meaningful teaching units (PMTU). During the second semester the class was divided into five groups, three of which were in charge of building a Tesla coil, and the other two built a metal detector. These equipments were constructed with components extracted by the own students, of computers that were out of use in the school. It was evident the pleasure that the students had in disassembling the computers and in assembling the equipments. Although at the end of the didactic intervention the students showed reasonable declarative knowledge, in the Ausubelian sense, many of them continued to present the misconceptions exhibited during the pre-test. This result is similar to many reported in the literature, accounting for the strong persistence of some misconceptions.

Keywords: Physics Teaching, Electricity, Magnetism, Oriented Project Teaching, Electronic Waste.

SUMÁRIO

Lista de Abreviaturas e Siglas	11
Lista de Figuras	12
Lista de Tabelas	13
Capítulo 1 – Introdução	14
Capítulo 2 – Aprendizagem Baseada em Projetos	16
2.1 Breve revisão da literatura.....	17
2.2 Nosso trabalho no contexto da ABP	18
Capítulo 3 – Concepções Alternativas sobre Corrente Elétrica em Circuitos Simples.....	20
3.1 – Breve revisão da literatura.....	20
3.2 – Teste SMA.....	22
3.3 – Resultados obtidos com o teste SMA	23
Capítulo 4 – Sobre o produto educacional e a intervenção didático- pedagógica.....	27
4.1 – Introdução	27
4.2 – Estrutura da UEPS usada no presente produto educacional.....	27
4.3 – Aplicação do produto educacional.....	29
4.3a – Pré-Teste.....	29
4.3b – Abordagem Inicial do conteúdo sobre eletricidade e magnetismo.....	30
4.3c – Fundamentos da bobina de Tesla	31
4.3d – Fundamentos do detector de metais.....	37
4.4 – Implementação dos projetos dos alunos	45
4.4a – Montagem da bobina de Tesla com materiais de sucata eletrônica.....	47
4.4b – Montagem do detector de metais com materiais de sucata eletrônica.....	48
4.5 – Avaliação por parte dos alunos e do docente dos resultados obtidos	49
Capítulo 5 – Sumário, Resultados Relevantes e Considerações Finais	53
5.1. Sumário	53
5.2. Resultados relevantes	54
5.3. Considerações Finais	55
Referências.....	56
Apêndice A – Pré-Teste e Teste SMA	63

Pré-Teste.....	63
Teste SMA.....	65
Apêndice B – Íntegra das entrevistas com alunos selecionados	66
Apêndice C - Produto Educacional: Unidade de Ensino Potencialmente	
Significativa (UEPS) Sobre Circuitos Elétricos.....	86
Sobre a capa	88
Agradecimento	89
Apresentação	90
1 Noções básicas de eletricidade e magnetismo como subsunçores	
ausubelianos.....	93
2 Fundamentos da bobina de Tesla.....	94
3 Fundamentos do detector de metais.....	99
3.1 Leis de Faraday e de Lenz.....	100
3.2 Influência do meio no valor do campo magnético e nas propriedades de uma	
bobina	102
3.3 Modelos usuais de detectores de metal.....	103
3.3.1 BFO – Oscilador de frequência de batimento.....	103
3.3.2 VLF – Balança de indução	104
3.3.3 PI – Indução de pulso	105
3.4 Detector de metais com circuito integrado 555	106
4 Noções de ciência e tecnologia de semicondutores	107
4.1 Introdução	107
4.2 Antecedentes históricos da física de semicondutores.....	108
4.3 Fundamentos da física de semicondutores	110
4.4 Propriedades elétricas dos dispositivos semicondutores	112
5 Guia do Professor.....	116
5.1 Subsunçores	116
5.2 Diferenciação progressiva	117
5.3 Reconciliação integradora	117
5.4 Materiais de apoio (paradidáticos e divulgação científica).....	117
5.4.1 Textos paradidáticos e de divulgação científica.....	117
5.4.2 Vídeos	118

5.4.3 Texto na Internet.....	118
6 Cronograma de atividades.....	118
7 Implementação dos projetos dos alunos.....	119
7.1 Montagem da bobina de Tesla.....	121
7.2 Montagem do detector de metais.....	122
Referências.....	124
Apêndice D – Eletricidade, Magnetismo e Dispositivos Semicondutores:	
alguns conceitos básicos.....	127
D.1 – Introdução.....	127
D.2 – Noções básicas de eletricidade e magnetismo como subsunçores	
ausubelianos.....	127
D.3 – Fundamentos da bobina de Tesla.....	128
D.4 – Fundamentos do detector de metais.....	134
D.4.1 – Leis de Faraday e de Lenz.....	135
D.4.2 – Influência do meio no valor do campo magnético e nas propriedades de uma bobina.....	137
D.4.3 – Modelos usuais de detectores de metal.....	138
D.4.4 – Detector de metais com circuito integrado 555.....	141
D.5 – Noções de ciência e tecnologia de semicondutores.....	142
D.5.1 – Introdução.....	142
D.5.2 – Antecedentes históricos da física de semicondutores.....	143
D.5.3 – Fundamentos da física de semicondutores.....	144
D.5.4 – Propriedades elétricas dos dispositivos semicondutores.....	147
Referências.....	151
Apêndice E – Trabalho publicado na RBEF.....	153

Lista de Abreviaturas e Siglas

- ABP – Aprendizagem Baseada em Projetos.
- BFO – Beat Frequency Oscillator (oscilador de frequência de batimento).
- EBP – Ensino Baseado em Projetos.
- EEFM – Escola de Ensino Fundamental e Médio.
- IFCE – Instituto Fedetal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará.
- INEP – Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais.
- INSE – Indicador de Nível Socioeconômico.
- LC – Indutor e capacitor.
- PI – Pulse Induction (Indução de pulso).
- PVA – Pasqualetto, Veit, Araújo.
- RBEF - Revista Brasileira de Ensino de Física.
- RC – Resitor e capacitor.
- RL – Resistor e indutor.
- RLC – Resistor, indutor e capacitor.
- SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial.
- SG – Spark gap (intervalo de faísca).
- SMA – Silveira, Moreira, Axt.
- UEPS – Unidade de Ensino Potencialmente significativa.
- UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- VLF – Very low frequency
- WoS – Web of Science.

Lista de Figuras

Figura 4.1: Tesla em seu laboratório.	31
Figura 4.2: Circuito básico de uma bobina de Tesla.	32
Figura 4.3: Circuito agrupado da bobina de Tesla.	34
Figura 4.4: Circuito de uma bobina de Tesla de estado sólido.	36
Figura 4.5: Corrente induzida em função da variação temporal do campo magnético.	38
Figura 4.6: Campo magnético estável e espacialmente inhomogêneo.	39
Figura 4.7: Detector de metais BFO.	41
Figura 4.8: Detector de metais VLF comercial.	42
Figura 4.9: detector de metal PI comercial.	43
Figura 4.10: Circuito básico de um detector de metais com CI 555.	44
Figura 4.11: Fase de desmontagem dos computadores.	45
Figura 4.12: Montagem da bobina de Tesla.	47
Figura 4.13: Teste das duas bobinas de tesla construídas pelos alunos.	47
Figura 4.14: Montagem do detector de metais.	48
Figura 4.15: Dois detectores de metais montados pelos alunos.	48

Lista de Tabelas

Tabela 3.1: Resultados Percentuais do teste SMA.	23
Tabela 4.1: Respostas percentuais do pré-teste.	28
Tabela 4.2: Cronograma de aulas ministradas no primeiro semestre.	29
Tabela 4.3: Textos de divulgação científica.	30
Tabela 4.4: Vídeos sugeridos.	30
Tabela 4.5: Alguns depoimentos escritos pelos alunos.	49

Capítulo 1 – Introdução

Durante toda a minha trajetória como professor de física, nas variadas escolas em que lecionei, tive oportunidade de conhecer diferentes realidades de estrutura humana bem como de estrutura física. Mas o fato é que, independentemente da escola em que se trabalha, lecionar física nunca foi uma tarefa elementar. A receptividade dos estudantes é muito baixa; seja por profundas deficiências em conceitos básicos de matemática, por aulas com cunho eminentemente tradicional, por um sistema de ensino que muitas vezes não se adequa à realidade dos estudantes dentre outros fatores. Em face disso, percebi que a utilização da experimentação representa uma ferramenta poderosa para a obtenção de uma melhor eficácia do sistema de ensino e aprendizagem. Considerando que na escola pública raramente se tem a possibilidade de usar a experimentação em ensino de física em virtude da falta de materiais e de estruturas físicas para esse fim, foi preciso buscar alternativas para inserir esse público na parte prática da física. Algumas escolas públicas até possuem laboratórios de ciências em funcionamento regular, mas o que se observa na grande maioria dos casos são laboratórios precários, sem manutenção regular, implicando em sua subutilização.

A proposta aqui apresentada como produto educacional é uma alternativa viável em todos os aspectos: a utilização de sucata eletrônica como material no desenvolvimento de projetos tem grande potencial para a abordagem de conteúdos de física, bem como o desenvolvimento de uma percepção ecológica do grave problema enfrentado com o lixo eletrônico. Nesse sentido, o uso de sucata eletrônica presta-se também ao uso de eixos transversais em diferentes áreas do saber.

O produto educacional fruto dessa dissertação foi aplicado em uma turma de ensino médio de uma escola pública do estado do Ceará, uma turma de alunos que cursavam o último ano do ensino médio. A escola até possui laboratório de ciências, mas o mesmo encontrava-se subutilizado por ausências de materiais para o trabalho com as disciplinas. No tocante à disciplina de física, praticamente não se tinha como fazer qualquer tipo de demonstração. Foi utilizada uma UEPS como eixo de planejamento para o desenvolvimento desse produto educacional durante todo o segundo semestre de 2017.

Com a presente intervenção didático-pedagógica foi possível aferir o conhecimento prévio dos estudantes, bem como a existência de concepções alternativas. O co-

nhecimento desses dois aspectos referentes ao processo de aprendizagem são fundamentais para o estabelecimento de estratégias didáticas que resultem em aprendizagem significativa. Esta se manifesta quando o aprendiz exhibe aprendizagem declarativa, ou seja é capaz de apresentar uma estrutura lógica dos conceitos apropriados durante o processo de aprendizagem. Isso pôde ser observado por meio dos depoimentos, bem como das entrevistas clínicas realizadas com alguns alunos. O produto representa mais que isso, pois os estudantes sentiram-se atuando como protagonistas do processo de ensino e socializando conquistas e dificuldades em uma atmosfera altamente propícia a uma sólida apropriação de conceitos.

Nos capítulos seguintes apresentaremos os fundamentos, o detalhamento do planejamento e execução, bem como os resultados obtidos com a referida intervenção didático-pedagógica.

No Capítulo 2 trataremos dos fundamentos do que se costuma denominar de *Aprendizagem Baseada em Projetos*. No Capítulo 3 faremos uma breve revisão da literatura a respeito das *concepções alternativas sobre corrente elétrica em circuitos simples*. No Capítulo 4 apresentaremos a estrutura da *Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS)* elaborada para a presente intervenção didático-pedagógica, bem como os resultados obtidos com sua aplicação. Finalmente, no Capítulo 5 serão apresentados *Sumário, Resultados Relevantes e Considerações Finais* sobre o trabalho realizado.

O teste utilizado na investigação de concepções alternativas, as entrevistas realizadas com alunos selecionados, a íntegra da UEPS, um texto com os conceitos básicos de eletricidade, magnetismo e dispositivos semicondutores são apresentados nos Apêndices A-D, respectivamente. No Apêndice E apresentamos a primeira página do artigo publicado na Revista Brasileira de Ensino de Física, com alguns dados obtidos durante a aplicação da UEPS.

Capítulo 2 – Aprendizagem Baseada em Projetos

A ideia que está por trás do *Aprendizagem Baseada em Projetos* (ABP), ou do *Ensino de Ciências por Investigação*, ou *Project-Based Learning*, ou *Project-based Science* como geralmente encontra-se na literatura internacional (BARP, 2016; GRANT, 2002; KNOLL, 1997; KRAJCIK; BLUMENFELD, 2006; RODRIGUES; BORGES, 2008; SCHNEIDER *et al.*, 2002; THOMAS, 2000) é uma metáfora. O aluno é orientado para proceder como se cientista fosse. Portanto, convém que a “questão ou problema da vida real” tenha a ver com diferentes aspectos cognitivos. Pode envolver a necessidade da construção de artefatos, a solução de uma questão teórica ou a simples reflexão em torno de uma ideia abstrata. Por exemplo, em sua dissertação de mestrado, Jefferson Barp (2016) usou ABP para tratar, com alunos do 9º Ano do Ensino Fundamental, a questão “Onde há Física no seu cotidiano?” Em grupos de até quatro participantes, os alunos utilizaram diferentes fontes (livros, artigos, internet) para responder à questão básica referente a: motocross, culinária, lâmpadas, celular, computador, música, entre outros temas.

De acordo com Krajcik e Blumenfeld (2006), a ideia de Aprendizagem Baseada em Projeto tem origem em John Dewey, no início do século 20, quando ele começou a usar o que ele denominou de *process of inquiry*. Para Dewey, “os alunos investirão no material a ser estudado, se eles se envolverem em tarefas e problemas reais e significativos que imitam o que os especialistas fazem em situações do mundo real” (Tradução nossa, apud KRAJCIK; BLUMENFELD, 2006). Um século depois, muitos refinamentos desse insight foram apresentados, mas a ideia central continua a mesma, o que pode significar sua relevância.

A estrutura básica de um projeto de ABP deve levar em conta cinco fundamentos (KRAJCIK; BLUMENFELD, 2006; SCHNEIDER *et al.*, 2002):

- a) engajamento dos estudantes na investigação de uma questão ou problema da vida real, de tal modo a orientá-los no sentido da organização de conceitos e princípios;
- b) desenvolvimento de produtos, por parte dos estudantes, correlatos à questão levantada;
- c) habilitação dos estudantes para o envolvimento em investigações;
- d) envolvimento de estudantes e professores como membros de uma comunidade de investigação e que colaboram em torno da solução de um problema;

- e) incentivar os estudantes ao uso de ferramentas cognitivas, tais como gráficos, software e animações computacionais, modelos pertinentes ao problema sob investigação, etc.

Outra possibilidade bastante interessante é o envolvimento dos estudantes na montagem de equipamentos que utilizem os conceitos a serem estudados, como bem ilustrado nesse material do Portal JFF (1998):

Na *Swain County High School*, um professor de tecnologia e um professor de matemática, distribuíram os alunos em duas equipes para construir carros de pedais mais rápidos possíveis a partir de materiais de sucata. Os estudantes entrevistaram especialistas locais e conduziram pesquisas na biblioteca e na Internet. Eles estudaram as formas aerodinâmicas de vários projetos de carros e depois usaram testes reais para avaliar seus projetos (Tradução nossa).

2.1 Breve revisão da literatura

Existem três boas revisões da literatura a respeito da ABP, duas em inglês (KNOLL, 1997; THOMAS, 2000), e uma mais recente, em português (PASQUALETTO; VEIT; ARAUJO, 2017). A menos que seja dito o contrário, o texto que segue nesta seção é baseado na revisão de Pasqualetto e colaboradores, que passaremos a designar como PVA.

Na revisão PVA, a origem da ABP é anterior a Dewey. Ela é atribuída por Knoll (1997) a projetos de arquitetura na Europa no final do século 16, e ao longo de mais de quatro séculos passou por idas e vindas em suas concepções e aplicações. Não é a discussão desse aspecto histórico nosso objetivo. O que nos interessa é qualificar a ABP nos dias corrente.

É importante desde já salientar que não há na literatura um modelo de ABP universalmente aceito (THOMAS, 2000), nem mesmo quanto à sua denominação. Além disso, o uso de referenciais teóricos em suas aplicações nem sempre é especificado. Dos 41 artigos analisados na revisão PVA, mais da metade utilizam a ABP sem qualquer referência a um referencial de aprendizagem definido. Em alguns casos é feita uma referência genérica ao construtivismo. Para Pasqualetto e colaboradores, “é preocupante que iniciativas de ensino e aprendizagem sejam levadas a cabo sem a devida reflexão sobre como o estudante aprende.”

Entre os trabalhos que afirmam usar teorias de aprendizagem, 4 referem-se à teoria de Ausubel, 3 à teoria de Vygotsky, 2 à teoria de Piaget. Várias outras abordagens

são mencionadas, cada uma em um artigo diferente. É interessante observar que dois trabalhos afirmam usar mais de uma teoria. Espíndola e Moreira (2006) referenciam Ausubel, Paulo Freire e Vygotsky, enquanto Baldock e Chamson (2006) usaram Vygotsky e Piaget.

Essa constatação é relevante no contexto do nosso trabalho, uma vez que antes mesmo de acessarmos a literatura pertinente, tínhamos a convicção de que nosso projeto de intervenção didático-pedagógica continha elementos ausubelianos, freirianos, vygotskianos e piagetianos.

Finalmente, cabe destacar no levantamento feito por PVA quanto às orientações metodológicas acerca da ABP, os critérios sugeridos por Thomas(2000):

- a) **Centralidade:** se refere à necessidade de que os projetos sejam a estratégia central de ensino, ou seja, é através deles que os estudantes devem aprender os conceitos centrais da disciplina;
- b) **Questão motriz:** foco em questões ou problemas que movem os alunos ao encontro dos princípios e conceitos centrais de uma disciplina;
- c) **Investigações Construtivas:** envolvem transformação e construção do conhecimento, i.e., desenvolvem novos entendimentos e novas habilidades;
- d) **Autonomia:** liberdade para que os estudantes determinem o caminho da sua investigação;
- e) **Realismo:** requer a incorporação de problemas da vida real e de soluções com potencial de ser implementadas.

Acrescentamos a esses critérios, aqueles já mencionados no início deste capítulo (KRAJCIK; BLUMENFELD, 2006; SCHNEIDER *et al.*, 2002).

2.2 Nosso trabalho no contexto da ABP

Conforme veremos detalhadamente no Capítulo 4, a presente proposta de intervenção didático-pedagógica, centrada na aprendizagem baseada em projetos, enquadra-se nos critérios metodológicos supra citados, bem como contém implícita ou explicitamente elementos das teorias de aprendizagem de Ausubel (MOREIRA, 1979, 2010; MOREIRA; MASSONI, 2015), da teoria sociointeracionista de Vygostky (GASPAR; MONTEIRO, 2005; VYGOTSKY, 1991), da teoria psicogenética de Piaget

(CAETANO, 2010; GIUSTA, 2013) e da Pedagogia de Paulo Freire (FRANCISCO JR; FERREIRA; HARTWIG, 2008; FREIRE, 1970).

Dos critérios metodológicos mencionados acima, podemos extrair esses quatro, que foram atendidos na elaboração e execução de nossa intervenção didático-pedagógica:

- a) engajamento dos estudantes na investigação de uma questão ou problema da vida real, de tal modo a orientá-los no sentido da organização de conceitos e princípios. Ou seja, é através dos projetos que os alunos vão aprender significativamente os conceitos centrais da disciplina;
- b) desenvolvimento de produtos, por parte dos estudantes, correlatos à questão levantada. Ou seja o projeto deve ter foco em conceitos centrais da disciplina;
- c) habilitação dos estudantes para o envolvimento em investigações, através das quais elaboram e constroem seus conhecimentos;
- d) trata de problemas da vida real e de soluções com potencial de ser implementadas.

Capítulo 3 – Concepções Alternativas sobre Corrente Elétrica em Circuitos Simples

O conteúdo deste capítulo foi extraído do artigo (Apêndice D) que publicamos recentemente (ANDRADE *et al.*, 2018).

3.1 – Breve revisão da literatura

De tudo que se sabe hoje sobre o processo de ensino-aprendizagem, talvez a coisa mais importante possa ser resumida em uma frase: descubra o que seu aluno já sabe e ensine de acordo. O significado dessa frase aparece em diferentes teorias da aprendizagem, sob diferentes formas. Ao propor uma pedagogia para a educação de adultos, em um processo dialógico baseado no universo vocabular do aprendiz, Paulo Freire escreve (FREIRE, 2008): “quem dialoga, dialoga com alguém sobre alguma coisa” (p.69). A frase sugere que essa “alguma coisa” é o que o aluno já sabe. Ao discutir sua teoria de aprendizagem, Bruner enfatiza que a eficiência de uma sequência de ensino depende do cabedal de informações e do estágio de desenvolvimento do aluno a quem se destina (BRUNER, 1964, 1975). A frase acima também tem a ver com as ideias de Vygotsky a respeito do que ele define como zona de desenvolvimento proximal (VYGOTSKY, 1978). Por trás desses significados, está a estrutura cognitiva, um conceito muito debatido entre os psicólogos nos anos 1940-1950, e que foi objeto de inúmeros estudos experimentais com ratos (HEIDER, 1959; LEWIN, 1943; TOLMAN, 1949; WHITE, 1943).

No início dos anos 1960, Ausubel formalizou o conhecimento acumulado até então, naquilo que hoje conhecemos como Teoria da Aprendizagem Significativa (AUSUBEL, 1960, 1963; AUSUBEL, 1969; MOREIRA; MASINI, 1982). Ausubel tem como premissas a importância da aprendizagem significativa em oposição à aprendizagem mecânica, e a ênfase na estrutura de conhecimento do aprendiz como determinantes para a aquisição e retenção do conhecimento (AUSUBEL, 1969). A teoria de Ausubel deixa duas questões em aberto: como ter acesso à estrutura cognitiva e como organizar o conteúdo de modo a propiciar uma aprendizagem significativa, tendo em conta a topografia típica da estrutura cognitiva do público-alvo. Tais questões foram objeto de inúmeros estudos nos anos 1970 (DOS SANTOS; MOREIRA, 1979c, a, b; MOREIRA; DOS SANTOS, 1981) e desembocaram em duas instigantes linhas de pesquisa: modelos mentais (BORGES, 1999; BORGES; GILBERT, 1999; GRECA; MOREIRA, 2000; JOHNSON-LAIRD, 1980) e concepções alternativas, cujos trabalhos pioneiros estão descritos em duas teses de doutorado. A primeira defendida por Rosalind Driver em

1974¹, e a segunda defendida por Laurence Viennot em 1977 (VIENNOT, 1977). Em 1994, Rosalind Driver e colaboradores publicaram um livro sistematizando seus resultados em 20 anos de atividades (DRIVER *et al.*, 1994).

O tema do qual estamos tratando é geralmente designado na literatura em inglês pela palavra *misconception*, e eventualmente pela palavra *preconception*. Apesar de verbalmente similares, essas palavras podem ter significados bem diferentes no contexto educacional. Embora pudesse ser interessante, não cabe aqui uma discussão da etimologia dessas palavras. Ao leitor interessado recomenda-se o artigo de John Clement (CLEMENT, 1993), que também discute a validade do uso da expressão *alternative conceptions*. Os francófonos usualmente preferem essa última designação, que em seu idioma é *conceptions spontanées*. No Brasil e em Portugal costuma-se usar indistintamente concepções espontâneas e concepções alternativas, sendo esta última a expressão que preferimos.

Qualquer que seja a expressão utilizada, o que se pretende investigar é até que ponto a estrutura conceitual apropriada por um indivíduo como resultado de sua vivência escolar e de suas observações cotidianas corresponde àquela aceita pela comunidade científica. Ou, dito de outro modo, que modelo mental corresponde à organização conceitual presente na estrutura cognitiva de um indivíduo? Quando há conflito entre essas estruturas e as concepções científicas, diz-se que o indivíduo apresenta concepções alternativas. Esse tipo de investigação foi realizado por inúmeros estudiosos em diferentes áreas do conhecimento, mas aqui vamos restringir a discussão à literatura sobre circuitos elétricos simples, e mesmo assim, dada a extensa literatura disponível, optamos por referir apenas os trabalhos que consideramos mais relevantes em termos de precedência, aderência ao escopo do presente trabalho, e facilidade de acesso. Todavia, pelo caráter inovador, consideramos importante chamar a atenção para trabalhos recentes, conectando as respostas a testes similares aos que serão discutidos a seguir com a atividade cerebral como vista por meio de imagens de ressonância magnética (MASSON *et al.*, 2014; POTVIN; TURMEL; MASSON, 2014).

O que estamos denominando circuitos elétricos simples são associações em série e paralelo de resistores ou lâmpadas alimentadas por fontes de tensão. Ao longo das últimas quatro décadas, testes similares foram aplicados a estudantes de todos os níveis

¹ Driver, R. P. (1974). The representation of conceptual frameworks in young adolescent science students. *Dissertation Abstracts International*, 34(11-A), 7065. Informação extraída do site da American Psychological Association (<http://psycnet.apa.org/record/1976-13289-001>), em 1/11/2017.

de ensino, da educação básica à universitária, em todos os continentes (DOMINGUEZ; MOREIRA, 1988; LIN, 2017; MCDERMOTT; SHAFFER, 1992; SHAFFER; MCDERMOTT, 1992; SHIPSTONE *et al.*, 1988; SILVEIRA; MOREIRA; AXT, 1989; SOLANO *et al.*, 2002), com resultados impressionantemente similares em termos de concepções alternativas, e pouco dependentes do grau de instrução anterior ao teste. Análises detalhadas desses resultados proporcionaram a identificação de vários modelos mentais baseados em concepções alternativas. Muitos desses modelos, embora similares, são apresentados na literatura com diferentes nomes e atributos (modelo linear, modelo não conservativo, modelo local, modelo sequencial, etc.) (BORGES; GILBERT, 1999; COHEN; EYLON; GANIEL, 1983; DUIT; RHONECK, 1998; FREDETTE; LOCHHEAD, 1980; MCDERMOTT; SHAFFER, 1992; OSBORNE, 1983; SHIPSTONE, 1984; SILVEIRA, 2011). Em alguns casos há ambiguidade no rótulo, de modo que preferimos apenas enumerar os modelos mais recorrentes e que podem ocorrer de forma concomitante:

- ❖ Modelo I – A corrente elétrica é emitida pela fonte (bateria, pilha, ...) a partir de um dos polos e é consumida durante sua passagem no circuito, de modo que sua intensidade diminui ao ultrapassar algum elemento do circuito.
- ❖ Modelo II – Correntes elétricas deixam a fonte a partir de ambos os polos, sendo usadas quando se encontram nos elementos do circuito.
- ❖ Modelo III – A intensidade da corrente é determinada pelo elemento através do qual ela está passando. Ela não pode ser influenciada por um elemento onde ainda não passou. Ou seja, a corrente é vista como algo que atravessa o circuito ponto a ponto, afetando cada elemento no momento que o atinge. Assim, uma mudança em um ponto do circuito não afeta o comportamento do circuito nos pontos anteriores.
- ❖ Modelo IV – A corrente é uma propriedade exclusiva do gerador. Ela é independente dos demais elementos do circuito.

3.2 – Teste SMA

Em 1988, Silveira, Moreira e Axt elaboraram e validaram um teste (reproduzido no Apêndice A) para verificar se alunos de engenharia possuíam concepções científicas sobre corrente elétrica em circuitos simples (SILVEIRA; MOREIRA; AXT, 1989). Constituído de 14 itens, o teste contém questões dos autores e questões tiradas da litera-

tura, com a devida citação bibliográfica. Na descrição dos autores (SILVEIRA; MOREIRA; AXT, 1989):

Todos os itens possuem três alternativas: uma dessas alternativas é coerente com concepções científicas sobre corrente elétrica, enquanto as outras duas são coerentes com concepções alternativas, principalmente com o modelo não conservativo, segundo o qual a corrente vai sendo consumida em cada componente do circuito de modo que os últimos recebem menos corrente (ou brilham menos, no caso, por se tratar de lâmpadas).

3.3 – Resultados obtidos com o teste SMA

Os resultados obtidos com o teste SMA aplicado nesse estudo foram comparados com aqueles obtidos no curso de Engenharia da UFRGS em 1988 (SILVEIRA; MOREIRA; AXT, 1989). Apresentaremos aqui apenas um sumário desses resultados, uma vez que os mesmos já foram publicados (ANDRADE *et al.*, 2018) e encontram-se no Apêndice D.

A amostra da UFRGS, aqui denominada FisII, consistiu em 121 alunos de Física II-C, disciplina sobre eletricidade e magnetismo ministrada nos cursos de engenharia da UFRGS. O teste foi aplicado em 1988, após o estudo de corrente elétrica e de circuitos elétricos simples. O livro-texto básico utilizado nessa disciplina é o volume 3 do Halliday-Resnick (HALLIDAY; RESNICK, 1981).

A nossa amostra, denominada EnsMed, consistiu em 32 alunos do 3º. Ano do ensino médio da EEFM Professor Antônio Martins Filho, situada em Maracanaú (Ce), com Indicador de Nível Socioeconômico (INSE) Médio Baixo, conforme definição do INEP². O teste foi aplicado no início do segundo semestre, ou seja, depois de um semestre de estudos em aulas convencionais sobre eletricidade e magnetismo utilizando o volume 3 da obra Física: Interação e Tecnologia (GONÇALVES FILHO; TOSCANO, 2013). Na verdade, as aulas fugiram um pouco do convencional, na medida em que além do estudo do material contido no livro-texto, os alunos consultaram textos de revistas científicas, assistiram vídeos e animações, e demonstrações experimentais foram apresentadas e analisadas (Detalhes no Apêndice B).

Os resultados obtidos com as duas amostras são apresentados em porcentagem de acertos na Tabela 3.1. As respostas com índice 1 correspondem à amostra EnsMed,

²http://download.inep.gov.br/informacoes_estatisticas/indicadores_educacionais/2011_2013/nivel_socioeconomico/nota_tecnica_indicador_nivel_socioeconomico.pdf

enquanto aquelas com índice 2 correspondem à amostra FisII. O teste do chi-quadrado (χ^2) foi realizado para verificar se os dois grupos são amostras de populações com a mesma distribuição de frequência nas alternativas de cada questão. Os valores de χ^2 , bem como os respectivos níveis de significância (ns) também são apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Resultados percentuais do Teste SMA aplicados em: (a) uma turma do ensino médio de uma escola de Maracanaú (Ce), com índice INSE Médio Baixo. Respostas A1, B1 e C1; (b) uma turma de Física II-C dos cursos de engenharia da UFRGS.

Questão / Opção	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
A1	0	7*	75	50*	6	16	3	41	47*	19	75	75	6*	6
B1	0	9	25*	44	13*	78*	94	38	15	12	3*	3*	69	69
C1	100*	84	0	6	81	6	3*	21*	38	69*	22	22	25	26*
A2	10	69*	26	62*	8	7	40	27	87*	3	13	31	79*	13
B2	2	26	70*	31	75*	70*	22	28	12	9	38*	38*	9	25
C2	88*	5	4	8	17	23	38*	45*	1	88*	49	31	12	58*
χ^2	4,4	98,4	27,0	1,7	49,7	6,3	57,0	5,5	45,4	12,9	51,2	23,7	69,8	17,2
ns	0,12	0,00	0,00	0,43	0,00	0,04	0,00	0,07	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00

A1, B1, C1 (Ensino Médio). A2, B2, C2 (Física II-C). * - frequência na resposta correta. ns é o nível de significância no teste χ^2 .

A média de acertos da FisII foi 9,03, enquanto da EnsMed foi 5,31. O teste t para esses dois resultados forneceu $t = 8,96$, com $ns < 0,001$. Portanto, do ponto de vista de média de acertos essas duas amostras são significativamente diferentes. Outro parâmetro de comparação entre as amostras é o valor de χ^2 . Como se sabe, quanto mais alto o valor obtido para o χ^2 , mais discrepantes são as duas distribuições de frequências. Nesse sentido, comparamos as duas amostras separando as questões em três grupos: (1) questões para as quais $\chi^2 \leq 10$ (questões 1, 4, 6, 8); (2) questões com valores intermediários de χ^2 , ou seja $10 < \chi^2 \leq 50$ (questões 3, 5, 9, 10, 12, 14); (3) questões para as quais $\chi^2 > 50$ (questões 2, 7, 11, 13).

Sete alunos, cujas respostas mostraram forte indicação da presença de concepções alternativas foram entrevistados pelo Prof. Carlos Alberto dos Santos, utilizando a ferramenta WhatsApp e seguindo procedimentos similares àqueles sugeridos na literatura (DOMINGUEZ; MOREIRA, 1988; LUCARIELLO; NAFF, 2012; POSNER;

GERTZOG, 1982). As entrevistas clínicas realizadas nesse estudo, integralmente apresentados no Apêndice C, têm o único objetivo de detectar com maior precisão as concepções alternativas sugeridas pelos alunos no teste escrito. Nesse sentido, os questionamentos do entrevistador serão sempre feitos seguindo a linha de raciocínio de cada entrevistado, de modo a não interferir em sua estrutura mental.

Convém chamar a atenção para o fato de que nossa amostragem não permite um estudo estatístico confiável em termos da análise de consistência interna do teste, nem do grau de dificuldade do mesmo, uma vez que o número de respondentes é aproximadamente igual ao número de questões no teste. Todavia, várias das observações que apresentamos detalhadamente no Apêndice D, foram também relatadas em um estudo com o devido rigor estatístico, e replicado em diferentes países (ENGELHARDT, 1997; ENGELHARDT; BEICHNER, 2004).

O resultado mais notável obtido neste estudo talvez seja a confirmação da recorrência de concepções alternativas relatadas na literatura. Muitos dos artigos mencionados aqui referem-se a esse fenômeno, entre os quais podemos destacar o trabalho de Shipstone e colaboradores (SHIPSTONE *et al.*, 1988), que estudaram essa questão em cinco países europeus, e Solano e colaboradores (SOLANO *et al.*, 2002), que investigaram a persistência de concepções alternativas sobre circuitos elétricos de corrente contínua em alunos na faixa etária entre 11 e 18 anos, ou seja do ensino médio ao primeiro ano universitário.

Praticamente todos os resultados relatados por esses autores foram confirmados em nosso estudo (Apêndice D). Por exemplo, confirmou-se aqui a prevalência da ideia de que a bateria é uma fonte de corrente elétrica constante. Essa concepção equivocada gera outras concepções alternativas, como o raciocínio local e o raciocínio sequencial. Além disso, alguns alunos associam a corrente elétrica a um fluxo de energia. É provável que a concepção do consumo de corrente venha da ideia do consumo de energia em nosso cotidiano. Este é um resultado que deve ser seriamente considerado nas sequências didáticas do assunto. Há que se trabalhar a discriminação entre corrente elétrica e energia.

Outro resultado notável, ao qual devemos dar muita atenção em estudos dessa natureza, é a falta de consistência nas respostas ao teste escrito. Por exemplo, todos os alunos da turma EnsMed acertaram a primeira questão do teste, sugerindo a inexistência da ideia do consumo de corrente. Mas, na entrevista alguns mudaram a resposta e exibiram a concepção alternativa. Também apresentaram indícios da ideia do consumo de

corrente (ou de energia), exibindo inconsistência no raciocínio, ao responder a segunda questão, que difere da primeira apenas pela substituição de uma das lâmpadas por uma resistência. Aparentemente, alguns alunos não percebem que uma lâmpada incandescente é apenas um resistor. Quando um resistor é colocado no circuito, a ideia do consumo de corrente emerge mais facilmente.

O teste escrito e as entrevistas salientam uma questão que deve ser cuidadosamente examinada nas sequências didáticas, qual seja a falta de correlação entre dispositivos elétricos reais (fios, lâmpadas, baterias, etc) e suas representações gráficas nos circuitos. Esse caso é particularmente relevante para os interruptores. As entrevistas com os sete alunos sugerem que poucos alunos sabem a função de um interruptor.

Capítulo 4 – Sobre o produto educacional e a intervenção didático-pedagógica

4.1 – Introdução

Estamos tratando aqui de um projeto de intervenção didático-pedagógica incluindo:

1. Um semestre de aulas convencionais sobre eletricidade e magnetismo, apoiado no livro-texto adotado na escola (GONÇALVES FILHO; TOSCANO, 2013);
2. Investigação de concepções alternativas sobre circuitos elétricos simples, apresentadas por alunos depois da experiência de aprendizagem dos conceitos, utilizando o teste SMA, elaborado e validado por Silveira e colaboradores (SILVEIRA; MOREIRA; AXT, 1989);
3. Utilização de uma *sequência didática* similar às unidades de ensino potencialmente significativas propostas por Moreira (2011).

A nossa UEPS tem como objetivo principal abordar qualitativamente conceitos avançados de eletricidade e magnetismo a partir de uma *metodologia de aprendizagem baseada em projetos*. Durante a intervenção didática os alunos projetaram e implementaram uma bobina de Tesla e um detector de metais utilizando-se unicamente de componentes extraídos de computadores fora de uso no almoxarifado da escola.

Referenciais teóricos pertinentes ao tema foram abordados nos capítulos anteriores, assim como os resultados obtidos com a investigação de concepções alternativas. Neste capítulo trataremos unicamente da abordagem didática convencional do primeiro semestre, e da aplicação da UEPS no segundo semestre.

4.2 – Estrutura da UEPS usada no presente produto educacional

A sequência didática utilizada neste produto educacional, intitulada *Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) sobre Circuitos Elétricos* (Apêndice B), foi elaborada e implementada com a seguinte estrutura:

1. Aula inaugural:
 - a. Apresentação da abordagem pedagógica conhecida como Ensino Baseado em Projetos (EBP), com a definição dos objetivos:

- i. Construir uma bobina de Tesla;
 - ii. Construir um detector de metais;
 - iii. Utilizar unicamente componentes extraídos de computadores fora de uso.
 - b. Sorteio dos projetos entre grupos de alunos, conforme detalhado a seguir.
2. As duas aulas seguintes foram usadas para a discussão de situações-problema estruturantes:
 - a. Foi apresentada a questão ambiental do lixo eletrônico, e solicitado que os alunos elaborassem textos a respeito de soluções adequadas para o descarte e reaproveitamento desse tipo de material de modo a propiciar um desenvolvimento sustentável.
 - b. Foram discutidas as seguintes questões relacionando o conteúdo estudado no primeiro semestre e o cotidiano:
 - i. Onde podemos encontrar circuitos elétricos?
 - ii. Todos os circuitos elétricos são iguais? O que os faz ser diferentes?
 - iii. A eletricidade e o magnetismo são dois ramos individuais da Física ou estão inter-relacionados?
 - iv. Existem outras ciências que se dedicam ao estudo dos circuitos elétricos?
3. O restante do curso, conforme detalhamento na seção seguinte, foi dedicado a:
 - a. Obtenção dos componentes para a execução do projeto, por meio da desmontagem de computadores que se encontravam inativos no almoxarifado da escola (cada grupo ganhou um computador para desmontar);
 - b. Simultaneamente com a desmontagem, questões conceituais discutidas no primeiro semestre eram retomadas a partir dos componentes extraídos do computador;
 - c. Busca na Internet por dicas para a realização dos projetos (inúmeros vídeos estão disponíveis no Youtube sobre a montagem de bobinas de Tesla e detectores de metais);
 - d. Montagem do equipamento de acordo com o circuito selecionado por cada grupo, em leituras e consulta à Internet;
 - e. Discussões de cada grupo com o professor para tirar dúvidas técnicas e

- conceituais, bem como avaliar o progresso do projeto;
- f. Realização de uma oficina para uma discussão geral das atividades quando alguns grupos já estavam bem adiantados (aproximadamente na metade do semestre). Durante a oficina, membros desses grupos deram sugestões para que os outros superassem suas dificuldades.
 - g. Realização de um evento final, no qual cada grupo apresentou seu projeto, conforme detalhamento a seguir.

4.3 – Aplicação do produto educacional

4.3a – Pré-Teste

No início do ano letivo, um pré-teste (Apêndice A) foi aplicado para termos uma ideia, mesmo que qualitativa, da estrutura de conhecimento da turma em relação à eletricidade e ao magnetismo. Ter conhecimento desse cenário conceitual contribuiu para o planejamento de nossa intervenção didática. Dentre as questões de múltipla-escolha do pré-teste, apenas as questões 5 (sobre capacitor) e 9 (sobre motores elétricos) exibiram grande dispersão nas respostas. Como se vê na Tabela 4.1, 33% da turma entende que o capacitor “é um dispositivo de segurança, impedindo que correntes elétricas além de um valor limite permitido danifiquem um circuito”. Na questão 9, embora praticamente a metade tenha optado pela alternativa correta, é surpreendente que 19% da turma imagine que um liquidificador só pode funcionar com corrente contínua, e que 30% pense que equipamentos como o liquidificador transformem energia mecânica em energia elétrica. Concepções equivocadas como essas servem para orientar o planejamento didático, qualquer que seja o referencial teórico que o suporte.

Tabela 4.1 – Respostas percentuais do pré-teste. Respostas corretas assinaladas com (*).

Item	A	B	C	D
Questão				
5	22	19*	33	26
6	84*	4	4	8
7	4	8	88*	0
8	18	74*	4	4
9	47*	19	4	30
10	82*	14	4	0

Em relação às questões dissertativas, poucos alunos escreveram algo consistente com os conceitos de eletricidade e magnetismo. Apenas alunos que também fazem cursos em escolas técnicas (SENAI ou IFCE) conseguiram responder essas questões de modo coerente.

4.3b – Abordagem Inicial do conteúdo sobre eletricidade e magnetismo

Depois do pré-teste, e antes da aplicação da UEPS, isto é, ao longo do primeiro semestre, o conteúdo de eletricidade e magnetismo foi apresentado em aulas não convencionais, conforme cronograma apresentado na Tabela 4.2. Estamos classificando essa abordagem como não convencional porque levamos em consideração os resultados do pré-teste ao trabalhar com o material contido no livro-texto (GONÇALVES FILHO; TOSCANO, 2013), ao mesmo tempo em que os alunos consultaram textos de revistas de divulgação científica, assistiram vídeos e animações, e demonstrações experimentais foram apresentadas e analisadas. Tais recursos foram utilizados com a expectativa de que essa abordagem inicial propiciasse a emergência de subsunçores relevantes, conforme pressupõe Ausubel em sua teoria de aprendizagem significativa (AUSUBEL, 1960; MOREIRA, 1979). Esperava-se também que essa estrutura de subsunçores possibilitasse a compreensão dos projetos a serem executados no segundo semestre, e que essa compreensão facilitasse a elaboração e implementação dos projetos.

Além do conteúdo do livro didático adotado (Tabela 4.2), os alunos tiveram, ao longo do primeiro semestre, acesso a textos de divulgação científica (Tabela 4.3) e vídeos (Tabela 4.4), todos disponíveis na Internet.

Tabela 4.2 – Cronograma de aulas ministradas no primeiro semestre. Carga horária: 100 minutos semanais.

Data	Conteúdo
13/3	Apresentação geral do conteúdo a ser estudado, incluindo a apresentação da proposta de Ensino Baseado em Projeto, e que no segundo semestre os alunos deveriam elaborar e implementar dispositivos eletrônicos como parte integrante do processo avaliativo.
20/3	Conceitos Básicos de Eletrostática.
27/3	Corrente elétrica.
3/4	Resistores.
10/4	Geradores e receptores.
17/4	Noções de circuitos elétricos – parte 1.
24/4	Noções de circuitos elétricos – parte 2.
8/5	Aula experimental: alguns experimentos simples realizados com sucata tecnológica.
15/5	Campo magnético.
22/5	Força magnética.

29/5	Indução eletromagnética – parte 1.
5/6	Indução eletromagnética – parte 2.
12/6	Ondas eletromagnéticas e suas aplicações.
19/6	Divisão da turma em grupos de trabalho e apresentação dos projetos a serem desenvolvidos.
26/6	Aula experimental: alguns experimentos simples realizados com sucata tecnológica.

Tabela 4.3 – Textos de divulgação científica.

Título e resumo	Endereço
<i>Um desafio e tanto:</i> Estudantes do ensino médio em colégios de bom nível estão habilitados a montar circuitos elétricos simples. Fazer algo similar com DNA, cromossomos, genes, proteínas, bactérias, enzimas e outras moléculas é o que se pretende com a biologia sintética.	http://cienciahoje.org.br/coluna/um-desafio-e-tanto/
<i>Uma história de sorte e sagacidade:</i> Das válvulas a vácuo do início do século 20 aos <i>chips</i> atuais, a tecnologia passou dos circuitos eletrônicos nos quais praticamente todos os componentes estavam ao alcance da vista para os circuitos integrados, com milhares de transistores, em escala micrométrica e inacessíveis a olho nu.	http://cienciahoje.org.br/coluna/uma-historia-de-sorte-e-sagacidade/
<i>Perspectivas para reuso e reciclagem do lixo eletrônico:</i> O acelerado avanço tecnológico tem causado a obsolescência dos equipamentos eletrônicos num curto espaço de tempo. Oriundo do descarte de aparelhos eletrônicos, como computadores pessoais e celulares, entre outros, o lixo eletrônico é um problema cada vez mais aparente na sociedade atual.	http://limpezapublica.com.br/textos/iii-020_1.pdf

Tabela 4.4 – Vídeos sugeridos.

Tema abordado no vídeo	Endereço
Eletromagnetismo	https://www.youtube.com/watch?v=DJBu0WGPw4U
Como fazer um detector de metais CI 555	https://www.youtube.com/watch?v=YDQdtctWBbs
Como Fazer uma Mini Bobina de Tesla	https://www.youtube.com/watch?v=uA46GPy0qQ0
Projeto do IFRN coleta Lixo Eletrônico para descarte adequado	https://www.youtube.com/watch?v=Lp9iIQUO-Oo
10 coisas para fazer com computador velho	https://www.youtube.com/watch?v=VO3YwlqlyC0

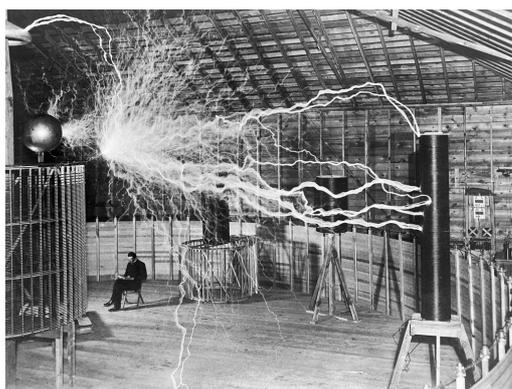
4.3c – Fundamentos da bobina de Tesla

Como recurso didático ou simples demonstração para o público leigo, o registro mais antigo a respeito da bobina de Tesla recuperado pelo *Google Acadêmico* data dos anos 1950 (KELLEY; DUNBAR, 1952; MILLER, 1958), mas o uso ficou restrito até os anos 1990, quando a literatura apresenta um aumento significativo de relatos de uso no for-

mato similar ao que foi aqui desenvolvido (BRUNS, 1992; SKELDON *et al.*, 2000). No Brasil, os primeiros registros datam de 1991 (ARRUDA; TOGINHO, 1991; LABURÚ, 1991), e o último é um interessante trabalho realizado no DF-UFSCAR (CHIQUITO; LANCIOTTI, 2000).

A profusão de vídeos atualmente existentes no *Youtube*, certamente tem a ver com o impacto que a bobina de Tesla causa em quem presencia seu funcionamento. Na Figura 4.1a, Tesla foi fotografado em seu laboratório, na cidade de Colorado Spring (EUA), por volta de 1899, ao lado de sua enorme bobina, capaz de gerar 12 megavolts, a uma frequência de 150 kHz e produzir uma faísca de aproximadamente 40 metros. Na Figura 4.1b, uma demonstração similar à que os alunos prepararam no presente trabalho, com equipamentos mais bem acabados.

Figura 4.1 – (a) Tesla em seu laboratório. Extraído em 20/6/2018, desse link³. (b) Bobina de Tesla excitando o gás em tubo de neônio. Extraído em 20/6/2018, desse link⁴.



(a)



(b)

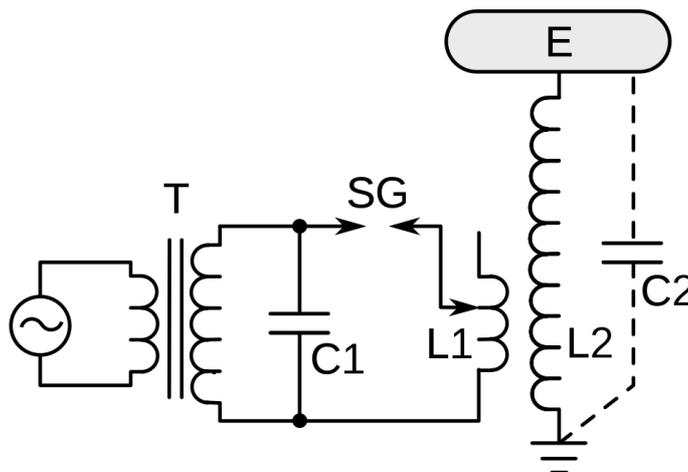
Além desse caráter lúdico, que não deixa de ter seu valor, a bobina de Tesla, inventada por Nikola Tesla em 1891, tem posição de destaque na história da eletricidade (SANTOS, 2011)⁵, e como recurso didático permite a discussão de importantes conceitos do eletromagnetismo, conforme veremos a partir de seu circuito básico (Figura 4.2).

³https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=tesla+coil&title=Special:Search&profile=default&fulltext=1&searchToken=2h9xx2creq6vmyohn1v1v1880#/media/File:Nikola_Tesla,_with_his_equipment_EDIT.jpg

⁴[https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=tesla+coil+glowing+neon+tube&title=Special:Search&profile=default&fulltext=1&searchToken=baim3jhp0i7q4dxc1vev8tu5i#/media/File:225W_Tesla_coil_-_arcs4_\(cropped\).jpg](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=tesla+coil+glowing+neon+tube&title=Special:Search&profile=default&fulltext=1&searchToken=baim3jhp0i7q4dxc1vev8tu5i#/media/File:225W_Tesla_coil_-_arcs4_(cropped).jpg)

⁵ Entrevista do prof. Carlos Alberto dos Santos ao programa Fronteiras da Ciência, da Rádio da UFRGS, sobre Tesla, encontra-se em http://multimedia.ufrgs.br/conteudo/frontdaciencia/Fronteiras_da_Ciencia-T03E11-Tesla-14.05.2012.mp3.

Figura 4.2 – Circuito básico de uma bobina de Tesla. Extraído em 20/6/2018, desse link⁶.



Podemos começar pela ideia de transformador, que foi objeto de uma questão no pré-teste: Um transformador é uma das aplicações do eletromagnetismo. Para que ele serve? Descreva seu funcionamento.” No circuito da Figura 4.2 temos dois transformadores, o primeiro sinalizado com T, e o outro constituído pelas bobinas L1 e L2. Um fato histórico importante, é que foi no desenvolvimento de equipamentos como esse, que Tesla inventou o transformador.

Então, é interessante discutir esse circuito realizando uma espécie de confronto com as respostas dos alunos, entre as quais podemos destacar:

- ❖ um transformador transforma uma energia pequena numa energia grande;
- ❖ um transformador aumenta ou diminui a potência da energia;
- ❖ o transformador tem como objetivo não queimar o aparelho;
- ❖ o transformador controla a força e o calor da eletricidade”.

Alguns relacionaram o transformador com a tensão. Apenas um deles comentou como seria possível a elevação ou redução de uma tensão por esse dispositivo. Depois verificamos que paralelamente ao curso de ensino médio, esses alunos estavam inseridos em cursos profissionalizantes no IFCE OU SENAI.

O segundo aspecto a ser destacado no circuito da Figura 4.2, é a possibilidade de discussão do mecanismo pelo qual se dá o aumento de voltagem nos transformadores, ou seja a discussão da lei de indução de Faraday, um fenômeno de grande relevância

⁶https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=tesla+coil&title=Special:Search&profile=default&fulltext=1&searchToken=2h9xx2creq6vmyohn1vlvl880#/media/File:Tesla_coil_circuit.svg

para incontáveis aplicações tecnológicas, e que estava presente no pré-teste: “Como uma corrente em uma bobina gera corrente em outra que não esteja a ela conectada?”

Como era de se esperar, a maioria da turma deixou essa questão em branco.

Essa foi a questão mais complicada do teste e isso se refletiu no fato de que a maioria da turma deixou em branco. Das poucas respostas, destaca-se “*a energia de uma passa para a outra pelas ondas magnéticas*”, “*as bobinas se atraem pois a eletricidade pode puxar alguns metais*”. Dois alunos citaram o fenômeno da indução eletromagnética. Novamente verifiquei que estes últimos alunos citados, paralelamente ao curso de ensino médio também eram alunos do IFCE ou do SENAI.

No circuito da Figura 4.2, E representa um toróide que normalmente é colocado nas bobinas usadas para exibição, como veremos na seção 4.3e. SG significa *spark gap*, ou seja espaço de fâisca, ou centelhador. C2 não é um capacitor real. É apenas a representação da capacitância distribuída no conjunto indutor L2-toróide E-terra. Embora não tenha sido colocada no circuito, também existe uma resistência distribuída, de modo que o circuito secundário é de fato um circuito RLC. Da mesma forma, o circuito primário é RLC, porque sempre existe resistência distribuído em associações de componentes elétricos, como capacitores e indutores. Valores típicos para uma bobina são, dependendo das dimensões que se deseje: (a) L1, 1 a 15 espiras; (b) L2, 50 a 1000 espiras ; (c) C1, 20 kV (JOHNSON, 1990). Mais adiante veremos a equivalência desse circuito com aquele utilizado pelos alunos.

Embora a abordagem formal dos circuitos RL, RC e RLC não seja usual no ensino médio, noções qualitativas a respeito desses circuitos podem ser apresentadas, e a bobina de Tesla é bastante apropriada para isso. Uma forma de tratar esse tema é descrever como funciona o circuito da Figura 4.2. No nosso caso isso foi feito enquanto os alunos estavam envolvidos com a execução dos projetos. As equações apresentadas serviram unicamente como âncora, uma espécie de ponte intuitiva entre a abordagem qualitativa e a estrutura formal do eletromagnetismo. Em nenhum momento essas equações foram usadas operacionalmente.

Quando o circuito é ligado, o capacitor começa a ser carregado (pausa para explicar o que seja *capacitor carregado*). Quanto mais carga no capacitor, maior a diferença de potencial entre suas placas. Ou seja,

$$V = \frac{q}{C} \quad (4.1)$$

onde V é a diferença de potencial entre as placas, q é a carga acumulada nas placas, e C é a capacitância do capacitor, uma propriedade que depende da geometria do capacitor e do material (*dielétrico*) colocado entre as placas. Capacitores extraídos dos computadores foram usados para aprofundar essa questão da geometria e do dielétrico.

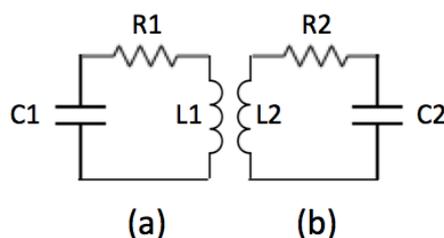
A imagem mais intuitiva que temos do capacitor é que ele é um acumulador de cargas. Se depois de acumuladas essas cargas forem liberadas, elas poderão realizar trabalho. Portanto, podemos associar ao capacitor uma energia potencial elétrica, que depende da carga acumulada e da capacitância. Na verdade, por causa da equação (4.1), a energia acumulada no capacitor é dada por

$$E = \frac{cV^2}{2}. \quad (4.2)$$

Quando V atinge um valor capaz de quebrar a rigidez dielétrica do centelhador, SG, a corrente começa a passar pelo ramo que antes estava aberto. Antes de prosseguir, o professor deve fazer uma pausa para discutir o que seja rigidez dielétrica de um material isolante, e discutir o estado de curto-circuito, que foi abordado no teste SMA. No caso em pauta, o professor deve discutir o processo de ionização do ar e o consequente estado de curto-circuito do centelhador.

No momento que o SG entra em curto, ou seja no momento em que começam a surgir as centelhas, o capacitor começa a transferir sua energia para a bobina (indutor) L1. Para discutir o fenômeno, vamos usar o circuito da Figura 4.3. Conforme já dissemos acima, as resistências R1 e R2, assim como o capacitor C2 não representam componentes reais, colocados no circuito. Representam componentes capacitivas e resistivas sempre presente em circuitos elétricos.

Figura 4.3 – Circuito agrupado da bobina de Tesla: (a) circuito primário com o centelhador em curto; (b) circuito secundário, onde encontra-se a bobina maior.



O processo de transferência de energia de C1 para L1 se faz via uma corrente elétrica. Quando essa corrente atravessa L1, ela produz um campo magnético variável

em suas proximidades. Esse campo magnético variável vai atravessar L2. Pela lei da indução eletromagnética de Faraday-Lenz, a variação desse campo magnético vai induzir uma corrente através de L2, o que significa dizer que haverá uma força eletromotriz induzida proporcional à variação do fluxo do campo magnético. O valor dessa força eletromotriz, ou dessa voltagem é proporcional ao número de espiras na bobina. Como a bobina secundária tem muito mais espiras que a primária, o processo resulta em um aumento de voltagem, conforme a relação

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad (4.3)$$

onde $V(1,2)$ e $N(1,2)$ representam, respectivamente, a voltagem e o número de espiras na bobina primária e na secundária. Embora o cálculo real seja mais complicado do que a equação (4.3), essa expressão dá uma ideia dos valores. O fato é que a voltagem na bobina L2 é muito maior do que na L1.

Quando C1 descarrega e a voltagem atinge o valor mínimo para quebrar a rigidez dielétrica do ar, SG abre e o processo reinicia. Ou seja, o funcionamento de uma bobina de Tesla gera pulsos de voltagem, com uma frequência que depende dos valores dos componentes utilizados no circuito, tipicamente na faixa entre 80 kHz e 500 kHz.

Cada um dos circuitos LC da Figura 4.3 funciona como um oscilador eletromagnético, com frequência dada pela equação 4.4:

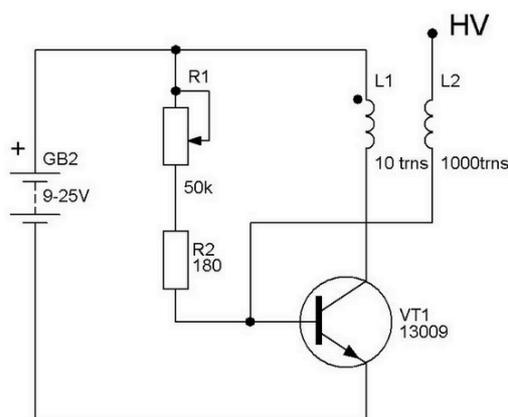
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4.4)$$

A voltagem de saída das bobinas de Tesla usadas em demonstrações é tão grande que é capaz de acender uma lâmpada fluorescente colocada nas proximidades da bobina. Isso ocorre porque qualquer tubo com um gás em baixa pressão, como as lâmpadas fluorescentes e néon, apresenta descarga luminosa quando submetida a uma alta tensão, cujo valor depende, essencialmente, do tipo de gás e da pressão.

Para concluir esta seção, devemos chamar a atenção para um detalhe importante. O centelhador nos circuitos clássicos da bobina de Tesla serve como um chaveamento controlado por voltagem. Abre ou fecha dependendo do valor da voltagem. Então o capacitor e o centelhador funcionam como um oscilador, gerando pulsos de corrente. Isso pode ser feito de modo mais controlado e mais simples para montar, substituindo o capacitor e o centelhador por transistores 2N2222, ou BC548, ou BC337, que são osciladores de estado sólido. Então, quando o transistor está *ligado*, ou no estado *ON*, ele deixa a corrente passar para a bobina primária. Quando ele está *desligado*, ou no estado *OFF*, a bobina libera a corrente. Esse processo gera uma corrente alternada, que por sua

vez induz uma corrente alternada na bobina secundária. Ou seja tudo isso gera um campo eletromagnético oscilante nas proximidades da bobina secundária. Com essa modificação, a bobina de Tesla é geralmente denominada de bobina de Tesla de estado sólido, e o circuito é esse apresentado na Figura 4.4.

Figura 4.4 – Circuito de uma bobina de Tesla de estado sólido. Extraído em 20/6/2018, de <<http://www.instructables.com/id/Simple-Tesla-Coil/>>.



4.3d – Fundamentos do detector de metais

Da mesma forma que a bobina de Tesla, o detector de metais também é muito popular na Internet. Ambos os dispositivos prestam-se à exploração de conceitos importantes do eletromagnetismo, sobretudo quando utilizados em conjunto, pois ambos têm a lei de indução eletromagnética de Faraday-Lenz como fundamento de seus funcionamentos.

Utilizamos a *Web of Science (WoS)* e o Google Acadêmico na busca que fizemos por trabalhos acadêmicos sobre esse dispositivo. Só conseguimos recuperar três referências em português relevantes para o nosso trabalho. A mais antiga é um artigo de Newton C. Braga, publicado em 1977 na Revista Saber Eletrônica (BRAGA, 1977). E a mais recente é um relatório de uma disciplina de graduação em física da Unicamp, em 2009 (SCHENKEL, 2009). A terceira referência é um trabalho do Departamento de Engenharia Eletrônica da UFMG, a respeito de ensino orientado por projeto nas disciplinas de graduação Laboratório de Eletrônica I e Laboratório de Controle I, no qual os autores afirmam que a construção de um detector de metais fez parte do programa dessas disciplinas, sem no entanto detalhar como isso se deu na prática (DONOSO-GARCIA; TÔRRES, 2007). Excetuando o artigo de Newton Braga, supra mencionado, não encontramos qualquer referência em português facilmente acessível, que descreva os fundamentos do detector de metais. Até mesmo o artigo *Detector de Metais*, disponível na

versão brasileira da Wikipedia⁷ contém menos informações do que o homônimo na versão em inglês⁸.

Por outro lado, a literatura em inglês contém inúmeras referências, mas nem todas são estritamente relevantes para o nosso trabalho, uma vez que tratam de aspectos técnicos fora do escopo do presente trabalho e muito acima do nível que devemos considerar aqui. Então, fizemos uma filtragem dessa literatura e selecionamos apenas cinco artigos absolutamente aderentes aos nossos objetivos didático-pedagógicos, quer seja por causa do contexto histórico que apresentam (TURNER, 1984), pelo caráter de divulgação científica que dão ao assunto (TYSON, 2018) ou pelas abordagens didáticas (GOLEMSHINSKI, 2015; JAWAD; JAWAD; HOCK, 2014; MCNEIL, 2004; MORELAND, 1999; WESSELS; PALAG, [S.d.]).

Na bobina de Tesla, tem-se a amplificação da voltagem de entrada por intermédio da lei da indução eletromagnética de Faraday-Lenz. Como veremos na sequência, no detector de metais construído pelos alunos, tem-se a alteração de frequência por intermédio da lei de Faraday-Lenz, quando uma bobina encontra-se nas proximidades de um objeto metálico. É bastante instrutivo comparar esses dois casos de ocorrência dessa famosa lei, que constitui uma das quatro equações de Maxwell para o eletromagnetismo.

Existem três maneiras básicas de se detectar metais fazendo uso da lei de indução eletromagnética de Faraday-Lenz. Elas são conhecidas pelas siglas em inglês (TYSON, 2018): VLF, PI, BFO. Além da literatura especializada, inúmeros portais na Internet discutem esses detectores. Aos interessados recomendamos esse do Wikihow, escrito em português: <https://pt.wikihow.com/Construir-um-Detector-de-Metals>.

Antes de detalharmos cada uma dessas tecnologias, vejamos os fundamentos básicos que estão por trás de todas elas. Esses fundamentos também são usados na bobina de Tela, mas na seção anterior só fizemos referência a eles naquilo que era absolutamente indispensável para a descrição qualitativa do funcionamento da bobina de Tesla. Aqui faremos uma abordagem mais detalhada desses fundamentos, em nível similar àquele dos cursos básicos de licenciatura em física (HALLIDAY; RESNICK, 1981). Não custa lembrar que essa abordagem não foi utilizada no produto educacional. Ela nos serve de guia para a devida transposição didática a ser usada em nosso projeto didático-pedagógico.

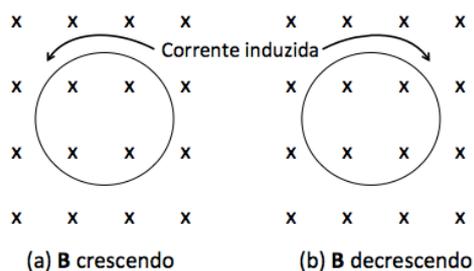
⁷ https://pt.wikipedia.org/wiki/Detector_de_metals.

⁸ https://en.wikipedia.org/wiki/Metal_detector.

4.3d1 – Leis de Faraday e de Lenz

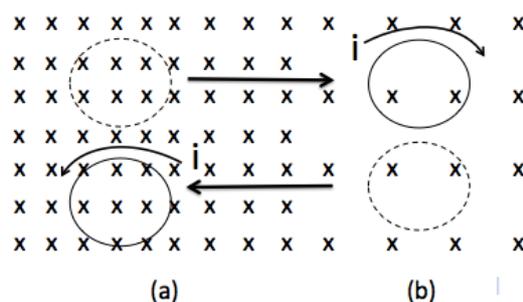
Sempre que uma espira condutora ou uma bobina constituída de N espiras for atravessada por um campo magnético variável, uma corrente elétrica surgirá por força da lei da indução eletromagnética, descoberta em 1831, praticamente ao mesmo tempo por Michel Faraday, na Inglaterra, e por Joseph Henry, nos EUA. Três anos depois, o russo Heinrich Lenz apresentou um argumento para justificar a descoberta de Faraday-Henry. Alguns autores denominam a descoberta como lei de Faraday, outros como lei de Faraday-Lenz. A Figura 4.5 ilustra bem a situação experimental. A espira condutora está imóvel, enquanto o módulo do campo magnético, B , cresce com o tempo em (a) e decresce em (b).

Figura 4.5 – Corrente induzida em função da variação temporal do campo magnético. O símbolo x representa um campo magnético, \mathbf{B} , “entrando” no plano da espira. Em (a) o módulo desse campo cresce, enquanto em (b) ele decresce. Em (a) a corrente induzida na espira tem sentido anti-horário, enquanto em (b) o sentido é horário.



Faraday descobriu que na situação representada na Figura 4.5, a corrente induzida tem sentido anti-horário quando o módulo de B cresce, e sentido horário quando B decresce. A Figura 4.5 pode levar a uma concepção equivocada do fenômeno. Não é exatamente a variação do campo magnético que induz a corrente na espira. É a variação do fluxo do campo magnético através da espira. Vejamos outra situação em que ocorre esse fenômeno. Por exemplo, o caso de um campo magnético estável e inhomogêneo. Ou seja, seu módulo não varia com o tempo, mas a densidade de suas linhas de campo varia no espaço, como ilustra a Figura 4.6. Se uma espira se desloca da região de maior densidade (Figura 4.6a) para a de menor, o fluxo magnético através de sua área diminui, de modo que a corrente é induzida no sentido horário. Por outro lado, se a espira se desloca no sentido contrário, de (b) para (a), o fluxo aumenta e a corrente induzida tem o sentido anti-horário.

Figura 4.6 – Campo magnético estável e espacialmente inhomogêneo. Em (a) a densidade de linhas de campo é maior do que em (b).



Na verdade, essa corrente surge por causa de uma força eletromotriz (fem) induzida. A partir de suas observações experimentais, Faraday estabeleceu a lei que ficou conhecida como Lei de Faraday, e que pode ser expressa assim (HALLIDAY; RESNICK, 1981, cap. 32):

A fem induzida num circuito é igual (exceto por mudança no sinal) à taxa pela qual o fluxo magnético através do circuito está mudando com o tempo.

Na forma de uma equação, essa lei é expressa assim:

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi_B}{dt}. \quad (4.5)$$

Lenz interpretou o significado do sinal negativo através da lei que ficou conhecida como Lei de Lenz (HALLIDAY; RESNICK, 1981, cap. 32):

Uma corrente induzida surgirá numa espira condutora fechada com um sentido tal que ela se oporá à variação que a produziu.

Vamos detalhar o experimento ilustrado na Figura 4.6, à luz da Lei de Lenz. Quando a espira sai de (a) para (b), diminui o fluxo do campo magnético através de sua área. Então, a corrente induzida deverá se opor a essa diminuição. Essa oposição se manifesta pela produção de um campo magnético que aumente o fluxo. Ou seja de um campo magnético que também aponte para “dentro” da folha de papel. Portanto a corrente induzida terá que ter o sentido horário, pois só assim ela cria um campo magnético que também aponta para “dentro” da folha, e reforçará o campo magnético externo, aumentando o fluxo.

4.3d2 – Influência do meio no valor do campo magnético e nas propriedades de uma bobina

Nas seções anteriores, abordamos qualitativamente a produção de um campo magnético por uma bobina, e de como esse campo magnético induz o surgimento de uma corrente induzida em uma bobina que esteja próxima da primeira. Por sua vez, essa corrente induzida produzirá um campo magnético associado à segunda bobina.

Para entender o funcionamento de um detector de metais que faz uso do fenômeno da indução eletromagnética, é necessário responder à seguinte questão: existindo um campo magnético em determinada região do espaço, como seu valor é alterado pela presença de determinados materiais?

Esses materiais que interferem no valor de um campo magnético são genericamente conhecidos como materiais magnéticos, e são classificados em três tipos: paramagnéticos, diamagnéticos e ferromagnéticos (MÁXIMO; ALVARENGA, 2006, cap. 23). Para discutirmos o funcionamento de um detector de metais, é suficiente fixarmos nos materiais ferromagnéticos.

As propriedades magnéticas dos materiais têm origem no spin dos elétrons, e o tipo de material magnético é determinado pela sua estrutura eletrônica. No caso dos materiais ferromagnéticos todos os seus spins orientam-se no mesmo sentido, e portanto criam um campo magnético, em duas situações: quando o material está abaixo de uma certa temperatura, conhecida como a temperatura de Curie do material, ou quando esse material é submetido a um campo magnético externo. Neste caso, o campo magnético externo faz surgir um campo magnético no interior do material, e este campo soma-se ao campo externo para resultar num campo muito maior. Esse é o princípio do eletroímã, quando uma barra de ferro ou outro material ferromagnético é colocada no interior de uma bobina. Essa barra concentra as linhas de força magnética e a consequência é o aumento no valor da indutância, L , da bobina⁹. Variando a indutância varia-se a frequência do circuito RLC.

Em suma, qualquer material ferromagnético colocado nas proximidades de um circuito RLC, modifica sua frequência. Esse é o fenômeno que está por trás de qualquer detector de metais.

⁹ Uma discussão mais detalhada do que no livro da Beatria Alvarenga, encontra-se neste endereço: <<https://www.allaboutcircuits.com/textbook/direct-current/chpt-15/factors-affecting-inductance/>>, acessado em 20/6/2018.

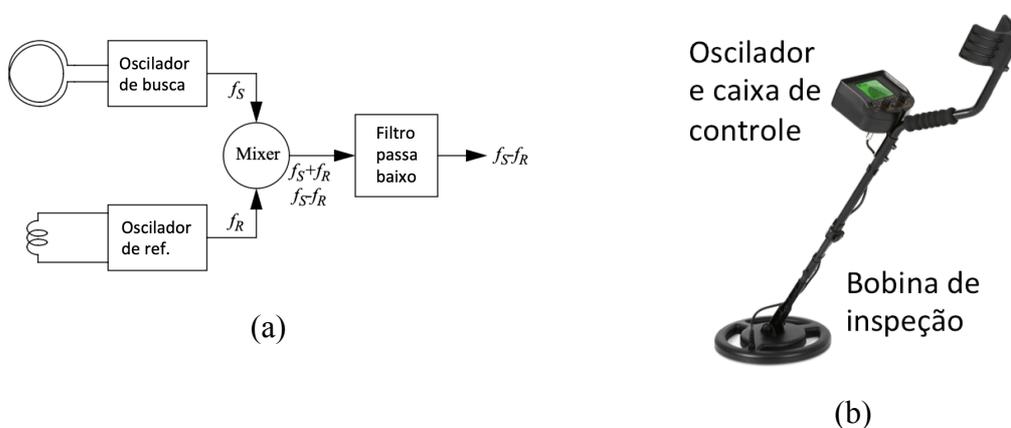
4.3d3 – Modelos usuais de detectores de metal

a) BFO – Oscilador de frequência de batimento

BFO é a sigla para *beat-frequency oscillator*. É a forma mais básica e intuitiva de um detector de metais. Liderou o mercado nos anos 1960-1970, mas atualmente está praticamente fora de uso profissional, embora ainda seja muito útil em atividades de ensino (MORELAND, 1999). Seu princípio de funcionamento está esquematizado na Figura 4.7a. O sistema é composto de duas bobinas (osciladores) e de uma eletrônica associada. Como o nome sugere, a bobina de inspeção é colocada nas proximidades do local onde supostamente encontra-se o metal, e a bobina de referência é quem gera o sinal que vai indicar ou não a presença do metal. Essa bobina de referência juntamente com a eletrônica associada são instaladas numa caixa que fica na parte superior do detector (Figura 4.7b).

Uma corrente gerada pelo sistema eletrônico percorre as duas bobinas, de tal modo que sejam iguais as suas frequências de oscilação eletromagnética (equação 4.4). O sistema eletrônico capta e compara os sinais de cada um desses osciladores, de modo a isolar o sinal correspondente à diferença de frequência. Como no início da operação as duas frequências são iguais, não há sinal. Quando a bobina de inspeção aproxima-se de um metal, sua indutância altera-se, como discutido acima, e em consequência sua frequência (equação 4.4) muda. O sistema eletrônico é construído de tal modo que uma pequena diferença de frequência gere um sinal audível, por exemplo entre 500 Hz e 1 kHz.

Figura 4.7 – Detector de metais BFO: (a) circuito básico, extraído de (MORELAND, 1999); (b) equipamento comercial, extraído de <<https://popular.reviews/metal-detector/>>, em 20/6/2018.



b) VLF – Balança de indução

VLF é a sigla para *Very Low Frequency*, também conhecido como balança de indução. Provavelmente é a tecnologia mais popular em uso atualmente (TYSON, 2018). As duas bobinas são colocadas concentricamente, no mesmo plano (Figura 4.8). A bobina externa é denominada bobina transmissora, e a interna é a receptora. Uma corrente alternada circula na bobina externa, e poderia por indução eletromagnética gerar outra corrente alternada na bobina interna. No entanto a bobina interna é blindada em relação ao campo magnético criado pela bobina externa. Então, o sistema funciona assim: o campo magnético oscilante da bobina externa orienta os domínios magnéticos dos materiais a serem detectados, fazendo com que esses materiais criem um pequeno campo magnético oscilante. É esse pequeno campo magnético induzido que a bobina interna capta por meio de uma corrente elétrica induzida. Essa informação é enviada para o sistema eletrônico de controle. Uma característica interessante desse sistema, é que ele possibilita a distinção de diferentes tipos de metais, mas os fundamentos desse processo estão muito acima do nível da disciplina e não foram discutidos com os alunos.

Figura 4.8 – Detector de metal VLF comercial, extraído de <<http://www.westcoastminingsupply.com/bounty-hunter/the-metal-detector-vlf>>, em 20/6/2018.



c) PI – Indução de pulso

Trata-se de um modelo não muito usual, e que funciona com um complexo sistema eletrônico para geração e controle de pulsos rápidos e potentes (Figura 4.9). Ao contrário dos modelos anteriores, o detector PI funciona com uma única bobina, que serve como transmissora e receptora. Quando cada pulso termina, há uma autoindução na bobina do sistema, gerando um pulso de corrente rápido, de aproximadamente 30 microssegundos (TYSON, 2018), denominado *pulso refletido*. Um detector PI típico, é capaz de produzir cerca de 100 pulsos por segundo.

Se o detector estiver acima de um material magnético, ele induz um campo magnético no material que é oposto ao gerado pelo detector. A consequência disso, é

que o campo magnético induzido no material vai fazer com o próximo pulso refletido seja mais longo. É um fenômeno similar ao eco. Então, o sistema eletrônico analisa o tamanho dos pulsos refletidos. Se esse tamanho aumentar, é porque existe material magnético sob a bobina do detector.

Figura 4.9 – Detector de metal PI comercial, extraído de <<https://www.hobby-hour.com/electronics/s/surfmaster-pi-metal-detector.php>>, em 20/6/2018.



4.3d4 – Detector de metais com circuito integrado 555

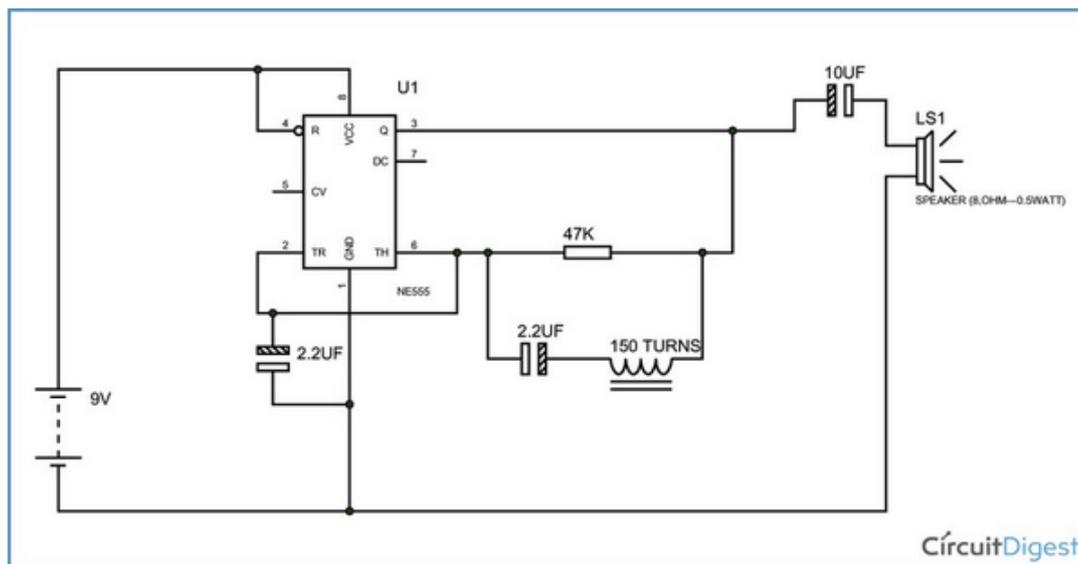
Os dois modelos de detectores mais comuns, o BFO e o VLF funcionam com princípios similares. Existem duas bobinas, uma transmissora e uma receptora. Essas bobinas constituem osciladores eletromagnéticos, de modo que uma corrente em uma delas gera corrente induzida na outra, que é a bobina usada para detectar o metal. Os dois osciladores estão eletronicamente acoplados, de modo que na ausência de material magnético eles oscilam na mesma frequência. Na presença de material magnético, os osciladores oscilam com frequências diferentes, fato que é identificado pelo sistema de controle eletrônico.

Algo parecido com isso pode ser feito com uma única bobina sensora e um circuito integrado que funcione como oscilador. Foi essa alternativa que os alunos escolheram, depois de pesquisas na Internet. O circuito integrado mais usado para isso é o 555, amplamente discutido na literatura especializada (GOYAL, 2015) e na Internet¹⁰.

O circuito básico de um detector de metais com CI 555 é apresentado na Figura 4.10. Nessa proposta, a bobina de detecção, construída com 150 espiras, faz parte de um circuito RLC, com $R=47\text{ k}\Omega$ e $C=22\text{ }\mu\text{F}$. Vejamos como funciona esse circuito.

¹⁰ https://en.wikipedia.org/wiki/555_timer_IC, acesso em 21/6/2018; <http://www.circuitstoday.com/555-timer#block-diagram>, acesso em 21/6/2018.

Figura 4.10 – Circuito básico de um detector de metais com CI 555, extraído de <<https://circuitdigest.com/electronic-circuits/simple-metal-detector-circuit>>, em 20/6/2018.



O CI 555 funciona como um gerador de onda quadrada, com frequência na faixa audível aos humanos. O circuito RLC tem uma frequência ajustável para um certo valor quando está na ausência de material condutor no interior da bobina. Conforme discutido acima, se um material metálico for colocado no interior ou nas proximidades da bobina, sua indutância, L , aumenta, variando a frequência do circuito RLC. O resultado é outro tipo de som emitido pelo autofalante.

Portanto, o princípio de funcionamento desse detector é exatamente o mesmo dos dois primeiros descritos acima.

4.4 – Implementação dos projetos dos alunos

Essa etapa do projeto teve início no segundo semestre, com a aplicação do teste SMA (SILVEIRA; MOREIRA; AXT, 1989) para investigar as concepções alternativas dos alunos em relação a circuitos elétricos simples, cujos resultados, publicados recentemente (ANDRADE *et al.*, 2018), foram reproduzidos resumidamente no Capítulo 3 e na sua versão completa no Apêndice D.

A UEPS foi aplicada depois do teste SMA, conforme sequência de eventos apresentada na seção anterior. A turma foi dividida em cinco grupos, cada um com seis alu-

nos. Coube a três grupos o desenvolvimento de uma bobina de Tesla, e aos outros dois, o desenvolvimento de um detector de metais, ambos os projetos deveriam ser realizados com componentes extraídos de computadores fora de uso no almoxarifado da escola.

À medida que os componentes iam sendo extraídos dos computadores (Figura 4.11), eu retomava questões conceituais discutidas no primeiro semestre, referentes àqueles componentes. Paralelamente à retirada dos componentes, os alunos realizavam buscas na Internet a respeito dos equipamentos que deveriam montar, e discutiam comigo a viabilidade de cada proposta que encontravam. Nos meus dias de planejamento na escola, no contra-turno dos alunos, eu sempre ficava à disposição dos mesmos no laboratório da escola e em inúmeras oportunidades tivemos encontros para tirar dúvidas. Tínhamos também o nosso grupo de whatsApp para troca de informações.

Figura 4.11. – Fase de desmontagem dos computadores.



Para simplificar nossas atividades, decidimos que os grupos utilizariam o mesmo circuito para cada um dos equipamentos. Para a confecção da bobina de Tesla decidimos seguir o vídeo disponível neste endereço¹¹, enquanto para o detector de metais optamos por este¹², embora outra boa alternativa encontra-se neste endereço¹³.

Ao mesmo tempo em que trabalhavam no planejamento e execução de seus projetos, os alunos tinham aulas, frequentemente no laboratório. Como os conceitos básicos pertinentes aos projetos haviam sido discutidos no semestre anterior, as aulas no laboratório eram bem práticas, com identificação de componentes, montagens, soldas, circuitos elétricos básicos, funcionamento de instrumentos de medidas. Na sala de aula os

¹¹ <https://www.marlonnardi.com/p/como-fazer-uma-mini-bobina-de-tesla.html>.

¹² <https://www.youtube.com/watch?v=T2eI8gmRxx0&feature=youtu.be>.

¹³ <http://www.bahiaemfocos.com.br/comofazeremcasa/como-fazer-um-detector-de-metais-ci-555-caseiro/>.

grupos se reuniam e discutíamos conceitos teóricos diretamente ligados aos projetos. Durante todo o período de nossa intervenção didática, ocorreu uma intensa interação entre os alunos, com reuniões no ambiente escolar e fora da escola. Com muita frequência os alunos me procuravam para superar suas dificuldades. Nesse processo interativo, os grupos mais adiantados ajudavam aqueles que enfrentavam maiores dificuldades.

Aproximadamente na metade do semestre, quando alguns grupos estavam mais adiantados do que outros, organizamos uma oficina para uma discussão geral do andamento dos projetos. Os alunos desses grupos mais adiantados passaram dicas para que os outros superassem suas dificuldades.

Quando todos os projetos foram concluídos, realizou-se um sorteio para a ordem de apresentação do trabalho realizado por cada grupo. A apresentação dos projetos foi realizada em uma das últimas aulas. Cabe destacar a colaboração entre as equipes nos dias que antecederam a apresentação dos projetos. Na seção 4.5 apresentarei a avaliação que realizamos ao final do ano letivo, na qual discutimos como esse produto educacional poderia ser aplicado em novas turmas.

4.4a – Montagem da bobina de Tesla com materiais de sucata eletrônica

O circuito da bobina de Tesla é similar àquele apresentado na Figura 4.4, confeccionado com os seguintes componentes:

1. Bateria de 9 volts.
2. Lâmpada Fluorescente para teste.
3. Transistor 2N2222.
4. Resistor de 22k (vermelho, vermelho, laranja, dourado) ou 27k cor (vermelho, violeta, laranja, dourado).
5. Acessórios diversos: base de madeira, cano $\frac{3}{4}$ com 8.4 cm de altura, conector/clip de bateria 9V, fita adesiva, fio esmaltado 28 awg, fio 0,3 mm ou 0,5 mm com mais de 30cm de comprimento.

A Figura 4.12 ilustra fases da montagem. Os componentes e ferramentas utilizados são apresentados na Figura 4.12a, enquanto a Figura 4.12b ilustra o momento em que os alunos encontram-se soldando alguns componentes.

Figura 4.12 – Montagem da bobina de Tesla: (a) componentes e ferramentas utilizados; (b) soldagem de parte do circuito.



(a)



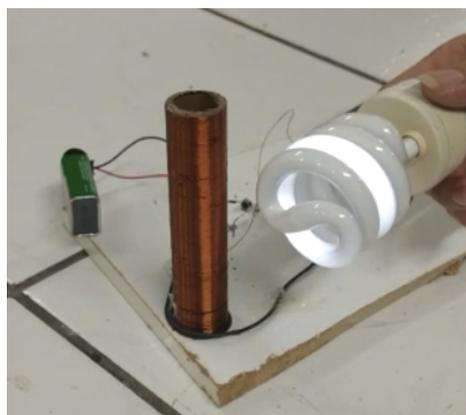
(b)

Testes com as duas bobinas construídas pelos alunos são apresentados na Figura 4.13.

Figura 4.13 – Teste das duas bobinas de Tesla construídas pelos alunos.



(a)



(b)

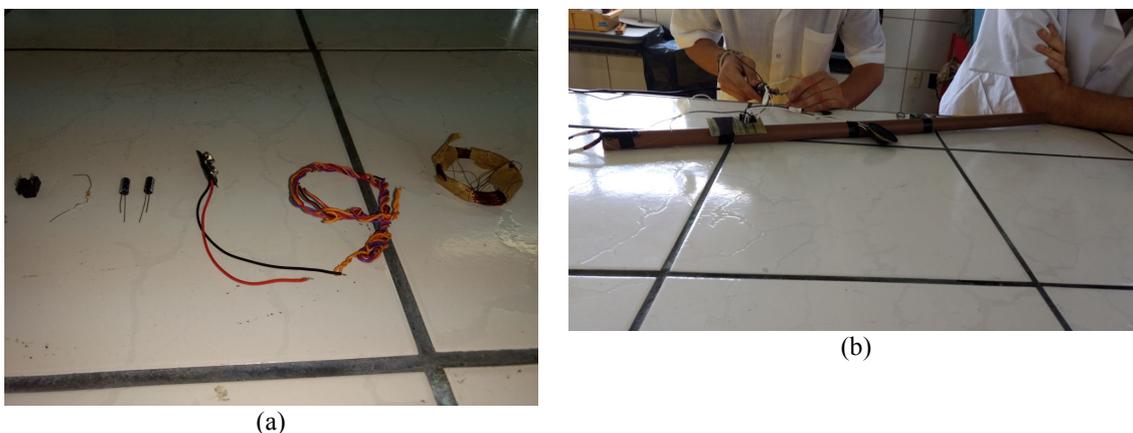
4.4b – Montagem do detector de metais com materiais de sucata eletrônica

O circuito do detector de metais é similar àquele apresentado na Figura 4.10, confeccionado com os seguintes componentes:

1. Bateria de 9 volts.
2. Resistor de 47 k Ω .
3. Dois capacitores eletrolíticos de 2,2 μ F.
4. Capacitor eletrolítico de 10 μ F.
5. Circuito integrado NE555p.
6. Autofalante pequeno.
7. Fio número 34.

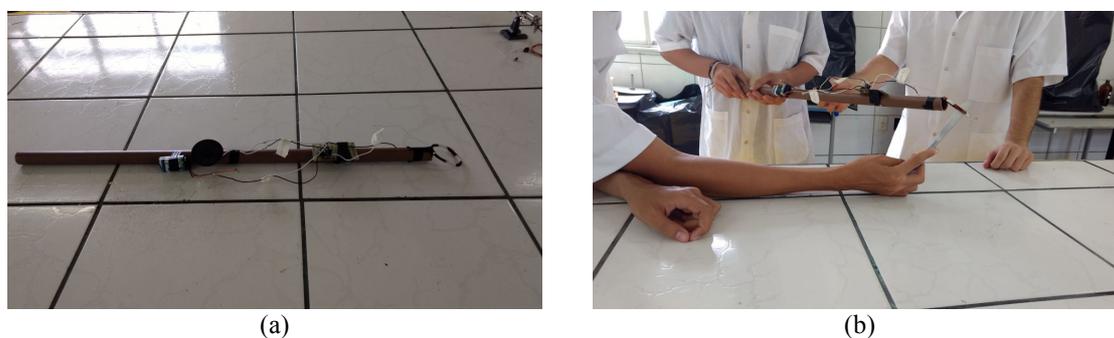
A Figura 4.14 ilustra a montagem do detector de metais.

Figura 4.14 – Montagem do detector de metais: (a) componentes para o circuito; (b) montagem do detector.



Na figura 4.15 são apresentados dois dos detectores de metais montados pelos alunos. Um deles sendo testado com uma faca de inox.

Figura 4.15 – Dois detectores de metais montados pelos alunos.



4.5 – Avaliação por parte dos alunos e do docente dos resultados obtidos

Ao final do ano letivo, foi solicitado que cada aluno escrevesse um relato sobre as atividades realizadas, destacando: a metodologia desenvolvida, os recursos utilizados, o conhecimento adquirido, as falhas detectadas no processo, sugestões para que o produto educacional fosse aprimorado para a aplicação com outras turmas e de como suas con-

cepções alternativas foram superadas. Alguns dos mais representativos depoimentos, editados para corrigir erros ortográficos e gramaticais são exibidos na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Alguns depoimentos escritos pelos alunos.

Aluno1	<p>O professor realizou um teste para avaliar o nível de conhecimento dos alunos sobre o assunto. Foi bastante abordada a questão da sucata eletrônica, onde foram utilizados computadores velhos. Foram passados vídeos e outros materiais sobre a importância dos semicondutores. Foram realizados seminários e vídeos. As dificuldades em fazer a bobina foram várias, mas conseguimos superá-las e fazer funcionar.</p>
Aluno2	<p>No início do ano letivo propostas de projetos no qual escolhemos uma, tínhamos a opção da bobina de tesla e o detector de metais. Ao longo do ano letivo foram desenvolvidas pesquisas sobre o projeto que engloba eletromagnetismo, semicondutores, eletricidade I, entre outras. Ao longo do desenvolvimento do projeto aprendemos uma nova técnica de soldagem e também aprendemos sobre os fenômenos físicos, como indução eletromagnética. Teve várias partes ruins nos projetos, como aprender a soldar, sentir o cheiro do estanho e outras. A parte legal é que o projeto deu certo e essa sensação de trabalho bem feito não tem igual. Nos últimos meses do projeto, ou seja, a conclusão final foi bastante difícil devido a uma série de fatores, como curso, trabalhos escolares, compromissos pessoais e várias outras. No final do projeto, na segunda semana de dezembro, conseguimos terminar o projeto chamado de bobina de tesla. Para que o projeto fosse aplicado em outras salas, seria importante mais aulas de física e acompanhamento maior de um ou mais professores.</p>
Aluno3	<p>No primeiro semestre foram desenvolvidas aulas teóricas de eletromagnetismo. Tivemos dois testes antes do desenvolvimento do conteúdo. Um teste sobre conhecimento prévio de eletromagnetismo e outro para verificar a existência de concepções alternativas, em outras palavras foi uma forma de verificar o nível de conhecimento dos alunos. Foi muito abordada a questão da sucata tecnológica suas problemáticas e soluções que podem ser utilizadas para o descarte e utilizações desses materiais em projetos para ensino de eletromagnetismo. Foi trabalhado a importância dos semicondutores. Os mesmos revolucionaram a informática e a eletrônica possibilitando avanços nunca pensados pela sociedade. Foram desenvolvidas pela unidade de ensino potencialmente significativas uma estrutura didática que fortalece bastante a aprendizagem. Tivemos seminários e exibição de vídeos. Alguns pontos foram trabalhados: a bateria é uma fonte de tensão constante e não de corrente, a corrente depende de todos os pontos de circuitos, o curto circuito pode ser percebido como uma resistência desprezível, a corrente não é consumida pelas componentes do circuito, a corrente se desloca via campo elétrico, temos deslocamentos de elétrons em curtas distâncias. Para melhorar o projeto deveria aumentar mais aulas. Durante o ano aprendi muitas coisas interessantes. Tivemos muitas explicações e aulas práticas.</p>
Aluno4	<p>No início do ano de 2017, tivemos aulas teóricas de eletromagnetismo, dois testes para apresentação do conteúdo. Um sobre a relação entre eletricidade e magnetismo, outro para diagnosticar o nível de conhecimento dos alunos. Nesses testes foram muito abordado assuntos sobre sucatas tecnológicas, através de indagações referente à forma correta de descarte desses objetos. Os alunos estudaram sobre diversos componentes eletrônicas, para saber quais suas respectivas funções.</p>
Aluno5	<p>No primeiro semestre foram desenvolvidas aulas teóricas de eletromagnetismo. Tivemos duas provas antes da organização do conteúdo. Uma prova sobre conhecimento do eletromagnetismo e outra para testar a existência de concepções alternativas, foi como um teste de conhecimento feito para os alunos. A sucata tecnológica foi muito abordado em sala de aula para o desenvolvimento dos projetos, pois possuem muitos componentes eletrônicos que podem ser reutilizados para o projeto. Os semicondutores foi um tema abordado em sala, pois é o componente mais importante na eletrônica. Enfim tivemos as apresentações dos seminários sobre a eletrônica onde apresentamos vídeos e slides sobre o nosso projeto. Tivemos algumas dificuldades nos desenvolvimentos dos projetos, pois não tínhamos conhecimento aprofundado em eletrônica.</p>

	Para esse projeto ser aplicado em outras turmas devia ter acompanhamento do projeto com ajuda do professor. Eu aprendi o básico da eletrônica ao desenvolver os projetos e um pouco sobre o eletromagnetismo.
Aluno6	O nosso desenvolvimento em física cresceu durante esse ano letivo. Tivemos aulas teóricas de eletromagnetismo onde mostramos o nosso desenvolvimento e conhecimento. Tivemos dois testes sobre conhecimento. Foi abordada a questão da sucata tecnológica e sua utilização em projetos para ensino de eletromagnetismo. Aprendemos muitas formas de física onde foi muito bom pra gente. Foi trabalhado a importância dos semicondutores. Alguns pontos discutidos: A Bateria é uma fonte de tensão constante e não de corrente. A corrente depende de todos os pontos do circuito. A corrente não é consumida pelos componentes do circuito. Tivemos muitas dificuldades quase não conseguimos fazer nosso projeto, mas no final acabou dando tudo certo..
Aluno7	Tivemos seminários, onde aprendemos bastante e o professor trouxe vídeos em sala, para que possamos adquirir conhecimento básicos de eletrônica para o desenvolvimento do nosso projeto. Tivemos dificuldades iniciais na montagem dos projetos. Inicialmente ele falhou, mas após alguns descobrimentos o projeto foi realizado com sucesso. Para ser aplicado em outros alunos poderia ser mudado ou acrescentado: mais aulas de física, aulas práticas de eletrônica, menos teoria e mais práticas. Eu aprendi que os erros são importantes para obtermos a constante evolução dos projetos. Aprendi que a parte prática de um circuito elétrico é bem mais difícil porém mais benéfico.

O que me chamou a atenção foi o fato de que todas as equipes conseguiram apresentar seus projetos. Os seminários para apresentação dos projetos mostraram claramente o amadurecimento dos estudantes. É provável que o uso de vários recursos (textos de divulgação científica, vídeos, discussão de concepções alternativas e a realização dos projetos tenha contribuído para uma aprendizagem mais significativa. Uma questão importante é que o projeto foi bem considerado pela escola, e ao final vem motivando professores de outras escolas da região a implementarem projetos similares.

Nesse ano de 2018 a escola passou a ser de tempo integral e nessa modalidade de ensino, aqui no estado do Ceará existem as disciplinas eletivas, que são disciplinas que buscam trabalhar o ensino com métodos não tradicionais. Em função dos resultados obtidos no ano passado, sou responsável por uma disciplina eletiva, na qual estou aprimorando alguns aspectos do produto educacional apresentado nessa dissertação.

Estamos convencidos de que o produto educacional criou uma atmosfera propícia ao desenvolvimento de competências e habilidades, bem como facilitou a superação de concepções alternativas. Além disso, despertou nos alunos o interesse pela atividade experimental através do desenvolvimento de projetos utilizando sucata tecnológica. Nesse sentido, o projeto serviu também como veículo de conscientização no que se refere à problemática em torno da sucata tecnológica.

A intervenção didático-pedagógica aqui relatada, não se deu sem problemas. Foram muitas as dificuldades encontradas: alguns estudantes de início não abraçaram a ideia e precisaram ser resgatados por outros alunos das demais equipes. Isso de certo

modo, impactou um pouco no sentido de que melhores resultados de aprendizagem do grupo como um todo pudessem ser obtidos. Uma das maiores reclamações dos estudantes se refere à carga horária destinada aos projetos. Nesse ponto concordo com os mesmos; no mínimo três horas semanais possibilitaria desenvolver um trabalho mais detalhado. O tempo reduzido foi uma dificuldade grande no sentido de incorporar conhecimentos de eletrônica básica e questões como soldagens e manipulação de componentes eletrônicos, por exemplo.

Capítulo 5 – Sumário, Resultados Relevantes e Considerações Finais

5.1. Sumário

Apresentamos nesta dissertação um projeto de intervenção didático-pedagógica incluindo:

4. Um semestre de aulas convencionais sobre eletricidade e magnetismo, apoiado no livro-texto adotado na escola (GONÇALVES FILHO; TOSCANO, 2013);
5. Investigação de concepções alternativas sobre circuitos elétricos simples, apresentadas por alunos depois da experiência de aprendizagem dos conceitos, utilizando o teste SMA, elaborado e validado por Silveira e colaboradores (SILVEIRA; MOREIRA; AXT, 1989);
6. Utilização de uma *sequência didática* similar às unidades de ensino potencialmente significativas propostas por Moreira (2011).

A nossa UEPS tem como objetivo principal abordar qualitativamente conceitos avançados de eletricidade e magnetismo a partir de uma *metodologia de aprendizagem baseada em projetos*. Durante a intervenção didática os alunos projetaram e implementaram uma bobina de Tesla e um detector de metais utilizando-se unicamente de componentes extraídos de computadores fora de uso no almoxarifado da escola.

O trabalho não seguiu um referencial teórico específico, mas contém elementos ausubelianos, piagetianos e vygostkianos, como é usual em projetos com a metodologia da aprendizagem baseada em projetos.

A abordagem convencional do conteúdo no primeiro semestre foi entendida como uma estratégia para o estabelecimento de subsunçores ausubelianos (MOREIRA, 1979). No segundo semestre os alunos estiveram envolvidos com o planejamento e construção de um equipamento, de modo que os procedimentos envolvendo discussão entre eles, com a nossa supervisão, simulou os procedimentos típicos de uma equipe de pesquisa científica.

No curso dessa intervenção didático-pedagógica utilizamos um teste para verificar se após a intervenção os alunos possuíam concepções científicas sobre corrente elétrica em circuitos simples. Após a análise dos resultados observamos algumas seme-

lhanças com os resultados obtidos com esse mesmo teste, quando aplicado a alunos de engenharia da UFRGS em 1988 (SILVEIRA; MOREIRA; AXT, 1989). Decidimos realizar um estudo comparativo detalhado, cujos resultados serão apresentados a seguir. Confirmaram-se relatos anteriores, segundo os quais a recorrência de algumas concepções alternativas independem da localidade e do nível de aprendizagem formal da população.

5.2. Resultados relevantes

Podemos destacar dois resultados observados nesse projeto. O primeiro é que as atividades do segundo semestre foram encaradas pelos alunos com muita satisfação. Eles demonstraram prazer na desmontagem dos computadores e na montagem do equipamento que lhes coube pelo sorteio (detector de metais ou bobina de Tesla). Demonstraram também boa proficiência de aprendizagem declarativa. Ou seja, demonstraram boa articulação verbal em relação aos conceitos envolvidos nos circuitos dos equipamentos. O segundo resultado refere-se à recorrência de concepções alternativas relatadas na literatura. Ou seja, não havendo uma estratégia específica para superação de concepções alternativas, é grande a possibilidade da persistência dessas concepções. Muitos dos artigos mencionados até aqui referem-se a esse fenômeno, entre os quais podemos destacar o trabalho de Shipstone e colaboradores (SHIPSTONE *et al.*, 1988), que estudaram essa questão em cinco países europeus, e Solano e colaboradores (2002), que investigaram a persistência de concepções alternativas sobre circuitos elétricos de corrente contínua em alunos na faixa etária entre 11 e 18 anos, ou seja do ensino médio ao primeiro ano universitário.

Praticamente todos os resultados relatados por esses autores foram confirmados em nosso estudo. Por exemplo, confirmou-se aqui a prevalência da ideia de que a bateria é uma fonte de corrente elétrica constante. Essa concepção equivocada gera outras concepções alternativas, como o raciocínio local e o raciocínio sequencial. Além disso, alguns alunos associam a corrente elétrica a um fluxo de energia. É provável que a concepção do consumo de corrente venha da ideia do consumo de energia em nosso cotidiano. Este é um resultado que deve ser seriamente considerado nas sequências didáticas do assunto. Há que se trabalhar a discriminação entre corrente elétrica e energia.

Outro resultado notável, ao qual devemos dar muita atenção em estudos dessa natureza, é a falta de consistência nas respostas ao teste escrito. Por exemplo, todos os

alunos da turma EnsMed acertaram a primeira questão do teste, sugerindo a inexistência da ideia do consumo de corrente. Mas, na entrevista alguns mudaram a resposta e exibiram a concepção alternativa. Também apresentaram indícios da ideia do consumo de corrente (ou de energia), exibindo inconsistência no raciocínio, ao responder a segunda questão, que difere da primeira apenas pela substituição de uma das lâmpadas por uma resistência. Aparentemente, alguns alunos não percebem que uma lâmpada incandescente é apenas um resistor. Quando um resistor é colocado no circuito, a ideia do consumo de corrente emerge mais facilmente.

O teste escrito e as entrevistas salientam uma questão que deve ser cuidadosamente examinada nas sequências didáticas, qual seja a falta de correlação entre dispositivos elétricos reais (fios, lâmpadas, baterias, etc) e suas representações gráficas nos circuitos. Esse caso é particularmente relevante para os interruptores. As entrevistas com os sete alunos sugerem que poucos alunos sabem a função de um interruptor.

5.3. Considerações Finais

Concluindo, podemos dizer que a presente intervenção didático-pedagógica:

1. estimulou os alunos a discutirem aspectos ecológicos referentes ao descarte de produtos tecnológicos, sobretudo de computadores e seus periféricos;
2. proporcionou um ambiente de aprendizagem que ao mesmo tempo tinha um caráter lúdico, e era similar àquele típico da pesquisa científica;
3. estimulou a aprendizagem declarativa demonstrada pelos alunos. Provavelmente isso seja consequência do processo de busca de soluções para o desenvolvimento dos projetos;
4. permitiu a observação da persistência de concepções alternativas, como já relatado por outros autores, indicando que a superação dessas concepções deva ser enfrentada com estratégias didáticas especificamente planejadas para tal.

Referências

- ANDRADE, F. A. L. *et al.* Recorrência de concepções alternativas sobre corrente elétrica em circuitos simples. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 40, n. 3, p. e3406-12, 2018.
- ARRUDA, S. M.; TOGINHO, D. O. Laboratório caseiro: laboratório de física moderna. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 8, n. 3, p. 232–236, 1991.
- AUSUBEL, D. P. Cognitive structure and the facilitation of meaningful verbal learning. *Journal of Teacher Education*, v. 14, n. 2, p. 217–222, 1963.
- AUSUBEL, D. P. The use of advance organizers in the learning and retention of meaningful verbal material. *Journal of Educational Psychology*, v. 51, n. 5, p. 267–272, 1960.
- BADUR, L. B. *et al.* Bobina de Tesla: História e construção didática. 2016, Natal: Cobenge 2016, 2016. p. 1–7.
- BALDOCK, T. E.; CHANSON, H. Undergraduate teaching of ideal and real fluid flows: the value of real-world experimental projects. *European Journal of Engineering Education*, v. 31, n. 6, p. 729–739, 2006.
- BARP, J. *Uma proposta de trabalho orientada por projetos de pesquisa para introduzir temas de física no 9o. ano do ensino fundamental*. 2016. UFRGS, 2016.
- BORGES, A. T. Como evoluem os modelos mentais. *Revista Ensaio*, v. 1, n. 1, p. 66–92, 1999.
- BORGES, A. T.; GILBERT, K. Mental models of electricity. *International Journal of Science Education*, v. 21, n. 1, p. 95–117, 1999.
- BRAGA, N. C. Localizador de metais. *Revista Saber Eletrônica*, v. setembro, p. 2–10, 1977.
- BRUNER, J. S. The course of cognitive growth. *American Psychologist*, v. 19, p. 1–15, 1964.
- BRUNER, J. S. *Uma nova teoria de aprendizagem*. 3a. ed. Rio de Janeiro: Bloch Editores, 1975.
- BRUNS, D. G. A solid-state low-voltage Tesla coil demonstrator. *American Journal of Physics*, v. 60, n. 9, p. 797–803, 1992.
- CAETANO, L. M. A epistemologia genética de Jean Piaget. *ComCiência*, v. 120, p. 1–4, 2010.
- CHIQUITO, A. J.; LANCIOTTI, F. Bobina de Tesla: dos circuitos ressonantes LC aos

- princípios das telecomunicações. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 22, n. 1, p. 69–77, 2000.
- CLEMENT, J. Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in physics. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 30, n. 10, p. 1241–1257, 1993.
- COHEN, R.; EYLON, B.; GANIEL, U. Potential difference and current in simple electric circuits: A study of students' concepts. *American Journal of Physics*, v. 51, n. 5, p. 407–412, 1983.
- DAVID P. AUSUBEL. A cognitive theory of school learning. *Psychology in the Schools*, v. 6, n. 4, p. 331–335, 1969.
- DOMINGUEZ, M. E.; MOREIRA, M. A. Detección de conceptos intuitivos en electricidad a través de entrevistas clínicas. *Revista de Enseñanza de la Física*, v. 2, n. 1, p. 7–15, 1988.
- DONOSO-GARCIA, P. F.; TÔRRES, L. A. B. Ensino orientado ao projeto desafio: uma experiência para o ensino de controle, instrumentação e eletrônica. 2007, Curitiba: Cobenge 2007, 2007. p. 3B05-1-3B05-15.
- DOS SANTOS, C. A.; MOREIRA, M. A. Aplicação da Análise de Agrupamentos Hierárquicos ao Mapeamento Cognitivo de Conceitos Físicos. *Revista Brasileira de Física*, v. 9, p. 859–869, 1979a.
- DOS SANTOS, C. A.; MOREIRA, M. A. Aplicação da Análise Multidimensional ao Mapeamento Cognitivo de Conceitos Físicos. *Revista Brasileira de Física*, v. 9, p. 849–858, 1979b.
- DOS SANTOS, C. A.; MOREIRA, M. A. Instrumentos de Medida para o Mapeamento Cognitivo de Conceitos Físicos. *Revista Brasileira de Física*, v. 9, p. 835–848, 1979c.
- DRIVER, R. *et al.* Electricity. *Making sense of secondary science: Research into children's ideas*. London: Routledge, 1994. p. 117–125.
- DUIT, R.; RHONECK, C. Learning and understanding key concepts of electricity. In: TIBERGHEN, A.; JOSSEM, E. L.; BAROJAS, J. (Org.). *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education*. [S.l.]: International Commission on Physics Education, 1998. p. 1–6. Disponível em: <http://www.iupap-icpe.org/publications/teach1/ConnectingResInPhysEducWithTeacherEduc_Vol_1.pdf>.
- ENGELHARDT, P. V. *Examining students' understanding of electrical circuits through multiple-choice testing and interviews*. 1997. 258 f. North Carolina State University, 1997.

- ENGELHARDT, P. V.; BEICHNER, R. J. Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. *American Journal of Physics*, v. 72, n. 1, p. 98–115, 2004.
- ESPÍNDOLA, K.; MOREIRA, M. A. RELATO DE UMA EXPERIÊNCIA DIDÁTICA: ENSINAR FÍSICA COM OS PROJETOS DIDÁTICOS NA EJA, ESTUDO DE UM CASO. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 1, n. 1, p. 55–66, 2006.
- FRANCISCO JR, W. E.; FERREIRA, L. H.; HARTWIG, D. R. Experimentação Problematicadora: Fundamentos Teóricos e Práticos para a aplicação em salas de aula de Ciências. *Química nova na escola*, v. 30, p. 34–41, 2008.
- FREDETTE, N.; LOCHHEAD, J. Student conceptions of simple circuits. *The Physics Teacher*, v. 18, p. 194–198, 1980.
- FREIRE, P. *Educação e mudança*. 31. ed. São Paulo: Paz e Terra, 2008.
- FREIRE, P. *Pedagogia do Oprimido*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1970.
- GASPAR, A.; MONTEIRO, I. C. C. Atividades experimentais de demonstrações em sala de aula: uma análise segundo o referencial da teoria de Vygotsky. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 10, n. 2, p. 227–254, 2005.
- GIUSTA, A. DA S. Concepções de aprendizagem e práticas pedagógicas. *Educação em Revista*, v. 29, n. 1, p. 17–36, 2013.
- GOLEMSHINSKI, G. Metal detectors and physics education. *Aerospace Research in Bulgaria.*, v. 27, p. 92–100, 2015.
- GONÇALVES FILHO, A.; TOSCANO, C. *Física - Interação e Tecnologia 3*. 1a. ed. São Paulo: Editora Leya, 2013.
- GOYAL, H. Understanding of IC555 Timer and IC 555 Timer Tester. *International Journal of Inventive Engineering and Sciences*, v. 3, n. 2, p. 4–6, 2015.
- GRANT, M. M. Getting a grip on project-based learning: theory, cases and recommendations. *Meridian: A Middle School Computer Technologies Journal*, v. 5, n. 1, p. 1–17, 2002.
- GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, v. 22, n. 1, p. 1–11, 2000.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R. *Física Básica, vol. 3*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1981.
- HEIDER, F. On Lewin's method and theory. *Journal of Social Issues*, v. 15, p. 3–13, 1959.
- JAWAD, A. M.; JAWAD, H. M.; HOCK, G. C. Design of a Beat Frequency Oscillator

- Metal Detector. *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering*, v. 9, n. 2, p. 56–62, 2014.
- JOHNSON-LAIRD, P. N. Mental Models in Cognitive Science. *Cognitive Science*, v. 4, p. 71–115, 1980.
- JOHNSON, G. L. Building the world's largest Tesla coil. History and theory. 1990, Auburn: IEEE, 1990. p. 128–135.
- KELLEY, J. B.; DUNBAR, L. The Tesla Coil. *American Journal of Physics*, v. 20, n. 32, p. 32–35, 1952.
- KNOLL, M. The Project Method: Its Vocational Education Origin and International Development. *Journal of Industrial Teacher Education*, v. 34, n. 3, p. 59–80, 1997.
- KRAJCIK, J. S.; BLUMENFELD, P. C. Project-Based Learning. In: SAWYER, R. K. (Org.). *The Cambridge Handbook of the Learning Science*. Cambridge: [s.n.], 2006. p. 317–333. Disponível em:
<https://tccl.arcc.albany.edu/knilt/images/4/4d/PBL_Article.pdf>.
- LABURÚ, C. E. A construção de uma bobina de Tesla para uso em demonstrações na sala de aula. *Caderno Catarinense de Ensino de Física de Ensino de Física*, v. 8, n. 1, p. 217–226, 1991.
- LEWIN, K. Defining the “field at a given time”. *Psychological Review*, v. 50, n. 3, p. 292–310, 1943.
- LIN, J.-W. A cross-grade study validating the evolutionary pathway of student mental models in electrical circuits. *EURASIA Journal of Mathematics Science and Technology Education*, v. 13, n. 7, p. 3009–3137, 2017.
- LUCARIELLO, J.; NAFF, D. *How Do My Students Think: Diagnosing Student Thinking*. Disponível em: <<http://www.apa.org/education/k12/student-thinking.aspx>>.
- MASSON, S. *et al.* Differences in Brain Activation Between Novices and Experts in Science During a Task Involving a Common Misconception in Electricity. *Mind, Brain, and Education*, v. 8, n. 1, p. 44–55, 2014.
- MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. *Curso de Física. Vol. 3*. São Paulo: Editora Scipione, 2006.
- MCDERMOTT, L. C.; SHAFFER, P. S. Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part I: Investigation of student understanding. *American Journal of Physics*, v. 60, n. 11, p. 994–1003, 1992.
- MCNEIL, J. A. The Metal Detector and Faraday's Law. *The Physics Teacher*, v. 42, p. 8–12, 2004.

- MILLER, J. S. Summer Session Course in Demonstration Experiments for High School Physics Teachers. *American Journal of Physics*, v. 26, p. 477–481, 1958.
- MOREIRA, M. A. A Teoria de Aprendizagem de David Ausubel como Sistema de Referência para a Organização do Conteúdo de Física. *Revista Brasileira de Física*, v. 9, n. 1, p. 275–292, 1979.
- MOREIRA, M. A. *Aprendizagem significativa crítica*. . Porto Alegre: [s.n.], 2010. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigcritport.pdf>>. Acesso em: 31 jan. 2018.
- MOREIRA, M. A. Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas - UEPS. *Aprendizagem Significativa em Revista*, v. 1, n. 2, p. 43–63, 2011.
- MOREIRA, M. A.; DOS SANTOS, C. A. The Influence of Content Organization on Student’s Cognitive Structure in Thermodynamics. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 18, p. 525–531, 1981.
- MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. *Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel*. São Paulo: Moraes, 1982.
- MOREIRA, M. A.; MASSONI, TERESINHA, N. *Interfaces entre teorias de aprendizagem e Ensino de Ciências*. . Porto Alegre: [s.n.], 2015. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/tapf/tapf_v26_n6.pdf>.
- MORELAND, C. W. *BFO theory*. . [S.l: s.n.], 1999.
- OSBORNE, R. Towards Modifying Children’s Ideas about Electric Current. *Research in Science & Technological Education*, v. 1, n. 1, p. 73–82, 1983.
- PASQUALETTO, T. I.; VEIT, E. A.; ARAUJO, I. S. Aprendizagem Baseada em Projetos no Ensino de Física: uma Revisão da Literatura. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 17, n. 2, p. 551–577, 2017.
- PORTAL-JFF. *Using real-world projects to help students meet high standards in education and the workplace*. . Atlanta: [s.n.], 1998.
- POSNER, G. J.; GERTZOG, W. The Clinical Interview and the Measurement of Conceptual Change. *Science Education*, v. 66, n. 2, p. 195–209, 1982.
- POTVIN, P.; TURMEL, É.; MASSON, S. Linking neuroscientific research on decision making to the educational context of novice students assigned to a multiple-choice scientific task involving common misconceptions about electrical circuits. *Frontiers in Human Neuroscience*, v. 8, p. 1–13, 2014.
- RODRIGUES, B. A.; BORGES, A. T. O ensino de ciências por investigação: Reconstrução histórica. 2008, Curitiba: [s.n.], 2008. p. 1–12.

- SANTOS, C. A. DOS. O empreendedor Edison ou o visionário Tesla? *Ciência Hoje Online*, nov. 2011. Disponível em: <<http://cienciahoje.org.br/coluna/o-empreendedor-edison-ou-o-visionario-tesla/>>.
- SCHENKEL, E. A. *Relatório final: Detector de metais*. . Campinas: [s.n.], 2009.
- SCHNEIDER, R. M. *et al.* Performance of Students in Project-Based Science Classrooms on a National Measure of Science Achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 39, n. 5, p. 410–422, 2002.
- SHAFFER, P. S.; MCDERMOTT, L. C. Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part II: Design of instructional strategies. *American Journal of Physics*, v. 60, n. 11, p. 1003–1013, 1992.
- SHIPSTONE, D. M. A study of children's understanding of electricity in simple DC circuits. *European Journal of Science Education*, v. 6, n. 2, p. 185–198, 1984.
- SHIPSTONE, D. M. *et al.* A study of students' understanding of electricity in five European countries. *International Journal of Science Education*, v. 10, n. 3, p. 303–316, 1988.
- SILVEIRA, F. L. DA. Um teste para verificar se o respondente possui concepções científicas sobre corrente elétrica em circuitos simples. In: ROCHA FILHO, J. B. (Org.). *Física no ensino médio: falhas e soluções*. Porto Alegre: Edipucrs, 2011. p. 61–67.
- SILVEIRA, F. L.; MOREIRA, M. A.; AXT, R. Validação de um teste para verificar se o aluno possui concepções científicas sobre corrente elétrica em circuito simples. *Ciência e Cultura*, v. 41, n. 11, p. 1129–1133, 1989.
- SKELDON, K. D. *et al.* Development of a portable Tesla coil apparatus. *European journal of physics*, v. 21, p. 125–143, 2000.
- SOLANO, F. *et al.* Persistencia de Preconcepciones sobre los Circuitos Electricos de Corriente Continua. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 24, n. 4, p. 460–470, 2002.
- THOMAS, J. W. *A review of research on project-based learning*. . San Rafael: [s.n.], 2000.
- TOLMAN, E. C. There is more than one kind of learning. *Psychological Review*, v. 56, n. 3, p. 144–155, 1949.
- TURNER, R. Principles of metal detection. *Electronics Today International*, v. July, p. 11–16, 1984.
- TYSON, J. *How metal detectors work*. Disponível em:

<<https://electronics.howstuffworks.com/gadgets/other-gadgets/metal-detector.htm/printable>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

VIENNOT, L. *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. 1977. 247 f. Université Paris VII, 1977.

VYGOTSKY, L. S. *A formação social da mente*. São Paulo: Livraria Martins Fontes, 1991.

VYGOTSKY, L. S. *Mind in society. The development of higher psychological processes*. Cambridge: Harvard University Press, 1978.

WESSELS, C.; PALAG, T. *Construction of a Beat Frequency Oscillator Metal Detector*. . Boulder: [s.n.], [S.d.].

WHITE, R. K. The case for the Tolman-Lewin interpretation of learning. *The Psychological Review*, v. 50, n. 2, p. 157–186, 1943.

Apêndice A – Pré-Teste e Teste SMA

Pré-Teste

01. Como você argumentaria sobre a existência da relação entre os fenômenos elétricos e magnéticos?
02. Como você definiria um circuito elétrico? Quais os componentes mais comuns em um circuito? Quais as funcionalidades de cada um desses elementos?
03. Um transformador é uma das aplicações do eletromagnetismo. Para que ele serve? Descreva seu funcionamento.
04. Como uma corrente em uma bobina gera corrente em outra que não esteja a ela conectada?
05. A respeito de um capacitor em um circuito elétrico, podemos afirmar:
 - a- Tem como princípio de funcionamento o efeito Joule, pois transforma energia elétrica integralmente em energia térmica;
 - b- Armazena energia elétrica e é fundamental para muitas aplicações em eletrônica.
 - c- É um dispositivo de segurança, impedindo que correntes elétricas além de um valor limite permitido danifiquem um circuito;
 - d- É um dispositivo que transforma valores de tensão de um tipo em outro, conforme a necessidade de um circuito;
06. A bússola foi uma importante invenção muito utilizada como instrumento de orientação nas chamadas grandes navegações e permanece muito usada até os dias atuais. A respeito desse instrumento, podemos afirmar:
 - a- Seu funcionamento está relacionado diretamente ao campo magnético terrestre;
 - b- Sua leitura não pode ser afetada por campos magnéticos além do campo magnético terrestre;
 - c- Alinha-se na direção Leste-Oeste terrestre;
 - d- É uma evidência de que polos magnéticos de mesmo nome se atraem e polos magnéticos de nomes contrários se repelem.
07. Sobre o e-lixo, ou lixo eletrônico é correto afirmar:
 - a. Não pode ser reaproveitado por nenhum processo;
 - b. É inofensivo ao meio ambiente, pois não contém metais pesados que possam possuir poluir significativamente os rios e solos;

- c. Pode funcionar como uma fonte de valor econômico considerável, pois muitos de seus componentes podem ser reutilizados desde que se tenha toda uma preparação técnica específica para esse tipo de trabalho;
 - d. Não gera responsabilidades para as empresas produtoras.
08. Fogão elétrico, chuveiro elétrico e ferro elétrico têm em comum a aplicação de um dos efeitos da corrente elétrica. Qual esse efeito?
- a. Efeito magnético;
 - b. Efeito térmico ou Joule.;
 - c. Efeito fisiológico;
 - d. Efeito químico;
09. Os motores elétricos estão presentes em muitas das aplicações do nosso cotidiano, como por exemplo, em um liquidificador. Sobre esses dispositivos é correto afirmar:
- a. O funcionamento de tais dispositivos tem como base leis do eletromagnetismo, segundo as quais condutores localizados em uma região onde existe campo magnético e atravessados por corrente elétrica, sofrem a ação de uma força, força essa que vai produzir movimento.
 - b. Só podem funcionar com corrente contínua;
 - c. O sentido de giro de um motor nada tem a ver com o sentido da corrente elétrica que o percorre;
 - d. Transformam energia mecânica em energia elétrica.
10. Os detectores de Metais são dispositivos bastante utilizados em várias situações do nosso cotidiano. Temos aplicações, por exemplo, em uso militar, em aeroportos, casas de shows, etc. Sobre o seu funcionamento é correto afirmar:
- a. O detector possui uma bobina, que é percorrida por uma corrente elétrica. Ao ser aproximado de um objeto, ocorre uma variação do fluxo magnético através do objeto.
 - b. Não é possível selecionar o tipo de metal a ser detectado;
 - c. O princípio básico da fabricação dos detectores de metais é o mesmo da fabricação dos transformadores, do microfone e dos autofalantes.
 - d. Não há como projetar um detector de metais em que se regule sua sensibilidade, de modo a não detectar metais em algumas situações.

Teste SMA

1) No circuito da figura 1 pode-se afirmar que:

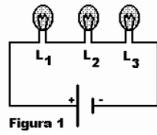


Figura 1

- L_1 brilha mais do que L_2 e esta mais do que L_3 .
- L_3 brilha mais do que L_2 e esta mais do que L_1 .
- as três lâmpadas têm o mesmo brilho.

2) No circuito da figura 2, R é um resistor. Neste circuito:

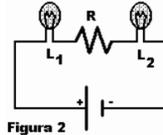


Figura 2

- L_1 e L_2 têm o mesmo brilho.
- L_1 brilha mais do que L_2 .
- L_2 brilha mais do que L_1 .

3) No circuito da figura 3, R é um resistor. Neste circuito:

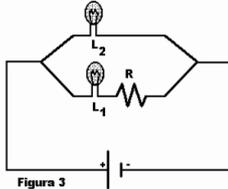


Figura 3

- L_1 tem o mesmo brilho de L_2 .
- L_2 brilha mais do que L_1 .
- L_1 brilha mais do que L_2 .

4) No circuito da Figura 4, I é um interruptor aberto. Ao fechá-lo:

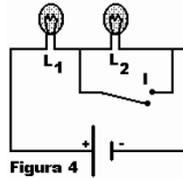


Figura 4

- aumenta o brilho de L_1 .
- o brilho de L_1 permanece o mesmo.
- diminui o brilho de L_1 .

5) Nos circuitos 5a e 5b a lâmpada L, o resistor R e a bateria são exatamente os mesmos. Nestas situações:

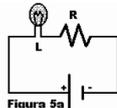


Figura 5a

- L brilha mais no circuito 5a.
- L brilha igual em ambos circuitos.
- L brilha mais no circuito 5b.

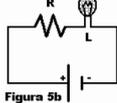


Figura 5b

6) No circuito da figura 6, R é um resistor e I é um interruptor que está aberto. Ao fechar o interruptor:

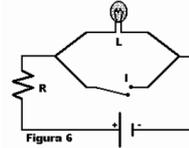


Figura 6

- L continua brilhando como antes.
- L deixa de brilhar.
- L diminui seu brilho mas não apaga.

7) No circuito da figura 7 R_1 e R_2 são dois resistores. A caixa preta pode conter resistores, baterias ou combinações de ambos. Para que a intensidade da corrente em R_1 fosse igual à intensidade da corrente em R_2 a caixa preta:

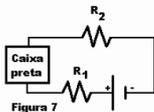


Figura 7

- deveria conter somente resistores.
- deveria conter no mínimo uma bateria.
- poderia conter qualquer associação de resistores e baterias.

8) No circuito da figura 8, L é uma lâmpada, R um resistor, C um capacitor descarregado e I um interruptor aberto. Ao fechar o interruptor:

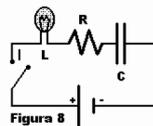


Figura 8

- L começa a brilhar e continua brilhando enquanto o interruptor estiver fechado.
- L não brilhará enquanto o capacitor não estiver carregado.
- L poderá brilhar durante parte do processo de carga do capacitor.

As questões 9 e 10 se referem ao circuito da figura 9.

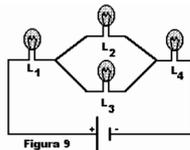


Figura 9

9) No circuito da figura 9 o brilho de L_1 é:

- igual ao de L_4 .
- maior do que o de L_4 .
- menor do que o de L_4 .

10) No circuito da figura 9 o brilho de L_2 é:

- igual ao de L_4 .
- maior do que o de L_4 .
- menor do que o de L_4 .

13) No circuito da figura 11:

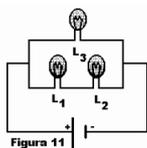


Figura 11

- L_1 e L_2 têm o mesmo brilho que é menor do que o de L_3 .
- L_1 brilha mais do que L_2 e do que L_3 .
- L_1, L_2 e L_3 brilham igualmente.

O circuito da figura 9 foi modificado pois se tirou a lâmpada L_3 . O novo circuito é, então, o da figura 10.

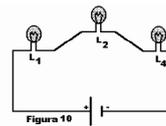


Figura 10

11) Quando se compara o brilho de L_1 nos circuitos 9 e 10 ele é:

- maior no circuito 10.
- menor no circuito 10.
- o mesmo nos dois.

12) quando se compara o brilho de L_4 nos circuitos 9 e 10 ele é:

- maior no circuito 10.
- menor no circuito 10.
- o mesmo nos dois.

14) No circuito da figura 12, quando o interruptor é aberto, as lâmpadas L_3 e L_4 deixam de brilhar, embora L_2 brilhe. O que acontece com as lâmpadas L_1 e L_5 ?

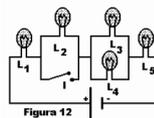


Figura 12

- nem L_1 , nem L_5 brilham.
- L_1 brilha e L_5 não brilha.
- L_1 e L_5 brilham.

Apêndice B – Íntegra das entrevistas com alunos selecionados

Comentário: Durante a entrevista os entrevistados tinham acesso às imagens das questões.

Aluna1

[19:04] Entrevistador: Boa noite, (nome da aluna)!
 [19:04] Entrevistador: Podemos começar a entrevista?
 [19:04]: Boa noite!
 [19:05]: Podemos sim

Questão 1

[19:06] Entrevistador: Você lembra a resposta que deu a essa questão?
 [19:07]: Eu não lembro muito bem, mas acho que foi a C
 [19:07] Entrevistador: Pode justificar sua resposta?
 [19:08]: Pq eu acho que elas estão no mesmo circuito
 [19:10] Entrevistador: O que faz as lâmpadas brilharem?
 [19:11]: Não sei
 [19:14] Entrevistador: Não tem a menor ideia?
 [19:15]: Não
 [19:16] Entrevistador: Você não leu nada sobre corrente elétrica?
 [19:17]: Li sim, mas não lembro muito bem
 [19:19] Entrevistador: Você sabe em que sentido a corrente circula num circuito?
 [19:20]: Sentido horário?
 [19:22] Entrevistador: Se é no sentido horário, ela sai do polo positivo e entra no negativo? É assim?
 [19:23]: Sim.
 [19:25] Entrevistador: ok

Questão 2

[19:25] Entrevistador: Qual é a alternativa correta? E por quê?
 [19:29] Aluna1: Eu acho que eu marquei a B, mas olhando de novo se assemelha mais com o item A pq eu acredito que é um circuito simples por causa do resistor
 [19:32] Entrevistador: Você tinha marcado a letra B. Qual é sua opção agora?
 [19:32] Entrevistador: É a letra A?
 [19:32] Aluna1: Sim.
 [19:33] Entrevistador: Ok.

Comentário: Incluí a questão 3, que não estava prevista

[19:33] Entrevistador: Qual a opção?
 [19:35] Aluna1: Item A
 [19:37] Entrevistador: Por quê?
 [19:39] Aluna1: Porque está uma em cima da outra (esqueci o nome)
 [19:40] Entrevistador: Mas, por quê L1 brilha mais do que L2 e não o contrário?
 [19:41] Entrevistador: Ou, por quê as duas não brilham do mesmo modo?
 [19:41] Aluna1: Não sei dizer
 [19:42] Entrevistador: Se você não sabe dizer, por que escolheu a alternativa A, e não a B ou a C?
 [19:42] Entrevistador: Você tem que ter uma razão para ter escolhido a opção A
 [19:45] Aluna1: Eu respondi isso, não me lembrava do que tinha estudado, eu acho que o nome é paralelas
 [19:46] Aluna1: E o circuito fica da mesma forma se não me engano
 [19:47] Entrevistador: Se L1 tem o mesmo brilho de L2, a resistência não tem qualquer efeito no circuito?
 [19:48] Aluna1: Pois bem, isso não me lembrava.
 [19:50] Entrevistador: O que você não lembrava?
 [19:50] Aluna1: Sobre a resistência.
 [19:51] Entrevistador: Pense agora e responda: a resistência tem ou não algum efeito no circuito?
 [19:51] Aluna1: Tem sim
 [19:51] Entrevistador: E qual é esse efeito?

- [19:51] Aluna1: Não me lembro
 [19:52] Aluna1: Mais sei que sim
 [19:53] Entrevistador: Não é necessário lembrar. O que você acha sobre o efeito da resistência?
 [19:53] Entrevistador: Diga o que lhe vier à mente
 [19:54] Entrevistador: Qual é a primeira ideia que lhe ocorre sobre o efeito da resistência?
 [19:56] Aluna1: Me vem à mente algo que se impôs a algo
 [19:56] Aluna1: Como uma força
 [19:56] Aluna1: Ir contra a outra
 [19:56] Entrevistador: Ir contra a outra. Que outra?
 [19:57] Aluna1: Não sei
 [19:57] Aluna1: Me veio a mente isso
 [19:58] Entrevistador: Isso o quê?
 [19:59] Aluna1: O efeito de resistir
 [20:00] Entrevistador: resistir ao quê?
 [20:00] Aluna1: Não sei
 [20:01] Aluna1: dizer ao certo
 [20:02] Entrevistador: então vamos para a próxima questão
 [20:02] Aluna1: Sim

Questão 4

- [20:02] Entrevistador: Qual é a alternativa correta?
 [20:04] Aluna1: Item A
 [20:12] Entrevistador: Por quê?
 [20:16] Aluna1: Porque eu acho que fechando o interruptor, a corrente não chega até a L2
 [20:17] Entrevistador: Se a corrente não chega até L2, para onde ela vai?
 [20:18] Aluna1: Somente para a L1
 [20:19] Entrevistador: Mas ela não tem que voltar pelo outro polo da bateria?
 [20:20] Aluna1: Tem
 [20:21] Entrevistador: E como ela chega no outro polo, se fica toda em L1?
 [20:23] Aluna1: Na verdade eu acho que fechando o interruptor a corrente fica circulando na L2 e isso diminui o brilho da L1
 [20:25] Entrevistador: Mas você disse acima que aumenta o brilho de L1, que é a opção A
 [20:25] Entrevistador: Afinal, aumenta ou diminui o brilho de L1?
 [20:25] Aluna1: Eu mudei de ideia
 [20:26] Aluna1: Diminui
 [20:27] Entrevistador: OK, então por que o fato de ficar circulando em L2 diminui o brilho de L1?
 [20:28] Entrevistador: E ela fica circulando em L2 e não vai para o polo negativo da bateria?
 [20:28] Aluna1: Pois irá conter mais energia em L2
 [20:32] Entrevistador: E de onde vem essa energia extra, que aparece depois que o interruptor é fechado?
 [20:33] Aluna1: Não sei
 [20:36] Entrevistador: Voltemos à segunda pergunta acima. A corrente fica circulando em L2 e não vai para o polo negativo?
 [20:37] Aluna1: Vai
 [20:38] Entrevistador: Então, se vai para o polo negativo, como ela fica circulando em L2?
 [20:39] Aluna1: Não fica só em L2, se concentra em L2, mas circula por todo o circuito. Foi o que quis dizer
 [20:42] Entrevistador: OK!

Questão 6

- [20:43] Entrevistador: Alternativa correta?
 [20:44] Aluna1: Essa eu não sei
 [20:47] Entrevistador: Pense nas coisas que você estava dizendo há pouco e tente uma resposta
 [20:54] Entrevistador: (nome da aluna), talvez você esteja cansada. Podemos parar aqui e continuar em outro horário, amanhã, pode ser?

Comentário: continuação da entrevista, no dia seguinte.

- [08:56] Aluna1: Foi porque teve um queda de energia e a minha internet não tá pegando. Desculpa
 [08:56] Aluna1: Ok
 [08:56] Aluna1: Bom dia!
 [08:58] Entrevistador: Oi, (nome da aluna), podemos continuar?

- [08:58] Entrevistador: Bom dia
- [08:59] Aluna1: Podemos sim
- [09:00] Entrevistador: Ok. Estávamos na questão 6 do teste, que você afirmou não saber responder. Daí eu escrevi: Pense nas coisas que você estava dizendo há pouco e tente uma resposta
- [09:09] Aluna1: Eu acho que a Figura a brilha mais pois o resistor vem depois
- [09:12] Entrevistador: Quando o interruptor fecha, a lâmpada brilha mais porque o resistor vem depois, é isso?
- [09:13] Aluna1: Não sei
- [09:13] Aluna1: Acho que sim
- [09:14] Entrevistador: Foi isso que você disse
- [09:14] Aluna1: Sim
- [09:15] Entrevistador: Se não existisse a resistência, o que aconteceria?
- [09:16] Entrevistador: Se tivesse apenas a bateria, a lâmpada e o interruptor, o que aconteceria quando o interruptor fosse fechado?
- [09:19] Aluna1: Não transformaria a energia elétrica em térmica?... não limitaria a energia elétrica do circuito
- [09:19] Entrevistador: Quem transformaria a energia elétrica em térmica?
- [09:20] Aluna1: O resistor?
- [09:20] Entrevistador: Mas agora estou perguntando para o caso em que não houvesse o resistor. O que aconteceria?
- [09:21] Entrevistador: O circuito só tem a bateria, a lâmpada e o interruptor.
- [09:21] Entrevistador: O que acontece quando o interruptor é fechado?
- [09:21] Entrevistador: É o mesmo circuito, apenas não tem o resistor
- [09:22] Aluna1: A lâmpada não brilha, eu acho
- [09:23] Entrevistador: Ou seja, a lâmpada estava brilhando e deixa de brilhar quando o interruptor fechar, é isso?
- [09:23] Aluna1: Sim
- [09:33] Entrevistador: Desculpe, tive que atender alguém que tocou a campainha.
- [09:34] Entrevistador: E por quê a lâmpada deixa de brilhar?
- [09:36] Aluna1: Porque quando fecha o interruptor a energia não chega até ela
- [09:38] Entrevistador: E para onde vai a energia?
- [09:41] Aluna1: Não sei
- [09:43] Entrevistador: Se você não sabe, por que disse que a energia não chega até à lâmpada?
- [09:44] Entrevistador: É claro que o seu cérebro sabe. Pergunte a ele por que ele mandou você dizer que energia não chega à lâmpada.
- [09:44] Aluna1: Não sei
- [09:45] Entrevistador: E se alguém disser que a lâmpada continua brilhando como antes, o que você dirá?
- [09:48] Aluna1: Não sei
- [09:50] Entrevistador: Ok. Vamos para a próxima.
- [09:50] Aluna1: Ok

Questão 13

- [09:52] Entrevistador: Qual a alternativa correta?
- [09:54] Aluna1: Não lembro, essa eu chutei
- [09:55] Entrevistador: E que você responderia agora?
- [09:56] Aluna1: O mesmo
- [09:57] Entrevistador: O mesmo o quê?
- [09:58] Aluna1: A mesma resposta de antes
- [09:58] Entrevistador: qual resposta?
- [09:59] Aluna1: Eu não lembro, mas acho que foi a C
- [10:00] Entrevistador: As três lâmpadas brilham igualmente. Por quê?
- [10:00] Entrevistador: Você tinha respondido C.
- [10:00] Entrevistador: Precisa dar sua justificativa
- [10:02] Aluna1: Porque não tem o resistor, não sofrem nenhuma interrupção, não sei
- [10:03] Entrevistador: Diga-me, o que você que faz um resistor no circuito?
- [10:03] Entrevistador: Diga-me, o que você acha que faz um resistor no circuito?
- [10:04] Aluna1: Ele limita a energia elétrica
- [10:06] Entrevistador: Ok. Então, se você está certa, você deve sempre analisar um circuito com essa premissa: o resistor limita a energia elétrica.
- [10:06] Entrevistador: É isso?

- [10:07] Entrevistador: Você sabe dizer por que uma lâmpada incandescente brilha?
- [10:07] Aluna1: Sim
- [10:08] Entrevistador: Não importa se você já leu ou não a esse respeito. Responda a pergunta acima com o que lhe vier à mente.
- [10:08] Entrevistador: Depois na discussão a gente vai acertando a argumentação
- [10:07] Aluna1: Não
- [10:08] Entrevistador: Não, o quê?
- [10:08] Aluna1: Não sei dizer
- [10:09] Entrevistador: Não tem a menor ideia?
- [10:09] Aluna1: Acho que é porque ela esquenta
- [10:09] Entrevistador: Você nunca se preocupou em saber por que as lâmpadas da sua casa brilham?
- [10:10] Entrevistador: Ou seja, sempre que ela está brilhando também está quente, é isso?
- [10:10] Aluna1: Não
- [10:11] Aluna1: Acredito que sim
- [10:12] Entrevistador: E o que faz ela aquecer?
- [10:14] Entrevistador: Você nunca viu uma lâmpada incandescente com o vidro quebrado?
- [10:14] Aluna1: Por causa do resistor que transforma a energia elétrica em térmica
- [10:14] Aluna1: Sim
- [10:15] Entrevistador: Se você tinha essa frase guardada no seu cérebro, por que só agora a pronunciou?
- [10:17] Aluna1: Não sei
- [10:19] Entrevistador: Então, o que tem no bulbo de uma lâmpada incandescente?
- [10:21] Aluna1: Não sei
- [10:22] Entrevistador: Mas, você acabou de dizer que a lâmpada aquece POR CAUSA DO RESISTOR QUE TRANSFORMA ENERGIA ELÉTRICA EM TÉRMICA. . . .
- [10:22] Entrevistador: Então: o que tem dentro da lâmpada?
- [10:24] Aluna1: Não sei
- [10:26] Entrevistador: (nome da aluna), você disse: a lâmpada aquece POR CAUSA DO RESISTOR QUE TRANSFORMA ENERGIA ELÉTRICA EM TÉRMICA
- [10:26] Entrevistador: Onde está esse RESISTOR?
- [10:26] Aluna1: Dentro da lâmpada?
- [10:26] Entrevistador: DENTRO DA LÂMPADA . . .
- [10:27] Entrevistador: Então, o que tem dentro da lâmpada?
- [10:27] Aluna1: O resistor?
- [10:28] Entrevistador: Isso. Uma lâmpada incandescente nada mais do que é do que um RESISTOR
- [10:28] Entrevistador: Uma lâmpada incandescente nada mais É do que é do que um RESISTOR
- [10:29] Entrevistador: Uma lâmpada incandescente nada mais É do que um RESISTOR
- [10:30] Aluna1: Sim sim
- [10:31] Entrevistador: Então, quando você analisa um circuito com lâmpadas, pense em resistores, e se tiver resistores e lâmpadas, pense que é só resistores.
- [10:31] Entrevistador: Com base nisso, você pode rever suas respostas anteriores, mas agora quero apenas voltar à questão 13
- [10:32] Aluna1: Ok

Reproduzi na tela a figura da questão 13

- [10:32] Entrevistador: Qual seria sua resposta?
- [10:34] Entrevistador: Lembre: LÂMPADA = RESISTOR
- [10:37] Aluna1: Eu acho que continua sendo a C
- [10:37] Entrevistador: Ok. Por favor repita sua justificativa
- [10:41] Aluna1: Eu tinha dito que era porque não tem nenhum resistor pra interromper a energia
- [10:45] Entrevistador: Mas, agora você sabe que tem resistores dentro das lâmpadas
- [10:45] Aluna1: Sim
- [10:46] Entrevistador: então, você não pode dizer que NÃO TEM NENHUM RESISTOR PARA INTERROMPER A ENERGIA
- [10:46] Aluna1: Não
- [10:47] Entrevistador: Ok, vamos para a última pergunta

Questão 14

- [10:48] Entrevistador: Examine bem o circuito e pense com calma. Qual a alternativa correta?
- [10:51] Aluna1: Acho que seria a letra B, pois tem um interruptor ligado com uma lâmpada de modo a poder controlar ela

- [10:56] Entrevistador: Vamos pensar com calma. No início da entrevista você disse que a energia sai do polo negativo da bateria, lembra?
- [10:57] Aluna1: Não. Sai do positivo
- [10:58] Entrevistador: OK! Sai do positivo. Então faça uma narrativa acompanhando a energia, desde o momento que sai do polo positivo. Mais ou menos assim, sai do polo positivo, passa por L1, etc.
- [11:01] Aluna1: Não sei dizer
- [11:03] Entrevistador: Sabe, (nome da aluna). Não fique inibida. Fale o que lhe vier à mente . . .
- [11:04] Entrevistador: Vou lhe dá um empurrão . . .
- [11:04] Entrevistador: Depois que a energia passa por L1, o que acontece?
- [11:07] Aluna1: Ela acende, e passa pelas outras
- [11:08] Entrevistador: Passa por L2, depois de L1 e depois?
- [11:09] Aluna1: L4 e L3
- [11:11] Entrevistador: Mas, o enunciado diz que quando o interruptor é aberto, L3 e L4 deixam de brilhar.
- [11:11] Entrevistador: E AGORA?
- [11:12] Aluna1: Não sei
- [11:16] Entrevistador: Como não sabe? A energia passou por L2 e você disse que passou por L3 e L4. OK!
- [11:16] Entrevistador: Mas, por que passou por L3 e L4 e elas não brilham?
- [11:17] Entrevistador: E olhe que a sua resposta é a B, ou seja L1 e L5 brilham como antes. Então, a energia tem que passar por L5 para ela brilhar
- [11:18] Entrevistador: Se passa por L5 e ela brilha, deve ter passado por L3 e L4, não?
- [11:19] Aluna1: A B diz que a L1 brilha e a L5 não brilha
- [11:20] Entrevistador: desculpe. Você tem razão.
- [11:20] Entrevistador: Então por quê L5 não brilha?
- [11:21] Aluna1: Então a energia só passa pela L1 e L2
- [11:22] Entrevistador: Então, depois de L2 para onde vai a energia?
- [11:22] Aluna1: Não sei
- [11:24] Entrevistador: (nome da aluna), imagine um circuito simples, o mais simples possível, uma bateria e uma lâmpada. Faça uma narrativa do trânsito de energia
- [11:24] Entrevistador: Assim: a energia sai daqui, vai para ali, etc . . .
- [11:25] Aluna1: Não sei como funciona
- [11:25] Entrevistador: Não precisa saber como funciona. Descreva o que lhe vier à mente.
- [11:26] Entrevistador: A energia sai do polo positivo da bateria, não é assim que você imagina?
- [11:26] Aluna1: Sim
- [11:27] Entrevistador: Ok, então diga: a energia sai do polo positivo da bateria. E depois passa pela lâmpada , , , não é assim?
- [11:27] Aluna1: Sim
- [11:27] Entrevistador: E quando passa na lâmpada, o que acontece?
- [11:27] Aluna1: Ela acende
- [11:27] Entrevistador: ótimo, isso mesmo.
- [11:28] Entrevistador: E depois que passa pela lâmpada, o que acontece com a energia?
- [11:34] Aluna1: Ela vira energia térmica
- [11:35] Entrevistador: ela vira energia térmica e se acaba?
- [11:36] Aluna1: Não sei
- [11:36] Entrevistador: Como não sabe? Por que você disse que ela vira energia térmica?
- [11:37] Aluna1: Não sei
- [11:37] Entrevistador: Quando você tem um biscoito na mão e coloca na boca, mastiga e engole, o que acontece com o biscoito?
- [11:38] Aluna1: Ele vai pra barriga
- [11:39] Entrevistador: e ele, o biscoito continua existindo?
- [11:39] Aluna1: Sim
- [11:40] Entrevistador: depois que você o mastigou e engoliu, ele continua existindo?
- [11:41] Aluna1: Não
- [11:41] Entrevistador: ah, bom. Seria um milagre que depois de passar por tudo isso ele continuasse existindo
- [11:41] Entrevistador: então, o biscoito chegou na sua mão, passou para sua boca e deixou de existir . . .
- [11:42] Aluna1: Sim
- [11:42] Entrevistador: para onde foi todo aquele material de que era feito o biscoito?
- [11:44] Entrevistador: Alô, (nome da aluna) . . . não precisa pensar muito . . . diga alguma coisa
- [11:45] Entrevistador: o material foi para seu intestino e lá, o que acontece?

[11:47] Entrevistador: Acho que agora você está desconectada. Vamos continuar a entrevista depois, ok?
 Falta pouco para concluir
 [11:48] Aluna1: Pode ser
 [11:48] Entrevistador: Qual a melhor hora para você?
 [11:50] Entrevistador: hora e dia
 [11:49] Aluna1: Pela tarde, depois do almoço
 [11:51] Entrevistador: combinamos 14h30?
 [11:51] Aluna1: Sim sim
 [11:51] Entrevistador: ok, combinado!
 [11:51] Entrevistador: até mais tarde
 [11:51] Aluna1: Até
 [14:33] Entrevistador: Boa tarde (nome da aluna)
 [16:08] Entrevistador: (nome da aluna) temos que agendar outro horário. Esperei até agora, mas vc não respondeu ao meu chamado das 14:30 como tínhamos combinado
 [17:32] Aluna1: Foi pq a internet do meu chip que tinha colocado hoje acabou, e a minha não tinha ajeitado ainda, só deu certo agora, peço desculpas.

Aluno2

[09:10] Entrevistador: Bom dia, (nome do aluno)!
 [09:10] Entrevistador: Bom dia, prof. Andréázio!

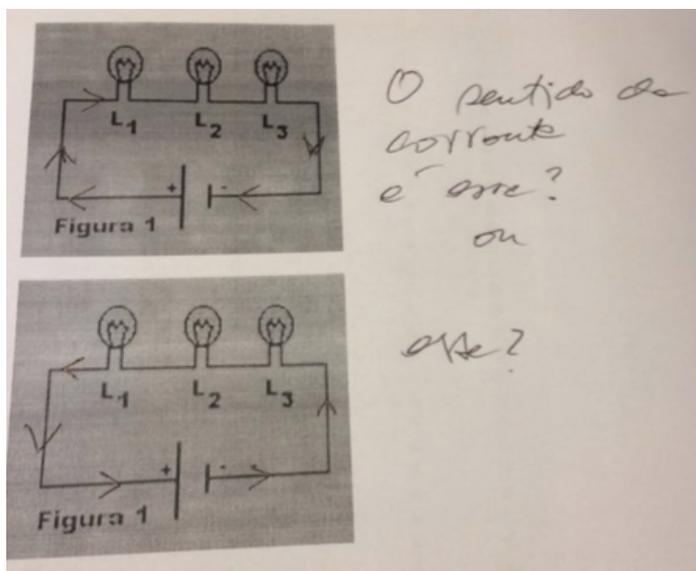
Comentário: nesse dia o prof. Andréázio participou da entrevista.

[09:31] Aluno2: Bom dia!
 [09:31] Aluna3 Bom dia (nome do aluno)!
 [09:33] Aluno2: Professor eu posso ser entrevistado hoje pela tarde tudo bem?
 [09:34] Aluna3 Vamos esperar só a posição do professor Carlos...um minuto...
 [09:34] Aluno2: Ok
 [10:33] Aluno2: Após as 18
 [10:34] Aluna3 Ok. Te passarei o horário exato. Obg. Mas será hj.
 [10:34] Aluno2: Ok
 [10:38] Aluno2: Certo, sem problemas
 [17:45] Aluno2: Tudo bem
 [17:45] Aluno2: Como vai ser? Por áudio, por escrito?
 [17:54] Entrevistador: Boa noite, (nome do aluno) e Andréázio!
 [17:54] Entrevistador: Podemos começar?
 [17:54] Aluno2: Podemos
 [17:54] Aluno2: Boa noite

Questão 1

[17:55] Entrevistador: (nome do aluno), você lembra a resposta que você deu a essa questão?
 [17:56] Aluno2: Eita faz bastante tempo
 [17:56] Entrevistador: Ok, então, qual a alternativa correta?
 [17:56] Aluno2: Letra c
 [17:57] Entrevistador: Pode justificar sua resposta?
 [17:57] Aluno2: Pois a corrente que passa pelo circuito alimenta as 3 lâmpadas de igual forma
 [17:58] Entrevistador: De onde vem a corrente?
 [18:00] Aluno2: Ah verdade, no caso se o circuito não estiver ligado à alguma corrente elétrica as lâmpadas não acenderiam
 [18:00] Aluno2: De alguma corrente elétrica se for o caso
 [18:00] Entrevistador: Ok, mas com o circuito ligado, de onde vem a corrente?
 [18:00] Aluno2: da energia elétrica
 [18:01] Entrevistador: Mas a corrente circula no circuito, não foi isso que você quis dizer?
 [18:01] Aluno2: Sim, isso mesmo
 [18:01] Entrevistador: Minha pergunta é: qual o sentido que a corrente circula nesse circuito?
 [18:02] Aluno2: Anti-horário
 [18:04] Entrevistador: Sai do polo negativo para o positivo? É isso que você quer dizer com anti-horário?
 [18:05] Aluno2: Não, entra pelo polo positivo e sai pelo negativo.
 [18:08] Entrevistador: Qual é a primeira lâmpada que a corrente atinge?
 [18:08] Aluno2: L1
 [18:08] Entrevistador: Então o sentido não pode ser anti-horário

- [18:09] Entrevistador: Se a corrente passa por L1, depois L2 e L3, o sentido é horário, não?
- [18:09] Aluno2: Verdade eu tinha me confundido
- [18:09] Aluno2: sentido horário*
- [18:09] Aluno2: Sim
- [18:10] Entrevistador: Então, ela não pode entrar pelo positivo. Se ela atinge primeiro L1, é porque ela saiu do polo positivo, não?
- [18:11] Aluno2: Sim
- [18:11] Entrevistador: Ok, resumindo, a corrente sai do polo positivo e entra no polo negativo. É isso?
- [18:11] Aluno2: A então o correto seria entrando pelo negativo e saindo pelo positivo?
- [18:12] Aluno2: Isso
- [18:13] Entrevistador: Não sei o que é o correto. Queremos saber o que você acha. Algumas pessoas de um jeito, outras pensam de outro. É isso que estamos investigando.
- [18:13] Entrevistador: Queremos saber o que você pensa sobre esse circuito
- [18:13] Aluno2: Ok
- [18:14] Entrevistador: Vamos resumir para ver se você concorda. A corrente sai da bateria pelo polo positivo, passa pelas lâmpadas e entra no polo negativo. É assim?
- [18:15] Aluno2: Isso, é o que eu acho
- [18:16] Entrevistador: Ok. E é sempre assim? Sempre sai do polo positivo?
- [18:17] Aluno2: Um momento
- [18:17] Aluno2: A minha resposta é a seguinte
- [18:18] Aluno2: A corrente sai da bateria e entra pelo polo positivo, passa pelas lâmpadas e sai no polo negativo
- [18:19] Aluno2: Compreende?
- [18:20] Entrevistador: Escreva melhor sua resposta. Ela está confusa. O que você quer dizer com sai da bateria e entra pelo polo positivo?
- [18:20] Entrevistador: A bateria só dois pontos de entrada e saída
- [18:20] Entrevistador: o polo positivo e o negativo
- [18:21] Entrevistador: Se a corrente sai de um, tem que entrar pelo outro, não?
- [18:21] Entrevistador: Será que a corrente pode sair dos dois polos?
- [18:22] Entrevistador: A bateria só tem dois pontos, de saída e entrada
- [18:27] Aluno2: ah tudo bem



- [18:28] Entrevistador: Qual o sentido da corrente? O de cima ou o de baixo?
- [18:28] Aluno2: O de cima
- [18:29] Entrevistador: Então, a corrente sai do polo positivo, passa pelo circuito e entra pelo polo negativo, é isso?
- [18:29] Aluno2: Isso
- [18:30] Entrevistador: Beleza. Vamos para a próxima pergunta
- [18:30] Aluno2: Ok

Questão 2

[18:30] Entrevistador: Você lembra da sua resposta?
 [18:30] Entrevistador: Se não lembra, qual a alternativa correta?
 [18:31] Aluno2: Letra a
 [18:32] Entrevistador: Poderia justificar a resposta?
 [18:33] Aluno2: Por conta que a o brilho da lâmpada não será alterado pelo uso do resistor
 [18:33] Entrevistador: Maravilha!

Questão 4

[18:34] Entrevistador: Alternativa correta e justificativa
 [18:35] Aluno2: Letra b, pois ao fechar o interruptor não será alterado o brilho de L1
 [18:35] Entrevistador: Ok.

Questão 5

[18:36] Entrevistador: Resposta e justificativa?
 [18:38] Aluno2: Letra b, pois o resistor não irá alterar o brilho na corrente
 [18:38] Entrevistador: (nome do aluno)?
 [18:38] Entrevistador: Você está aí?
 [18:39] Entrevistador: (nome do aluno), diga algo!
 [18:41] Aluno2: Acho que é problema com a Internet
 [18:41] Aluno2: A minha está normal
 [18:41] Entrevistador: Ok!
 [18:41] Entrevistador: Vamos para a próxima
 [18:41] Aluno2: Ok

Questão 6

[18:42] Entrevistador: Resposta e justificativa?
 [18:43] Aluno2: Letra c, pois ao fechar o interruptor L irá brilhar
 [18:45] Entrevistador: Ok.
 [18:47] Entrevistador: Está demorando para carregar a imagem
 [18:47] Entrevistador: vou enviar novamente
 [18:49] Entrevistador: (nome do aluno), você tá vendo a questão 13?
 [18:49] Entrevistador: aqui fica rodando, como se a imagem não carregasse.
 [18:47] Aluno2: Mais alguma?
 [18:50] Entrevistador: Tem essa 13 e a 14
 [18:51] Entrevistador: Você está vendo a 13 na tela?

Questão 13

[18:51] Aluno2: Letra c, pois a corrente é a mesma em todas as lâmpadas
 [18:52] Entrevistador: Agora vamos para a última

Questão 14

[18:54] Aluno2: Letra c, já que L2 brilha, consequentemente L1 e L5 brilham
 [18:56] Entrevistador: E por que você acha que L3 e L4 deixam de brilhar?
 [18:57] Aluno2: Por conta que o interruptor é aberto
 [18:57] Entrevistador: E por que o interruptor aberto afeta L3 e L4 e não afeta L5?
 [18:59] Aluno2: Porque na questão fala que mesmo com o interruptor aberto L2 continua brilhando então consequentemente L5 irá brilhar
 [19:02] Aluno2: Ok? Já posso ir?
 [19:02] Entrevistador: Mas como explicar que L5 brilha se L3 e L4 não brilham?
 [19:04] Aluno2: Então posso corrigir?
 [19:04] Aluno2: Letra b
 [19:05] Entrevistador: você quer mudar para B?
 [19:05] Entrevistador: OK!
 [19:05] Aluno2: Já que L3 e L4 não brilham somente L1 brilha
 [19:05] Entrevistador: Então, o que teria acontecido com a corrente elétrica?
 [19:07] Aluno2: Irá percorrer pelo circuito
 [19:08] Entrevistador: Se percorre pelo circuito, por que não faz L3, L4 e L5 brilharem?
 [19:09] Aluno2: A corrente irá afetar todas as lâmpadas menos L5
 [19:11] Entrevistador: Não entendi. Você quer dizer que todas as lâmpadas brilham, menos L5?
 [19:12] Entrevistador: Mas esta opção nem está colocada!

[19:12] Entrevistador: Não há uma opção que apenas L5 não brilha
 [19:12] Aluno2: Kkk agora me confundi
 [19:13] Entrevistador: desculpe há sim a B
 [19:13] Entrevistador: Mas vc precisa explicar por que L5 não brilha
 [19:14] Aluno2: Por conta que o circuito foi aberto
 [19:14] Aluno2: corrigindo
 [19:15] Entrevistador: Mas L2 brilha. Significa que tem corrente passando por ali, não?
 [19:14] Aluno2: O interruptor é aberto
 [19:14] Aluno2: Deixando fazendo com que a L5 deixe de brilhar
 [19:15] Aluno2: Fazendo com que L5 deixe de brilhar*
 [19:15] Aluno2: Sim
 [19:17] Entrevistador: E para onde foi a corrente que estava passando por L2?
 [19:18] Aluno2: corre por L1
 [19:19] Entrevistador: Ok. Obrigado (nome do aluno). Depois o prof. Andréázio conversa contigo sobre essa entrevista. Foi muito boa.
 [19:19] Aluno2: Ok, obrigado.

Aluna3

[10:50] Entrevistador: Bom dia, (nome da aluna). Você está online?
 [10:51] Aluna3: Sim

Questão 1

[10:56] Entrevistador: (nome da aluna), você lembra qual a resposta que vc deu a essa questão?
 [10:56] Aluna3: Infelizmente não
 [10:57] Entrevistador: Ok. Então qual a alternativa você acha correta?
 [10:57] Aluna3: Alternativa C
 [10:57] Entrevistador: Pode justificar sua resposta?
 [10:58] Aluna3: Pq os três estão na mesma linha
 [10:59] Entrevistador: E o que tem a ver as três estarem na mesma linha com a alternativa C?
 [11:05] Aluna3 E então professor
 [11:05] Aluna3 A energia irá passar pelas três na mesma intensidade
 [11:06] Entrevistador: Ok. E de onde vem essa energia?
 [11:07] Aluna3 Do gerador
 [11:09] Entrevistador: Ela chega nas três lâmpadas ao mesmo tempo ou em sequência? Ou seja, tem alguma lâmpada que recebe a energia antes das outras?
 [11:10] Aluna3 Em sequência
 [11:10] Aluna3 A primeira lâmpada
 [11:11] Entrevistador: Qual é a primeira lâmpada que recebe a energia, L1 ou L3?
 [11:11] Aluna3 L3
 [11:12] Entrevistador: Você sabe justificar por que L3 recebe a energia antes das outras?
 [11:13] Aluna3 Creio que seja por é o lado negativo, porém, não sei justificar
 [11:15] Entrevistador: Ok. Você entende que a energia sai do lado negativo, é isso?
 [11:16] Aluna3 Sim
 [11:17] Entrevistador: Ok! Vamos agora para a próxima questão
 [11:17] Aluna3 Ok

Questão 2

[11:18] Entrevistador: Lembra qual foi a sua resposta?
 [11:18] Aluna3 Não
 [11:19] Entrevistador: E qual alternativa você acha correta?
 [11:19] Aluna3 Alternativa C
 [11:19] Entrevistador: Por quê?
 [11:20] Aluna3 Por que quando a energia passa da L2 a L1 não vai ter a mesma intensidade por conta do resistor
 [11:22] Entrevistador: Ok!
 [11:22] Entrevistador: Por quê você acha que a energia sai do polo negativo?
 [11:22] Aluna3 Não sei dizer
 [11:22] Entrevistador: OK!

Comentário: Incluí a questão 3

- [11:23] Entrevistador: Imagino que você não vai lembrar qual foi sua resposta. Então pergunto: qual a alternativa correta?
 [11:25] Aluna3 Alternativa B
 [11:25] Entrevistador: Por quê?
 [11:26] Aluna3 Por que antes da L1 tem um resistor e da L2 não
 [11:26] Entrevistador: OK!

Questão 4

- [11:27] Entrevistador: Qual a alternativa correta?
 [11:27] Entrevistador: E por quê?
 [11:28] Aluna3 Alternativa A
 [11:28] Aluna3 Não sei justificar
 [11:30] Entrevistador: Você deve ter alguma razão para escolher A e não as outras. Você não deve ter fechado o olho e colocado o dedo por acaso na A. Tente dizer qual a razão pela qual você escolheu a A.
 [11:31] Aluna3 Posso trocar a alternativa?
 [11:32] Entrevistador: Pode
 [11:33] Entrevistador: mas, diga o porquê
 [11:33] Aluna3 Então alternativa C
 [11:33] Entrevistador: Por quê?
 [11:33] Aluna3 Por que pensei melhor na resposta
 [11:34] Entrevistador: E qual é a justificativa para sua resposta?
 [11:34] Aluna3 Por que quando fechar o interruptor conseqüentemente irá interromper o circuito
 [11:35] Entrevistador: Mas, se interrompe o circuito, como L1 continua brilhando?
 [11:36] Aluna3 Ela não vai parar de brilhar, só vai diminuir a intensidade de luz
 [11:38] Entrevistador: Sim, mas se interrompe o circuito, como passa corrente em L1 para ela brilhar, mesmo com menor intensidade?
 [11:38] Aluna3 Não sei
 [11:39] Entrevistador: (nome da aluna), se você faz uma afirmação, tem que haver uma razão. Por exemplo, o que você quer dizer com "Por que quando fechar o interruptor conseqüentemente irá interromper o circuito"?
 [11:39] Aluna3 Está perto do final?
 [11:39] Aluna3 Está perto do final professor ?
 [11:40] Entrevistador: O que significa INTERROMPER O CIRCUITO?
 [11:42] Entrevistador: Ainda faltam 4 questões. Você quer parar e continuar depois?
 [11:41] Aluna3 Não sei, eu só tentei achar uma justificativa para a resposta
 [11:42] Aluna3 Me confundi na resposta
 [11:44] Entrevistador: Não sei ao que você se refere com o "Não sei, eu só tentei . . ."
 [11:44] Entrevistador: Vamos por parte: primeiro, o que você entende por interromper o circuito?
 [11:44] Aluna3 Professor assim que eu chegar em casa eu termino com o questionário, por que já acabou o horário de aula é preciso ir pra casa por que moro longe
 [11:45] Entrevistador: OK!
 [11:45] Entrevistador: Você avisa quando estiver disponível?
 [12:25]
 Aluna3: Professor estou disponível para o teste
 [12:57] Entrevistador: Oi, (nome da aluna). Sai para o almoço e volto às 14h. Pode ser?
 [12:58] Aluna3: Pode sim
 [12:59] Entrevistador: Combinado 14h
 [13:00] Aluna3: Ok
 [14:15] Entrevistador: boa tarde (nome da aluna)!
 [14:16] Aluna3: Boa tarde
 [14:19] Entrevistador: Estávamos conversando sobre a questão 4

Comentário: Repeti o desenho da Questão 4

- [14:19] Entrevistador: Eu queria saber o que você entende por INTERROMPER O CIRCUITO
 [14:20] Aluna3: Interromper o circuito é quando se cancela a energia
 [14:21] Aluna3: Creio então que seja a alternativa B, Por que o interruptor não está conectado a lâmpada L1
 [14:23] Entrevistador: Você disse no início da entrevista que a luz brilha por causa da energia, e que energia sai do polo negativo. Quem leva essa energia até às lâmpadas?
 [14:24] Aluna3: Seria o condutor?

[14:25] Entrevistador: A energia deve ir pelo condutor, mas quem transporta essa energia através do condutor?

[14:26] Aluna3: Não sei dizer

[14:28] Entrevistador: Quando você estudou sobre circuito elétrico, não leu nada sobre corrente elétrica?

[14:30] Aluna3: Não muito

[14:31] Entrevistador: OK. Vamos para a próxima

[14:31] Aluna3: Ok

Questão 5

[14:32] Entrevistador: Qual é a alternativa correta? E por quê?

[14:33] Aluna3: Alternativa C

[14:33] Entrevistador: Por quê?

[14:33] Aluna3: Por que no circuito 5b o resistor não está a frente da lâmpada

[14:33] Entrevistador: Ok!

Questão 6

[14:34] Entrevistador: Qual é a alternativa correta?

[14:35] Aluna3: Alternativa B

[14:39] Entrevistador: Por quê?

[14:40] Aluna3: Por que ao fechar o interruptor irá interromper o circuito

[14:42] Entrevistador: Você já consegue dizer o que entende por INTERROMPER O CIRCUITO?

[14:43] Aluna3: Creio que seja cancelar a energia

[14:44] Entrevistador: Interrompe a circulação de energia, é isso?

[14:44] Aluna3: Sim

[14:45] Entrevistador: OK!

Questão 13

[14:45] Entrevistador: Alternativa correta?

[14:46] Aluna3: Alternativa C

[14:46] Entrevistador: Por quê?

[14:47] Aluna3: Por que a intensidade da energia é a mesma

[14:47] Entrevistador: OK!

Questão 14

[14:48] Entrevistador: Alternativa correta?

[14:54] Aluna3: Alternativa B

[14:55] Entrevistador: Por quê L5 não brilha?

[14:56] Aluna3: Creio que pela conexão com L3 e L4

[14:57] Entrevistador: Por quê as lâmpadas L3 e L4 deixam de brilhar?

[14:59] Aluna3: Por que na questão diz quando o interruptor é aberto L3 e L4 deixam de brilhar

[14:59] Entrevistador: Eu sei que este é o enunciado, mas por quê quando o interruptor é aberto elas deixam de brilhar?

[15:01] Aluna3: Por que ficam sem circulação de energia

[15:03] Entrevistador: OK. Mas no circuito tem energia, porque L1 brilha, não é?

[15:04] Aluna3: Sim

[15:04] Entrevistador: Então, para onde foi essa energia que não em L3, L4 e L5?

[15:04] Entrevistador: Que não chega em L3, L4 e L5

[15:05] Aluna3: Não sei dizer

[15:07] Entrevistador: OK, obrigado, (nome da aluna) pela entrevista. Depois o prof. Andrézio vai conversar contigo sobre a análise da entrevista. Sucesso nos estudos.

[15:07] Aluna3: De nada

[15:08] Aluna3: Obrigada, boa tarde professor Cas

[15:08] Entrevistador: Boa tarde!

Aluna4

[08:55] Entrevistador: Oi, (nome da aluna)! Bom dia!

[08:55] Aluna4: Bom dia

[08:55] Entrevistador: Vamos organizar a escala das entrevistas.

[08:56] Entrevistador: É super importante que enquanto não fizermos todas as entrevistas, os alunos não conversem entre si sobre o que discutimos na entrevista. Para não produzir respostas fora do controle. Tá ok?

[08:57] Aluna4: Ok

[09:27] Aluna4: Eu posso agora professor

[09:27] Aluna3 Ótimo.

[09:28] Entrevistador: Bom dia, (nome da aluna)

[09:28] Aluna4: Bom dia

Questão 1

[09:37] Entrevistador: (nome da aluna), você lembra qual foi sua resposta a pergunta?

[09:38] Entrevistador: Qual a opção vc escolheu no dia do teste?

[09:38] Aluna4: Não lembro

[09:39] Entrevistador: Que resposta vc daria agora?

[09:39] Aluna4: Acho que foi A, mas não lembro

[09:40] Entrevistador: É como vc explicaria sua resposta? Se preferir vc pode dar a resposta em áudio

[09:42] Aluna4: Vou trocar pra letra C. Por que a energia passa por todas igualmente

[09:44] Entrevistador: Ok, a energia passa igual em todas. E como a energia chega nessas lâmpadas?

[09:44] Entrevistador: De onde vem a energia?

[09:45] Aluna4: Não tenho contato com outros

[09:45] Entrevistador: A letra C foi sua resposta no dia do teste.

[09:45] Entrevistador: Maravilha

[09:46] Aluna4: Eu não sei exatamente, mas pra mim esse ponto que está positivo é de onde vem a energia não sei que nome se dá

[09:47] Entrevistador: Ok, então, a energia sai do polo positivo e passa pelas lâmpadas. É assim?

[09:47] Aluna4: Sim, exatamente

[09:48] Entrevistador: E quem leva essa energia até às lâmpadas?

[09:48] Entrevistador: Quem é que faz o transporte de energia?

[09:49] Aluna4: Esse fio

[09:49] Aluna4: Não sei os nomes

[09:51] Aluna4: Condutor

[09:51] Entrevistador: O que ocorre dentro do fio, do ponto de vista microscópico? Corrente elétrica? Elétrons? Prótons? Essas coisas têm a ver com a energia que chega às lâmpadas?

[09:52] Aluna4: A corrente elétrica

[09:53] Entrevistador: Ok, corrente elétrica. E qual é mesma a direção que essa corrente circula?

[09:53] Aluna4: Não entendi

[09:54] Entrevistador: Ela passa pelas lâmpadas vindo de qual ponto?

[09:54] Aluna4: Do ponto positivo

[09:54] Entrevistador: Ah, tá. Muito bom. Vamos para a segunda pergunta.

Questão 2

[09:55] Entrevistador: Você lembra qual foi sua resposta?

[09:55] Aluna4: Ok

[09:55] Aluna4: A b?

[09:56] Entrevistador: Exatamente. Essa foi sua resposta. Pode explicar?

[09:56] Entrevistador: Comece pelo que vc disse acima. A corrente sai do polo positivo, não é assim?

[09:57] Aluna4: Por que esse a esta representado com R, eu entendi como se ele fosse uma interrupção

[09:58] Aluna4: Sim, ela passa pelo L1 sofre essa "interrupção" e passa pelo L2

[09:58] Entrevistador: E o que produz essa interrupção? Qual é seu efeito?

[09:59] Entrevistador: O que exatamente vc quer dizer com interrupção?

[09:59] Aluna4: O efeito é q a energia tem dificuldade pra passar, é assim q eu entendi mais ou menos

[09:59] Entrevistador: Maravilha!

[09:59] Entrevistador: E por que essa dificuldade vai fazer com que L2 brilhe menos do que L1?

[10:00] Aluna4: Como se fosse...alguma coisa q fizesse que a energia ficasse com menos força, algo do tipo

[10:01] Aluna4: Pq vai receber menos energia..

[10:02] Entrevistador: Ok. Se é assim, por que no caso da questão, a lâmpada do meio não interrompe a energia?

[10:02] Aluna4: Pq não a essa "interrupção", ela passa direto por todas as 3 lâmpadas

[10:02] Entrevistador: no caso da questão 1, eu quis dizer

[10:02] Entrevistador: Maravilha, (nome da aluna). Vamos para a próxima.

[10:03] Aluna4: Ok

Questão 4

[10:03] Entrevistador: Lembra da sua resposta?

[10:04] Aluna4: B?

[10:04] Entrevistador: Pode justificar sua resposta?

[10:05] Aluna4: Pq como a L1 está antes da L2, então o interruptor não afeta a L1

[10:08] Entrevistador: Ok. Vamos para a próxima.

[10:08] Aluna4: Ok

Questão 5

[10:08] Entrevistador: Lembra a resposta?

[10:09] Aluna4: A

[10:10] Aluna4: ?

[10:10] Entrevistador: Pode justificar?

[10:11] Entrevistador: Pelo que vc escreveu acima, essa era a resposta que vc desse. Quero agora ver a justificativa

[10:11] Entrevistador: Essa era a resposta que eu esperava.

[10:12] Aluna4: Pq na 5B, ela sofre esse curto antes de chegar na L... já na A ela sofre depois

[10:12] Entrevistador: Isso tá consistente com o que vc disse acima. Vamos adiante.

Questão 6

[10:13] Entrevistador: Lembra a resposta?

[10:15] Aluna4: Estou em dúvida na A e C

[10:16] Entrevistador: Tente explicar por que seria A, e depois tente explicar por que seria C

[10:17] Aluna4: A pq de qualquer forma ela continua brilhando

C pq o interruptor fecha

[10:18] Entrevistador: Ok! Vamos para a próxima.

Questão 13

[10:19] Entrevistador: Qual a resposta e qual a justificativa?

[10:20] Aluna4: Eu acho q C, pq não ouve nenhum curto

[10:22] Entrevistador: Ok, tá mais ou menos de acordo com o que vc disse antes. Vamos para a última questão.

[10:22] Aluna4: A energia é distribuída igualmente

Questão 14

[10:22] Entrevistador: Resposta e justificativa

[10:24] Aluna4: B, pq se a L3 e L4 não brilham, a energia não passa por eles, então n tem como chegar a L5

[10:28] Entrevistador: Ok, (nome da aluna). Muito obrigado. Só reforçando o que dissemos: por favor não conversem com seus colegas sobre a entrevista. Nós sorteamos 5 para fazer essas entrevistas. Depois o prof. Andreázio vai apresentar para toda a turma os resultados. Pode crer, são resultados super interessantes, que já foram verificados em vários países e estamos agora testando na sua escola. Bom dia!

[19:20] Entrevistador: Boa noite, (nome da aluna)!

[19:21] Entrevistador: Você está aí?

[19:21] Entrevistador: Podemos começar a entrevista?

[19:21] Aluna5: Sim

Questão 1

[19:22] Entrevistador: Você lembra a resposta que você deu a essa pergunta?

[19:22] Aluna5: Acho que a letra c

[19:23] Entrevistador: Ok. Pode justificar a resposta?

[19:23] Aluna5: Sim

[19:23] Aluna5: Acho que pelo fato de ser um circuito em série todas recebem a mesma energia

[19:25] Entrevistador: Maravilha! Vamos em frente

[19:25] Aluna5: Ok

Questão 2

[19:25] Entrevistador: Você lembra da resposta?

[19:26] Aluna5: Acho que a

[19:28] Aluna5: E a justificativa seria a mesma da primeira

[19:29] Entrevistador: Ok. Uma pergunta que vale para as duas. De onde vem essa energia?

[19:30] Aluna5: Não compreendi

[19:31] Entrevistador: Você disse na primeira questão que as lâmpadas recebem a mesma energia. Eu pergunto: de onde vem essa energia?

[19:32] Aluna5: De algum condutor

[19:33] Entrevistador: Como de algum condutor? Especificamente no circuito das questões 1 e 2, de onde vem essa energia? Ou quem fornece essa energia?

[19:34] Aluna5: Não sei explicar

[19:34] Entrevistador: Ok. Não existe uma corrente elétrica no circuito?

[19:35] Aluna5: Acredito que sim

[19:35] Aluna5: Vem de um fornecedor

[19:37] Entrevistador: Não se preocupe pelo fato de você não saber explicar minha questão sobre energia. Essa é uma questão que há muito controvérsia.

[19:37] Aluna5: Ok

[19:37] Entrevistador: No circuito, quem você imagina que seja o fornecedor?

[19:37] Aluna5: Acho que ele não está representado

[19:38] Entrevistador: E aqueles dois tracinhos na parte de baixo do circuito?

[19:38] Aluna5: A ligação com o fornecedor

[19:40] Entrevistador: Ok, mas nesse circuito, qual o sentido que a corrente percorre?

[19:42] Aluna5: Acho que os dois

[19:42] Entrevistador: Você quer dizer no sentido horário e no sentido anti horário?

[19:42] Aluna5: Sim

[19:43] Entrevistador: Ok. Aqueles dois tracinhos representa a bateria que alimenta o circuito. É a fonte de energia, que é transportada pela corrente elétrica.

[19:43] Entrevistador: Por que você acha que a corrente circula nos dois sentidos?

[19:44] Aluna5: Ok

[19:47] Entrevistador: Por que a corrente circula nos dois sentidos?

[19:48] Aluna5: Acho que porque as lâmpadas precisam tanto de prótons como de elétrons

[19:49] Aluna5: Daí ela tem de receber os dois ao mesmo tempo

[19:49] Entrevistador: Ok. Vamos para a próxima

[19:49] Aluna5: Certo

Questão 4

[19:49] Entrevistador: Lembra da resposta?

[19:50] Aluna5: Acho que a C

[19:50] Entrevistador: Justificativa?

[19:51] Aluna5: B*

[19:52] Entrevistador: quer mudar para a opção B?

[19:52] Aluna5: Sim

[19:52] Entrevistador: justifique

[19:52] Aluna5: É porque as letras estão perto

[19:53] Entrevistador: Não entendi. A letras estão perto?

[19:53] Aluna5: Porque o de L2 que vai dividir com o que será fechado

[19:53] Aluna5: L1 ficaria o mesmo

[19:53] Aluna5: No teclado do celular

[19:54] Entrevistador: ah, sim! □

[19:54] Entrevistador: ok!

Questão 5

[19:54] Entrevistador: E essa? Qual é a resposta?

[19:55] Entrevistador: Tb dê a justificativa

[19:55] Aluna5: Tipo se fosse 10 pra L1 e 10 pra L2, quando fechasse L2 ficaria com 5 e o que fechou com 5 também

[19:55] Entrevistador: Essa ainda é a resposta da 4, é isso?

[19:55] Aluna5: Acho que a B
 [19:55] Aluna5: Sim
 [19:56] Entrevistador: Letra B para a questão 5. Justifique
 [19:57] Aluna5: Acho que é a B porque na minha concepção a corrente vai em ambos os sentidos, então não mudaria nada a posição da lâmpada e do resistor
 [19:58] Entrevistador: Ok! Vamos adiante.
 [19:58] Aluna5: Ok

Questão 6

[19:58] Entrevistador: Resposta e justificativa
 [19:59] Aluna5: Acho que C
 [20:00] Entrevistador: Por quê?
 [20:00] Aluna5: Porque a corrente dela vai só dividir
 [20:01] Entrevistador: se dividir, você quis dizer?
 [20:02] Entrevistador: Depois vc responder minha pergunta acima. Vamos para a próxima

Questão 13

[20:02] Entrevistador: Resposta e justificativa
 [20:01] Aluna5: Sim
 [20:03] Aluna5: Qual?
 [20:05] Entrevistador: sobre "se dividir". Vc já respondeu SIM
 [20:05] Entrevistador: Responda a 13 e justifique
 [20:05] Aluna5: A
 [20:06] Entrevistador: Por quê?
 [20:07] Aluna5: Porque L3 recebe metade de todo o circuito, enquanto a outra metade é dividido pra L1 e L2
 [20:07] Aluna5: Dividida*
 [20:08] Entrevistador: ok!
 [20:08] Entrevistador: Vamos para a última
 [20:09] Aluna5: Ok

Questão 14

[20:09] Entrevistador: Resposta e justificativa
 [20:11] Aluna5: Acho que B
 [20:11] Entrevistador: Por quê?
 [20:11] Aluna5: Porque o circuito deve ter sido cortado
 [20:12] Aluna5: Já que as lâmpadas L3 e L4 param de brilhar a próxima também não brilha
 [20:13] Aluna5: Eu acho
 [20:13] Entrevistador: Você não pode usar a palavra DEVE. O circuito foi ou não cortado.
 [20:13] Entrevistador: E para onde foi a corrente?
 [20:13] Aluna5: Acho que foi
 [20:13] Aluna5: Não sei
 [20:14] Entrevistador: A corrente passa por L1, que brilha, tem que passar por L2 que tb brilha, . . . e depois, o que acontece?
 [20:15] Aluna5: Não sei
 [20:15] Entrevistador: Ok. Obrigado. Depois o prof. Andréázio vai conversar contigo sobre a entrevista. Foi importante sua participação. Parabéns!

Aluno6

[15:03] Entrevistador: Boa tarde (nome do aluno). Podemos começar a entrevista?
 [15:07] Aluno6: Boa tarde
 [15:07] Aluno6: Podemos

Questão 1

[15:10] Entrevistador: Lembra qual foi a sua resposta?
 [15:11] Aluno6: C
 [15:11] Entrevistador: Pode justificá-la?
 [15:12] Aluno6: Pelo q eu acho é pq o circuito é em serie
 [15:12] Aluno6: Então a corrente é a msm

- [15:12] Entrevistador: OK!
- [15:12] Entrevistador: E a corrente circula em que sentido?
- [15:12] Aluno6: Horário
- [15:13] Entrevistador: Sai do polo positivo e entra no negativo?
- [15:13] Aluno6: Anti-horário, desculpa
- [15:13] Aluno6: Sai do negativo e entra no positivo
- [15:13] Entrevistador: OK!
- [15:13] Entrevistador: E por quê a corrente produz o brilho na lâmpada?
- [15:14] Aluno6: Devido ao fluxo
- [15:14] Aluno6: Eu acho
- [15:14] Entrevistador: Sim, mas e por quê o fluxo produz o brilho?
- [15:15] Aluno6: $Pq \text{ corrente} \times \text{tensão} = \text{potencia}$
- [15:15] Entrevistador: o que tem a potência a ver com o brilho?
- [15:16] Aluno6: Pra mim potencia não é energia, então energia realiza trabalho
- [15:16] Aluno6: Q no caso é acender esta lâmpada
- [15:16] Entrevistador: OK!
- [15:17] Entrevistador: Você acha que quanto maior a corrente, maior o brilho?
- [15:17] Aluno6: Acho q erreí essa
- [15:17] Entrevistador: Como assim?
- [15:18] Entrevistador: No teste na aula?
- [15:18] Aluno6: Pq eu acho q o brilho da lâmpada se dá a luminosidade do fabricante
- [15:18] Entrevistador: e não depende da corrente?
- [15:18] Aluno6: Então eu acho q a corrente é sim importante, mas acho q não determina a luminosidade não.
- [15:19] Aluno6: Eu respondi consciente
- [15:19] Aluno6: Mas sempre me pergunto se realmente a luminosidade vem da corrente
- [15:19] Entrevistador: No teste você respondeu C
- [15:20] Aluno6: Sim
- [15:21] Entrevistador: Você sabe o mecanismo microscópico pelo qual a corrente produz o brilho na lâmpada?
- [15:21] Aluno6: Me esqueci
- [15:21] Entrevistador: Como esqueceu? Você já estudou isso?
- [15:21] Aluno6: Feixe luminoso?
- [15:21] Aluno6: Já, lá no IFCE
- [15:22] Aluno6: Só q não lembro
- [15:22] Entrevistador: Vamos voltar à questão de brilho e corrente
- [15:22] Aluno6: Ok
- [15:22] Entrevistador: Em primeiro lugar, entendi que você acha que o brilho é produzido pela corrente, é isso?
- [15:27] Aluno6: Sim
- [15:28] Entrevistador: E quanto mais corrente, maior o brilho?
- [15:28] Aluno6: Sim
- [15:28] Entrevistador: OK!
- [15:29] Entrevistador: Vamos para a segunda questão
- [15:29] Aluno6: Ok

Questão 2

- [15:29] Entrevistador: Resposta e justificativa
- [15:30] Aluno6: C
- [15:31] Aluno6: Pq o resistor ali vai limitar a corrente ou seja diminuir então o brilho em L1 Será menor
- [15:32] Entrevistador: OK!

Comentário: inclui a questão 3

- [15:33] Entrevistador: E nesse caso, qual a resposta?
- [15:34] Aluno6: B
- [15:34] Aluno6: Pq tem um resistor q vai limitar a corrente antes de chegar a L1
- [15:34] Aluno6: E no L2 não há resistência
- [15:35] Entrevistador: OK!

Questão 4

[15:36] Entrevistador: Resposta e justificativa?
 [15:37] Aluno6: B
 [15:37] Entrevistador: Por quê?
 [15:37] Aluno6: Pq a chave vai ligar o circuito
 [15:38] Aluno6: Então a msm corrente q passa por L2 passa por L1
 [15:38] Entrevistador: OK

Questão 5

[15:39] Entrevistador: Resposta e justificativa?
 [15:40] Aluno6: C
 [15:40] Aluno6: Pq a corrente sai polo negativo para positivo
 [15:40] Aluno6: E no 5a tem o resistor
 [15:42] Entrevistador: OK

Questão 6

[15:43] Entrevistador: Resposta e justificativa?
 [15:51] Aluno6: A pq vai ligar o circuito em paralelo com a lâmpada
 [15:51] Aluno6: E vai continuar brilhando
 [15:51] Aluno6: Pq só passa pelo resistor na volta
 [15:53] Entrevistador: OK

Questão 13

[15:53] Entrevistador: Resposta e justificativa?
 [15:59] Aluno6: A
 [15:59] Aluno6: Pq
 [15:59] Aluno6: Percebe-se 2 circuitos
 [15:59] Aluno6: Um serie e outro paralelo
 [15:59] Aluno6: O serie tem duas lâmpadas
 [16:00] Aluno6: Onde brilham a msm intensidade q e menor q L3
 [16:00] Aluno6: Pq L3 vai a corrente dividida
 [16:00] Entrevistador: OK
 [16:00] Aluno6: E L1 e L2
 [16:01] Aluno6: Ainda e dividida por 2

Questão 14

[16:01] Entrevistador: Resposta e justificativa
 [16:02] Aluno6: C
 [16:02] Aluno6: Brilham
 [16:03] Aluno6: Simplesmente pq o circuito q nao brilha e o q ta em paralelo
 [16:03] Aluno6: E outros tao em serie
 [16:03] Entrevistador: Como é que você explica o fato de L1 e L5 brilharem e L3 e L4 não?
 [16:03] Aluno6: Tá em paralelo
 [16:04] Aluno6: Em relação ao circuito total
 [16:04] Entrevistador: Quem tá em paralelo?
 [16:04] Aluno6: L3 e L4
 [16:05] Aluno6: Ai elas apagaram é como se ficasse só um fio sem nada ou seja pega L2 e L5
 [16:06] Entrevistador: Pelo que você disse acima, tem que haver corrente para haver brilho, não foi?
 [16:06] Aluno6: Foi
 [16:08] Entrevistador: então, se L3 e L4 não brilham significa que não passa corrente por elas?
 [16:09] Aluno6: É pq pararam de brilhar
 [16:10] Entrevistador: Essa é minha pergunta: se L3 e L4 não brilham, significa que não passa corrente por elas?
 [16:11] Aluno6: Sim
 [16:11] Aluno6: É como se passasse só um fio
 [16:11] Aluno6: Ai iam ficar L1, L5 e L2 brilhando
 [16:13] Entrevistador: Então, não passa corrente por L3 e L4, certo?
 [16:13] Entrevistador: Sim ou Não
 [16:13] Aluno6: Sim
 [16:13] Entrevistador: E como é que passa por L5 e L1, e não passa por L3 e L4?
 [16:14] Aluno6: É como se as lâmpadas L3 e L4 Sumissem do circuito, passando um fio

[16:17] Entrevistador: Mas o enunciado não diz que houve sumiço, nem que tem um fio passando. O circuito é esse que está na figura.

[16:18] Entrevistador: E agora, passa ou não passa corrente por L3 e L4?

[16:18] Aluno6: Eu tenho outra teoria

[16:18] Aluno6: Passa

[16:18] Entrevistador: qual é sua teoria?

[16:19] Aluno6: Vou explicar. Acho q a corrente é suficiente apenas para acender uma lâmpada por vez

[16:20] Entrevistador: Sua resposta está quase correta. Foi a melhor resposta que você deu até agora

[16:19] Aluno6: Q no caso passa por L1 acendeu chegou em L3 e L4 a corrente se dividiu pq é paralelo

[16:20] Aluno6: Ai quando passou por eles dois a corrente juntou o total ficando igual

[16:20] Aluno6: Ai passa por L2 e conseqüentemente por L5.

[16:21] Entrevistador: A entrevista terminaria aqui, mas em função dessa sua resposta gostaria de continuar. Você tem mais uns minutos?

[16:22] Aluno6: Tenho

[16:23] Entrevistador: Vamos voltar à questão da corrente e do brilho, mas em primeiro lugar, quero saber uma coisa: você já viu uma lâmpada incandescente com o vidro quebrado?

[16:23] Aluno6: Não

[16:24] Entrevistador: Seria melhor se você já tivesse visto. Sabe o que tem dentro de uma lâmpada incandescente?



[16:25] Aluno6: Sim

[16:25] Aluno6: Tem um relézinho

[16:26] Entrevistador: Relé? quem lhe disse isso?

[16:26] Aluno6: Fuzível

[16:26] Aluno6: Eu acho

[16:27] Entrevistador: Vou mostrar outra imagem

[16:27] Aluno6: É pq troco os nomes



[16:28] Entrevistador: Responda agora: o que tem no interior do bulbo de uma lâmpada incandescente?

[16:29] Aluno6: Não sei. Analisei e não entendi

[16:30] Entrevistador: Como não sabe, você está vendo. Está tudo escrito

[16:30] Aluno6: Hahah

[16:30] Entrevistador: Não precisa analisar, basta descrever

[16:30] Aluno6: Eu ia dizer q era uma proteção

[16:31] Entrevistador: Não é nada disso. Pode até ser, mas antes de ser qualquer coisa, ter qualquer funcionalidade, lá dentro tem coisas, diga que coisas são essas

[16:32] Entrevistador: Não precisa pensar, (nome do aluno), é só olhar e descrever o que tem lá dentro

[16:36] Entrevistador: Nessa última foto da lâmpada, tem fios de molibdênio, de níquel e de tungstênio

[16:37] Entrevistador: você poderia dizer ainda: ligados de um jeito que não entendo a razão

[16:35] Aluno6: Fios de níquel, filamento de tungstênio, fios de molibdênio[
 [16:37] Entrevistador: Então, o que são esses fios?
 [16:38] Aluno6: Acho q e um jeito elétrico de fazer a corrente circular pela lâmpada
 [16:39] Entrevistador: Sim, mas em termos de eletricidade, para que serve o fio?
 [16:41] Aluno6: Para acionar tipo um ledzinho q tem lá dentro. Eles levam a corrente ate lá
 [16:42] Entrevistador: E o que é um resistor?
 [16:43] Aluno6: Tem por funcionalidade limitar a corrente. Atrapalhar a passagem do fluxo
 [16:43] Entrevistador: Mas de que é feito um resistor?
 [16:45] Aluno6: Eu sei q não tem polaridade, mas agora msm eu me esqueci.
 É pq faz muito tempo q fiz eletricidade l
 [16:46] Entrevistador: Qualquer fio metálico é um resistor
 [16:46] Aluno6: Ah
 [16:47] Entrevistador: Então ali dentro daquela lâmpada tem três tipos de resistores. Uma lâmpada incandescente é só isso, uma resistência ou um conjunto de resistências.
 [16:48] Aluno6: Entendi
 [16:49] Entrevistador: Então, em todas as questões do teste, as lâmpadas poderiam ser substituídas por resistores, e as respostas seriam as mesmas.
 [16:49] Aluno6: Ah. Hum
 [16:50] Entrevistador: Sabendo que a lâmpada é apenas uma resistência, você saberia explicar por quê ela brilha quando passa uma corrente?
 [16:50] Aluno6: Por causa dos elétrons. Pois se é uma resistência, quer dizer q a resistência nao conseguiu limitar ela
 [16:52] Entrevistador: Ok. Então sabendo disso, gostaria de voltar à questão 2
 [16:52] Aluno6: Pode ser
 [16:52] Entrevistador: qual sua resposta?
 [16:53] Aluno6: A
 [16:54] Aluno6: Já q são resistência, então é como se por ali andasse a msm corrente
 [16:59] Entrevistador: Perfeito
 [17:00] Entrevistador: E agora a última questão
 [17:00] Entrevistador: Qual é sua resposta?
 [17:00] Entrevistador: E por quê?
 [17:00] Aluno6: A tbm
 [17:02] Aluno6: A corrente sempre passa pela menor resistência, então é em cima. Aí volta pro polo positivo. Depois faz o caminho de baixo onde tem duas resistências
 [17:04] Entrevistador: Obrigado, (nome do aluno). Depois o prof. Andréázio vai conversar contigo sobre a análise da entrevista. Foi ótima a entrevista. Sucesso nos estudos.

Aluno7

[20:05] Entrevistador: Boa noite, (nome do aluno)
 [20:05] Entrevistador: Podemos começar a entrevista?
 [20:11] Aluno7: Sim

Questão 1

[20:15] Entrevistador: Você lembra qual foi sua resposta?
 [20:18] Aluno7: Acho q nessa eu marquei a b
 [20:20] Entrevistador: E qual a justificativa?
 [20:23] Aluno7: Pq a L3 está no final do circuito
 [20:24] Entrevistador: Como vc define o início e final do circuito?
 [20:25] Aluno7: Pelo mapa do circuito
 [20:26] Entrevistador: Mas, no mapa qual é o ponto que vc escolhe como início?
 [20:28] Aluno7: O ponto da onde sai o positivo
 [20:29] Entrevistador: Ok. O polo positivo da bateria é o que vc chama de início do circuito?
 [20:29] Aluno7: Sim
 [20:30] Entrevistador: Exatamente, o que significa ser o início do circuito?
 [20:31] Aluno7: Onde parte a energia q inicia o circuito
 [20:32] Entrevistador: Ok!
 [20:33] Entrevistador: E por que estar no final do circuito significa mais brilho?
 [20:34] Aluno7: Pois onde a corrente positiva encontra com a negativa
 [20:36] Entrevistador: Ah tá. Vc tá dizendo que o brilho resulta do encontro da corrente positiva com a negativa?

[20:36] Entrevistador: É isso?
[20:36] Aluno7: Sim
[20:38] Entrevistador: Por que o encontro em L3 é mais forte do que em L1?
[20:39] Aluno7: Vdd os 2 recebem a mesma carga
[20:40] Entrevistador: Então? Quem brilha mais?
[20:42] Aluno7: Agora eu acho q as 3 brilham igualmente
[20:43] Entrevistador: Ok opção A. Vamos para a próxima
[20:43] Aluno7: Certo

Questão 2

[20:44] Entrevistador: Qual a alternativa?
[20:46] Aluno7: Acho q é a A)
[20:48] Entrevistador: Por quê?
[20:49] Aluno7: Porque a corrente passa pelas duas de forma igual
[20:50] Entrevistador: Ok. Vamos para a próxima

Questão 4

[20:50] Entrevistador: Alternativa?
[20:50] Entrevistador: E justificativa
[20:54] Aluno7: a B) porque a corrente já passou por ele
[20:55] Aluno7: E eu acho q não vai mudar
[20:56] Entrevistador: Ok
[20:56] Entrevistador: Vamos à próxima
[20:56] Aluno7: Certo

Questão 5

[20:56] Entrevistador: Alternativa e justificativa
[21:00] Aluno7: B) porque é o mesmo mapa, só muda a posição do resistor e da lâmpada
[21:00] Entrevistador: Maravilha. Vamos em frente
[21:01] Aluno7: Tá

Questão 6

[21:01] Entrevistador: Alternativa e justificativa
[21:06] Aluno7: C) porque o fluxo de energia é dividido
[21:07] Entrevistador: Ok. Vamos à próxima
[21:07] Aluno7: Tá

Questão 13

[21:08] Entrevistador: Resposta e justificativa
[21:11] Aluno7: A) porque além de divisão da energia a L1 e L2 tem q dividir a carga q passa por elas
[21:13] Entrevistador: Ok vamos para última

Questão 14

[21:13] Entrevistador: Alternativa e justificativa
[21:17] Aluno7: A) porque o circuito fica muito pesado
[21:19] Entrevistador: O que significa circuito pesado?
[21:21] Aluno7: Porque a energia que passa por elas fica fraca por causa da quantidade de lâmpadas
[21:23] Entrevistador: E por que as lâmpadas de uma casa não se apagam?
[21:25] Aluno7: Por causa q a energia é constante
[21:26] Entrevistador: E no caso do circuito da questão a energia não é constante?
[21:28] Aluno7: Então é a C)
[21:30] Entrevistador: L1 e L5 brilham
[21:31] Entrevistador: Como explicar que L3 e L4 não brilham?
[21:34] Aluno7: Porque a energia não passa totalmente por causa do interruptor aberto
[21:36] Entrevistador: Mas como pode L3 e L4 não brilharem e L5 brilhar?
[21:39] Aluno7: Então é a B) porque a energia não tem força pra acender um lado do circuito
[21:41] Entrevistador: Ok. Obrigado (nome do aluno), pela colaboração. Depois o prof Andréázio vai conversar contigo sobre a análise da entrevista. Boa noite.
[21:43] Aluno7: Tá certo boa noite

Apêndice C - Produto Educacional: Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) Sobre Circuitos Elétricos

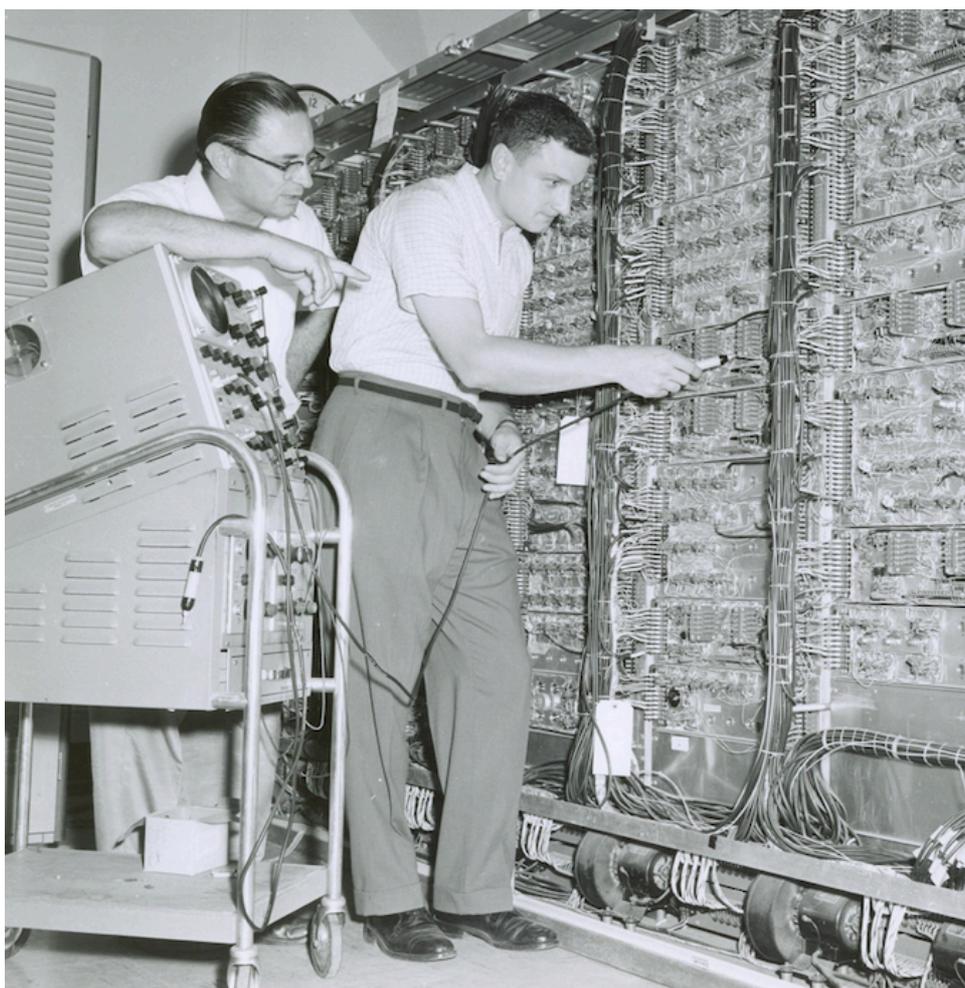
MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

UNIVERSIDADE FEDERAL
UFERSA
RURAL DO SEMI-ÁRIDO



SBF
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) Sobre Circuitos Elétricos



Francisco Andreázio Lôbo de Andrade

Autor

Carlos Alberto dos Santos e Geovani Ferreira Barbosa
Orientadores

2018

Sobre a capa

Teste de componentes elétricos de um computador do *Census Bureau* (EUA), na década de 1950, quando a CB estava trocando seu sistema de cartões por fitas magnéticas.

Fotografia em domínio público. Disponível em

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Census_Bureau_techs_check_out_computer_frame.jpg

Fonte: <https://www.census.gov/history/>

Agradecimento

À CAPES pela bolsa concedida a Francisco Andréázio Lôbo de Andrade durante o curso do MNPEF-UFERSA.

Apresentação

Apresenta-se neste produto educacional uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), elaborada para abordar conceitos pertinentes aos circuitos elétricos, a partir do estudo de cada um dos elementos constituintes, de modo individual e de modo integrado em circuitos. Como o nome sugere, a UEPS foi inspirada na proposta de Moreira (MOREIRA, 2011), e para facilitar sua aplicação, apresentamos um Guia do Professor baseado em nossa experiência em sala de aula com o produto.

Embora seja predominantemente baseada na teoria de aprendizagem de Ausubel (AUSUBEL, 1969; MOREIRA, 1979), a UEPS também apresenta elementos vygostkianos (VYGOTSKY, 1991), na medida em que utilizando a estratégia de ensino baseado em projeto a intervenção didática envolve os alunos em trabalhos de equipe, e consequentemente em amplas relações sociais.

A proposta tem grande significado ecológico, uma vez que os alunos usaram componentes eletro-eletrônicos extraídos de computadores abandonados no almoxarifado da escola. Esse procedimento tem por finalidade dar um destino prático e educacional a componentes que iriam aumentar o já crescido lixo eletrônico. Os alunos tiveram a oportunidade de discutir essa dramática problemática do lixo eletrônico.

Embora tenha se desenvolvido em torno da construção de um detector de metais e de uma bobina de Tesla, por parte dos alunos, a estrutura da presente intervenção didática pode ser usada na exploração de outros equipamentos. O conteúdo relativo a esses projetos inclui noções de dispositivos semicondutores, além de conceitos de eletricidade e magnetismo pouco usuais em nossos cursos de ensino médio, como a lei de Faraday-Lenz e os circuitos osciladores LC, RC e RLC. Em função disso, apresenta-se aqui os conceitos básicos que foram utilizados na transposição didática utilizada no produto educacional, assim como descrições detalhadas dos funcionamentos dos equipamentos fabricados pelos alunos.

Quando não for dito o contrário, equações e definições básicas são extraídas desses livros didáticos (HALLIDAY; RESNICK, 1991; MENEZES *et al.*, 2010).

SUMÁRIO

Sobre a capa	88
Agradecimento	89
Apresentação	90
1 Noções básicas de eletricidade e magnetismo como subsunçores ausubelianos	93
2 Fundamentos da bobina de Tesla.....	94
3 Fundamentos do detector de metais.....	99
3.1 Leis de Faraday e de Lenz.....	100
3.2 Influência do meio no valor do campo magnético e nas propriedades de uma bobina	102
3.3 Modelos usuais de detectores de metal.....	103
3.3.1 BFO – Oscilador de frequência de batimento	103
3.3.2 VLF – Balança de indução	104
3.3.3 PI – Indução de pulso.....	105
3.4 Detector de metais com circuito integrado 555	106
4 Noções de ciência e tecnologia de semicondutores	107
4.1 Introdução	107
4.2 Antecedentes históricos da física de semicondutores.....	108
4.3 Fundamentos da física de semicondutores	110
4.4 Propriedades elétricas dos dispositivos semicondutores	112
5 Guia do Professor.....	116
5.1 Subsunçores	116
5.2 Diferenciação progressiva	117
5.3 Reconciliação integradora	117
5.4 Materiais de apoio (paradidáticos e divulgação científica).....	117
5.4.1 Textos paradidáticos e de divulgação científica.....	117
5.4.2 Vídeos	118
5.4.3 Texto na Internet.....	118
6 Cronograma de atividades.....	118
7 Implementação dos projetos dos alunos	119
7.1 Montagem da bobina de Tesla	121

7.2 Montagem do detector de metais	122
Referências	124

1 Noções básicas de eletricidade e magnetismo como subsunçores ausubelianos

Depois do pré-teste, e antes da aplicação da UEPS, isto é, ao longo do primeiro semestre, o conteúdo de eletricidade e magnetismo foi apresentado em aulas não convencionais, conforme cronograma apresentado na Tabela 1. Estamos classificando essa abordagem como não convencional porque levamos em consideração os resultados do pré-teste ao trabalhar com o material contido no livro-texto (GONÇALVES FILHO; TOSCANO, 2013), ao mesmo tempo em que os alunos consultaram textos de revistas de divulgação científica, assistiram vídeos e animações, e demonstrações experimentais foram apresentadas e analisadas. Tais recursos foram utilizados com a expectativa de que essa abordagem inicial propiciasse a emergência de subsunçores relevantes, conforme pressupõe Ausubel em sua teoria de aprendizagem significativa (AUSUBEL, 1960; MOREIRA, 1979). Esperava-se também que essa estrutura de subsunçores possibilitasse a compreensão dos projetos a serem executados no segundo semestre, e que essa compreensão facilitasse a elaboração e implementação dos projetos.

Além do conteúdo do livro didático adotado (Tabela 1), os alunos tiveram, ao longo do primeiro semestre, acesso a textos de divulgação científica e vídeos, todos disponíveis na Internet e relacionados mais adiante.

Tabela 1 – Cronograma de aulas ministradas no primeiro semestre. Carga horária: 100 minutos semanais.

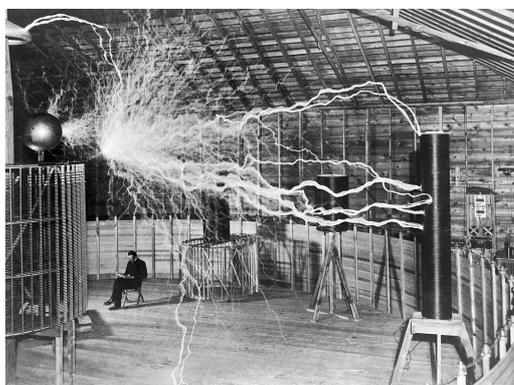
Data	Conteúdo
13/3	Apresentação geral do conteúdo a ser estudado, incluindo a apresentação da proposta de Ensino Baseado em Projeto, e que no segundo semestre os alunos deveriam elaborar e implementar dispositivos eletrônicos como parte integrante do processo avaliativo.
20/3	Conceitos Básicos de Eletrostática.
27/3	Corrente elétrica.
3/4	Resistores.
10/4	Geradores e receptores.
17/4	Noções de circuitos elétricos – parte 1.
24/4	Noções de circuitos elétricos – parte 2.
8/5	Aula experimental: alguns experimentos simples realizados com sucata tecnológica.
15/5	Campo magnético.
22/5	Força magnética.
29/5	Indução eletromagnética – parte 1.
5/6	Indução eletromagnética – parte 2.
12/6	Ondas eletromagnéticas e suas aplicações.
19/6	Divisão da turma em grupos de trabalho e apresentação dos projetos a serem desenvolvidos.
26/6	Aula experimental: alguns experimentos simples realizados com sucata tecnológica.

2 Fundamentos da bobina de Tesla

Como recurso didático ou simples demonstração para o público leigo, o registro mais antigo a respeito da bobina de Tesla recuperado pelo *Google Acadêmico* data dos anos 1950 (KELLEY; DUNBAR, 1952; MILLER, 1958), mas o uso ficou restrito até os anos 1990, quando a literatura apresenta um aumento significativo de relatos de uso no formato similar ao que foi aqui desenvolvido (BRUNS, 1992; SKELDON *et al.*, 2000). No Brasil, os primeiros registros datam de 1991 (ARRUDA; TOGINHO, 1991; LABURÚ, 1991), e o último é um interessante trabalho realizado no DF-UFSCAR (CHIQUITO; LANCIOTTI, 2000).

A profusão de vídeos atualmente existentes no *Youtube*, certamente tem a ver com o impacto que a bobina de Tesla causa em quem presencia seu funcionamento. Na Figura 1a, Tesla foi fotografado em seu laboratório, na cidade de Colorado Spring (EUA), por volta de 1899, ao lado de sua enorme bobina, capaz de gerar 12 megavolts, a uma frequência de 150 kHz e produzir uma faísca de aproximadamente 40 metros. Na Figura 1b, uma demonstração similar à que os alunos prepararam no presente trabalho, com equipamentos mais bem acabados.

Figura 1 – (a) Tesla em seu laboratório. Extraído em 20/6/2018, desse link¹⁴. (b) Bobina de Tesla excitando o gás em tubo de neônio. Extraído em 20/6/2018, desse link¹⁵.



(a)



(b)

Além desse caráter lúdico, que não deixa de ter seu valor, a bobina de Tesla, inventada por Nikola Tesla em 1891, tem posição de destaque na história da eletricidade

¹⁴https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=tesla+coil&title=Special:Search&profile=default&fulltext=1&searchToken=2h9xx2creq6vmyohn1vlv1880#/media/File:Nikola_Tesla,_with_his_equipment_EDIT.jpg.

¹⁵[https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=tesla+coil+glowing+neon+tube&title=Special:Search&profile=default&fulltext=1&searchToken=baim3jhp0i7q4dxc1vev8tu5i#/media/File:225W_Tesla_coil_-_arcs4_\(cropped\).jpg](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=tesla+coil+glowing+neon+tube&title=Special:Search&profile=default&fulltext=1&searchToken=baim3jhp0i7q4dxc1vev8tu5i#/media/File:225W_Tesla_coil_-_arcs4_(cropped).jpg)

(SANTOS, 2011)¹⁶, e como recurso didático permite a discussão de importantes conceitos do eletromagnetismo, conforme veremos a partir de seu circuito básico (Figura 2).

Podemos começar pela ideia de transformador, que foi objeto de uma questão no pré-teste: “Um transformador é uma das aplicações do eletromagnetismo. Para que ele serve? Descreva seu funcionamento.” No circuito da Figura 2 temos dois transformadores, o primeiro sinalizado com T, e o outro constituído pelas bobinas L1 e L2. Um fato histórico importante, é que foi no desenvolvimento de equipamentos como esse, que Tesla inventou o transformador.

Então, é interessante discutir esse circuito realizando uma espécie de confronto com as respostas dos alunos, entre as quais podemos destacar:

- ❖ um transformador transforma uma energia pequena numa energia grande;
- ❖ um transformador aumenta ou diminui a potência da energia;
- ❖ o transformador tem como objetivo não queimar o aparelho;
- ❖ o transformador controla a força e o calor da eletricidade”.

Alguns relacionaram o transformador com a tensão. Apenas um deles comentou como seria possível a elevação ou redução de uma tensão por esse dispositivo. Depois verificamos que paralelamente ao curso de ensino médio, esses alunos estavam inseridos em cursos profissionalizantes no IFCE OU SENAI.

O segundo aspecto a ser destacado no circuito da Figura 2, é a possibilidade de discussão do mecanismo pelo qual se dá o aumento de voltagem nos transformadores, ou seja a discussão da lei de indução de Faraday, um fenômeno de grande relevância para incontáveis aplicações tecnológicas, e que estava presente no pré-teste: “Como uma corrente em uma bobina gera corrente em outra que não esteja a ela conectada?”

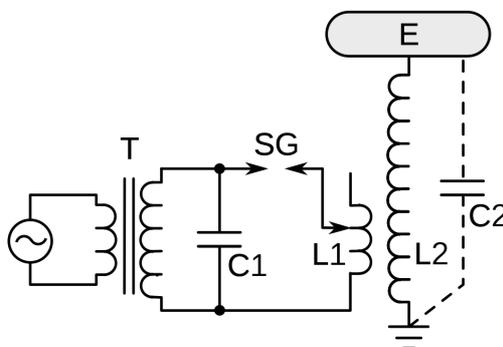
Como era de se esperar, a maioria da turma deixou essa questão em branco.

No circuito da Figura 2, E representa um toróide que normalmente é colocado nas bobinas usadas para exibição, como veremos na seção D.3e. SG significa *spark gap*, ou seja espaço de fâsca, ou centelhador. C2 não é um capacitor real. É apenas a representação da capacitância distribuída no conjunto indutor L2-toróide E-terra. Embora não tenha sido colocada no circuito, também existe uma resistência distribuída, de modo que o circuito secundário é de fato um circuito RLC. Da mesma forma, o circuito primário é RLC, porque sempre existe resistência distribuído em associações de componentes elétricos, como capacitores e indutores. Valores típicos para uma bobina são, dependendo

¹⁶Entrevista do prof. Carlos Alberto dos Santos ao programa Fronteiras da Ciência, da Rádio da UFRGS, sobre Tesla, encontra-se em http://multimedia.ufrgs.br/conteudo/frontdaciencia/Fronteiras_da_Ciencia-T03E11-Tesla-14.05.2012.mp3.

das dimensões que se deseje: (a) L1, 1 a 15 espiras; (b) L2, 50 a 1000 espiras ; (c) C1, 20 kV (JOHNSON, [S.d.]). Mais adiante veremos a equivalência desse circuito com aquele utilizado pelos alunos.

Figura 2 – Circuito básico de uma bobina de Tesla. Extraído em 20/6/2018, desse link¹⁷.



Embora a abordagem formal dos circuitos RL, RC e RLC não seja usual no ensino médio, noções qualitativas a respeito desses circuitos podem ser apresentadas, e a bobina de Tesla é bastante apropriada para isso. Uma forma de tratar esse tema é descrever como funciona o circuito da Figura 2. No nosso caso isso foi feito enquanto os alunos estavam envolvidos com a execução dos projetos. As equações apresentadas serviram unicamente como âncora, uma espécie de ponte intuitiva entre a abordagem qualitativa e a estrutura formal do eletromagnetismo. Em nenhum momento essas equações foram usadas operacionalmente.

Quando o circuito é ligado, o capacitor começa a ser carregado. Quanto mais carga no capacitor, maior a diferença de potencial entre suas placas. Ou seja,

$$V = \frac{q}{C}, \quad (1)$$

onde V é a diferença de potencial entre as placas, q é a carga acumulada nas placas, e C é a capacitância do capacitor, uma propriedade que depende da geometria do capacitor e do material (*dielétrico*) colocado entre as placas. Capacitores extraídos dos computadores foram usados para aprofundar essa questão da geometria e do dielétrico.

A imagem mais intuitiva que temos do capacitor é que ele é um acumulador de cargas. Se depois de acumuladas essas cargas forem liberadas, elas poderão realizar trabalho. Portanto, podemos associar ao capacitor uma energia potencial elétrica, que

¹⁷https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=tesla+coil&title=Special:Search&profile=default&fulltext=1&searchToken=2h9xx2creq6vmyohn1vlvl880#/media/File:Tesla_coil_circuit.svg

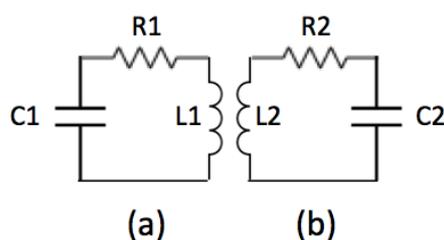
depende da carga acumulada e da capacitância. Na verdade, por causa da equação (1), a energia acumulada no capacitor é dada por

$$E = \frac{CV^2}{2}. \quad (2)$$

Quando V atinge um valor capaz de quebrar a rigidez dielétrica do centelhador, SG, a corrente começa a passar pelo ramo que antes estava aberto.

No momento que o SG entra em curto, ou seja no momento em que começam a surgir as centelhas, o capacitor começa a transferir sua energia para a bobina (indutor) L1. Para discutir o fenômeno, vamos usar o circuito da Figura 3. Conforme já dissemos acima, as resistências R1 e R2, assim como o capacitor C2 não representam componentes reais, colocados no circuito. Representam componentes capacitivas e resistivas sempre presente em circuitos elétricos.

Figura 3 – Circuito agrupado da bobina de Tesla: (a) circuito primário com o centelhador em curto; (b) circuito secundário, onde encontra-se a bobina maior.



O processo de transferência de energia de C1 para L1 se faz via uma corrente elétrica. Quando essa corrente atravessa L1, ela produz um campo magnético variável em suas proximidades. Esse campo magnético variável vai atravessar L2. Pela lei da indução eletromagnética de Faraday-Lenz, a variação desse campo magnético vai induzir uma corrente através de L2, o que significa dizer que haverá uma força eletromotriz induzida proporcional à variação do fluxo do campo magnético. O valor dessa força eletromotriz, ou dessa voltagem é proporcional ao número de espiras na bobina. Como a bobina secundária tem muito mais espiras que a primária, o processo resulta em um aumento de voltagem, conforme a relação

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}, \quad (3)$$

onde $V(1,2)$ e $N(1,2)$ representam, respectivamente, a voltagem e o número de espiras na bobina primária e na secundária. Embora o cálculo real seja mais complicado do que a equação (3), essa expressão dá uma ideia dos valores. O fato é que a voltagem na bobina L2 é muito maior do que na L1.

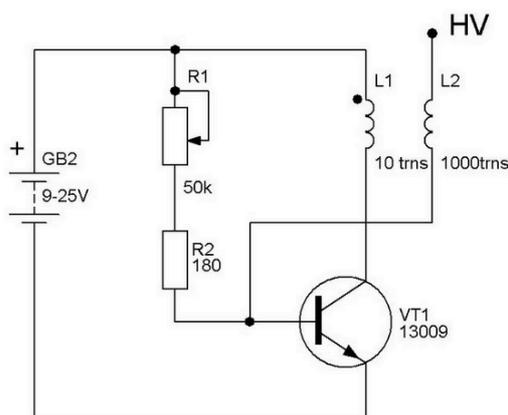
Quando C1 descarrega e a voltagem atinge o valor mínimo para quebrar a rigidez dielétrica do ar, SG abre e o processo reinicia. Ou seja, o funcionamento de uma bobina de Tesla gera pulsos de voltagem, com uma frequência que depende dos valores dos componentes utilizados no circuito, tipicamente na faixa entre 80 kHz e 500 kHz.

Cada um dos circuitos LC da Figura 3 funciona como um oscilador eletromagnético, com frequência dada pela equação 4:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4)$$

A voltagem de saída das bobinas de Tesla usadas em demonstrações é tão grande que é capaz de acender uma lâmpada fluorescente colocada nas proximidades da bobina. Isso ocorre porque qualquer tubo com um gás em baixa pressão, como as lâmpadas fluorescentes e néon, apresenta descarga luminosa quando submetida a uma alta tensão, cujo valor depende, essencialmente, do tipo de gás e da pressão.

Figura 4 – Circuito de uma bobina de Tesla de estado sólido. Extraído em 20/6/2018, de <<http://www.instructables.com/id/Simple-Tesla-Coil/>>.



Para concluir esta seção, devemos chamar a atenção para um detalhe importante. O centelhador nos circuitos clássicos da bobina de Tesla serve como um chaveamento controlado por voltagem. Abre ou fecha dependendo do valor da voltagem. Então o capacitor e o centelhador funcionam como um oscilador, gerando pulsos de corrente. Isso pode ser feito de modo mais controlado e mais simples para montar, substituindo o capacitor e o centelhador por transistores 2N2222, ou BC548, ou BC337, que são osciladores de estado sólido. Então, quando o transistor está *ligado*, ou no estado *ON*, ele deixa a corrente passar para a bobina primária. Quando ele está *desligado*, ou no estado *OFF*, a bobina libera a corrente. Esse processo gera uma corrente alternada, que por sua vez induz uma corrente alternada na bobina secundária. Ou seja tudo isso gera um campo eletromagnético oscilante nas proximidades da bobina secundária. Com essa modifi-

cação, a bobina de Tesla é geralmente denominada de bobina de Tesla de estado sólido, e o circuito é esse apresentado na Figura 4.

3 Fundamentos do detector de metais

Da mesma forma que a bobina de Tesla, o detector de metais também é muito popular na Internet. Ambos os dispositivos prestam-se à exploração de conceitos importantes do eletromagnetismo, sobretudo quando utilizados em conjunto, pois ambos têm a lei de indução eletromagnética de Faraday-Lenz como fundamento de seus funcionamentos.

Utilizamos a *Web of Science (WoS)* e o Google Acadêmico na busca que fizemos por trabalhos acadêmicos sobre esse dispositivo. Só conseguimos recuperar três referências em português relevantes para o nosso trabalho. A mais antiga é um artigo de Newton C. Braga, publicado em 1977 na Revista Saber Eletrônica (BRAGA, 1977). E a mais recente é um relatório de uma disciplina de graduação em física da Unicamp, em 2009 (SCHENKEL, 2009). A terceira referência é um trabalho do Departamento de Engenharia Eletrônica da UFMG, a respeito de ensino orientado por projeto nas disciplinas de graduação Laboratório de Eletrônica I e Laboratório de Controle I, no qual os autores afirmam que a construção de um detector de metais fez parte do programa dessas disciplinas, sem no entanto detalhar como isso se dá na prática (DONOSO-GARCIA; TÔRRES, 2007). Excetuando o artigo de Newton Braga, supra mencionado, não encontramos qualquer referência em português facilmente acessível, que descreva os fundamentos do detector de metais. Até mesmo o artigo *Detector de Metais*, disponível na versão brasileira da Wikipedia¹⁸ contém menos informações do que o homônimo na versão em inglês¹⁹.

Por outro lado, a literatura em inglês contém inúmeras referências, mas nem todas são estritamente relevantes para o nosso trabalho, uma vez que tratam de aspectos técnicos fora do escopo do presente trabalho e muito acima do nível que devemos considerar aqui. Então, fizemos uma filtragem dessa literatura e selecionamos apenas cinco artigos mais relevantes para os nossos objetivos didático-pedagógicos, quer seja por causa do contexto histórico que apresentam (TURNER, 1984), pelo caráter de divulgação científica que dão ao assunto (TYSON, 2018) ou pelas abordagens didáticas (“BFO Theory”, 1999; GOLEMSHINSKI, 2015; MAHMOOD; CHIN HOCK, [S.d.];

¹⁸ https://pt.wikipedia.org/wiki/Detector_de_metalis.

¹⁹ https://en.wikipedia.org/wiki/Metal_detector.

MCNEIL, 2004; WESSELS; PALAG, [S.d.]). Quando não for indicado o contrário, o texto a seguir é baseado nessas referências.

Na bobina de Tesla, tem-se a amplificação da voltagem de entrada por intermédio da lei da indução eletromagnética de Faraday-Lenz. Como veremos na sequência, no detector de metais construído pelos alunos, tem-se a alteração de frequência por intermédio da lei de Faraday-Lenz, quando uma bobina encontra-se nas proximidades de um objeto metálico. É bastante instrutivo comparar esses dois casos de ocorrência dessa famosa lei, que constitui uma das quatro equações de Maxwell para o eletromagnetismo.

Existem três maneiras básicas de se detectar metais fazendo uso da lei de indução eletromagnética de Faraday-Lenz. Elas são conhecidas pelas siglas em inglês (TYSON, 2018): VLF, PI, BFO. Além da literatura especializada, inúmeros portais na Internet discutem esses detectores. Aos interessados recomendamos esse do Wikipédia, escrito em português²⁰.

Antes de detalharmos cada uma dessas tecnologias, vejamos os fundamentos básicos que estão por trás de todas elas. Esses fundamentos também são usados na bobina de Tesla, mas na seção anterior só fizemos referência a eles naquilo que era absolutamente indispensável para a descrição qualitativa do funcionamento da bobina de Tesla. Aqui faremos uma abordagem mais detalhada desses fundamentos, em nível similar àquele dos cursos básicos de licenciatura em física (HALLIDAY; RESNICK, 1981). Não custa lembrar que essa abordagem não foi utilizada no produto educacional. Ela nos serve de guia para a devida transposição didática a ser usada em nosso projeto didático-pedagógico.

3.1 Leis de Faraday e de Lenz

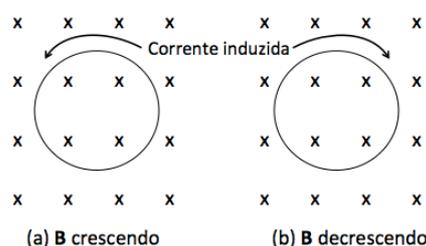
Sempre que uma espira condutora ou uma bobina constituída de N espiras for atravessada por um campo magnético variável, uma corrente elétrica surgirá por força da lei da indução eletromagnética, descoberta em 1831, praticamente ao mesmo tempo por Michel Faraday, na Inglaterra, e por Joseph Henry, nos EUA. Três anos depois, o russo Heinrich Lenz apresentou um argumento para justificar a descoberta de Faraday-Henry. Alguns autores denominam a descoberta como lei de Faraday, outros como lei de Faraday-Lenz. A Figura 5 ilustra bem a situação experimental. A espira condutora está imó-

²⁰ <https://pt.wikihow.com/Construir-um-Detector-de-Metals>

vel, enquanto o módulo do campo magnético, B , cresce com o tempo em (a) e decresce em (b).

Faraday descobriu que na situação representada na Figura 5, a corrente induzida tem sentido anti-horário quando o módulo de B cresce, e sentido horário quando B decresce. A Figura 5 pode levar a uma concepção equivocada do fenômeno. Não é exatamente a variação do campo magnético que induz a corrente na espira. É a variação do fluxo do campo magnético através da espira.

Figura 5 – Corrente induzida em função da variação temporal do campo magnético. O símbolo x representa um campo magnético, \mathbf{B} , “entrando” no plano da espira. Em (a) o módulo desse campo cresce, enquanto em (b) ele decresce. Em (a) a corrente induzida na espira tem sentido anti-horário, enquanto em (b) o sentido é horário.



Vejamos outra situação em que ocorre esse fenômeno. Por exemplo, o caso de um campo magnético estável e inhomogêneo. Ou seja, seu módulo não varia com o tempo, mas a densidade de suas linhas de campo varia no espaço, como ilustra a Figura 6. Se uma espira se desloca da região de maior densidade (Figura 6a) para a de menor, o fluxo magnético através de sua área diminui, de modo que a corrente é induzida no sentido horário. Por outro lado, se a espira se desloca no sentido contrário, de (b) para (a), o fluxo aumenta e a corrente induzida tem o sentido anti-horário.

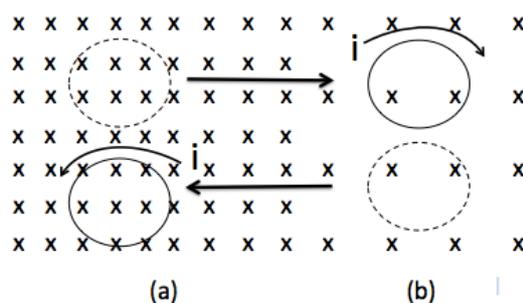
Na verdade, essa corrente surge por causa de uma força eletromotriz (fem) induzida. A partir de suas observações experimentais, Faraday estabeleceu a lei que ficou conhecida como Lei de Faraday, e que pode ser expressa assim (HALLIDAY; RESNICK, 1981, cap. 32):

A fem induzida num circuito é igual (exceto por mudança no sinal) à taxa pela qual o fluxo magnético através do circuito está mudando com o tempo.

Na forma de uma equação, essa lei é expressa assim:

$$\mathcal{E} = \frac{-d\Phi_B}{dt}. \quad (5)$$

Figura 6 – Campo magnético estável e espacialmente inhomogêneo. Em (a) a densidade de linhas de campo é maior do que em (b).



Lenz interpretou o significado do sinal negativo através da lei que ficou conhecida como Lei de Lenz (HALLIDAY; RESNICK, 1981, cap. 32):

Uma corrente induzida surgirá numa espira condutora fechada com um sentido tal que ela se oporá à variação que a produziu.

Vamos detalhar o experimento ilustrado na Figura 6, à luz da Lei de Lenz. Quando a espira sai de (a) para (b), diminui o fluxo do campo magnético através de sua área. Então, a corrente induzida deverá se opor a essa diminuição. Essa oposição se manifesta pela produção de um campo magnético que aumente o fluxo. Ou seja de um campo magnético que também aponte para “dentro” da folha de papel. Portanto a corrente induzida terá que ter o sentido horário, pois só assim ela cria um campo magnético que também aponta para “dentro” da folha, e reforçará o campo magnético externo, aumentando o fluxo.

3.2 Influência do meio no valor do campo magnético e nas propriedades de uma bobina

Nas seções anteriores, abordamos qualitativamente a produção de um campo magnético por uma bobina, e de como esse campo magnético induz o surgimento de uma corrente induzida em uma bobina que esteja próxima da primeira. Por sua vez, essa corrente induzida produzirá um campo magnético associado à segunda bobina.

Para entender o funcionamento de um detector de metais que faz uso do fenômeno da indução eletromagnética, é necessário responder à seguinte questão: existindo um campo magnético em determinada região do espaço, como seu valor é alterado pela presença de determinados materiais?

Esses materiais que interferem no valor de um campo magnético são genericamente conhecidos como materiais magnéticos, e são classificados em três tipos: para-

magnéticos, diamagnéticos e ferromagnéticos (MÁXIMO; ALVARENGA, 2006, cap. 23). Para discutirmos o funcionamento de um detector de metais, é suficiente fixarmos nos materiais ferromagnéticos.

As propriedades magnéticas dos materiais têm origem no spin dos elétrons, e o tipo de material magnético é determinado pela sua estrutura eletrônica. No caso dos materiais ferromagnéticos todos os seus spins orientam-se no mesmo sentido, e portanto criam um campo magnético, em duas situações: quando o material está abaixo de uma certa temperatura, conhecida como temperatura de Curie do material, ou quando esse material é submetido a um campo magnético externo. Neste caso, o campo magnético externo faz surgir um campo magnético no interior do material, e este campo soma-se ao campo externo para resultar num campo muito maior. Esse é o princípio do eletroímã, quando uma barra de ferro ou outro material ferromagnético é colocada no interior de uma bobina. Essa barra concentra as linhas de força magnética e a consequência é o aumento no valor da indutância, L , da bobina²¹. Variando a indutância varia-se a frequência do circuito RLC.

Em suma, qualquer material ferromagnético colocado nas proximidades de um circuito RLC, modifica sua frequência. Esse é o fenômeno que está por trás de qualquer detector de metais.

3.3 Modelos usuais de detectores de metal

3.3.1 BFO – Oscilador de frequência de batimento

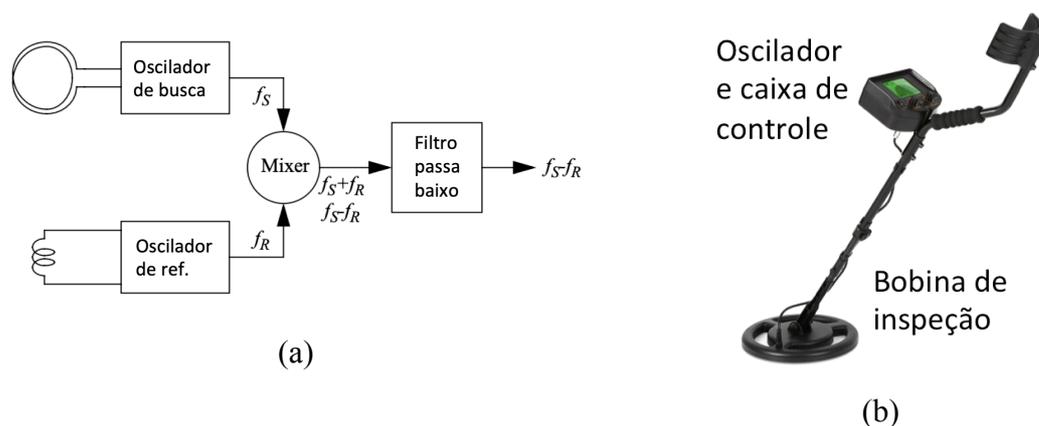
BFO é a sigla para *beat-frequency oscillator*. É a forma mais básica e intuitiva de um detector de metais. Liderou o mercado nos anos 1960-1970, mas atualmente está praticamente fora de uso profissional, embora ainda seja muito útil em atividades de ensino (“BFO Theory”, 1999). Seu princípio de funcionamento está esquematizado na Figura 7a. O sistema é composto de duas bobinas (osciladores) e de uma eletrônica associada. Como o nome sugere, a bobina de inspeção é colocada nas proximidades do local onde supostamente encontra-se o metal, e a bobina de referência é quem gera o sinal que vai indicar ou não a presença do metal. Essa bobina de referência juntamente com a eletrô-

²¹ Uma discussão mais detalhada do que a do livro de Antônio Máximo e Beatria Alvarenga, encontra-se neste endereço: <<https://www.allaboutcircuits.com/textbook/direct-current/chpt-15/factors-affecting-inductance/>>, acessado em 20/6/2018.

nica associada são instaladas numa caixa que fica na parte superior do detector (Figura 7b).

Uma corrente gerada pelo sistema eletrônico percorre as duas bobinas, de tal modo que sejam iguais as suas frequências de oscilação eletromagnética (equação D.4). O sistema eletrônico capta e compara os sinais de cada um desses osciladores, de modo a isolar o sinal correspondente à diferença de frequência. Como no início da operação as duas frequências são iguais, não há sinal. Quando a bobina de inspeção aproxima-se de um metal, sua indutância altera-se, como discutido acima, e em consequência sua frequência (equação D.4) muda. O sistema eletrônico é construído de tal modo que uma pequena diferença de frequência gere um sinal audível, por exemplo entre 500 Hz e 1 kHz.

Figura 7 – Detector de metais BFO: (a) circuito básico, extraído de (“BFO Theory”, 1999); (b) equipamento comercial, extraído de <<https://popular.reviews/metal-detector/>>, em 20/6/2018.



3.3.2 VLF – Balança de indução

VLF é a sigla para *Very Low Frequency*, também conhecido como balança de indução. Provavelmente é a tecnologia mais popular em uso atualmente (TYSON, 2018). As duas bobinas são colocadas concêntricamente, no mesmo plano (Figura 8). A bobina externa é denominada bobina transmissora, e a interna é a receptora. Uma corrente alternada circula na bobina externa, e poderia por indução eletromagnética gerar outra corrente alternada na bobina interna. No entanto a bobina interna é blindada em relação ao campo magnético criado pela bobina externa. Então, o sistema funciona assim: o campo magnético oscilante da bobina externa orienta os domínios magnéticos dos materiais a serem detectados, fazendo com que esses materiais criem um pequeno campo magnético

oscilante. É esse pequeno campo magnético induzido que a bobina interna capta por meio de uma corrente elétrica induzida. Essa informação é enviada para o sistema eletrônico de controle. Uma característica interessante desse sistema, é que ele possibilita a distinção de diferentes tipos de metais, mas os fundamentos desse processo estão muito acima do nível da disciplina e não foram discutidos com os alunos.

Figura 4.8 – Detector de metal VLF comercial, extraído de <http://www.westcoastminingsupply.com/bounty-hunter/the-metal-detector-vlf>, em 20/6/2018.



3.3.3 PI – Indução de pulso

Trata-se de um modelo não muito usual, e que funciona com um complexo sistema eletrônico para geração e controle de pulsos rápidos e potentes (Figura 9). Ao contrário dos modelos anteriores, o detector PI funciona com uma única bobina, que serve como transmissora e receptora. Quando cada pulso termina, há uma autoindução na bobina do sistema, gerando um pulso de corrente rápido, de aproximadamente 30 microssegundos (TYSON, 2018), denominado *pulso refletido*. Um detector PI típico, é capaz de produzir cerca de 100 pulsos por segundo.

Figura 9 – Detector de metal PI comercial, extraído de <https://www.hobby-hour.com/electronics/s/surfmaster-pi-metal-detector.php>, em 20/6/2018.



Se o detector estiver acima de um material magnético, ele induz um campo magnético no material que é oposto ao gerado pelo detector. A consequência disso, é que o campo magnético induzido no material vai fazer com que o próximo pulso refleti-

do seja mais longo. É um fenômeno similar ao eco. Então, o sistema eletrônico analisa o tamanho dos pulsos refletidos. Se esse tamanho aumentar, é porque existe material magnético sob a bobina do detector.

3.4 Detector de metais com circuito integrado 555

Os dois modelos de detectores mais comuns, o BFO e o VLF funcionam com princípios similares. Existem duas bobinas, uma transmissora e uma receptora. Essas bobinas constituem osciladores eletromagnéticos, de modo que uma corrente em uma delas gera corrente induzida na outra, que é a bobina usada para detectar o metal. Os dois osciladores estão eletronicamente acoplados, de modo que na ausência de material magnético eles oscilam na mesma frequência. Na presença de material magnético, os osciladores oscilam com frequências diferentes, fato que é identificado pelo sistema de controle eletrônico.

Algo parecido com isso pode ser feito com uma única bobina sensora e um circuito integrado que funcione como oscilador. Foi essa alternativa que os alunos escolheram, depois de pesquisas na Internet. O circuito integrado mais usado para isso é o 555, amplamente discutido na literatura especializada (GOYAL, 2015) e na Internet²².

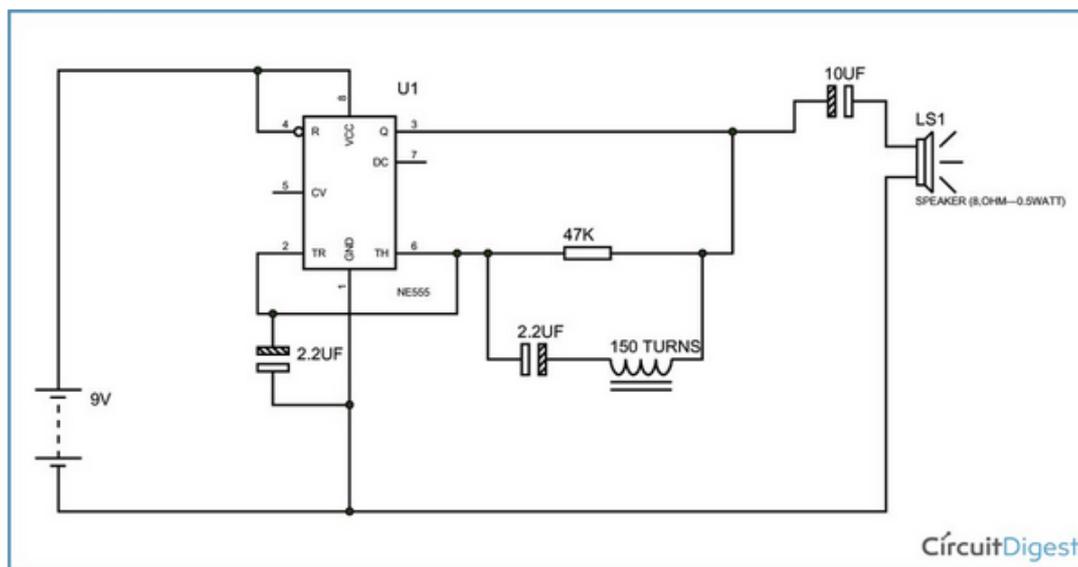
O circuito básico de um detector de metais com CI 555 é apresentado na Figura 10. Nessa proposta, a bobina de detecção, construída com 150 espiras, faz parte de um circuito RLC, com $R=47\text{ k}\Omega$ e $C=22\text{ }\mu\text{F}$. Vejamos como funciona esse circuito.

O CI 555 funciona como um gerador de onda quadrada, com frequência na faixa audível aos humanos. O circuito RLC tem uma frequência ajustável para um certo valor quando está na ausência de material condutor no interior da bobina. Conforme discutido acima, se um material metálico for colocado no interior ou nas proximidades da bobina, sua indutância, L , aumenta, variando a frequência do circuito RLC. O resultado é outro tipo de som emitido pelo autofalante.

Portanto, o princípio de funcionamento desse detector é exatamente o mesmo dos dois primeiros descritos acima.

²² https://en.wikipedia.org/wiki/555_timer_IC, acesso em 21/6/2018; <http://www.circuitstoday.com/555-timer#block-diagram>, acesso em 21/6/2018.

Figura 10 – Circuito básico de um detector de metais com CI 555, extraído de <<https://circuitdigest.com/electronic-circuits/simple-metal-detector-circuit>>, em 20/6/2018.



4 Noções de ciência e tecnologia de semicondutores

O material que aqui apresentaremos é baseado em três referências: (i) Capítulo 46 do Halliday-Resnick (vol. 4), *Condução de eletricidade em sólidos* (HALLIDAY; RESNICK, 1991); (ii) Capítulo 4 da Coleção Quanta Física, *Estrutura da matéria e propriedades dos materiais* (MENEZES *et al.*, 2010); (iii) Capítulo 3 do livro Energia e Matéria: da fundamentação conceitual às aplicações tecnológicas, *Da micro à nanoeletrônica* (SANTOS, 2015).

4.1 Introdução

Não é exagero dizer que a sociedade contemporânea não suportaria viver sem a presença dos circuitos integrados. Praticamente não há um dispositivo tecnológico que não faça uso desse artefato minúsculo, cujo componente operacional só pode ser visualizado com a ajuda de microscópio. O principal componente operacional, o sistema nervoso de um circuito integrado, é um transistor, ou uma associação de transistores.

Antes de continuar, talvez seja interessante chamar a atenção para a nomenclatura. Na linguagem cotidiana, circuito integrado é conhecido como CI. Na literatura inglesa é IC, de *integrated circuit*. Como os CI deram origem aos *chips*, alguns profissionais

referem-se aos *chips* quando estão falando de CI. Ou seja *chip* e CI são a mesma coisa. Mas, nosso foco aqui não é o *chip*, é o transistor.

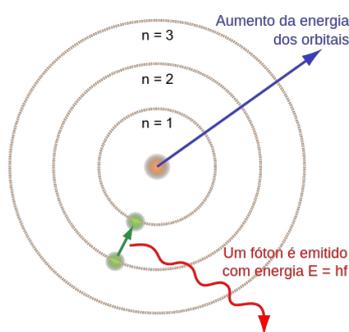
Para alguns alunos do ensino médio, conhecer o transistor será obrigação profissional, para outros será uma forma de aumentar seu universo cultural. É importante ter noção do que seja esse componente que tem tanta influência em nossas relações sociais e em nossa vida econômica.

4.2 Antecedentes históricos da física de semicondutores

A física de semicondutores surgiu na virada dos anos 1920 para os anos 1930, e só foi possível graças ao desenvolvimento da mecânica quântica. Não podemos tratar esse assunto detalhadamente porque exige uma matemática que não é dominada por alunos do ensino médio. É necessário no mínimo conhecer cálculo diferencial e integral, algo que se aprende em cursos avançados na universidade. Mas, podemos abordar os conceitos fundamentais. Faremos isso em duas partes. Na primeira parte trataremos dos avanços da física que permitiram o surgimento da teoria quântica, e na segunda parte trataremos dos conceitos específicos da física de semicondutores.

A imagem que hoje temos do átomo, com um núcleo minúsculo em torno do qual gravitam os elétrons, surgiu entre 1908 e 1913, com trabalhos experimentais de Ernest Rutherford e trabalhos teóricos de Niels Bohr. Ficou conhecido como modelo atômico de Rutherford-Bohr, ou simplesmente modelo de Bohr.

Figura 11 – Ilustração do modelo de Rutherford-Bohr. Extraído em 14.4.2017 de <https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Bohr_model#/media/File:Bohr_atom_model-pt.svg>.



A Figura 11 é uma boa ilustração do modelo de Rutherford-Bohr. Os círculos enumerados, $n=1$, $n=2$, etc., representam as órbitas nas quais os elétrons podem ser encontrados. Um dos postulados de Bohr é que os elétrons nessas órbitas não emitem qualquer radiação. Um elétron só emite alguma radiação quando pula de uma órbita

para outra mais interna, ou seja mais próxima do núcleo atômico. Para fazer o caminho inverso, ou seja saltar de uma órbita para outra mais externa o elétron precisa receber energia.

Em suma, a situação é assim:

1. O átomo é constituído de um núcleo, contendo praticamente toda a massa atômica, em volta do qual movimentam-se elétrons em órbitas bem definidas, cujas distâncias ao núcleo depende da quantidade elétrons do átomo.
2. Enquanto movimentam-se nessas órbitas, os elétrons não emitem radiação, ou energia, o que dá no mesmo, pois a radiação emitida transporta energia. Eles podem apenas absorver energia.
3. Se o elétron absorve energia ele pode responder de três modos diferentes:
 - a. Liberando-se do átomo, se a energia recebida for igual ou superior à energia da órbita em que ele se encontra.
 - b. Saltando para uma órbita mais externa, se a energia recebida for exatamente a diferença entre as energias das duas órbitas.
 - c. Vibrando e aquecendo o átomo, mas permanecendo na mesma órbita, se a energia recebida não permitir as situações previstas em (a) e (b).
4. Ao absorver energia e saltar para uma órbita mais externa, o elétron permanece nessa órbita por um tempo de aproximadamente 10^{-8} segundos, ou 0,1 nanossegundos. Depois disso ele retorna à sua órbita original.
5. Esse retorno pode ser realizado de uma única vez, diretamente para a órbita original, ou em sequência, de órbita em órbita até chegar na órbita original.
6. Cada vez que o elétron salta para uma das órbitas internas, o átomo emite uma radiação cuja energia é a diferença entre as energias das duas órbitas.

Esse modelo simplificado do átomo, elaborado por Rutherford e Bohr, evoluiu para um modelo mais realista, a partir dos estudos teóricos que resultaram na mecânica quântica, principalmente os trabalhos de Erwin Schrödinger e Werner Heisenberg, elaborados por volta de 1925. As órbitas foram transformadas em camadas, com níveis e subníveis de energia, e essas foram em seguida denominadas de bandas de energia. Foi o estudo da teoria de bandas que permitiu o surgimento do que hoje conhecemos como física de semicondutores.

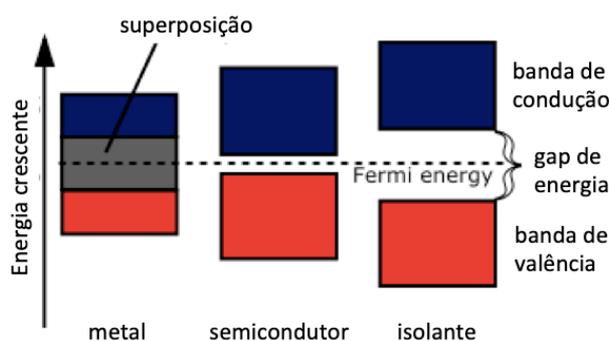
4.3 Fundamentos da física de semicondutores

Podemos dizer que qualquer material sólido tem duas bandas, uma de valência e outra de condução. A partir disso, podemos classificar os materiais em três categorias: isolantes, condutores e semicondutores. Há uma quarta categoria, os supercondutores, mas esses têm propriedades físicas bem diferentes dos três primeiros, de modo que para os objetivos desse texto podemos deixá-los de lado.

A Figura 12 ilustra as configurações de bandas em metais, semicondutores e isolantes. Os isolantes são também conhecidos como dielétricos. Para entender por que essas configurações são assim há que se ter conhecimentos de teoria quântica. Mas, para compreender em linhas gerais o que se discutirá a seguir é suficiente termos em mente o seguinte:

1. As bandas de valência (BV) e de condução (BC) se superpõem nos metais e são separadas nos semicondutores e nos isolantes.
2. A separação energética entre as bandas, é maior nos isolantes do que nos semicondutores.

Figura 12 – Representação esquemática das bandas de valência e de condução de metais, semicondutores e isolantes. Adaptada de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Energy_band1.svg?uselang=pt-br>. Acesso em 20/5/2019.



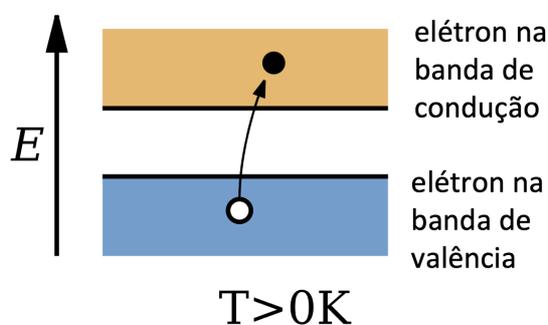
Vamos analisar o que está por trás da Figura 12 em termos de conceitos físicos. Em primeiro lugar percebe-se que a principal diferença entre semicondutores e isolantes é a separação energética, também conhecida como *gap* de energia. O *gap* de energia é maior nos isolantes do que nos semicondutores. A palavra inglesa *gap* é usada aqui como sinônimo de intervalo. Na verdade, refere-se a um intervalo de energia proibida. Ou seja, entre o ponto mais alta da banda de valência e o ponto mais baixo da banda de

condução há uma região de energia proibida, ou simplesmente banda proibida. Nenhum elétron pode ser encontrado nessa região.

Qualquer que seja o material, metais condutores, semicondutores e isolantes, só existe condução elétrica se houver elétrons na banda de condução. Observe que nos metais condutores, essa banda superpõe-se à banda de valência. Logo, sempre haverá elétron na banda de condução, disponível para conduzir eletricidade. É por isso que os metais condutores, como ferro, níquel, cobre, entre outros, são conhecidos como bons condutores de eletricidade, e também de calor.

De um modo geral, os elétrons nos semicondutores e isolantes são encontrados na BV. Então, se a corrente elétrica exige a presença de elétrons na BC, semicondutores e isolantes não podem conduzir eletricidade? Aí é que está a grande questão que deu origem à moderna tecnologia eletrônica. Tanto um tipo de material como o outro pode conduzir, se for possível levar elétrons da BV para a BC. Como a separação entre as bandas é muito grande nos isolantes, esses materiais dificilmente conduzem eletricidade. Então vamos concentrarmo-nos nos semicondutores, materiais que estão na parte superior direita da tabela periódica (colunas 3A a 6A) sendo Silício (Si) e Germânio (Ge) os mais famosos.

Figura 13 – Transição da banda de valência para a de condução de um material semicondutor. Adaptada em 14/4/2017, desse link²³.



Existem diferentes maneiras de transferir um elétron da BV para a BC de um semicondutor, incluindo o aquecimento do mesmo, mas as duas formas mais utilizadas, são pela aplicação de uma voltagem e pela iluminação. Dependendo do tipo de material semicondutor, há necessidade de luz com diferentes frequências. Qualquer que seja o modo de transferência, a situação final é a mesma como ilustrada na Figura 13.

²³https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=Special:Search&limit=20&offset=20&profile=default&search=conduction+band&uselang=pt-br&searchToken=69hrypazhfku42fk963fo8eyo#/media/File:Semiconductor_Bands_Hot.svg

Uma vez na BC, o elétron pode se mover e produzir corrente elétrica. Observe que ao saltar para a BC, o elétron deixou um buraco, ou lacuna, na BV. E essa lacuna também é móvel, de modo que produz uma corrente na BV. Essa corrente de lacunas funciona como se fosse uma corrente de cargas positivas, portanto em sentido contrário à corrente de elétrons. Esses dois fluxos de correntes em sentidos contrários é uma peculiaridade dos semicondutores, que se assemelha aos sistemas iônicos. Mas a natureza das correntes de cargas positivas nos sistemas iônicos é diferente dessa nos semicondutores.

Em quase todos os materiais utilizados para a fabricação de dispositivos eletrônicos, os elétrons são transferidos por meio da aplicação de uma voltagem, cujo valor depende da largura do *gap* de energia, e este depende do tipo de material. Por exemplo, para o silício puro, será necessário aplicar uma voltagem da ordem 1,12 volt, enquanto no germânio basta 0,66 volt. Além dos elementos semicondutores, existem compostos semicondutores, como o arseneto de gálio (GaAs), o antimoneto de índio (InSb), entre outros.

Os semicondutores puros, ou naturais, também conhecidos como **semicondutores intrínsecos**, são de pouca utilidade tecnológica por duas razões: têm poucos elétrons disponíveis para condução. Tecnicamente se diz que têm baixa concentração de portadores. Além disso, essa concentração depende muito da temperatura. Estudos realizados nos anos 1940 mostraram que a dopagem com uma pequena concentração de impurezas especialmente selecionadas era capaz de aumentar a concentração de portadores, e ao mesmo fazer com que as propriedades elétricas dos semicondutores fossem menos dependentes da temperatura. Os semicondutores dopados passaram a ser denominados **semicondutor extrínseco**. Foi essa descoberta que permitiu o avanço da microeletrônica a partir de 1950.

Existem dois tipos de dopagem. Uma que aumenta a concentração de elétrons, ou de portadores negativos e uma que aumenta a concentração de lacunas, ou portadores positivos. No primeiro tipo tem-se semicondutor tipo-n, e no segundo tipo de dopagem tem-se semicondutor tipo-p.

4.4 Propriedades elétricas dos dispositivos semicondutores

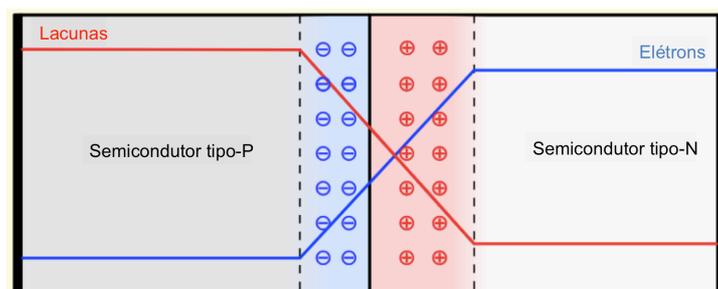
A história da descoberta do transistor, o dispositivo semicondutor que abriu as portas para a microeletrônica é muito longa para ser tratada aqui. O que importa aqui é com-

preender o funcionamento desse dispositivo, o coração de qualquer equipamento eletrônico moderno.

Tudo começa com a junção p-n, ou diodo, o primeiro dispositivo semicondutor fabricado. A junção se forma quando determinado semicondutor é dopado em lados opostos com impurezas tipo p e n. Como ilustra a Figura 14, no semicondutor tipo p há um excesso de lacunas, enquanto no semicondutor tipo n há um excesso de elétrons. O excesso de lacunas no lado p migra na direção do lado n e o excesso de elétrons no lado n migra na direção do lado p. Na interface entre as duas regiões, elétrons e lacunas se recombinam, deixando uma faixa de íons positivos no lado n e outra de íons negativos no lado p. Essa região é conhecida como região de carga espacial (por causa das cargas dos íons), ou região de depleção, por faltarem elétrons e lacunas, que se recombinaram.

Em determinado momento o processo de difusão cessa e o sistema entra em equilíbrio. O processo cessa porque os íons positivos empurram as lacunas para o lado p, e os íons negativos empurram os elétrons de volta para o lado n. Dito de outro modo, os íons formam uma barreira de potencial na interface. É uma espécie de capacitor, com um campo elétrico dirigido do lado n para o lado p, como ilustra a Figura 15.

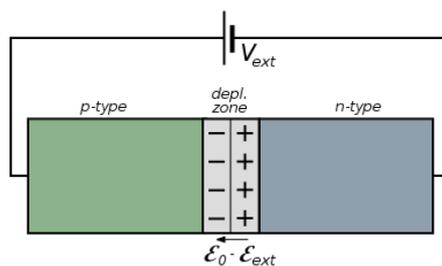
Figura 14 – Representação esquemática de uma junção p-n. Adaptado de <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pn-junction-equilibrium.png?uselang=pt-br>>. Acesso em 14.4.17.



Qualquer dispositivo semicondutor moderno tem milhares de junções p-n, e cada um tem funcionamento diferente, dependendo do tipo de material utilizado, da quantidade de junções p-n, da forma como são configuradas, etc, mas, na essência, todos têm o mesmo princípio de funcionamento, que será explicado a seguir a partir do diodo, o primeiro e mais simples dispositivo semicondutor inventado²⁴.

²⁴ Para mais detalhes, em linguagem para leigos, sugere-se esses artigos da Ciência Hoje Online:

Figura 15 – Junção p-n em polarização direta. <https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:PN-junction_diagrams?uselang=pt-br#/media/File:Forward-Biased_pn_Junction.svg>. Acesso em 16.04.17.



Temos duas maneiras de ligar uma bateria ou pilha a um diodo (Não custa lembrar, tudo que se diz aqui sobre o diodo, essencialmente vale para o transistor e outros dispositivos semicondutores):

1. Conectando o polo positivo da bateria no terminal tipo-p, e o negativo no terminal tipo-n. Essa ligação é denominada **polarização direta** (Figura 15).
2. A outra maneira é o inverso da anterior. Ou seja, polo positivo no terminal tipo-n e polo negativo no terminal tipo-p. Essa é a **polarização reversa** (Figura 16).

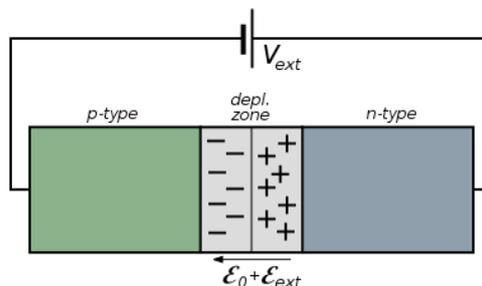
O que ocorre na polarização direta pode ser assim resumido:

1. Do terminal negativo saem elétrons em direção à junção no lado do semicondutor n.
2. O terminal positivo remove elétrons do semicondutor p, deixando lacunas que migram para a interface.
3. Se a voltagem da bateria for superior à barreira de potencial da junção, elétrons e lacunas se aniquilam na interface e abrem espaço para mais elétrons e lacunas. É assim que surge a corrente. Ou seja, a corrente inicia quando a voltagem aplicada é superior à barreira de potencial da junção.

A barreira de potencial da junção é similar ao *gap* de energia que existe nos semicondutores intrínsecos. Nesses semicondutores, a corrente só inicia quando a voltagem

gem é superior ao *gap*, assim como no diodo a corrente só inicia quando a voltagem é superior à barreira de potencial.

Figura 16 – Junção p-n em polarização reversa. <https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:PN-junction_diagrams?uselang=pt-br#/media/File:Reverse-Biased_pn_Junction.svg>. Acesso em 16.04.17.



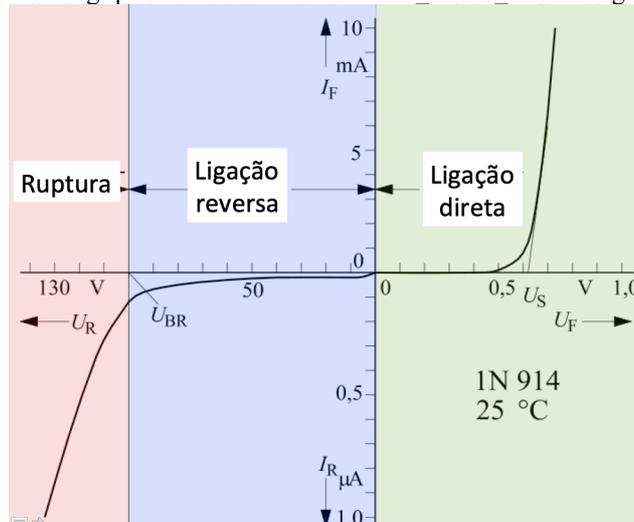
Se a junção for ligada no sentido contrário, ou seja na polarização reversa (Figura 16), o que acontece pode ser assim resumido:

1. As lacunas no lado-p são atraídos pelo polo negativo, e os elétrons no lado-n são atraídos pelo polo positivo.
2. Isso implica no aumento da barreira de potencial maior. Tem uma explicação física para isso, mas não importa aqui. O que importa é ter em mente que sendo a barreira de potencial muito mais larga, a bateria não terá condições de produzir corrente no circuito.
3. Todavia, chega um momento em que elétrons e lacunas penetram na região de depleção e são fortemente acelerados. Ao chocarem-se com átomos nessa região, iniciam uma avalanche que origina a corrente de ruptura.

As duas situações são ilustradas na Figura 17 para o caso do famoso diodo 1N914. A polarização direta está representada pela curva no lado positivo da voltagem, em verde, enquanto a polarização reversa está no lado negativo. A avalanche, ou ruptura, momento em que o diodo é danificado, está representada pela curva na área rosada.

Portanto, nos diodos e nos seus sucedâneos, como os diferentes tipos de transistores, a corrente circula praticamente em uma única direção.

Figura 17 – Curva IxV para o diodo 1N914. https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:PN-junction_diagrams?uselang=pt-br#/media/File:Kennlinie_Diode_1N914.svg. Acesso em 17.4.17.



5 Guia do Professor

Até aqui apresentamos aspectos conceituais referentes ao material que foi transposto para a sala de aula por meio da UEPS. A partir desse momento vamos apresentar a sequência didática propriamente dita. Ao final do documento é apresentado o cronograma de atividades.

5.1 Subsunçores

Ao longo das atividades, algumas questões são levantadas e discutidas, de modo a proporcionar o estabelecimento de subsunçores relevantes para os projetos (bobina de Tesla e detector de metais). Exemplos de questões:

1. Onde podemos encontrar circuitos elétricos?
2. Todos os circuitos elétricos são iguais? O que os faz ser diferentes?
3. A eletricidade e o magnetismo são dois ramos individuais da Física ou estão inter-relacionados?
4. Existem outras ciências que se dedicam ao estudo dos circuitos elétricos?

Todos esses questionamentos devem ser debatidos em sala sobre a condução do professor de modo que se faça o registro dos pontos mais relevantes e que se possa fazer uma sondagem eficiente acerca dos conhecimentos prévios dos estudantes. Nesse primeiro momento é importante que o professor faça anotações individualizadas acerca dos posicionamentos de cada um dos estudantes de modo que tais anotações possam traduzir

de fato se existem conceitos formais acerca do estudo dos circuitos elétricos e detectar concepções alternativas.

5.2 Diferenciação progressiva

O estudo das propriedades dos componentes retirados dos computadores, seguido do estudo desses componentes em circuitos elétricos simples, concluindo com a discussão de dispositivos eletrônicos de uso diário, e tendo como referencial artigos de divulgação científica, vídeos e animações, funciona como o processo da diferenciação progressiva propugnada por Ausubel.

5.3 Reconciliação integradora

Na fase final da intervenção didática, o professor deverá organizar um processo de reconciliação integrativa a partir de uma síntese de todos os resultados obtidos pelos alunos, quer seja no campo material (execução dos projetos) ou no campo conceitual (apropriação de forma significativa dos conceitos fundamentais). Essa avaliação feita pelo professor deverá ser compartilhada com toda a turma. Este é o momento que a turma tem para demonstrar sua capacidade para reconciliar integrativamente os conceitos trabalhados durante a execução do projeto. Esta etapa será finalizada com a apresentação dos equipamentos confeccionados.

5.4 Materiais de apoio (paradidáticos e divulgação científica)

Utilizamos os materiais de apoio apresentados abaixo, que consideramos relevantes, mas cada professor por buscar materiais alternativos.

5.4.1 Textos paradidáticos e de divulgação científica

1. [SANTOS, C.A. dos. Um desafio e tanto. Ciência Hoje Online, 6/6/2014.](http://cienciahoje.org.br/coluna/um-desafio-e-tanto/)
2. [. Uma história de sorte e sagacidade. Ciência Hoje Online, 27/2/2009.](http://cienciahoje.org.br/coluna/uma-historia-de-sorte-e-sagacidade/)
3. KOEHLER, I.D., FARIAS, Y., CARVALHO, V.T. de, SCHMIDT, A., KOEHLER, M.D. Desenvolvimento de um mini-aspirador para teclado com lixo eletrônico para reduzir os impactos ambientais. Disponível em <<https://siaiap32.univali.br/seer/index.php/acotb/article/download/10788/6120>>. Acesso em 5/7/2017.
4. GONZALES, E.G., ROSA, P.R.S. Aprendizagem significativa de conceitos de circuitos elétricos utilizando um ambiente virtual de ensino por alunos da educação de jovens e adultos. *Investigação em Ensino de Ciências*, v.19, n.2, pp.477-504, 2014. Disponível em

<<https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/91>>. Acesso em 5/7/2017.

5.4.2 Vídeos

1. Prof. Álvaro – Eletromagnetismo.
<https://www.youtube.com/watch?v=DJBu0WGPw4U>.
2. Canal XProjetos – Detector de metais.
<https://www.youtube.com/watch?v=YDQdtctWBbs>.
3. Marlon Nardi – Bobina de Tesla.
<https://www.youtube.com/watch?v=uA46GPY0qQ0>.
4. TVU Notícias – Projeto do IFRN coleta Lixo Eletrônico para descarte adequado.
<https://www.youtube.com/watch?v=Lp9iIQUO-Oo>.
5. Manual do Mundo – 10 coisas para fazer com computador velho.
<https://www.youtube.com/watch?v=VO3YwlqlyC0>.

5.4.3 Texto na Internet

1. Instituto NCB – Detector de metais.
<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/eletronica/57-artigos-e-projetos/11152-detector-de-metais-art2624>.

6 Cronograma de atividades

Aula	Atividade
1	Apresentação e detalhamento das atividades a serem desenvolvidas ao longo do projeto
2	Aplicação do teste SMA.
3	Os dispositivos a serem construídos são apresentados: uma bobina de Tesla e um detector de metais. Os conceitos pertinentes aos projetos são abordados a título de introdução. Ao final da aula os estudantes são levados ao almoxarifado da escola para o primeiro contato com a matéria-prima a ser utilizada nos projetos: computadores abandonados.
4	Por sorteio, as equipes são divididas em grupos. É definida a agenda de execução dos projetos.
5	Início da desmontagem dos computadores. Cada equipe tinha o seu equipamento para desmontar.
6	Os componentes são separados e suas propriedades são estudadas.
7	Os componentes são estudados a partir de possibilidades de circuitos elétricos.
8	É apresentado um vídeo com noções de eletrônica.
9	Aula sobre soldagem.

- 10 Discussão sobre os projetos, com ênfase no contexto histórico de cada um.
- 11 Discussão sobre a problemática do lixo eletrônico.
- 12 São apresentados textos e vídeos sobre o lixo eletrônico.
- 13 Discussão sobre um vídeo e um informativo que cada grupo deverá produzir para apresentar em uma reunião na escola, envolvendo pais, funcionários e estudantes das demais séries.
- 14 Reunião na escola para apresentação dos trabalhos informativos sobre a problemática do lixo eletrônico.
- 15 Retorno aos trabalhos em grupo para a continuação do desenvolvimento dos projetos.
- 16 Avaliação dos conceitos trabalhados, com questões de múltipla escolha e questões dissertativas.
- 17 Oficina para discussão do andamento dos projetos. As equipes mais adiantadas são incentivadas a tirarem dúvidas daquelas que enfrentam dificuldades com a execução do projeto.
- 18 Os resultados da avaliação são discutidos e debatidos em sala de aula.
- 19 Os resultados da avaliação são discutidos e debatidos em sala de aula.
- 20 Apresentações dos projetos.
- 21 Avaliação da UEPS.

7 Implementação dos projetos dos alunos

Essa etapa do projeto teve início no segundo semestre, com a aplicação do teste SMA (SILVEIRA; MOREIRA; AXT, 1989) para investigar as concepções alternativas dos alunos em relação a circuitos elétricos simples, cujos resultados, publicados recentemente (ANDRADE *et al.*, 2018). Ao longo do primeiro semestre os alunos tiveram aulas convencionais de eletricidade e magnetismo, a partir do livro-texto adotado na escola (GONÇALVES FILHO; TOSCANO, 2013) e dos materiais suplementares relacionados acima, na seção 5.4.

A UEPS foi aplicada depois do teste SMA, conforme sequência de eventos apresentada na seção anterior. A turma foi dividida em cinco grupos, cada um com seis alunos. Coube a três grupos o desenvolvimento de uma bobina de Tesla, e aos outros dois, o desenvolvimento de um detector de metais, ambos os projetos deveriam ser realizados com componentes extraídos de computadores fora de uso no almoxarifado da escola.

À medida que os componentes iam sendo extraídos dos computadores (Figura 17), questões discutidas no primeiro semestre eram retomadas. Paralelamente à retirada dos componentes, os alunos realizavam buscas na Internet a respeito dos equipamentos que deveriam montar, e discutíamos a viabilidade de cada proposta que encontravam. Tínhamos também o nosso grupo de whatsApp para troca de informações.

Figura 17. – Fase de desmontagem dos computadores.



Para simplificar nossas atividades, decidimos que os grupos utilizariam o mesmo circuito para cada um dos equipamentos. Para a confecção da bobina de Tesla decidimos seguir o vídeo disponível neste endereço²⁵, enquanto para o detector de metais optamos por este²⁶, embora outra boa alternativa encontra-se neste endereço²⁷.

Ao mesmo tempo em que trabalhavam no planejamento e execução de seus projetos, os alunos tinham aulas, frequentemente no laboratório. Como os conceitos básicos pertinentes aos projetos haviam sido discutidos no semestre anterior, as aulas no laboratório eram bem práticas, com identificação de componentes, montagens, soldas, circuitos elétricos básicos, funcionamento de instrumentos de medidas. Na sala de aula os grupos se reuniam e discutíamos conceitos teóricos diretamente ligados aos projetos. Durante todo o período de nossa intervenção didática, ocorreu uma intensa interação entre os alunos, com reuniões no ambiente escolar e fora da escola. Nesse processo interativo, os grupos mais adiantados ajudavam aqueles que enfrentavam maiores dificuldades.

Aproximadamente na metade do semestre, quando alguns grupos estavam mais adiantados do que outros, organizamos uma oficina para uma discussão geral do andamento dos projetos. Os alunos desses grupos mais adiantados passaram dicas para que os outros superassem suas dificuldades.

Quando todos os projetos foram concluídos, realizou-se um sorteio para a ordem de apresentação do trabalho realizado por cada grupo. A apresentação dos projetos foi

²⁵ <https://www.marlonnardi.com/p/como-fazer-uma-mini-bobina-de-tesla.html>.

²⁶ <https://www.youtube.com/watch?v=T2eI8gmRxx0&feature=youtu.be>.

²⁷ <http://www.bahiaemfocos.com.br/comofazeremcasa/como-fazer-um-detector-de-metais-ci-555-caseiro/>.

realizada em uma das últimas aulas. Cabe destacar a colaboração entre as equipes nos dias que antecederam a apresentação dos projetos.

7.1 Montagem da bobina de Tesla

O circuito da bobina de Tesla é similar àquele apresentado na Figura 4, confeccionado com os seguintes componentes:

1. Bateria de 9 volts.
2. Lâmpada Fluorescente para teste.
3. Transistor 2N2222.
4. Resistor de 22k (vermelho, vermelho, laranja, dourado) ou 27k cor (vermelho, violeta, laranja, dourado).
5. Acessórios diversos: base de madeira, cano $\frac{3}{4}$ com 8.4 cm de altura, conector/clip de bateria 9V, fita adesiva, fio esmaltado 28 awg, fio 0,3 mm ou 0,5 mm com mais de 30cm de comprimento.

A Figura 18 ilustra fases da montagem. Os componentes e ferramentas utilizados são apresentados na Figura 18a, enquanto a Figura 18b ilustra o momento em que os alunos encontram-se soldando alguns componentes.

Figura 18 – Montagem da bobina de Tesla: (a) componentes e ferramentas utilizados; (b) soldagem de parte do circuito.



(a)



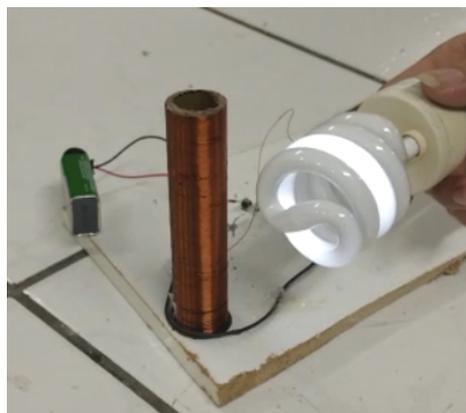
(b)

Testes com as duas bobinas construídas pelos alunos são apresentados na Figura 19.

Figura 19 – Teste das duas bobinas de Tesla construídas pelos alunos.



(a)



(b)

7.2 Montagem do detector de metais

O circuito do detector de metais é similar àquele apresentado na Figura 10, confeccionado com os seguintes componentes:

1. Bateria de 9 volts.
2. Resistor de 47 k Ω .
3. Dois capacitores eletrolíticos de 2,2 μ F.
4. Capacitor eletrolítico de 10 μ F.
5. Circuito integrado NE555p.
6. Autofalante pequeno.
7. Fio número 34.

A Figura 20 ilustra a montagem do detector de metais.

Figura 20 – Montagem do detector de metais: (a) componentes para o circuito; (b) montagem do detector.



(b)

(a)

Na figura 21 são apresentados dois dos detectores de metais montados pelos alunos. Um deles sendo testado com uma faca de inox.

Figura 21 – Dois detectores de metais montados pelos alunos.



(a)



(b)

Referências

- ARRUDA, S. M.; TOGINHO, D. O. Laboratório caseiro: laboratório de física moderna. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 8, n. 3, p. 232–236, 1991.
- AUSUBEL, D. P. A cognitive theory of school learning. *Psychology in the Schools*, 1969.
- AUSUBEL, D. P. The use of advance organizers in the learning and retention of meaningful verbal material. *Journal of Educational Psychology*, 1960.
- BFO Theory*. . [S.l: s.n.], 1999.
- BRAGA, N. C. Localizador de metais. *Revista Saber Eletrônica*, v. setembro, p. 2–10, 1977.
- BRUGNARO, L.; BARRETO, G.; MANERA, L. T. *BOBINA DE TESLA: HISTÓRIA E CONSTRUÇÃO DIDÁTICA*. . [S.l: s.n.], [S.d.]. Disponível em: <<http://teslauniverse.com>>.
- BRUNS, D. G. A solid-state low-voltage Tesla coil demonstrator. *American Journal of Physics*, v. 60, n. 9, p. 797–803, 1992.
- CHIQUITO, A. J.; LANCIOTTI, F. Bobina de Tesla: dos circuitos ressonantes LC aos princípios das telecomunicações. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 22, n. 1, p. 69–77, 2000.
- DONOSO-GARCIA, P. F.; TÔRRES, L. A. B. Ensino orientado ao projeto desafio: uma experiência para o ensino de controle, instrumentação e eletrônica. 2007, Curitiba: Cobenge 2007, 2007. p. 3B05-1-3B05-15.
- GOLEMSHINSKI, G. *METAL DETECTORS AND PHYSICS EDUCATION*. *Bulgarian Academy of Sciences. Space Research and Technology Institute. Aerospace Research in Bulgaria*. [S.l: s.n.], 2015.
- GONÇALVES FILHO, A.; TOSCANO, C. *Física - Interação e Tecnologia 3*. 1a. ed. São Paulo: Editoa Leya, 2013.
- GOYAL, H. *Understanding of IC555 Timer and IC 555 Timer Tester*. *International Journal of Inventive Engineering and Sciences (IJIES)*. [S.l: s.n.], 2015. Disponível em: <<http://www.555-timer-circuits.com/operating-modes.html>>.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R. *Física Básica, vol. 3*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1981.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R. *Fundamentos de Física, V. 4*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1991.

- JOHNSON, G. L. *BUILDING THE WORLD'S LARGEST TESLA COIL HISTORY AND THEORY*. . [S.l: s.n.], [S.d.].
- KELLEY, J. B.; DUNBAR, L. The Tesla Coil. *American Journal of Physics*, 1952.
- LABURÚ, C. E. A construção de uma bobina de Tesla para uso em demonstrações na sala de aula. *Caderno Catarinense de Ensino de Física de Ensino de Física*, v. 8, n. 1, p. 217–226, 1991.
- MAHMOOD JAWAD, A.; MAHMOOD JAWAD, H.; CHIN HOCK, G. Design of a Beat Frequency Oscillator Metal Detector. v. 9, n. 2, p. 56–62, [S.d.]. Disponível em: <www.iosrjournals.org>.
- MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. *Curso de Física. Vol. 3*. São Paulo: Editora Scipione, 2006.
- MCNEIL, J. A. The Metal Detector and Faraday's Law. *The Physics Teacher*, v. 42, p. 8–12, 2004.
- MENEZES, L. C. *et al. Coleção Quanta Física, 3o. Ano: ensino médio*. São Paulo: Editora Pueri Domus, 2010.
- MILLER, J. S. Summer Session Course in Demonstration Experiments for High School Physics Teachers. *American Journal of Physics*, v. 26, p. 477–481, 1958.
- MOREIRA, M. A. *A Teoria de Aprendizagem de David Ausubel como Sistema de Referência para a Organização de Conteúdo de Física**. *Revista Brasileira de Física*. [S.l: s.n.], 1979.
- MOREIRA, M. A. *UNIDADES DE ENSEÑANZA POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS-UEPS (Potentially Meaningful Teaching Units-PMTU). Aprendizagem Significativa em Revista/Meaningful Learning Review*. [S.l: s.n.], 2011. Disponível em: <<http://moreira.if.ufrgs.br>>.
- SANTOS, C. A. DOS. Da micro à nanoeletrônica. *Energia e Matéria: da fundamentação conceitual às aplicações tecnológicas*. São Paulo: Livraria da Física, 2015. p. 79–108.
- SANTOS, C. A. DOS. O empreendedor Edison ou o visionário Tesla? *Ciência Hoje Online*, nov. 2011.
- SCHENKEL, E. A. *Relatório final: Detector de metais*. . Campinas: [s.n.], 2009.
- SKELDON, K. D. *et al.* Development of a portable Tesla coil apparatus. *European Journal of Physics*, 2000.
- TURNER, R. Principles of metal detection. *Electronics Today International*, v. July, p. 11–16, 1984.

TYSON, J. *How metal detectors work*.

VYGOTSKY, L. S. *A formação social da mente*. São Paulo: Livraria Martins Fontes, 1991.

WESSELS, C.; PALAG, T. *Construction of a Beat Frequency Oscillator Metal Detector*. . Boulder: [s.n.], [S.d.].

Apêndice D – Eletricidade, Magnetismo e Dispositivos Semicondutores: alguns conceitos básicos

D.1 – Introdução

O produto educacional descrito na presente dissertação refere-se a uma intervenção didática baseada no ensino de conceitos de eletricidade e magnetismo a partir da construção de um detector de metais e de uma bobina de Tesla, por parte dos alunos, com a utilização de sucata tecnológica. O conteúdo relativo a esses projetos inclui noções de dispositivos semicondutores, além de conceitos de eletricidade e magnetismo pouco usuais em nossos cursos de ensino médio, como a lei de Faraday-Lenz e os circuitos osciladores LC, RC e RLC. Em função disso, apresenta-se nesse apêndice os conceitos básicos que foram utilizados na transposição didática utilizada no produto educacional, assim como descrições detalhadas dos funcionamentos dos equipamentos fabricados pelos alunos.

Quando não for dito o contrário, equações e definições básicas são extraídas desses livros didáticos (HALLIDAY; RESNICK, 1991; MENEZES *et al.*, 2010).

D.2 – Noções básicas de eletricidade e magnetismo como subsunçores ausubelianos

Depois do pré-teste, e antes da aplicação da UEPS, isto é, ao longo do primeiro semestre, o conteúdo de eletricidade e magnetismo foi apresentado em aulas não convencionais, conforme cronograma apresentado na Tabela D.1. Estamos classificando essa abordagem como não convencional porque levamos em consideração os resultados do pré-teste ao trabalhar com o material contido no livro-texto (GONÇALVES FILHO; TOSCANO, 2013), ao mesmo tempo em que os alunos consultaram textos de revistas de divulgação científica, assistiram vídeos e animações, e demonstrações experimentais foram apresentadas e analisadas. Tais recursos foram utilizados com a expectativa de que essa abordagem inicial propiciasse a emergência de subsunçores relevantes, conforme pressupõe Ausubel em sua teoria de aprendizagem significativa (AUSUBEL, 1960; MOREIRA, 1979). Esperava-se também que essa estrutura de subsunçores possibilitasse a compreensão dos projetos a serem executados no segundo semestre, e que essa compreensão facilitasse a elaboração e implementação dos projetos.

Além do conteúdo do livro didático adotado (Tabela D.1), os alunos tiveram, ao longo do primeiro semestre, acesso a textos de divulgação científica (Tabela D.2) e vídeos (Tabela D.3), todos disponíveis na Internet.

Tabela D.1 – Cronograma de aulas ministradas no primeiro semestre. Carga horária: 100 minutos semanais.

Data	Conteúdo
13/3	Apresentação geral do conteúdo a ser estudado, incluindo a apresentação da proposta de Ensino Baseado em Projeto, e que no segundo semestre os alunos deveriam elaborar e implementar dispositivos eletrônicos como parte integrante do processo avaliativo.
20/3	Conceitos Básicos de Eletrostática.
27/3	Corrente elétrica.
3/4	Resistores.
10/4	Geradores e receptores.
17/4	Noções de circuitos elétricos – parte 1.
24/4	Noções de circuitos elétricos – parte 2.
8/5	Aula experimental: alguns experimentos simples realizados com sucata tecnológica.
15/5	Campo magnético.
22/5	Força magnética.
29/5	Indução eletromagnética – parte 1.
5/6	Indução eletromagnética – parte 2.
12/6	Ondas eletromagnéticas e suas aplicações.
19/6	Divisão da turma em grupos de trabalho e apresentação dos projetos a serem desenvolvidos.
26/6	Aula experimental: alguns experimentos simples realizados com sucata tecnológica.

Tabela D.2 – Textos de divulgação científica.

Título e resumo	Endereço
<i>Um desafio e tanto:</i> Estudantes do ensino médio em colégios de bom nível estão habilitados a montar circuitos elétricos simples. Fazer algo similar com DNA, cromossomos, genes, proteínas, bactérias, enzimas e outras moléculas é o que se pretende com a biologia sintética.	http://cienciahoje.org.br/coluna/um-desafio-e-tanto/
<i>Uma história de sorte e sagacidade:</i> Das válvulas a vácuo do início do século 20 aos <i>chips</i> atuais, a tecnologia passou dos circuitos eletrônicos nos quais praticamente todos os componentes estavam ao alcance da vista para os circuitos integrados, com milhares de transistores, em escala micrométrica e inacessíveis a olho nu.	http://cienciahoje.org.br/coluna/uma-historia-de-sorte-e-sagacidade/

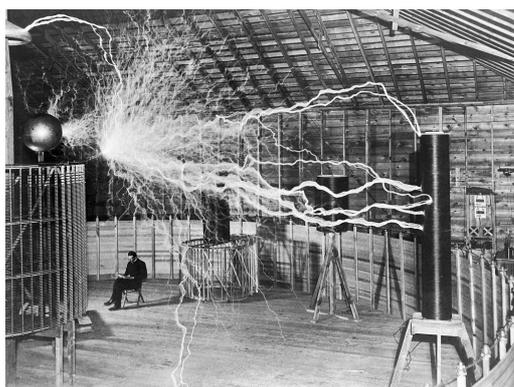
D.3 – Fundamentos da bobina de Tesla

Como recurso didático ou simples demonstração para o público leigo, o registro mais antigo a respeito da bobina de Tesla recuperado pelo *Google Acadêmico* data dos anos 1950 (KELLEY; DUNBAR, 1952; MILLER, 1958), mas o uso ficou restrito até os anos

1990, quando a literatura apresenta um aumento significativo de relatos de uso no formato similar ao que foi aqui desenvolvido (BRUNS, 1992; SKELDON *et al.*, 2000). No Brasil, os primeiros registros datam de 1991 (ARRUDA; TOGINHO, 1991; LABURÚ, 1991), e o último é um interessante trabalho realizado no DF-UFSCAR (CHIQUITO; LANCIOTTI, 2000).

A profusão de vídeos atualmente existentes no *Youtube*, certamente tem a ver com o impacto que a bobina de Tesla causa em quem presencia seu funcionamento. Na Figura 4.1a, Tesla foi fotografado em seu laboratório, na cidade de Colorado Spring (EUA), por volta de 1899, ao lado de sua enorme bobina, capaz de gerar 12 megavolts, a uma frequência de 150 kHz e produzir uma faísca de aproximadamente 40 metros. Na Figura D.1b, uma demonstração similar à que os alunos prepararam no presente trabalho, com equipamentos mais bem acabados.

Figura D.1 – (a) Tesla em seu laboratório. Extraído desse link²⁸, em 20/6/2018. (b) Bobina de Tesla excitando o gás em tubo de neônio. Extraído desse link²⁹, em 20/6/2018.



(a)



(b)

Além desse caráter lúdico, que não deixa de ter seu valor, a bobina de Tesla, inventada por Nikola Tesla em 1891, tem posição de destaque na história da eletricidade (SANTOS, 2011)³⁰, e como recurso didático permite a discussão de importantes conceitos do eletromagnetismo, conforme veremos a partir de seu circuito básico (Figura D.2).

²⁸https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=tesla+coil&title=Special:Search&profile=default&fulltext=1&searchToken=2h9xx2creq6vmyohn1vlvl880#/media/File:Nikola_Tesla,_with_his_equipment_EDIT.jpg

²⁹[https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=tesla+coil+glowing+neon+tube&title=Special:Search&profile=default&fulltext=1&searchToken=baim3jhp0i7q4dxc1vev8tu5i#/media/File:225W_Tesla_coil_-_arcs4_\(cropped\).jpg](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=tesla+coil+glowing+neon+tube&title=Special:Search&profile=default&fulltext=1&searchToken=baim3jhp0i7q4dxc1vev8tu5i#/media/File:225W_Tesla_coil_-_arcs4_(cropped).jpg)

³⁰Entrevista do prof. Carlos Alberto dos Santos ao programa Fronteiras da Ciência, da Rádio da UFRGS, sobre Tesla, encontra-se em http://multimedia.ufrgs.br/conteudo/frontdaciencia/Fronteiras_da_Ciencia-T03E11-Tesla-14.05.2012.mp3.

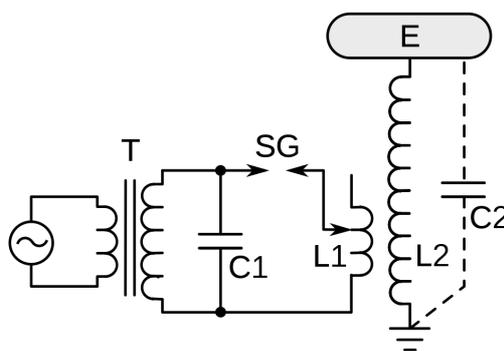
Podemos começar pela ideia de transformador, que foi objeto de uma questão no pré-teste: “Um transformador é uma das aplicações do eletromagnetismo. Para que ele serve? Descreva seu funcionamento.” No circuito da Figura D.2 temos dois transformadores, o primeiro sinalizado com T, e o outro constituído pelas bobinas L1 e L2. Um fato histórico importante, é que foi no desenvolvimento de equipamentos como esse, que Tesla inventou o transformador.

Então, é interessante discutir esse circuito realizando uma espécie de confronto com as respostas dos alunos, entre as quais podemos destacar:

- ❖ um transformador transforma uma energia pequena numa energia grande;
- ❖ um transformador aumenta ou diminui a potência da energia;
- ❖ o transformador tem como objetivo não queimar o aparelho;
- ❖ o transformador controla a força e o calor da eletricidade”.

Alguns relacionaram o transformador com a tensão. Apenas um deles comentou como seria possível a elevação ou redução de uma tensão por esse dispositivo. Depois verificamos que paralelamente ao curso de ensino médio, esses alunos estavam inseridos em cursos profissionalizantes no IFCE OU SENAI.

Figura D.2 – Circuito básico de uma bobina de Tesla. Extraído de <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=tesla+coil&title=Special:Search&profile=default&fulltext=1&searchToken=2h9xx2creq6vmyohn1vlvl880#/media/File:Tesla_coil_circuit.svg>, em 20/6/2018.



O segundo aspecto a ser destacado no circuito da Figura D.2, é a possibilidade de discussão do mecanismo pelo qual se dá o aumento de voltagem nos transformadores, ou seja a discussão da lei de indução de Faraday, um fenômeno de grande relevância para incontáveis aplicações tecnológicas, e que estava presente no pré-teste: “Como uma corrente em uma bobina gera corrente em outra que não esteja a ela conectada?”

Como era de se esperar, a maioria da turma deixou essa questão em branco.

No circuito da Figura D.2, E representa um toróide que normalmente é colocado nas bobinas usadas para exibição, como veremos na seção D.3e. SG significa *spark gap*, ou seja espaço de fâisca, ou centelhador. C2 não é um capacitor real. É apenas a representação da capacitância distribuída no conjunto indutor L2-toróide E-terra. Embora não tenha sido colocada no circuito, também existe uma resistência distribuída, de modo que o circuito secundário é de fato um circuito RLC. Da mesma forma, o circuito primário é RLC, porque sempre existe resistência distribuído em associações de componentes elétricos, como capacitores e indutores. Valores típicos para uma bobina são, dependendo das dimensões que se deseje: (a) L1, 1 a 15 espiras; (b) L2, 50 a 1000 espiras ; (c) C1, 20 kV (JOHNSON, [S.d.]). Mais adiante veremos a equivalência desse circuito com aquele utilizado pelos alunos.

Embora a abordagem formal dos circuitos RL, RC e RLC não seja usual no ensino médio, noções qualitativas a respeito desses circuitos podem ser apresentadas, e a bobina de Tesla é bastante apropriada para isso. Uma forma de tratar esse tema é descrever como funciona o circuito da Figura D.2. No nosso caso isso foi feito enquanto os alunos estavam envolvidos com a execução dos projetos. As equações apresentadas serviram unicamente como âncora, uma espécie de ponte intuitiva entre a abordagem qualitativa e a estrutura formal do eletromagnetismo. Em nenhum momento essas equações foram usadas operacionalmente.

Quando o circuito é ligado, o capacitor começa a ser carregado. Quanto mais carga no capacitor, maior a diferença de potencial entre suas placas. Ou seja,

$$V = \frac{q}{C}, \quad (\text{D.1})$$

onde V é a diferença de potencial entre as placas, q é a carga acumulada nas placas, e C é a capacitância do capacitor, uma propriedade que depende da geometria do capacitor e do material (*dielétrico*) colocado entre as placas. Capacitores extraídos dos computadores foram usados para aprofundar essa questão da geometria e do dielétrico.

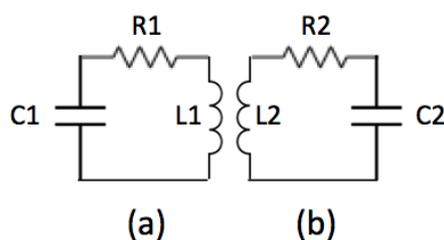
A imagem mais intuitiva que temos do capacitor é que ele é um acumulador de cargas. Se depois de acumuladas essas cargas forem liberadas, elas poderão realizar trabalho. Portanto, podemos associar ao capacitor uma energia potencial elétrica, que depende da carga acumulada e da capacitância. Na verdade, por causa da equação (D.1), a energia acumulada no capacitor é dada por

$$E = \frac{CV^2}{2}. \quad (\text{D.2})$$

Quando V atinge um valor capaz de quebrar a rigidez dielétrica do centelhador, SG, a corrente começa a passar pelo ramo que antes estava aberto.

No momento que o SG entra em curto, ou seja no momento em que começam a surgir as centelhas, o capacitor começa a transferir sua energia para a bobina (indutor) L1. Para discutir o fenômeno, vamos usar o circuito da Figura D.3. Conforme já dissemos acima, as resistências R1 e R2, assim como o capacitor C2 não representam componentes reais, colocados no circuito. Representam componentes capacitivas e resistivas sempre presente em circuitos elétricos.

Figura D.3 – Circuito agrupado da bobina de Tesla: (a) circuito primário com o centelhador em curto; (b) circuito secundário, onde encontra-se a bobina maior.



O processo de transferência de energia de C1 para L1 se faz via uma corrente elétrica. Quando essa corrente atravessa L1, ela produz um campo magnético variável em suas proximidades. Esse campo magnético variável vai atravessar L2. Pela lei da indução eletromagnética de Faraday-Lenz, a variação desse campo magnético vai induzir uma corrente através de L2, o que significa dizer que haverá uma força eletromotriz induzida proporcional à variação do fluxo do campo magnético. O valor dessa força eletromotriz, ou dessa voltagem é proporcional ao número de espiras na bobina. Como a bobina secundária tem muito mais espiras que a primária, o processo resulta em um aumento de voltagem, conforme a relação

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}, \quad (D.3)$$

onde $V(1,2)$ e $N(1,2)$ representam, respectivamente, a voltagem e o número de espiras na bobina primária e na secundária. Embora o cálculo real seja mais complicado do que a equação (D.3), essa expressão dá uma ideia dos valores. O fato é que a voltagem na bobina L2 é muito maior do que na L1.

Quando C1 descarrega e a voltagem atinge o valor mínimo para quebrar a rigidez dielétrica do ar, SG abre e o processo reinicia. Ou seja, o funcionamento de uma

bobina de Tesla gera pulsos de voltagem, com uma frequência que depende dos valores dos componentes utilizados no circuito, tipicamente na faixa entre 80 kHz e 500 kHz.

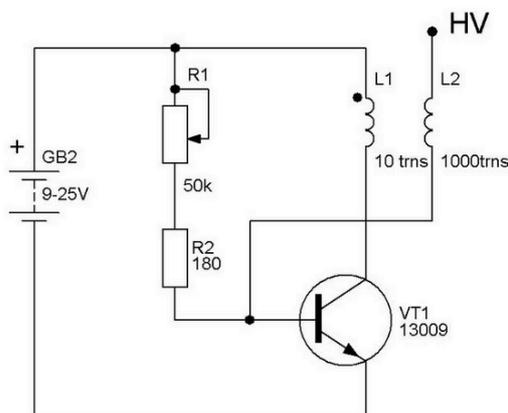
Cada um dos circuitos LC da Figura D.3 funciona como um oscilador eletromagnético, com frequência dada pela equação D.4:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (\text{D.4})$$

A voltagem de saída das bobinas de Tesla usadas em demonstrações é tão grande que é capaz de acender uma lâmpada fluorescente colocada nas proximidades da bobina. Isso ocorre porque qualquer tubo com um gás em baixa pressão, como as lâmpadas fluorescentes e néon, apresenta descarga luminosa quando submetida a uma alta tensão, cujo valor depende, essencialmente, do tipo de gás e da pressão.

Para concluir esta seção, devemos chamar a atenção para um detalhe importante. O centelhador nos circuitos clássicos da bobina de Tesla serve como um chaveamento controlado por voltagem. Abre ou fecha dependendo do valor da voltagem. Então o capacitor e o centelhador funcionam como um oscilador, gerando pulsos de corrente. Isso pode ser feito de modo mais controlado e mais simples para montar, substituindo o capacitor e o centelhador por transistores 2N2222, ou BC548, ou BC337, que são osciladores de estado sólido. Então, quando o transistor está *ligado*, ou no estado *ON*, ele deixa a corrente passar para a bobina primária. Quando ele está *desligado*, ou no estado *OFF*, a bobina libera a corrente. Esse processo gera uma corrente alternada, que por sua vez induz uma corrente alternada na bobina secundária. Ou seja tudo isso gera um campo eletromagnético oscilante nas proximidades da bobina secundária. Com essa modificação, a bobina de Tesla é geralmente denominada de bobina de Tesla de estado sólido, e o circuito é esse apresentado na Figura D.4.

Figura D.4 – Circuito de uma bobina de Tesla de estado sólido. Extraído em 20/6/2018, de <<http://www.instructables.com/id/Simple-Tesla-Coil/>>.



D.4 – Fundamentos do detector de metais

Da mesma forma que a bobina de Tesla, o detector de metais também é muito popular na Internet. Ambos os dispositivos prestam-se à exploração de conceitos importantes do eletromagnetismo, sobretudo quando utilizados em conjunto, pois ambos têm a lei de indução eletromagnética de Faraday-Lenz como fundamento de seus funcionamentos.

Utilizamos a *Web of Science (WoS)* e o Google Acadêmico na busca que fizemos por trabalhos acadêmicos sobre esse dispositivo. Só conseguimos recuperar três referências em português relevantes para o nosso trabalho. A mais antiga é um artigo de Newton C. Braga, publicado em 1977 na Revista Saber Eletrônica (BRAGA, 1977). E a mais recente é um relatório de uma disciplina de graduação em física da Unicamp, em 2009 (SCHENKEL, 2009). A terceira referência é um trabalho do Departamento de Engenharia Eletrônica da UFMG, a respeito de ensino orientado por projeto nas disciplinas de graduação Laboratório de Eletrônica I e Laboratório de Controle I, no qual os autores afirmam que a construção de um detector de metais fez parte do programa dessas disciplinas, sem no entanto detalhar como isso se dá na prática (DONOSO-GARCIA; TÔRRES, 2007). Excetuando o artigo de Newton Braga, supra mencionado, não encontramos qualquer referência em português facilmente acessível, que descreva os fundamentos do detector de metais. Até mesmo o artigo *Detector de Metais*, disponível na versão brasileira da Wikipedia³¹ contém menos informações do que o homônimo na versão em inglês³².

Por outro lado, a literatura em inglês contém inúmeras referências, mas nem todas são estritamente relevantes para o nosso trabalho, uma vez que tratam de aspectos técnicos fora do escopo do presente trabalho e muito acima do nível que devemos considerar aqui. Então, fizemos uma filtragem dessa literatura e selecionamos apenas cinco artigos mais relevantes para os nossos objetivos didático-pedagógicos, quer seja por causa do contexto histórico que apresentam (TURNER, 1984), pelo caráter de divulgação científica que dão ao assunto (TYSON, 2018) ou pelas abordagens didáticas (“BFO Theory”, 1999; GOLEMSHINSKI, 2015; MAHMOOD JAWAD; MAHMOOD JAWAD; CHIN HOCK, [S.d.]; MCNEIL, 2004; WESSELS; PALAG, [S.d.]). Quando não for indicado o contrário, o texto a seguir é baseado nessas referências.

³¹ https://pt.wikipedia.org/wiki/Detector_de_metais.

³² https://en.wikipedia.org/wiki/Metal_detector.

Na bobina de Tesla, tem-se a amplificação da voltagem de entrada por intermédio da lei da indução eletromagnética de Faraday-Lenz. Como veremos na sequência, no detector de metais construído pelos alunos, tem-se a alteração de frequência por intermédio da lei de Faraday-Lenz, quando uma bobina encontra-se nas proximidades de um objeto metálico. É bastante instrutivo comparar esses dois casos de ocorrência dessa famosa lei, que constitui uma das quatro equações de Maxwell para o eletromagnetismo.

Existem três maneiras básicas de se detectar metais fazendo uso da lei de indução eletromagnética de Faraday-Lenz. Elas são conhecidas pelas siglas em inglês (TYSON, 2018): VLF, PI, BFO. Além da literatura especializada, inúmeros portais na Internet discutem esses detectores. Aos interessados recomendamos esse do Wikihow, escrito em português: <https://pt.wikihow.com/Construir-um-Detector-de-Metals>.

Antes de detalharmos cada uma dessas tecnologias, vejamos os fundamentos básicos que estão por trás de todas elas. Esses fundamentos também são usados na bobina de Tesla, mas na seção anterior só fizemos referência a eles naquilo que era absolutamente indispensável para a descrição qualitativa do funcionamento da bobina de Tesla. Aqui faremos uma abordagem mais detalhada desses fundamentos, em nível similar àquele dos cursos básicos de licenciatura em física (HALLIDAY; RESNICK, 1981). Não custa lembrar que essa abordagem não foi utilizada no produto educacional. Ela nos serve de guia para a devida transposição didática a ser usada em nosso projeto didático-pedagógico.

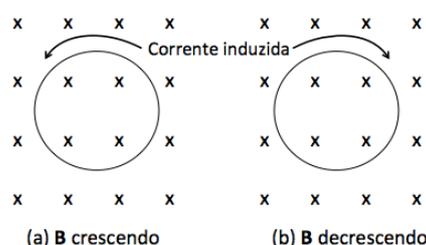
D.4.1 – Leis de Faraday e de Lenz

Sempre que uma espira condutora ou uma bobina constituída de N espiras for atravessada por um campo magnético variável, uma corrente elétrica surgirá por força da lei da indução eletromagnética, descoberta em 1831, praticamente ao mesmo tempo por Michel Faraday, na Inglaterra, e por Joseph Henry, nos EUA. Três anos depois, o russo Heinrich Lenz apresentou um argumento para justificar a descoberta de Faraday-Henry. Alguns autores denominam a descoberta como lei de Faraday, outros como lei de Faraday-Lenz. A Figura D.5 ilustra bem a situação experimental. A espira condutora está imóvel, enquanto o módulo do campo magnético, B , cresce com o tempo em (a) e decresce em (b).

Faraday descobriu que na situação representada na Figura D.5, a corrente induzida tem sentido anti-horário quando o módulo de B cresce, e sentido horário quando B decresce. A Figura D.5 pode levar a uma concepção equivocada do fenômeno. Não é

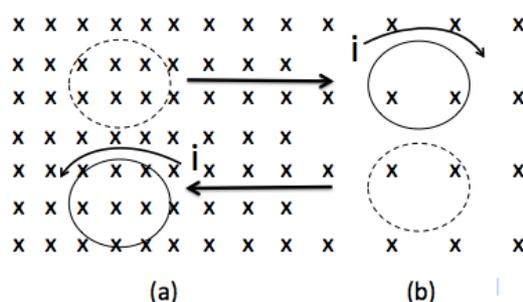
exatamente a variação do campo magnético que induz a corrente na espira. É a variação do fluxo do campo magnético através da espira.

Figura D.5 – Corrente induzida em função da variação temporal do campo magnético. O símbolo x representa um campo magnético, \mathbf{B} , “entrando” no plano da espira. Em (a) o módulo desse campo cresce, enquanto em (b) ele decresce. Em (a) a corrente induzida na espira tem sentido anti-horário, enquanto em (b) o sentido é horário.



Vejamos outra situação em que ocorre esse fenômeno. Por exemplo, o caso de um campo magnético estável e inhomogêneo. Ou seja, seu módulo não varia com o tempo, mas a densidade de suas linhas de campo varia no espaço, como ilustra a Figura D.6. Se uma espira se desloca da região de maior densidade (Figura D.6a) para a de menor, o fluxo magnético através de sua área diminui, de modo que a corrente é induzida no sentido horário. Por outro lado, se a espira se desloca no sentido contrário, de (b) para (a), o fluxo aumenta e a corrente induzida tem o sentido anti-horário.

Figura D.6 – Campo magnético estável e espacialmente inhomogêneo. Em (a) a densidade de linhas de campo é maior do que em (b).



Na verdade, essa corrente surge por causa de uma força eletromotriz (fem) induzida. A partir de suas observações experimentais, Faraday estabeleceu a lei que ficou conhecida como Lei de Faraday, e que pode ser expressa assim (HALLIDAY; RESNICK, 1981, cap. 32):

A fem induzida num circuito é igual (exceto por mudança no sinal) à taxa pela qual o fluxo

magnético através do circuito está mudando com o tempo.

Na forma de uma equação, essa lei é expressa assim:

$$\varepsilon = \frac{-d\Phi_B}{dt}. \quad (\text{D.5})$$

Lenz interpretou o significado do sinal negativo através da lei que ficou conhecida como Lei de Lenz (HALLIDAY; RESNICK, 1981, cap. 32):

Uma corrente induzida surgirá numa espira condutora fechada com um sentido tal que ela se oporá à variação que a produziu.

Vamos detalhar o experimento ilustrado na Figura D.6, à luz da Lei de Lenz. Quando a espira sai de (a) para (b), diminui o fluxo do campo magnético através de sua área. Então, a corrente induzida deverá se opor a essa diminuição. Essa oposição se manifesta pela produção de um campo magnético que aumente o fluxo. Ou seja de um campo magnético que também aponte para “dentro” da folha de papel. Portanto a corrente induzida terá que ter o sentido horário, pois só assim ela cria um campo magnético que também aponta para “dentro” da folha, e reforçará o campo magnético externo, aumentando o fluxo.

D.4.2 – Influência do meio no valor do campo magnético e nas propriedades de uma bobina

Nas seções anteriores, abordamos qualitativamente a produção de um campo magnético por uma bobina, e de como esse campo magnético induz o surgimento de uma corrente induzida em uma bobina que esteja próxima da primeira. Por sua vez, essa corrente induzida produzirá um campo magnético associado à segunda bobina.

Para entender o funcionamento de um detector de metais que faz uso do fenômeno da indução eletromagnética, é necessário responder à seguinte questão: existindo um campo magnético em determinada região do espaço, como seu valor é alterado pela presença de determinados materiais?

Esses materiais que interferem no valor de um campo magnético são genericamente conhecidos como materiais magnéticos, e são classificados em três tipos: paramagnéticos, diamagnéticos e ferromagnéticos (MÁXIMO; ALVARENGA, 2006, cap. 23). Para discutirmos o funcionamento de um detector de metais, é suficiente fixarmos nos materiais ferromagnéticos.

As propriedades magnéticas dos materiais têm origem no spin dos elétrons, e o tipo de material magnético é determinado pela sua estrutura eletrônica. No caso dos materiais ferromagnéticos todos os seus spins orientam-se no mesmo sentido, e portanto criam um campo magnético, em duas situações: quando o material está abaixo de uma certa temperatura, conhecida como temperatura de Curie do material, ou quando esse material é submetido a um campo magnético externo. Neste caso, o campo magnético externo faz surgir um campo magnético no interior do material, e este campo soma-se ao campo externo para resultar num campo muito maior. Esse é o princípio do eletroímã, quando uma barra de ferro ou outro material ferromagnético é colocada no interior de uma bobina. Essa barra concentra as linhas de força magnética e a consequência é o aumento no valor da indutância, L , da bobina³³. Variando a indutância varia-se a frequência do circuito RLC.

Em suma, qualquer material ferromagnético colocado nas proximidades de um circuito RLC, modifica sua frequência. Esse é o fenômeno que está por trás de qualquer detector de metais.

D.4.3 – Modelos usuais de detectores de metal

a) BFO – Oscilador de frequência de batimento

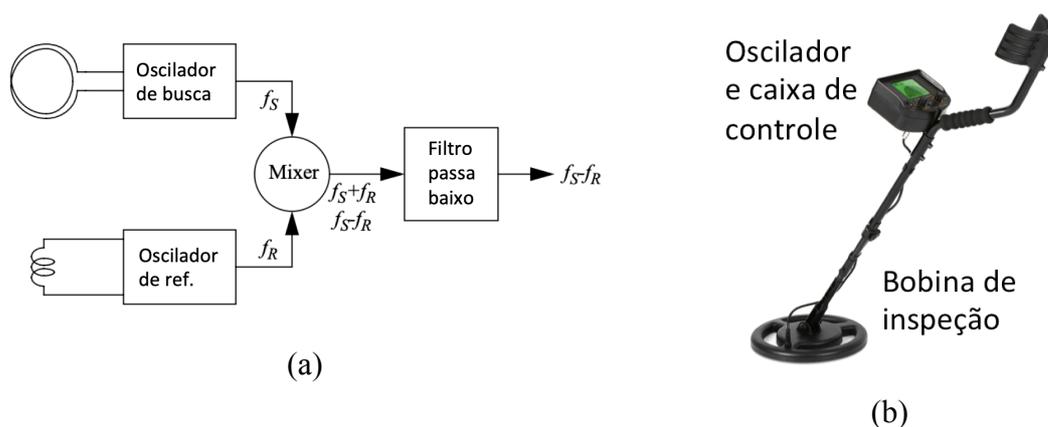
BFO é a sigla para *beat-frequency oscillator*. É a forma mais básica e intuitiva de um detector de metais. Liderou o mercado nos anos 1960-1970, mas atualmente está praticamente fora de uso profissional, embora ainda seja muito útil em atividades de ensino (“BFO Theory”, 1999). Seu princípio de funcionamento está esquematizado na Figura D.7a. O sistema é composto de duas bobinas (osciladores) e de uma eletrônica associada. Como o nome sugere, a bobina de inspeção é colocada nas proximidades do local onde supostamente encontra-se o metal, e a bobina de referência é quem gera o sinal que vai indicar ou não a presença do metal. Essa bobina de referência juntamente com a eletrônica associada são instaladas numa caixa que fica na parte superior do detector (Figura D.7b).

Uma corrente gerada pelo sistema eletrônico percorre as duas bobinas, de tal modo que sejam iguais as suas frequências de oscilação eletromagnética (equação D.4). O sistema eletrônico capta e compara os sinais de cada um desses osciladores, de modo a isolar o sinal correspondente à diferença de frequência. Como no início da operação as

³³ Uma discussão mais detalhada do que a do livro de Antônio Máximo e Beatria Alvarenga, encontra-se neste endereço: <<https://www.allaboutcircuits.com/textbook/direct-current/chpt-15/factors-affecting-inductance/>>, acessado em 20/6/2018.

duas frequências são iguais, não há sinal. Quando a bobina de inspeção aproxima-se de um metal, sua indutância altera-se, como discutido acima, e em consequência sua frequência (equação D.4) muda. O sistema eletrônico é construído de tal modo que uma pequena diferença de frequência gere um sinal audível, por exemplo entre 500 Hz e 1 kHz.

Figura D.7 – Detetor de metais BFO: (a) circuito básico, extraído de (“BFO Theory”, 1999); (b) equipamento comercial, extraído de <<https://popular.reviews/metal-detector/>>, em 20/6/2018.



b) VLF – Balança de indução

VLF é a sigla para *Very Low Frequency*, também conhecido como balança de indução. Provavelmente é a tecnologia mais popular em uso atualmente (TYSON, 2018). As duas bobinas são colocadas concentricamente, no mesmo plano (Figura D.8). A bobina externa é denominada bobina transmissora, e a interna é a receptora. Uma corrente alternada circula na bobina externa, e poderia por indução eletromagnética gerar outra corrente alternada na bobina interna. No entanto a bobina interna é blindada em relação ao campo magnético criado pela bobina externa. Então, o sistema funciona assim: o campo magnético oscilante da bobina externa orienta os domínios magnéticos dos materiais a serem detectados, fazendo com que esses materiais criem um pequeno campo magnético oscilante. É esse pequeno campo magnético induzido que a bobina interna capta por meio de uma corrente elétrica induzida. Essa informação é enviada para o sistema eletrônico de controle. Uma característica interessante desse sistema, é que ele possibilita a distinção de diferentes tipos de metais, mas os fundamentos desse processo estão muito acima do nível da disciplina e não foram discutidos com os alunos.

Figura D.8 – Detector de metal VLF comercial, extraído de <<http://www.westcoastminingsupply.com/bounty-hunter/the-metal-detector-vlf>>, em 20/6/2018.



c) PI – Indução de pulso

Trata-se de um modelo não muito usual, e que funciona com um complexo sistema eletrônico para geração e controle de pulsos rápidos e potentes (Figura D.9). Ao contrário dos modelos anteriores, o detector PI funciona com uma única bobina, que serve como transmissora e receptora. Quando cada pulso termina, há uma autoindução na bobina do sistema, gerando um pulso de corrente rápido, de aproximadamente 30 microssegundos (TYSON, 2018), denominado *pulso refletido*. Um detector PI típico, é capaz de produzir cerca de 100 pulsos por segundo.

Se o detector estiver acima de um material magnético, ele induz um campo magnético no material que é oposto ao gerado pelo detector. A consequência disso, é que o campo magnético induzido no material vai fazer com que o próximo pulso refletido seja mais longo. É um fenômeno similar ao eco. Então, o sistema eletrônico analisa o tamanho dos pulsos refletidos. Se esse tamanho aumentar, é porque existe material magnético sob a bobina do detector.

Figura D.9 – Detector de metal PI comercial, extraído de <<https://www.hobby-hour.com/electronics/s/surfmaster-pi-metal-detector.php>>, em 20/6/2018.



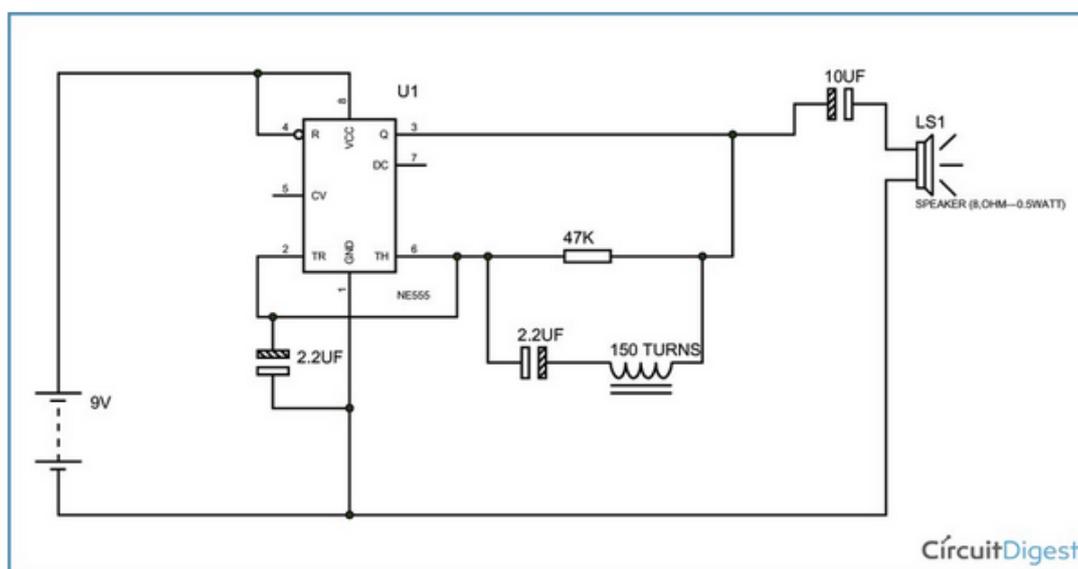
D.4.4 – Detector de metais com circuito integrado 555

Os dois modelos de detectores mais comuns, o BFO e o VLF funcionam com princípios similares. Existem duas bobinas, uma transmissora e uma receptora. Essas bobinas constituem osciladores eletromagnéticos, de modo que uma corrente em uma delas gera corrente induzida na outra, que é a bobina usada para detectar o metal. Os dois osciladores estão eletronicamente acoplados, de modo que na ausência de material magnético eles oscilam na mesma frequência. Na presença de material magnético, os osciladores oscilam com frequências diferentes, fato que é identificado pelo sistema de controle eletrônico.

Algo parecido com isso pode ser feito com uma única bobina sensora e um circuito integrado que funcione como oscilador. Foi essa alternativa que os alunos escolheram, depois de pesquisas na Internet. O circuito integrado mais usado para isso é o 555, amplamente discutido na literatura especializada (GOYAL, 2015) e na Internet³⁴.

O circuito básico de um detector de metais com CI 555 é apresentado na Figura D.10. Nessa proposta, a bobina de detecção, construída com 150 espiras, faz parte de um circuito RLC, com $R=47\text{ k}\Omega$ e $C=22\text{ }\mu\text{F}$. Vejamos como funciona esse circuito.

Figura D.10 – Circuito básico de um detector de metais com CI 555, extraído de <<https://circuitdigest.com/electronic-circuits/simple-metal-detector-circuit>>, em 20/6/2018.



³⁴ https://en.wikipedia.org/wiki/555_timer_IC, acesso em 21/6/2018; <http://www.circuitstoday.com/555-timer#block-diagram>, acesso em 21/6/2018.

O CI 555 funciona como um gerador de onda quadrada, com frequência na faixa audível aos humanos. O circuito RLC tem uma frequência ajustável para um certo valor quando está na ausência de material condutor no interior da bobina. Conforme discutido acima, se um material metálico for colocado no interior ou nas proximidades da bobina, sua indutância, L , aumenta, variando a frequência do circuito RLC. O resultado é outro tipo de som emitido pelo autofalante.

Portanto, o princípio de funcionamento desse detector é exatamente o mesmo dos dois primeiros descritos acima.

D.5 – Noções de ciência e tecnologia de semicondutores

O material que aqui apresentaremos é baseado em três referências: (i) Capítulo 46 do Halliday-Resnick (vol. 4), *Condução de eletricidade em sólidos* (HALLIDAY; RESNICK, 1991); (ii) Capítulo 4 da Coleção Quanta Física, *Estrutura da matéria e propriedades dos materiais* (MENEZES *et al.*, 2010); (iii) Capítulo 3 do livro Energia e Matéria: da fundamentação conceitual às aplicações tecnológicas, *Da micro à nanoeletrônica* (SANTOS, 2015).

D.5.1 – Introdução

Não é exagero dizer que a sociedade contemporânea não suportaria viver sem a presença dos circuitos integrados. Praticamente não há um dispositivo tecnológico que não faça uso desse artefato minúsculo, cujo componente operacional só pode ser visualizado com a ajuda de microscópio. O principal componente operacional, o sistema nervoso de um circuito integrado, é um transistor, ou uma associação de transistores.

Antes de continuar, talvez seja interessante chamar a atenção para a nomenclatura. Na linguagem cotidiana, circuito integrado é conhecido como CI. Na literatura inglesa é IC, de *integrated circuit*. Como os CI deram origem aos *chips*, alguns profissionais referem-se aos *chips* quando estão falando de CI. Ou seja *chip* e CI são a mesma coisa. Mas, nosso foco aqui não é o *chip*, é o transistor.

Para alguns alunos do ensino médio, conhecer o transistor será obrigação profissional, para outros será uma forma de aumentar seu universo cultural. É importante ter noção do que seja esse componente que tem tanta influência em nossas relações sociais e em nossa vida econômica.

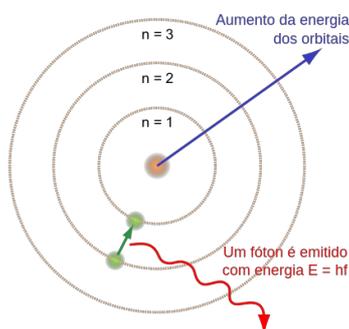
D.5.2 – Antecedentes históricos da física de semicondutores

A física de semicondutores surgiu na virada dos anos 1920 para os anos 1930, e só foi possível graças ao desenvolvimento da mecânica quântica. Não podemos tratar esse assunto detalhadamente porque exige uma matemática que não é dominada por alunos do ensino médio. É necessário no mínimo conhecer cálculo diferencial e integral, algo que se aprende em cursos avançados na universidade. Mas, podemos abordar os conceitos fundamentais. Faremos isso em duas partes. Na primeira parte trataremos dos avanços da física que permitiram o surgimento da teoria quântica, e na segunda parte trataremos dos conceitos específicos da física de semicondutores.

A imagem que hoje temos do átomo, com um núcleo minúsculo em torno do qual gravitam os elétrons, surgiu entre 1908 e 1913, com trabalhos experimentais de Ernest Rutherford e trabalhos teóricos de Niels Bohr. Ficou conhecido como modelo atômico de Rutherford-Bohr, ou simplesmente modelo de Bohr.

A Figura D.11 é uma boa ilustração do modelo de Rutherford-Bohr. Os círculos enumerados, $n=1$, $n=2$, etc., representam as órbitas nas quais os elétrons podem ser encontrados. Um dos postulados de Bohr é que os elétrons nessas órbitas não emitem qualquer radiação. Um elétron só emite alguma radiação quando pula de uma órbita para outra mais interna, ou seja mais próxima do núcleo atômico. Para fazer o caminho inverso, ou seja saltar de uma órbita para outra mais externa o elétron precisa receber energia.

Figura D.11 – Ilustração do modelo de Rutherford-Bohr. Extraído em 14.4.2017 de https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Bohr_model#/media/File:Bohr_atom_model-pt.svg.



Em suma, a situação é assim:

7. O átomo é constituído de um núcleo, contendo praticamente toda a massa atômica, em volta do qual movimentam-se elétrons em órbitas bem definidas, cujas distâncias ao núcleo depende da quantidade elétrons do átomo.

8. Enquanto movimentam-se nessas órbitas, os elétrons não emitem radiação, ou energia, o que dá no mesmo, pois a radiação emitida transporta energia. Eles podem apenas absorver energia.
9. Se o elétron absorve energia ele pode responder de três modos diferentes:
 - a. Liberando-se do átomo, se a energia recebida for igual ou superior à energia da órbita em que ele se encontra.
 - b. Saltando para uma órbita mais externa, se a energia recebida for exatamente a diferença entre as energias das duas órbitas.
 - c. Vibrando e aquecendo o átomo, mas permanecendo na mesma órbita, se a energia recebida não permitir as situações previstas em (a) e (b).
10. Ao absorver energia e saltar para uma órbita mais externa, o elétron permanece nessa órbita por um tempo de aproximadamente 10^{-8} segundos, ou 0,1 nanossegundos. Depois disso ele retorna à sua órbita original.
11. Esse retorno pode ser realizado de uma única vez, diretamente para a órbita original, ou em sequência, de órbita em órbita até chegar na órbita original.
12. Cada vez que o elétron salta para uma das órbitas internas, o átomo emite uma radiação cuja energia é a diferença entre as energias das duas órbitas.

Esse modelo simplificado do átomo, elaborado por Rutherford e Bohr, evoluiu para um modelo mais realista, a partir dos estudos teóricos que resultaram na mecânica quântica, principalmente os trabalhos de Erwin Schrödinger e Werner Heisenberg, elaborados por volta de 1925. As órbitas foram transformadas em camadas, com níveis e subníveis de energia, e essas foram em seguida denominadas de bandas de energia. Foi o estudo da teoria de bandas que permitiu o surgimento do que hoje conhecemos como física de semicondutores.

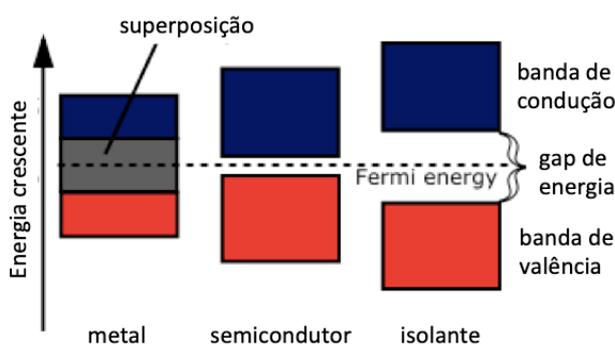
D.5.3 – Fundamentos da física de semicondutores

Podemos dizer que qualquer material sólido tem duas bandas, uma de valência e outra de condução. A partir disso, podemos classificar os materiais em três categorias: isolantes, condutores e semicondutores. Há uma quarta categoria, os supercondutores, mas esses têm propriedades físicas bem diferentes dos três primeiros, de modo que para os objetivos desse texto podemos deixá-los de lado.

A Figura D.12 ilustra as configurações de bandas em metais, semicondutores e isolantes. Os isolantes são também conhecidos como dielétricos. Para entender por que essas configurações são assim há que se ter conhecimentos de teoria quântica. Mas, para compreender em linhas gerais o que se discutirá a seguir é suficiente termos em mente o seguinte:

3. As bandas de valência (BV) e de condução (BC) se superpõem nos metais e são separadas nos semicondutores e nos isolantes.
4. A separação energética entre as bandas, é maior nos isolantes do que nos semicondutores.

Figura D.12 – Representação esquemática das bandas de valência e de condução de metais, semicondutores e isolantes. Adaptada de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Energy_band1.svg?uselang=pt-br>. Acesso em 20/5/2019.



Vamos analisar o que está por trás da Figura D.12 em termos de conceitos físicos. Em primeiro lugar percebe-se que a principal diferença entre semicondutores e isolantes é a separação energética, também conhecida como *gap* de energia. O *gap* de energia é maior nos isolantes do que nos semicondutores. A palavra inglesa *gap* é usada aqui como sinônimo de intervalo. Na verdade, refere-se a um intervalo de energia proibida. Ou seja, entre o ponto mais alta da banda de valência e o ponto mais baixo da banda de condução há uma região de energia proibida, ou simplesmente banda proibida. Nenhum elétron pode ser encontrado nessa região.

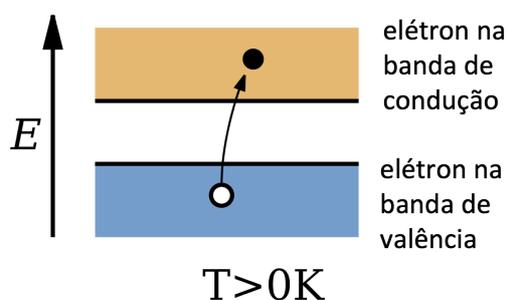
Qualquer que seja o material, metais condutores, semicondutores e isolantes, só existe condução elétrica se houver elétrons na banda de condução. Observe que nos metais condutores, essa banda superpõe-se à banda de valência. Logo, sempre haverá elétron na banda de condução, disponível para conduzir eletricidade. É por isso que os me-

tais condutores, como ferro, níquel, cobre, entre outros, são conhecidos como bons condutores de eletricidade, e também de calor.

De um modo geral, os elétrons nos semicondutores e isolantes são encontrados na BV. Então, se a corrente elétrica exige a presença de elétrons na BC, semicondutores e isolantes não podem conduzir eletricidade? Aí é que está a grande questão que deu origem à moderna tecnologia eletrônica. Tanto um tipo de material como o outro pode conduzir, se for possível levar elétrons da BV para a BC. Como a separação entre as bandas é muito grande nos isolantes, esses materiais dificilmente conduzem eletricidade. Então vamos concentrarmo-nos nos semicondutores, materiais que estão na parte superior direita da tabela periódica (colunas 3A a 6A) sendo Silício (Si) e Germânio (Ge) os mais famosos.

Existem diferentes maneiras de transferir um elétron da BV para a BC de um semicondutor, incluindo o aquecimento do mesmo, mas as duas formas mais utilizadas, são pela aplicação de uma voltagem e pela iluminação. Dependendo do tipo de material semicondutor, há necessidade de luz com diferentes frequências. Qualquer que seja o modo de transferência, a situação final é a mesma como ilustrada na Figura D.13.

Figura D.13 – Transição da banda de valência para a de condução de um material semicondutor. Adaptada desse link³⁵, em 14/4/2017.



Uma vez na BC, o elétron pode se mover e produzir corrente elétrica. Observe que ao saltar para a BC, o elétron deixou um buraco, ou lacuna, na BV. E essa lacuna também é móvel, de modo que produz uma corrente na BV. Essa corrente de lacunas funciona como se fosse uma corrente de cargas positivas, portanto em sentido contrário à corrente de elétrons. Esses dois fluxos de correntes em sentidos contrários é uma pe-

³⁵ https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=Special:Search&limit=20&offset=20&profile=default&search=conduction+band&uselang=pt-br&searchToken=69hrypazhfk42fk963fo8eyo#/media/File:Semiconductor_Bands_Hot.svg

cularidade dos semicondutores, que se assemelha aos sistemas iônicos. Mas a natureza das correntes de cargas positivas nos sistemas iônicos é diferente dessa nos semicondutores.

Em quase todos os materiais utilizados para a fabricação de dispositivos eletrônicos, os elétrons são transferidos por meio da aplicação de uma voltagem, cujo valor depende da largura do *gap* de energia, e este depende do tipo de material. Por exemplo, para o silício puro, será necessário aplicar uma voltagem da ordem 1,12 volt, enquanto no germânio basta 0,66 volt. Além dos elementos semicondutores, existem compostos semicondutores, como o arseneto de gálio (GaAs), o antimoneto de índio (InSb), entre outros.

Os semicondutores puros, ou naturais, também conhecidos como **semicondutores intrínsecos**, são de pouca utilidade tecnológica por duas razões: têm poucos elétrons disponíveis para condução. Tecnicamente se diz que têm baixa concentração de portadores. Além disso, essa concentração depende muito da temperatura. Estudos realizados nos anos 1940 mostraram que a dopagem com uma pequena concentração de impurezas especialmente selecionadas era capaz de aumentar a concentração de portadores, e ao mesmo fazer com que as propriedades elétricas dos semicondutores fossem menos dependentes da temperatura. Os semicondutores dopados passaram a ser denominados **semicondutor extrínseco**. Foi essa descoberta que permitiu o avanço da microeletrônica a partir de 1950.

Existem dois tipos de dopagem. Uma que aumenta a concentração de elétrons, ou de portadores negativos e uma que aumenta a concentração de lacunas, ou portadores positivos. No primeiro tipo tem-se semicondutor tipo-n, e no segundo tipo de dopagem tem-se semicondutor tipo-p.

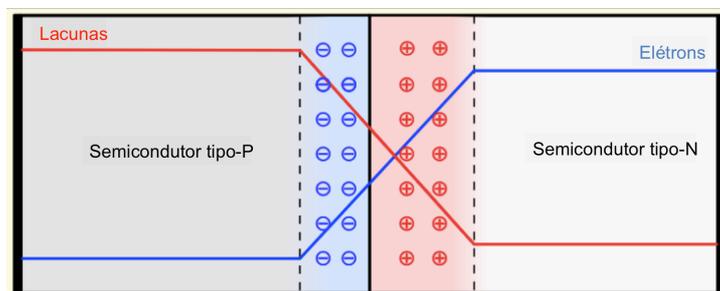
D.5.4 – Propriedades elétricas dos dispositivos semicondutores

A história da descoberta do transistor, o dispositivo semicondutor que abriu as portas para a microeletrônica é muito longa para ser tratada aqui. O que importa aqui é compreender o funcionamento desse dispositivo, o coração de qualquer equipamento eletrônico moderno.

Tudo começa com a junção p-n, ou diodo, o primeiro dispositivo semicondutor fabricado. A junção se forma quando determinado semicondutor é dopado em lados opostos com impurezas tipo p e n. Como ilustra a Figura D.14, no semicondutor tipo p há um excesso de lacunas, enquanto no semicondutor tipo n há um excesso de elétrons.

O excesso de lacunas no lado p migra na direção do lado n e o excesso de elétrons no lado n migra na direção do lado p. Na interface entre as duas regiões, elétrons e lacunas se recombinam, deixando uma faixa de íons positivos no lado n e outra de íons negativos no lado p. Essa região é conhecida como região de carga espacial (por causa das cargas dos íons), ou região de depleção, por faltarem elétrons e lacunas, que se recombinaram.

Figura D.14 – Representação esquemática de uma junção p-n. Adaptado de <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pn-junction-equilibrium.png?uselang=pt-br>>. Acesso em 14.4.17.



Em determinado momento o processo de difusão cessa e o sistema entra em equilíbrio. O processo cessa porque os íons positivos empurram as lacunas para o lado p, e os íons negativos empurram os elétrons de volta para o lado n. Dito de outro modo, os íons formam uma barreira de potencial na interface. É uma espécie de capacitor, com um campo elétrico dirigido do lado n para o lado p, como ilustra a Figura D.15.

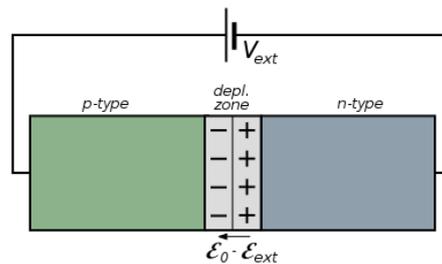
Qualquer dispositivo semicondutor moderno tem milhares de junções p-n, e cada um tem funcionamento diferente, dependendo do tipo de material utilizado, da quantidade de junções p-n, da forma como são configuradas, etc, mas, na essência, todos têm o mesmo princípio de funcionamento, que será explicado a seguir a partir do diodo, o primeiro e mais simples dispositivo semicondutor inventado³⁶.

Temos duas maneiras de ligar uma bateria ou pilha a um diodo (Não custa lembrar, tudo que se diz aqui sobre o diodo, essencialmente vale para o transistor e outros dispositivos semicondutores):

³⁶ Para mais detalhes, em linguagem para leigos, sugere-se esses artigos da Ciência Hoje Online: http://www.cienciahoje.org.br/noticia/v/ler/id/2946/n/a_cereja_no_bolo_da_microeletronica; http://www.cienciahoje.org.br/noticia/v/ler/id/3020/n/o_fantasminha_camarada_da_microeletronica.

1. Conectando o polo positivo da bateria no terminal tipo-p, e o negativo no terminal tipo-n. Essa ligação é denominada **polarização direta** (Figura D.15).
2. A outra maneira é o inverso da anterior. Ou seja, polo positivo no terminal tipo-n e polo negativo no terminal tipo-p. Essa é a **polarização reversa** (Figura D.16).

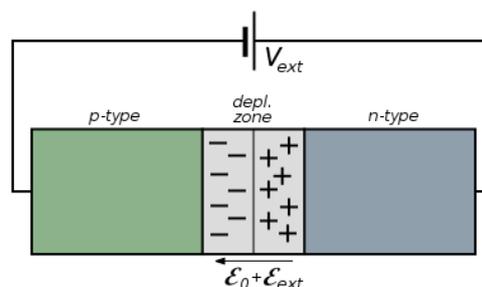
Figura D.15 – Junção p-n em polarização direta. <https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:PN-junction_diagrams?uselang=pt-br#/media/File:Forward-Biased_pn_Junction.svg>. Acesso em 16.04.17.



O que ocorre na polarização direta pode ser assim resumido:

4. Do terminal negativo saem elétrons em direção à junção no lado do semicondutor n.
5. O terminal positivo remove elétrons do semicondutor p, deixando lacunas que migram para a interface.
6. Se a voltagem da bateria for superior à barreira de potencial da junção, elétrons e lacunas se aniquilam na interface e abrem espaço para mais elétrons e lacunas. É assim que surge a corrente. Ou seja, a corrente inicia quando a voltagem aplicada é superior à barreira de potencial da junção.

Figura D.16 – Junção p-n em polarização reversa. <https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:PN-junction_diagrams?uselang=pt-br#/media/File:Reverse-Biased_pn_Junction.svg>. Acesso em 16.04.17.

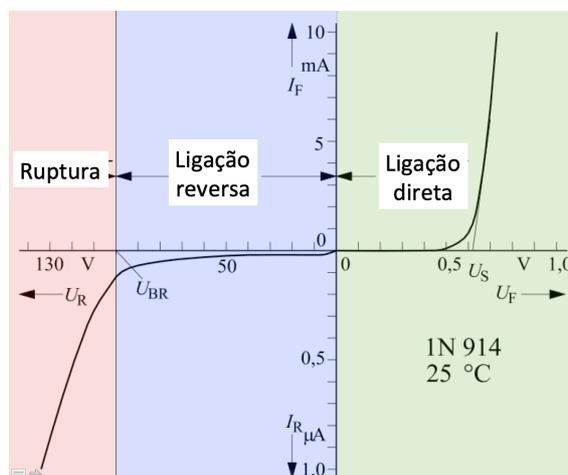


A barreira de potencial da junção é similar ao *gap* de energia que existe nos semicondutores intrínsecos. Nesses semicondutores, a corrente só inicia quando a voltagem é superior ao *gap*, assim como no diodo a corrente só inicia quando a voltagem é superior à barreira de potencial.

Se a junção for ligada no sentido contrário, ou seja na polarização reversa (Figura D.16), o que acontece pode ser assim resumido:

4. As lacunas no lado-p são atraídos pelo polo negativo, e os elétrons no lado-n são atraídos pelo polo positivo.
5. Isso implica no aumento da barreira de potencial maior. Tem uma explicação física para isso, mas não importa aqui. O que importa é ter em mente que sendo a barreira de potencial muito mais larga, a bateria não terá condições de produzir corrente no circuito.
6. Todavia, chega um momento em que elétrons e lacunas penetram na região de depleção e são fortemente acelerados. Ao chocarem-se com átomos nessa região, iniciam uma avalanche que origina a corrente de ruptura.

Figura D.17 – Curva IxV para o diodo 1N914. https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:PN-junction_diagrams?uselang=pt-br#/media/File:Kennlinie_Diode_1N914.svg. Acesso em 17.4.17.



As duas situações são ilustradas na Figura D.17 para o caso do famoso diodo 1N914. A polarização direta está representada pela curva no lado positivo da voltagem, em verde, enquanto a polarização reversa está no lado negativo. A avalanche, momento em que o diodo é danificado, está representada pela curva na área rosada.

Portanto, nos diodos e nos seus sucedâneos, como os diferentes tipos de transistores, a corrente circula praticamente em uma única direção.

Referências

- ARRUDA, S. M.; TOGINHO, D. O. Laboratório caseiro: laboratório de física moderna. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 8, n. 3, p. 232–236, 1991.
- AUSUBEL, D. P. The use of advance organizers in the learning and retention of meaningful verbal material. *Journal of Educational Psychology*, 1960.
- BFO Theory*. . [S.l: s.n.], 1999.
- BRAGA, N. C. Localizador de metais. *Revista Saber Eletrônica*, v. setembro, p. 2–10, 1977.
- BRUGNARO, L.; BARRETO, G.; MANERA, L. T. *BOBINA DE TESLA: HISTÓRIA E CONSTRUÇÃO DIDÁTICA*. . [S.l: s.n.], [S.d.]. Disponível em: <<http://teslauniverse.com>>.
- BRUNS, D. G. A solid-state low-voltage Tesla coil demonstrator. *American Journal of Physics*, v. 60, n. 9, p. 797–803, 1992.
- CHIQUITO, A. J.; LANCIOTTI, F. Bobina de Tesla: dos circuitos ressonantes LC aos princípios das telecomunicações. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 22, n. 1, p. 69–77, 2000.
- DONOSO-GARCIA, P. F.; TÔRRES, L. A. B. Ensino orientado ao projeto desafio: uma experiência para o ensino de controle, instrumentação e eletrônica. 2007, Curitiba: Cobenge 2007, 2007. p. 3B05-1-3B05-15.
- GOLEMSHINSKI, G. *METAL DETECTORS AND PHYSICS EDUCATION*. *Bulgarian Academy of Sciences. Space Research and Technology Institute. Aerospace Research in Bulgaria*. [S.l: s.n.], 2015.
- GONÇALVES FILHO, A.; TOSCANO, C. *Física - Interação e Tecnologia 3*. 1a. ed. São Paulo: Editora Leya, 2013.
- GOYAL, H. *Understanding of IC555 Timer and IC 555 Timer Tester*. *International Journal of Inventive Engineering and Sciences (IJIES)*. [S.l: s.n.], 2015. Disponível em: <<http://www.555-timer-circuits.com/operating-modes.html>>.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R. *Física Básica, vol. 3*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1981.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R. *Fundamentos de Física, V. 4*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1991.
- JOHNSON, G. L. *BUILDING THE WORLD'S LARGEST TESLA COIL HISTORY AND THEORY*. . [S.l: s.n.], [S.d.].

- KELLEY, J. B.; DUNBAR, L. The Tesla Coil. *American Journal of Physics*, 1952.
- LABURÚ, C. E. A construção de uma bobina de Tesla para uso em demonstrações na sala de aula. *Caderno Catarinense de Ensino de Física de Ensino de Física*, v. 8, n. 1, p. 217–226, 1991.
- MAHMOOD JAWAD, A.; MAHMOOD JAWAD, H.; CHIN HOCK, G. Design of a Beat Frequency Oscillator Metal Detector. v. 9, n. 2, p. 56–62, [S.d.]. Disponível em: <www.iosrjournals.org>.
- MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. *Curso de Física. Vol. 3*. São Paulo: Editora Scipione, 2006.
- MCNEIL, J. A. The Metal Detector and Faraday's Law. *The Physics Teacher*, v. 42, p. 8–12, 2004.
- MENEZES, L. C. et al. *Coleção Quanta Física, 3o. Ano: ensino médio*. São Paulo: Editora Pueri Domus, 2010.
- MILLER, J. S. Summer Session Course in Demonstration Experiments for High School Physics Teachers. *American Journal of Physics*, v. 26, p. 477–481, 1958.
- MOREIRA, M. A. *A Teoria de Aprendizagem de David Ausubel como Sistema de Referência para a Organização de Conteúdo de Física**. *Revista Brasileira de Física*. [S.l: s.n.], 1979.
- SANTOS, C. A. DOS. Da micro à nanoeletrônica. *Energia e Matéria: da fundamentação conceitual às aplicações tecnológicas*. São Paulo: Livraria da Física, 2015. p. 79–108.
- SANTOS, C. A. DOS. O empreendedor Edison ou o visionário Tesla? *Ciência Hoje Online*, nov. 2011.
- SCHENKEL, E. A. *Relatório final: Detector de metais*. . Campinas: [s.n.], 2009.
- SKELDON, K. D. et al. Development of a portable Tesla coil apparatus. *European Journal of Physics*, 2000.
- TURNER, R. Principles of metal detection. *Electronics Today International*, v. July, p. 11–16, 1984.
- TYSON, J. *How metal detectors work*.
- WESSELS, C.; PALAG, T. *Construction of a Beat Frequency Oscillator Metal Detector*. . Boulder: [s.n.], [S.d.].

Apêndice E – Trabalho publicado na RBEF

Como o trabalho foi inteiramente baseado no material apresentado no corpo da dissertação, reproduziremos aqui apenas a primeira página do artigo.

Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 40, nº 3, e3406 (2018)
 www.scielo.br/rbef
 DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0008>

Pesquisa em Ensino de Física

 Licença Creative Commons

Recorrência de concepções alternativas sobre corrente elétrica em circuitos simples

Recurrency of alternative conceptions about electrical current in simple circuits

Francisco Andreázzio Lôbo de Andrade¹, Geovani Ferreira Barbosa¹, Fernando Lang da Silveira², Carlos Alberto dos Santos^{*1} 

¹Universidade Federal Rural do Semiárido, Centro de Ciências Exatas e Naturais, Mossoró, RN, Brasil
²Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Física, Porto Alegre, RS, Brasil

Recebido em 10 de Janeiro, 2018. Revisado em 06 de Março, 2018. Aceito em 14 de Março, 2018.

Descreve-se neste trabalho resultados recentes, obtidos com 32 alunos do Ensino Médio a respeito de concepções alternativas sobre corrente elétrica em circuitos simples. Utilizou-se um teste de 14 itens elaborado no IF-UFRGS e validado após aplicação a alunos de engenharia da mesma universidade, em 1989. No presente experimento, 7 alunos foram selecionados para entrevistas clínicas, a partir do padrão de respostas no teste escrito. Os resultados do teste escrito foram comparados àqueles obtidos na UFRGS e analisados no contexto da literatura internacional pertinente ao tema. Confirmou-se a recorrência de concepções alternativas já amplamente relatada por autores de diversos países em diferentes continentes. As entrevistas clínicas permitiram uma investigação mais detalhada deste fenômeno e sinalizaram a necessidade de novas abordagens didáticas no ensino de circuitos elétricos.

Palavras-chave: concepções alternativas, circuitos elétricos, corrente elétrica, eletricidade, entrevista clínica.

This paper describes recent results obtained with 32 students from the Middle School regarding alternative conceptions about electric current in simple circuits. A 14-item test developed at IF-UFRGS was used and validated after application to engineering students from the same university in 1989. In the present experiment, 7 students were selected for clinical interviews, from the standard of answers in the written test. The results of the written test were compared to those obtained at UFRGS and analyzed in the context of the international literature relevant to the topic. The recurrence of alternative conceptions, as observed in the present investigation, has already been widely reported by authors from different countries on different continents. The clinical interviews allowed a more detailed investigation of this phenomenon and signaled the need for new didactic approaches in the teaching of electrical circuits.

Keywords: alternative conceptions, electric circuits, electric current, electricity, clinical interview.

1. Introdução

De tudo que se sabe hoje sobre o processo de ensino-aprendizagem, talvez a coisa mais importante possa ser resumida em uma frase: descubra o que seu aluno já sabe e ensine de acordo. O significado dessa frase aparece em diferentes teorias da aprendizagem, sob diferentes formas. Ao propor uma pedagogia para a educação de adultos, em um processo dialógico baseado no universo vocabular do aprendiz, Paulo Freire escreve [1]: “quem dialoga, dialoga com alguém sobre alguma coisa” (p.69). A frase sugere que essa “alguma coisa” é o que o aluno já sabe. Ao discutir sua teoria de aprendizagem, Bruner enfatiza que a eficiência de uma sequência de ensino depende do cabedal de informações e do estágio de desenvolvimento do aluno a quem se destina [2,3]. A frase acima também tem a ver com as ideias de Vygotsky a respeito do que ele define como zona de desenvolvimento proximal [4]. Por trás desses significados, está a estrutura cognitiva, um

conceito muito debatido entre os psicólogos nos anos 1940-1960, e que foi objeto de inúmeros estudos experimentais com ratos [5-8].

No início dos anos 1960, Ausubel formalizou o conhecimento acumulado até então, naquilo que hoje conhecemos como Teoria da Aprendizagem Significativa [9-12]. Ausubel tem como premissas a importância da aprendizagem significativa em oposição à aprendizagem mecânica, e a ênfase na estrutura de conhecimento do aprendiz como determinantes para a aquisição e retenção do conhecimento [11]. A teoria de Ausubel trata duas questões em aberto: como ter acesso à estrutura cognitiva e como organizar o conteúdo de modo a propiciar uma aprendizagem significativa, tendo em conta a topologia típica da estrutura cognitiva do público-alvo. Tais questões foram objeto de inúmeros estudos nos anos 1970 [13-16] e desembocaram em duas instigantes linhas de pesquisa: modelos mentais [17-20] e concepções alternativas, cujos trabalhos pioneiros estão descritos em duas teses de doutorado. A primeira defendida por Rosalind Driver

*Endereço de correspondência: cas.ufrrj@gmail.com