



## EXPERIMENTOS DE BAIXO CUSTO PARA ABORDAR CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS SOBRE CORRENTE ELÉTRICA EM CIRCUITOS SIMPLES

Francisco Cristiano Barbosa Lima

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

EXPERIMENTOS DE BAIXO CUSTO PARA ABORDAR CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS SOBRE CORRENTE ELÉTRICA EM CIRCUITOS SIMPLES

Francisco Cristiano Barbosa Lima

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. Ciclâmio Leite Barreto

Membro Externo: DFTE-UFRN



Prof. Dr. Gustavo de Oliveira Gurgel Rebouças

Membro interno: MNPEF-UFERSA



Prof. Dr. Taciano Amaral Sorrentino

Membro interno: MNPEF-UFERSA

Mossoró  
Novembro, 2018

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)

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

L732e Lima, Francisco Cristiano Barbosa

Experimentos de baixo custo para abordar concepções alternativas sobre corrente elétrica em circuitos simples / Francisco Cristiano Barbosa Lima; orientador Carlos Alberto dos Santos; co-orientador Geovani Ferreira Barbosa. - Mossoró, 2018.

143 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) - UFERSA, 2018.

1. Ensino de Física. 2. Eletricidade. 3. Magnetismo. 4. Experimentos de baixo custo. 5. Concepções alternativas. I. Santos, Carlos Alberto dos, orient. II. Barbosa, Geovani Ferreira, co-orient. III. Universidade Federal Rural do Semiárido, Centro de Ciências Exatas e Naturais, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física.

Dedico esta dissertação a toda minha família, aos meus pais, irmãos, esposa. Mas de uma forma muito especial queria dedicar aos meus dois filhos que são duas joias preciosas na minha vida: Gabriel Hermann dos Santos Lima e Alanna Crystyna dos Santos Lima.

## **Agradecimentos**

A realização deste trabalho só possível devido à orientação precisa e dedicada do meu orientador Prof. Carlos Alberto dos Santos que trabalhou incansavelmente nessa dissertação do primeiro até o último momento.

Ao Prof. Geovani Ferreira Barbosa, co-orientador sempre presente, e a todo o corpo docente do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da UFERSA, pelos ensinamentos.

Aos meus colegas do MNPEF-UFERSA que também contribuíram com esse aprendizado.

À CAPES pela bolsa concedida durante o curso.

A toda minha família, principalmente a minha mãe que sempre esteve em suas orações apresentando-me a Deus para que ele viesse me dar sabedoria, proteção e coragem.

## RESUMO

### EXPERIMENTOS DE BAIXO CUSTO PARA ABORDAR CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS SOBRE CORRENTE ELÉTRICA EM CIRCUITOS SIMPLES

Francisco Cristiano Barbosa Lima

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

Descrevemos nesta dissertação, o planejamento, a elaboração e a aplicação de um produto educacional voltado para o uso de materiais de baixo custo na fabricação de circuitos elétricos simples destinados à abordagem de conceitos básicos de eletricidade no ensino médio. O produto foi aplicado em uma escola pública na cidade de Itaiçaba, mesorregião do Jaguaribe, no Estado do Ceará. Das respostas apresentadas no pré-teste e nas entrevistas clínicas, observamos a recorrência de concepções alternativas há muito tempo relatadas na literatura. Concluímos que uma abordagem pedagógica fazendo uso concomitante de experimentos e entrevistas clínicas, pode ser potencialmente útil para proporcionar superação de concepções alternativas, com mudança conceitual. Ao longo de todo o processo de ensino-aprendizagem, era notável o encantamento dos alunos, à medida que manuseavam os circuitos e visualizavam as soluções das questões que lhes foram colocadas como pré-teste. Demonstravam satisfação porque comprovavam algo com equipamentos que eles haviam construído.

Palavras-chave: Ensino de Física, Eletricidade, Magnetismo, Experimentos de baixo custo, Concepções alternativas.

## ABSTRACT

### LOW COST EXPERIMENTS TO ADDRESS MISCONCEPTIONS ON ELECTRIC CURRENT IN SIMPLE CIRCUITS

Francisco Cristiano Barbosa Lima

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.

We describe in this dissertation the planning, elaboration and application of an educational product aimed at the use of low-cost materials in the manufacture of simple electrical circuits intended to approach basic concepts of electricity in secondary education. The product was applied in a public school in the city of Itaiçaba, mesoregion of Jaguaribe, in the State of Ceará. From the answers presented in the pre-test and in the clinical interviews, we observed the recurrence of alternative conceptions long reported in the literature. We conclude that a pedagogical approach making concomitant use of clinical experiments and interviews may be potentially useful in overcoming alternative conceptions, with conceptual change. Throughout the whole teaching-learning process, the students' satisfaction was remarkable as they manipulated the circuits and visualized the solutions to the questions put to them as a pre-test. They demonstrated satisfaction because they proved something with equipment that they had built.

Keywords: Physics Teaching, Electricity, Magnetism, Low Cost Experiments, Misconceptions.

## SUMÁRIO

<b>Lista de Abreviaturas e Siglas .....</b>	<b>10</b>
<b>Lista de Figuras .....</b>	<b>11</b>
<b>Lista de Tabelas .....</b>	<b>12</b>
<b>Capítulo 1 – Introdução .....</b>	<b>13</b>
<b>Capítulo 2 – Ensino Baseado em Projetos com Experimentos de Baixo Custo .....</b>	<b>16</b>
<b>Capítulo 3 – Concepções Alternativas sobre Corrente Elétrica em Circuitos Simples.....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 – Breve Revisão da Literatura.....</b>	<b>19</b>
<b>3.2 – O Teste para Investigar Concepções Alternativas.....</b>	<b>20</b>
<b>3.3 – Entrevista Clínica .....</b>	<b>21</b>
<b>Capítulo 4 – Corrente elétrica em circuitos elétricos simples .....</b>	<b>24</b>
<b>4.1 – Introdução .....</b>	<b>24</b>
<b>4.2 – Natureza e sentido da corrente elétrica em circuitos simples .....</b>	<b>25</b>
<b>4.3 – Modelo microscópico da condutividade elétrica nos metais .....</b>	<b>27</b>
<b>4.4 – O papel das cargas superficiais em circuitos simples.....</b>	<b>32</b>
<b>Capítulo 5 – Sobre a intervenção didático-pedagógica e o produto educacional .....</b>	<b>36</b>
<b>5.1. Introdução .....</b>	<b>36</b>
<b>5.2 – Descrição das Atividades Didático-Pedagógicas .....</b>	<b>37</b>
5.2a – Ambientação Matemática com o Geoplano .....	37
5.2b – Aulas Convencionais com o Livro-Texto.....	38
5.2c – Montagem e Uso de Circuitos com Materiais de Baixo Custo para Abordar Concepções Alternativas .....	38
<b>5.3 – Resultados Obtidos.....</b>	<b>40</b>
5.3a – Concepções Alternativas .....	40
5.3b – Entrevistas com Alunos Selecionados.....	51
5.3c – Íntegra da Entrevista com o Aluno9.....	54
<b>5.4 – Comentários dos Alunos .....</b>	<b>59</b>



<b>Capítulo 6 – Sumário, Resultados Relevantes e Considerações Finais.....</b>	<b>61</b>
<b>6.1. Sumário .....</b>	<b>61</b>
<b>6.2. Resultados relevantes .....</b>	<b>62</b>
<b>6.3. Considerações Finais .....</b>	<b>62</b>
<b>Referências .....</b>	<b>64</b>
<b>Apêndice A – Teste para Investigar Concepções Alternativas .....</b>	<b>70</b>
<b>Apêndice B – Produto Educacional: Proposta de uma Intervenção Didático- Pedagógica para Abordar Concepções Alternativas sobre Corrente Elétrica em Circuitos Simples, Fazendo Uso de Experimentos de Baixo Custo.....</b>	<b>75</b>
<b>Referências .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Apêndice C – Relato dos alunos sobre o produto.....</b>	<b>99</b>
<b>Apêndice D – Íntegra das Entrevistas com os alunos .....</b>	<b>101</b>
<b>Apêndice E – Artigo para publicação .....</b>	<b>141</b>

## **Lista de Abreviaturas e Siglas**

ABP – Aprendizagem Baseada em Projetos  
SMAMeD – SILVEIRA; MOREIRA; AXT; MCDERMOTT; SHAFFER  
SMA – SILVEIRA; MOREIRA; AXT  
McD – McDERMOTT; SHAFFER  
CAS – Carlos Alberto dos Santos  
INSE – Indicador de Nível Socioeconômico  
EnsMedM – Ensino Médio Matutino  
EnsMedV – Ensino Médio Vespertino  
EnsMedN – Ensino Médio Noturno  
INEP – Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira  
SMA6q – SILVEIRA; MOREIRA; AXT, 6 questões  
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior  
MNPEF – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

## Lista de Figuras

Figura 1.1 – Esquema do Arranjo Metodológico da Intervenção Didático - pedagógica .....	13
Figura 4.1 – Montagem dos circuitos .....	25
Figura 4.2 – Professor e alunos manipulando os circuitos .....	26

## Lista de Tabelas

Tabela 3.1 – Objetivos, conceitos e concepções alternativas associados a cada questão . . . . .	19
Tabela 4.1 – Respostas ao pré-teste SMAMcD, dos oito alunos do turno matutino selecionados para entrevista clínica . . . . .	27
Tabela 4.2 – Resultados percentuais do Teste SMA6q . . . . .	28
Tabela 4.3 – Algumas características dos(as) alunos(as) selecionados(as) para a entrevista . . . . .	39
Tabela 4.4 – Comentários dos alunos. A numeração corresponde àquela usada nas entrevistas . . . . .	45

## Capítulo 1 – Introdução

Descreve-se nesta dissertação, o planejamento, a elaboração e a aplicação de um produto educacional voltado para o uso de materiais de baixo custo na fabricação de circuitos elétricos simples, destinados à abordagem de conceitos básicos de eletricidade no ensino médio.

A motivação para a realização desse trabalho vem de nossa observação na prática docente em escolas públicas na mesorregião do Jaguaribe, no Estado do Ceará. Percebe-se facilmente que esses estudantes apresentam enormes dificuldades na aprendizagem de conceitos mais abstratos, como aqueles tratados nas ciências da natureza, ao lado da falta de motivação e entusiasmo para estudos nessa área. Relatos de alguns alunos, ao longo de nossa atividade docente, davam conta do desestímulo causado por aulas expositivas e de exercícios sem um atrativo dialógico. Aula cujo objetivo é a simples transmissão de receitas para a solução de problemas simples não satisfaz a maioria dos alunos.

É extensa a literatura com relatos de iniciativas para fugir desses métodos, pejorativamente conhecidos como *giz e saliva*. Não é objetivo dessa dissertação apresentar uma revisão dessa literatura, mas também não podemos deixar de mencionar os artigos que consideramos importantes para quem deseja realizar um estudo mais aprofundado. Por exemplo, a literatura apresenta muitos trabalhos sobre o que ficou conhecido como *métodos ativos de ensino* (ARAUJO; MAZUR, 2013). E desde sempre, defende-se o uso de atividades experimentais (ALVES-FILHO, 2000), e nas condições sócio-econômicas do Brasil, recomenda-se o uso de atividades experimentais com materiais de baixo custo (AXT; MOREIRA, 1991).

Nas últimas décadas tem-se discutido exaustivamente a questão das concepções alternativas adquiridas por alunos de todos os níveis, em todas as áreas do conhecimento. No caso da física, a área de eletricidade é rica na quantidade de concepções alternativas (ANDRADE *et al.*, 2018). Todavia, são raros os trabalhos dedicados ao uso de atividades experimentais para superar tais concepções (EVANS, 1978; SHAFFER; MCDERMOTT, 1992).

Foi com o objetivo de tratar essas questões que planejamos, elaboramos e aplicamos o produto educacional a ser descrito na sequência. Ou seja, tratamos a questão das concepções alternativas em circuitos elétricos simples, fazendo uso de montagens experimentais com materiais de baixo custo, todas confeccionadas pelos alunos.

A intervenção didático-pedagógica foi realizada em turmas da terceira série (matutina, vespertina e noturna) da Escola de Ensino Médio João Barbosa Lima, na cidade de Itaiçaba (CE). Ao final da intervenção, os alunos demonstraram grande satisfação pela autonomia que tiveram no processo ensino-aprendizagem, e pelo caráter prazeroso das atividades.

O aproveitamento dos alunos foi avaliado por meio de testes de múltipla-escolha e de entrevistas clínicas realizadas com alguns alunos, selecionados de acordo com critérios apresentados na sequência. Conforme será detalhado mais adiante, alguns alunos fizeram pré-teste e pós-teste, outros só fizeram o pós-teste manipulando os circuitos elétricos. Os resultados no pós-teste, depois da construção e manipulação dos circuitos foram considerados proveitosos.

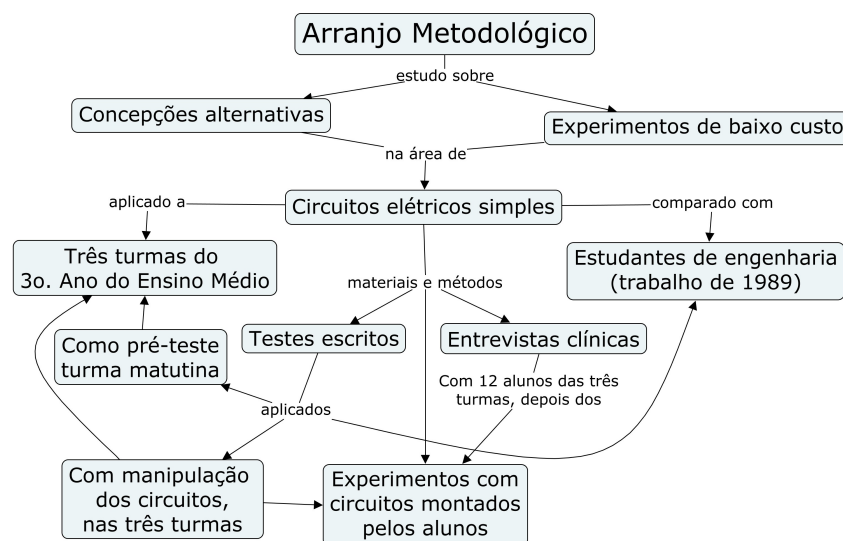
Era notável o encantamento dos alunos, à medida que manuseavam os circuitos e visualizavam as soluções do teste. Demonstravam satisfação porque comprovavam algo com equipamentos que eles haviam construído.

Outro benefício resultante de nossa estratégia didática tem um importante caráter pedagógico, ou seja: os alunos sentiram-se bem em atividades em grupo, socializando seus conhecimentos e suas habilidades. Certamente isso contribuirá para que se tornem pessoas mais reflexivas, interativas e autônomas.

Também podemos destacar benefícios de nossa iniciativa para além da sala de aula. Minha postura pedagógica em sala de aula mudou em função dos resultados obtidos, os quais tenho compartilhado em reuniões com outros professores das ciências da natureza e matemática. Alunos de outras séries têm questionado se eles também não terão a oportunidade de realizar as atividades que os colegas da terceira série realizaram. Alguns professores têm solicitado sugestões para mudar suas metodologias em sala de aula. A diretoria da escola nos consultou sobre a possibilidade de transformar o produto em um projeto para representar a escola na feira de ciência regional.

Em suma, nossa intervenção didático-pedagógica pode ser esquematizada conforme a Figura 1.1. Os resultados obtidos com os testes de múltipla-escolha foram comparados com àqueles obtidos com alunos do curso de Engenharia da UFRGS, em 1989 (SILVEIRA; MOREIRA; AXT, 1989). Conforme mencionado acima, entrevistas clínicas foram realizadas com alguns alunos, após a fase em que manipularam os circuitos construídos por eles.

Figura 1.1 – Esquema do arranjo metodológico da intervenção didático-pedagógica.



O relato apresentado a seguir contém mais quatro capítulos. No Capítulo 2, é apresentada uma breve revisão da literatura sobre ensino baseado em projetos com experimentos de baixo custo. No Capítulo 3, são apresentados alguns estudos disponíveis na literatura a respeito de concepções alternativas sobre corrente elétrica em circuitos simples. Os fundamentos científicos que deram suporte ao desenvolvimento do produto educacional são apresentados no Capítulo 4. O relato da aplicação do produto educacional é apresentado no Capítulo 5. Finalmente, no Capítulo 6 são apresentados o sumário dos resultados e nossas considerações finais.

Além disso, são apresentados cinco apêndices. No Apêndice A é transcrito o teste utilizado para investigar concepções alternativas em circuitos elétricos simples. No Apêndice B é apresentado o produto educacional, intitulado *Proposta de uma Intervenção Didático-Pedagógica para Abordar Concepções Alternativas sobre Corrente Elétrica em Circuitos Simples, Fazendo Uso de Experimentos de Baixo Custo*. Depoimentos de alguns alunos são apresentados no Apêndice C. No Apêndice D, são apresentadas todas as entrevistas realizadas com os alunos selecionados. Finalmente, no Apêndice E anexamos o compuscrito de um artigo para publicação.

## Capítulo 2 – Ensino Baseado em Projetos com Experimentos de Baixo Custo

Embora a metodologia usada no presente estudo não seja genuinamente o que se conhece genericamente como Ensino Baseado em Projeto (EBP), ou Project-Based Learning, como usualmente aparece na literatura internacional (BARP, 2016; BLUMENFELD *et al.*, 1991; KRAJCIK; BLUMENFELD, 2006; NEHRING *et al.*, 2000; PASQUALETTO; VEIT; ARAUJO, 2017; RODRIGUES; BORGES, 2008), podemos dizer que nossa abordagem pedagógica enquadra-se no EBP e alinha-se com as iniciativas de uso de materiais de baixo custo (AXT; MOREIRA, 1991).

De acordo com Krajcik e Blumenfeld (KRAJCIK; BLUMENFELD, 2006), a ideia de ensino baseado em projeto tem origem em John Dewey, no início do século 20, quando ele começou a usar o que denominou de *process of inquiry*, ou *processo de investigação*. De acordo com Krajcik e Blumenfeld, para Dewey, os estudantes investirão nessas atividades, se elas envolvem tarefas reais e significativas e problemas que emulem o que especialistas fazem em situações reais (KRAJCIK; BLUMENFELD, 2006). Um século depois, muitos refinamentos dessa concepção foram apresentados, mas a ideia central continua a mesma, o que pode ser sinal de sua consistência e relevância.

As concepções modernas do EBP englobam elementos construtivistas de Vygotsky e Piaget e elementos da teoria de aprendizagem significativa de Ausubel (BARP, 2016). A estrutura básica de um projeto de EBP deve levar em conta cinco fundamentos (KRAJCIK; BLUMENFELD, 2006):

- 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.

A ideia que está por trás do EBP é uma metáfora. O aluno é orientado para proceder como um cientista. 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 (BARP, 2016) usou o EBP 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.

Uma boa revisão da literatura a respeito do EBP, é apresentada por Pasqualetto e colaboradores (PASQUALETTO; VEIT; ARAUJO, 2017). Os autores, que usam outra denominação: Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP), destacam a importância do desenvolvimento de novas metodologias de ensino, face ao modelo de sociedade que temos nos dias atuais. Assim como outros autores, Pasqualetto e colaboradores entendem que a fundamentação da ABP tem por base o desenvolvimento de projetos a partir de um tema ou questão norteadora, o desenvolvimento de artefatos, o trabalho colaborativo e o protagonismo dos estudantes. A ABP propicia a superação de conflitos cognitivos e concepções alternativas, bem como facilita a interação e colaboração entre os estudantes.

No presente trabalho, os alunos tinham como objetivo construir os circuitos correspondentes a todas as questões do teste SMAMcD (ver Capítulo 3), utilizando sucatas e material de baixo custo. Portanto, se não tinham um problema a resolver, como é típico no EBP, eles tinham uma *missão* a cumprir.

A ideia de usar experimentos com material de baixo custo é antiga (AXT; MOREIRA, 1991), mas nunca deixou de despertar interesse dos professores da área (KOHORI, 2015). Axt e Moreira (1991) definem as três principais maneiras em que a experimentação é usada:

1. Frequentemente, os experimentos são ministrado de forma aleatória e desvinculada do conteúdo programático, como se fossem um apêndice. O conteúdo da disciplina é tratado como um corpo objetivo e isolado de conhecimentos. Pouca atenção é dada à potencialidade da experimentação como veículo de aprimoramento conceitual, admitindo-se, de forma implícita, que a firmeza conceitual pode ser alcançada através da aplicação coerente fórmulas. Quando integrada ao conteúdo, o papel reservado para a experimentação é o de verificar aquilo que é informado na aula, sempre no sentido de corroborar; não se explicita uma inter-relação teoria-experimento.
2. Com menos frequência, a experimentação é utilizada para veicular conceitos, comprovar relações, determinar constantes, propor problemas experimentais. Exploram-se, neste caso, as potencialidades didáticas do experimento, tanto no sentido heurístico quanto no metodológico.
3. Com muito pouca frequência, a experimentação é utilizada como instrumento para a aquisição de conceitos e, quando é o caso, para a reformulação conceitual.

Existem problemas formais (carga horária) e materiais para a implementação da prática experimental em sala de aula. Poucas escolas têm recursos para aquisição de equipamentos comerciais, e muitos desses equipamentos disponíveis no mercado não são facilmente utilizáveis no contexto das modernas abordagens pedagógicas. Uma alternativa é a construção de equipamentos de baixo custo, mas, como apontavam Axt e Moreira, já em 1991:

1. Seria ingênuo acreditar que a questão se resolve motivando o professor a fabricar seu material. Se ele, por interesse próprio, desenvolver o seu equipamento, ótimo, mas estrangê-lo a manufaturar um material que deveria ser colocado à sua disposição, para que pudesse realizar com plenitude sua tarefa de ensinar, é transferir-lhe uma responsabilidade que é das autoridades educacionais e da sociedade.
2. Por outro lado, não podem os professores ficarem esperando que sejam instalados nas escolas amplos laboratórios com todo o material do qual necessitam. Isso não acontecerá. É preciso, então, buscar formas alternativas; experimentar na sala de aula mesmo ou fora dela, juntar material aqui e acolá, envolver os alunos na confecção de determinados dispositivos (...).

Em sua dissertação de mestrado, Kohori (2015), descreve a construção de kits de eletricidade, magnetismo e eletromagnetismo, construídos com materiais de baixo custo para substituir os equipamentos desatualizados da escola. Com a colaboração de alunos, o autor montou experimentos simples, a partir de conteúdos disponíveis em livros-textos, para abordar praticamente todo o assunto objeto do trabalho. A diferença básica entre seu trabalho e o que aqui se apresenta, está no foco. No nosso caso, o objetivo é bem específico, ou seja montar circuitos elétricos simples para abordar as concepções alternativas sobre corrente elétrica.

## Capítulo 3 – Concepções Alternativas sobre Corrente Elétrica em Circuitos Simples

### 3.1 – Breve Revisão da Literatura

É extensa a literatura sobre concepções alternativas, razão pela qual decidimos restringir a discussão ao tema específico do presente trabalho, qual seja, concepções alternativas sobre corrente elétrica em circuitos simples. Mesmo com esse escopo restrito, a literatura ainda é extensa demais para ser abordada aqui, de modo que optamos por referir apenas os trabalhos que consideramos mais relevantes em termos de precedência, aderência ao escopo do presente trabalho, e facilidade de acesso.

Os trabalhos pioneiros sobre concepções alternativas, um termo que na literatura internacional é geralmente designado como *misconception*, estão descritos em duas teses de doutorado. A primeira, defendida por Rosalind Driver em 1974<sup>1</sup>, e a segunda, defendida por Laurence Viennot em 1977 (VIENNOT, 1977). Em 1944, Rosalind Driver e colaboradores publicaram um livro sobre seus resultados obtidos ao longo de 20 anos de atividades (DRIVER *et al.*, 1994). No entanto, um dos primeiros autores a mencionar o fenômeno foi Ausubel (AUSUBEL, 1963).

Ao longo das últimas quatro décadas, testes similares sobre circuitos elétricos simples foram aplicados a estudantes de todos os níveis de ensino, da educação básica à universitária, em todos os continentes, para investigar concepções alternativas (DOMINGUEZ; MOREIRA, 1988; LIN, 2017; MCDERMOTT; SHAFFER, 1992; SHAFFER; MCDERMOTT, 1992; SHIPSTONE, D. M. *et al.*, 1988; SILVEIRA; MOREIRA; AXT, 1989; SOLANO *et al.*, 2002). Um dado surpreendente apresentado por essa literatura é que os resultados desses testes são extremamente similares em termos de concepções alternativas. Ou seja, as concepções alternativas apresentadas pelos respondentes têm pouca dependência do grau de instrução anterior ao teste e da posição geográfica onde habitam.

Esses resultados proporcionaram a identificação de vários modelos mentais construídos a partir de concepções alternativas. Muitos desses modelos, embora similares, são apresentados na literatura sob diferentes designações (modelo linear, modelo

---

<sup>1</sup> 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.

não conservativo, modelo local, modelo sequencial, etc.) (BORGES; GILBERT, 1999; FREDETTE; LOCHHEAD, 1980; MCDERMOTT; SHAFFER, 1992; OSBORNE, 1983; SHIPSTONE, D. M., 1984; SILVEIRA, 2011). Em alguns casos há ambiguidade no rótulo, de modo que preferimos utilizar a rotulação apresentada por Andrade e colaboradores (ANDRADE *et al.*, 2018):

- ❖ Modelo I – A corrente elétrica é emitida pela fonte (bateria, pilha, gerador) 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.

Além dos testes mencionados acima, muitos pesquisadores têm usado entrevistas clínicas para melhorar o acesso à estrutura cognitiva ou para realizar inferências a respeito dos modelos mentais utilizados por sujeitos submetidos a diferentes tarefas experimentais ou respondendo a esses testes (DOMINGUEZ; MOREIRA, 1988; NOVAK, 1973, 1990; POSNER, G. J.; GERTZOG, 1982).

O método da entrevista clínica, criado por Piaget nos anos 1920, e por ele denominado *método clínico*, foi utilizado por inúmeros investigadores para estudar a natureza e a extensão do conhecimento infantil, mas seu grande impacto na literatura talvez tenha sido depois de seu extensivo uso no início dos anos 1970 na Universidade de Cornell (NOVAK, 1990; POSNER, G. J.; GERTZOG, 1982; ROWELL, 1975). É essa abordagem de Cornell que inspirou o presente trabalho.

### **3.2 – O Teste para Investigar Concepções Alternativas**

O teste SMAMcD utilizado nesse estudo consta de 10 questões de múltipla escolha, sendo seis extraídas do teste SMA (SILVEIRA; MOREIRA; AXT, 1989) e quatro extraídas de (MCDERMOTT; SHAFFER, 1992), conforme detalhado no Apêndice A. Objetivos, conceitos e concepções alternativas associados a cada questão são apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Objetivos, conceitos e concepções alternativas associados a cada questão

1	Relacionar corrente e luminosidade das lâmpadas; modelo do consumo de corrente; sentido da corrente elétrica no circuito.
2	Noção de circuito em paralelo; modelo IV, ou seja a bateria é uma fonte de corrente constante.
3	Continuidade da corrente elétrica.
4	Circuito misto, paralelo e em série; modelo III.
5	Modelo do consumo de corrente; sentido da corrente.
6	Papel de um interruptor; efeito de um curto-circuito.
7	Continuidade da corrente elétrica.
8	Noção de circuito em paralelo.
9	Circuito misto, paralelo e em série; modelo III.
10	Modelo do consumo de corrente; modelo III.

### 3.3 – Entrevista Clínica

Dos 80 alunos participantes no estudo, 12 foram selecionados para entrevistas clínicas, elaboradas e conduzidas como propõem Posner e Gertzog (1982), os quais por sua vez inspiraram-se no trabalho de Piaget. Para eles, assim como para Piaget, a entrevista clínica é a arte do questionamento em busca da compreensão do que está por trás das coisas aparentes. Nesse sentido, quando um aluno dá uma resposta errada ou incompreensível, o entrevistador não deve nem corrigi-lo, nem ficar satisfeito com a resposta errada. Ele deve instigar o aluno a mostrar por que ele deu aquela resposta. Ou seja, o entrevistador deve buscar o que está por trás daquela resposta errada. Uma das alternativas sugeridas por Posner e Gertzog (1982) é induzir o entrevistado a falar o mais livremente possível. Em suma, o procedimento básico da entrevista clínica para avaliar a estrutura cognitiva inclui duas estratégias importantes:

1. Flexibilidade, de modo que o entrevistador habilidoso possa extrair informações pertinentes à área sob investigação, ao mesmo tempo em que deixa o entrevistado falar livremente.
2. Promover o confronto epistemológico (POSNER, G. *et al.*, 1982) quando o entrevistado dá indícios de trabalhar com alguma concepção alternativa não usual.

Em função da necessidade de treinamento específico, decidimos que as entrevistas seriam realizadas por um dos orientadores (CAS), via WhatsApp, um mês após a realização do pós-teste com manipulação dos circuitos montados pelos estudantes, conforme será descrito na sequência. Para se ter ideia do procedimento típico da condução das entrevistas, transcreveremos na íntegra a entrevista de um aluno, referente à questão 2. A entrevista inicia com a apresentação da figura referente à questão (ver Apêndice D) e segue com um diálogo desse tipo:

[20:17] Entrevistador: Qual a alternativa correta?

[20:18] Aluno: Letra (a).

[20:18] Entrevistador: Por quê?

[20:18] Aluno: Pois A, D e E estão em paralelo.

[20:18] Aluno: B e C em série.

[20:19] Aluno: Então, as que estão em paralelo brilham mais.

[20:19] Aluno: E as em série brilham menos.

[20:20] Entrevistador: Por que o fato de B e C estarem em série faz com que elas brilhem menos?

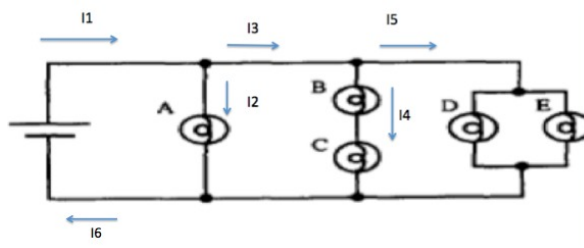
[20:20] Aluno: Pois a corrente tem mais dificuldade para percorrer o fio. Tem mais resistência.

[20:21] Entrevistador: OK!

Comentário: Nenhum dos alunos respondeu claramente essa questão, e alguns tiveram muita dificuldade em respondê-la. Depois de todas as entrevistas, decidimos selecionar um aluno para aprofundar o questionamento. Esse aluno foi selecionado por duas razões: por um lado, ele deixou claro que trabalhava com o sentido da corrente eletrônica e não com o sentido da corrente convencional. Queríamos confirmar isso dois dias depois da sua entrevista. Por outro lado, ele foi um dos que apresentaram respostas mais consistentes. Apresentamos a figura da questão 2, com o sentido da corrente convencional para testar a percepção do aluno.

[15:43] Entrevistador: Veja as correntes nessa figura.

Figura 3.1. Circuito apresentado ao aluno na entrevista referente à questão 2.



[15:44] Entrevistador: Consegue identificar quais são iguais, e quais são maiores. Melhor, você consegue ordená-las pela intensidade?

[15:45] Aluno: A seta tá indicando o sentido da corrente?

[15:46] Entrevistador: Isso!

[15:46] Aluno: Se ela estiver indicando acho que está errado pois na figura ela está partindo do polo positivo.

Comentário: De fato o aluno raciocina em termos da corrente eletrônica, e não da corrente convencional.

[15:48] Entrevistador: Suponha que os polos estejam invertidos. O positivo da figura é o negativo.

[15:48] Aluno: Tá bom.

[15:50] Aluno: I1, I3, I5 e I2 são iguais.

[15:51] Aluno: I4 está entre B e C?

[15:52] Entrevistador: I4 está passando por B e C.

[15:53] Aluno: I4 é menor que I1, I3, I5 e I2.

[15:53] Entrevistador: E I6?

[15:54] Aluno: Ela terá a mesma intensidade da primeira corrente.

[15:55] Entrevistador: Por quê?

[15:56] Aluno: Pois mesmo que ela passe pelas resistências ela chegará ao polo com o mesmo valor.

[15:57] Entrevistador: Agora diga-me, por que a corrente circula do polo negativo para o positivo?

[15:58] Aluno: Pois corrente elétrica tem elétrons e eles têm cargas negativas. Então eles serão atraídos pelo polo positivo.

[15:59] Aluno: E a corrente vai ter esse sentido do negativo para o positivo.

Na sequência apresentaremos os resultados de todas as entrevistas de acordo com as concepções alternativas exibidas pelos alunos, ou seja, usaremos as seguintes categorias para agrupar as entrevistas:

- ❖ Sentido da corrente no circuito;
- ❖ Conservação espacial e consumo de corrente;
- ❖ Raciocínio local e raciocínio sequencial.

## Capítulo 4 – Corrente elétrica em circuitos elétricos simples

### 4.1 – Introdução

O título sugere tratar-se de algo trivial. Os livros didáticos, do ensino médio ao universitário sugerem isso. No entanto, trata-se de uma questão extremamente complexa. Não é por nada que Haertel assim intitulou um dos seus artigos sobre essa questão: *O chamado circuito elétrico simples - não é tão simples* (HAERTEL, 2012b). Mostraremos na sequência como alguns livros didáticos tratam essa questão, e como ela deve ser tratada de modo a evitar algumas das concepções alternativas recorrentemente relatadas na literatura.

No capítulo 3 da dissertação foram apresentadas as principais concepções alternativas exibidas por alunos de todos os níveis educacionais, da escola secundária à universidade, em qualquer que seja a localização da escola. Como veremos a seguir, há consenso de que parte dessas concepções originam-se nos principais livros didáticos, ou seja na forma como o assunto é tratado em sala de aula.

A literatura didática, do ensino médio ao básico universitário ainda resiste à utilização de modelos microscópicos no ensino de eletricidade e magnetismo, e principalmente apresentam a eletrodinâmica completamente desconectada da eletrostática (FERREIRA; FIGUEIREDO, 2003; JACKSON, 1996; SHERWOOD; CHABAY, [S.d.]; WELTI, 2005). Ainda não está bem difundida a ideia de usar o modelo de Drude para o tratamento da condutividade em metais, de modo um tratamento microscópico, embora clássico, possa ser apresentado. Neste sentido, nos parece perfeitamente possível uma transposição didática do conteúdo disponível no capítulo 4 (Correntes elétricas) do livro de física da Universidade de Berkeley (EDWARD M. PURCELL, 1970) para uma linguagem apropriada ao ensino médio, sobretudo no que se refere ao modelo de elétrons livres de Drude, que é adequado para explicar vários fenômenos em circuitos simples. Essa ideia de um tratamento unificado de eletrostática e circuitos é fortemente defendida por Sherwood e Chabay desde o início dos anos 1990, mas ainda não teve a devida receptividade na literatura. Mais adiante voltaremos a essa questão.



## 4.2 – Natureza e sentido da corrente elétrica em circuitos simples

Uma das concepções alternativas mais recorrentes e persistentes tem a ver com a noção do que seja a corrente elétrica. Alguns livros didáticos transmitem noções equivocadas ou noções que podem gerar equívocos, a partir da análise de circuitos simples, como uma bateria ou pilha ligada a um resistor ou uma lâmpada. É provável que parte desses equívocos estejam ligados à precisão conceitual da natureza da corrente elétrica.

Vejam os conceitos apresentados em três bons livros frequentemente adotados no ensino médio e no clássico Halliday-Resnick adotado em cursos universitários.

Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga afirmam que (MÁXIMO; ALVARENGA, 2006):

(...) o estabelecimento de um campo elétrico em um fio metálico provoca um fluxo de elétrons neste condutor, fluxo este que é denominado corrente elétrica.

Em um condutor metálico, sabemos que a corrente real é constituída por elétrons em movimento. Entretanto, vamos imaginá-la substituída pela corrente convencional, de cargas positivas, movendo no sentido do campo elétrico. (Cap. 20).

No tópico 1, da parte II de sua obra, Gualter José Biscuola e colaboradores (BISCUOLA; BÔAS; DOCA, 2013) definem corrente elétrica como sendo “o movimento ordenado, isto é, com direção e sentido preferenciais, de portadores de carga elétrica.” Ao discutir a causa da corrente elétrica, esses autores afirmam que:

Quando o fio é ligado entre as placas A e B, um campo elétrico é estabelecido no interior do fio, orientado do potencial maior para o menor. Como a carga elétrica dos elétrons é negativa, surgem neles forças elétricas de sentido oposto ao do campo. Dessa forma, os elétrons livres passam a se deslocar de B para A, criando-se, então, a corrente elétrica no fio.

Para introduzir o conceito de gerador elétrico, Biscuola e colaboradores ensinam:

Imagine que, na situação apresentada no item anterior, fosse possível acontecer o seguinte: todo elétron que chegasse à placa A fosse transportado por alguém até a placa B (...) Dessa forma, os potenciais elétricos nunca se igualariam e a corrente elétrica no fio seria mantida.

Os dois livros citados acima, expõem a analogia comumente utilizada entre corrente elétrica e fluido de água. Essa analogia é uma das fontes de concepções alternati-

vas relatadas na literatura (STOCKLMAYER; TREAGUST, 1996), e no cap. 5 de sua obra, Alberto Gaspar (GASPAR, 2010) teve o cuidado de chamar a atenção para a inadequação dessa analogia, afirmando que:

A analogia entre corrente elétrica e água corrente tem pelo menos três grandes inadequações. A primeira se refere a aquilo que se movimenta (...). A segunda inadequação se refere à velocidade do deslocamento (...). A terceira inadequação se refere à forma de propagação da corrente elétrica (...).

Todavia, apesar de fazer essas ressalvas mais do que procedentes, Alberto Gaspar faz uma concessão perigosa, ao afirmar que “a analogia da corrente elétrica com a água corrente só faz algum sentido em relação à corrente contínua, na qual os portadores de carga movem-se num único sentido”. Mas, a nosso ver a analogia não faz qualquer sentido. É um equívoco dizer que “faz algum sentido”. O próprio autor (GASPAR, 2010) reproduz uma descrição contraditória muito frequente em textos didáticos:

Se houver um campo elétrico uniforme no interior [de um] condutor, [os] elétrons, apesar de continuar a se mover em todos os sentidos, passam a ter um movimento médio resultante em um sentido determinado – o condutor é percorrido por uma corrente elétrica contínua. Se o campo elétrico no interior for oscilante, os elétrons têm também um movimento médio resultante, no entanto não mais em um único sentido, eles oscilam em torno de posições fixas – o condutor é percorrido por uma corrente elétrica alternada.

Desse tipo de afirmação surge a ideia equivocada de que na corrente contínua os portadores de carga se deslocam de um polo a outro da bateria. O tratamento que se dá à ideia da velocidade de arrastamento ou de deriva não tem sido suficiente para evitar a concepção equivocada. De um modo ou de outro, resta a ideia de que é o “movimento ordenado” dos elétrons que produz a corrente, e que esse “movimento ordenado” faz com que elétrons em uma corrente contínua se “desloquem” em um sentido, quem sabe percorrendo uma grande distância, e que elétrons em uma corrente alternada fiquem oscilando em torno de uma posição de equilíbrio. Obviamente isso é contraditório. Por que na corrente contínua o elétron precisa se deslocar e na alternada basta que ele fique no vai-e-vem em um torno de uma posição fixa?

Alguns estudos têm demonstrado que a forma como o assunto é tratado em alguns livros didáticos do ensino médio estão associadas a muitas das concepções alternativas identificadas nos diversos testes relatados na literatura (HAERTEL, H., 1982, 2012). A sensação que se tem é que ainda não se achou uma linguagem, uma metáfora

ou analogia adequadas para realizar a transposição didática do que se entende cientificamente por corrente elétrica. A questão básica que está por trás deste cenário pedagógico talvez possa ser expressa pelo título de um artigo de 1963: o que faz a corrente elétrica fluir? (ROSSER, 1963). Nesse artigo, Rosser discute qualitativamente a importância das cargas superficiais como guia da corrente elétrica.

Antes de discutirmos essa questão crucial, cabe ressaltar que essa associação da corrente elétrica às cargas superficiais não é adotada pelos principais autores de livros didáticos, nem mesmo nos cursos universitários. Halliday-Resnick (cap. 28) apresenta o modelo de corrente elétrica como movimento ordenado dos elétrons sem entretanto referir que o campo elétrico existente internamente aos condutores é dependente de cargas na superfície dos mesmos (HALLIDAY; RESNICK, 1981):

Campos elétricos atuam no interior [do condutor], exercendo forças sobre os elétrons de condução e estabelecendo uma corrente. Depois de um curto espaço de tempo, o fluxo de elétrons alcança uma condição estável. A situação é, então, análoga à do fluxo fluido constante (...).

A adição de uma bateria impõe uma diferença de potencial. Um campo elétrico surge dentro do condutor e produz cargas que se movimentam ao redor da malha, constituindo uma corrente.

É inevitável associar o texto acima à ideia equivocada de que na corrente contínua o elétron sai de um polo e chega ao outro.

Existem duas formas de abordar a corrente elétrica, ou mais especificamente, a condutividade elétrica nos metais. Uma é a partir do modelo de Drude, ou modelo de elétrons livres, a outra é a partir do papel das cargas superficiais em circuitos simples.

### **4.3 – Modelo microscópico da condutividade elétrica nos metais**

Ao nível do ensino médio e básico da universidade, quando se fala em modelo microscópico da condutividade elétrica nos metais, estamos nos referindo ao modelo de Drude, ou modelo de elétrons livres. Dos livros de ensino médio mais utilizados no Brasil (BARRETO FILHO; SILVA, 2013; BISCUOLA; BÔAS; DOCA, 2013; GASPAR, 2010; BONJORNO *et al.*, 2013; MÁXIMO; ALVARENGA, 2006), apenas Bonjorno e Gaspar fazem uma breve referencia ao modelo de elétrons livres, sem no entanto mencionar a autoria de Drude. Dos livros de física básica para cursos universitários (PURCELL, 1970; HALLIDAY; RESNICK, 1981; NUSSENZVEIG, 1997), os que

apresentam abordagens mais apropriadas para se efetuar uma transposição didática são (PURCELL, 1970; HALLIDAY; RESNICK, 1981). Além disso, há um artigo muito interessante em comemoração ao centenário do modelo de Drude, publicado no Caderno Catarinense de Ensino de Física (PÉREZ, 2000). Portanto, o que se segue nesta seção será baseado nessas quatro referências.

Drude propôs seu modelo em 1900 para descrever microscopicamente a condução elétrica e térmica em metais. O modelo, baseado em um gás de elétrons livres, os quais se movem através de uma rede cristalina de íons positivos fixos, prediz muito bem a lei de Ohm. Durante o movimento, os elétrons chocam-se entre si, através de colisões elásticas. Pelo fato de ser muito simples, o modelo falha na interpretação de outros fenômenos, que não serão tratados aqui.

De acordo com Pérez (2000), as considerações básicas nas quais fundamenta-se o modelo de Drude são as seguintes:

1. Entre uma colisão e outra, as forças de interação elétron-elétron e elétron-íon são desprezíveis: todos os cálculos desenvolvem-se como se os elétrons de condução pudessem se mover livremente para qualquer parte no interior do metal. A energia total é cinética; a energia potencial é desprezada. A omissão da interação elétron-elétron entre as colisões é denominada aproximação do elétron independente. A correspondente omissão da interação elétron-íon é conhecida como aproximação do elétron livre. Atualmente é possível afirmar que a aproximação do elétron independente é, em muitos contextos, surpreendentemente boa. Enquanto que a aproximação do elétron livre apresenta-se inadequada até para poder obter uma compreensão qualitativa de muitas propriedades metálicas.
2. As colisões das partículas do gás são consideradas eventos instantâneos que abruptamente alteram a velocidade dos elétrons. Mas, ao contrário do gás ideal na teoria cinética, omitem-se as colisões entre as partículas do gás: somente são consideradas as colisões dos elétrons com os íons da rede cristalina. Na verdade, a imagem clássica dos elétrons ricocheteando de um íon para outro está longe da realidade. Afortunadamente, para uma compreensão qualitativa, e muitas vezes quantitativa, do fenômeno da condução metálica só se faz necessário levar em consideração que existe um mecanismo de espalhamento das partículas.
3. O elétron colide aleatoriamente contra um íon em um dado instante, tendo em média viajado livremente durante um tempo, desde sua última colisão, e viaja em média livremente durante um tempo  $\tau$ , até sua próxima colisão. O tempo, denominado tempo de relaxação, tempo livre médio entre colisões, ou ainda, tempo médio de espalhamento. é considerado independente da posição e da velocidade do elétron.
4. O equilíbrio térmico do sistema é mantido através das colisões de elétrons com a rede de íons: este é o único mecanismo possível quando admitidas as aproximações do

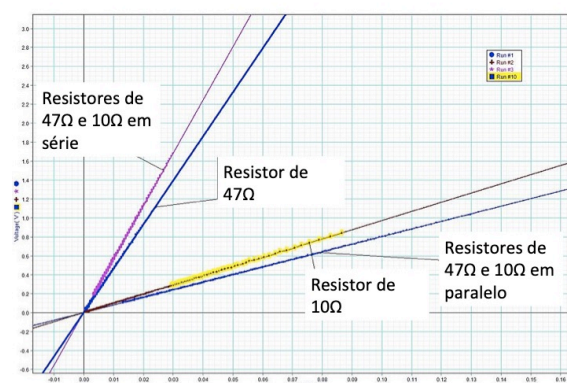
elétron independente e do elétron livre. O equilíbrio é mantido da seguinte forma: imediatamente após cada colisão, o elétron movimenta-se em direção aleatória com uma velocidade que não tem relação nenhuma com a velocidade antes do choque, mas o módulo é apropriado à temperatura do lugar onde ocorreu a colisão. Quanto mais alta for a temperatura do lugar onde se dá a colisão, mais rapidamente se movimentará o elétron após o choque.

Bem antes desse modelo microscópico, exatamente em 1827, Georg Simon Ohm publicou seu famoso livro "*Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet*", no qual apareceu aquilo que se denomina *lei de Ohm*<sup>2</sup>. Quase todos os autores (PÉREZ, 2000; PURCELL, 1970; GASPAS, 2005; NUSSENZVEIG, 1997), apresentam a lei de Ohm pela expressão

$$V = Ri. \quad (4.1)$$

Na verdade, esta equação representa simplesmente a definição de resistência. O que a lei de Ohm diz é que para alguns materiais, ditos materiais ôhmicos, a razão  $V/i$  é constante (HALLIDAY; RESNICK, 1981). Uma bela ilustração da equação (4.1) é apresentada na Figura 4.1.

Figura 4.1 – Experimentos com a lei de Ohm, com dois resistores ( $47\Omega$  e  $10\Omega$ ). O eixo Y representa a voltagem, e o X a corrente. O coeficiente angular fornece o valor da resistência. A reta superior foi obtida com os dois resistores em série. Na segunda reta os dados referem-se ao resistor de  $47\Omega$ , e na terceira referem-se ao resistor de  $10\Omega$ . A reta de baixo foi obtida com os dois resistores em paralelo. Disponível em <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ohm%27s\\_law\\_experiment\\_with\\_two\\_resistors.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ohm%27s_law_experiment_with_two_resistors.jpg)>. Acesso em 9/9/2018.



Antes de mostrarmos como o modelo de Drude nos leva à lei de Ohm, vamos detalhar um pouco mais essa lei. A equação (4.1) diz que a diferença de potencial ( $V$ ) entre dois pontos de um condutor é igual ao produto da resistência entre esses dois pon-

<sup>2</sup> [https://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/mod06/m\\_s04.html](https://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/mod06/m_s04.html). Acesso em 10/4/2018.

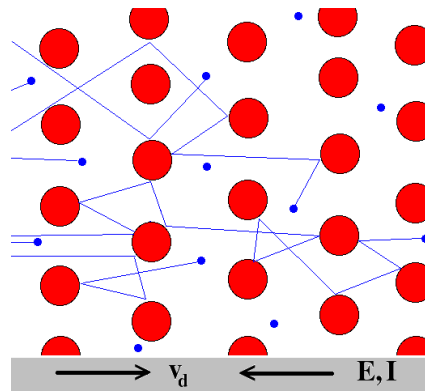
tos pela corrente que atravessa esse segmento do resistor. A resistência é um parâmetro que só depende da geometria do resistor e de suas características elétricas representadas pela sua resistividade. Ou seja,

$$R = \rho \frac{L}{A}, \quad (4.2)$$

onde  $\rho$  é a resistividade do material,  $L$  é comprimento do resistor e  $A$  é a área da sua seção reta.

Todas as grandezas envolvidas nas equações (4.1) e (4.2) são macroscópicas. Diz-se que essas equações são as equações dos engenheiros eletricitas (PURCELL, 1970). Ao físico interessa compreender os mecanismos microscópicos que originam essas equações macroscópicas. Foi o que fez Drude com o seu modelo, cuja representação esquemática é apresentada na Figura 4.2.

Figura 4.2 – Representação esquemática do modelo de Drude. Disponível em <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electrona\\_in\\_crystallo\\_fluentia.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electrona_in_crystallo_fluentia.png)>. Acesso em 9/9/2018.



As equações (4.1) e (4.2) podem ser manipuladas de modo que propriedades macroscópicas sejam substituídas por propriedades microscópicas. Inicialmente, substituímos a resistividade,  $\rho$ , pelo seu inverso, a condutividade,  $\sigma$ . Com essa substituição, a equação (4.2) transforma-se em

$$\sigma = \frac{1}{R} \frac{L}{A}. \quad (4.3)$$

Tirando o  $R$  de (4.1) e substituindo em (4.3), obtém-se

$$\sigma = \frac{i}{A} \frac{L}{V}. \quad (4.4)$$

Na equação (4.4),  $i/A$  é a densidade de corrente,  $J$ , e  $V/L$  é o campo elétrico dentro do condutor. Portanto, a equação (4.4) pode ser escrita da seguinte forma:

$$J = \sigma E. \quad (4.5)$$

A equação (4.5) é a lei de Ohm em sua forma microscópica. Neste caso ela não depende nem das dimensões, nem do formato do condutor. Depende apenas das propriedades do material, representadas pela condutividade.

Vejam agora como o modelo de Drude nos leva à equação (4.5). Como vimos acima, no modelo de Drude, os elétrons livres dos metais devem se movimentar aleatoriamente, com velocidade média igual a zero (um movimento em zig-zag), formando uma espécie de gás ideal. Quando um campo elétrico,  $\vec{E}$ , é aplicado no interior do condutor, o primeiro efeito é levar os elétrons a um movimento ordenado, por conta da força  $\vec{F} = -e\vec{E}$ . Mas, esse movimento ordenado dura pouco tempo, porque os elétrons são espalhados pelos íons positivos<sup>3</sup>.

Qualitativamente, o que acontece é o seguinte: sob a ação do campo elétrico os elétrons começam a se mover, mas logo são espalhados e mudam de direção. Na sequência são novamente conduzidos pelo campo elétrico, na direção anterior, ou seja na direção contrário à do campo elétrico. Depois de um longo tempo, o que se observa é que aquele gás de elétrons apresenta uma velocidade média, conhecida como velocidade de deriva. Vejam isso quantitativamente.

Vamos supor que no interior do condutor existam  $n$  elétrons livres por unidade de volume, deslocando-se com a velocidade  $v_d$ , após a ação do campo elétrico. Ao longo de um tempo  $dt$ , o elétron percorrerá uma distância  $v_d dt$ , na direção contrária ao campo. Nesse intervalo de tempo,  $nv_d A dt$  elétrons atravessarão a área,  $A$ , transversal à direção do deslocamento. Ou seja,  $-nev_d A dt$  é a carga que atravessa a área, ou a seção reta do condutor. Portanto,  $-nev_d A$  será a corrente que circula no condutor. Assim, a densidade de corrente  $J=i/A$  é dada pela equação

$$J = nev_d. \quad (4.6)$$

Pela segunda lei de Newton,  $\vec{F} = -e\vec{E} = m_e \vec{a} \rightarrow a = \frac{eE}{m_e}$ . Supondo que  $\tau$  seja o tempo entre colisões subsequentes, tem-se que

$$v_d = eE\tau/m_e. \quad (4.7)$$

Combinando as equações (4.6) e (4.7),

$$J = \left(\frac{ne^2\tau}{m_e}\right) E. \quad (4.8)$$

---

<sup>3</sup> Essa questão do espalhamento pelos íons foi um dos equívocos no modelo de Drude, que foi corrigido por outros estudiosos. Não discutiremos essa questão aqui. Vamos considerar aqui o modelo puro de Drude

Comparando as equações (4.5) e (4.8), obtém-se a condutividade em termos de parâmetros microscópicos:

$$\sigma = \frac{ne^2\tau}{m_e}. \quad (4.9)$$

Portanto, o modelo de Drude satisfaz a lei de Ohm.

A abordagem da corrente elétrica a partir de transposições didáticas desse modelo microscópico, inevitavelmente leva à questão: onde estão as cargas que produzem o campo elétrico? Geralmente, essa abordagem leva à analogia entre corrente elétrica e fluxo de água, que originam concepções alternativas danosas para a aprendizagem. Uma alternativa científica mais aceitável é tratar a questão a partir do conceito de potencial, mas esse conceito é muito abstrato e também dificulta a aprendizagem. Além do mais, sabemos que, excetuando campos magnéticos variáveis, cargas são as únicas fontes de campo elétrico. A abordagem apresentada a seguir é uma alternativa para tratar essa questão, embora ainda não esteja consolidada na literatura didática.

#### **4.4 – O papel das cargas superficiais em circuitos simples**

No levantamento que fizemos na literatura, recuperamos 11 artigos sobre essa questão (FERREIRA; FIGUEIREDO, 2003; HAERTEL, 2012a; HEALD, 1984; HERNANDES; NOGUEIRA, 2016; JACKSON, 1996; MARCUS, 1941; PARKER, 1970; ROSSER, 1963; RUSSELL, 1968; SHERWOOD; CHABAY, [S.d.]; WELTI, 2005). Vamos discutir essa questão usando um princípio ausubeliano, ou seja, inicialmente vamos resumir o que tratam esses artigos, no contexto do presente trabalho e depois vamos apresentar a formalização do problema.

Não importa aqui saber precisamente como funciona uma fonte de força eletromotriz, até porque existem diferentes tipos, com diferentes mecanismos para produzir o mesmo efeito, qual seja a acumulação de cargas positivas em um dos seus polos, e de negativas no outro, e a capacidade de repor essas cargas por meio de forças não eletrostáticas. O fato primordial no presente contexto, é que ao ser ligada a fonte, essas cargas geram campos elétricos, os quais afetam as cargas nas proximidades, com efeito inversamente proporcional ao quadrado da distância, conforme as leis de Coulomb e de Gauss. O que acontece nos momentos imediatos em todo o circuito e no espaço externo é formalmente muito complexo, mas podemos definir um cenário qualitativamente compreensível.



Depois de um curto intervalo de tempo inicial, denominado transiente, os elétrons livres migram para as superfícies dos condutores metálicos, formando uma estrutura de cargas superficiais, as quais geram campos eletrostáticos responsáveis pela circulação de corrente no interior dos condutores. Ou seja, o fluxo de corrente é determinado pela ação da fonte de força eletromotriz (bateria, pilha ou gerador) e pelos campos eletrostáticos criados pelas cargas superficiais negativas ou positivas. Os sinais de campo elétrico que conduzem a corrente são transmitidos a velocidades próximas à da luz (no espaço vazio esses sinais são transmitidos exatamente à velocidade da luz). Isso faz com que na prática possamos imaginar a transmissão instantânea do sinal elétrico.

Em suma, não é o elétron que sai do polo negativo e eventualmente chega ao polo positivo o responsável pela corrente elétrica. A corrente elétrica é consequência de campos elétricos criados pelas cargas superficiais e pela transmissão quase instantânea das variações de campos elétricos no interior do condutor<sup>4</sup>.

A maioria dos artigos supra referidos, tratam essa questão qualitativamente, como fizemos nos dois parágrafos anteriores. Da literatura à nossa disposição, a primeira abordagem quantitativa foi apresentada por John David Jackson (1996), autor de um livro de eletromagnetismo avançado geralmente usado na pós-graduação em física. Em seu artigo publicado na RBEF, Ferreira e Figueiredo (2003) usam modelos apresentados por Arnold Sommerfeld, em seu livro de 1952, *Electrodynamics* e por M. Jouguet no livro *Le Champ Électromagnétique*, publicado em 1948. Isso dá ideia da raridade com que o assunto é tratado na literatura.

Para abordar a questão formalmente, utilizando técnicas matemáticas e computacionais típicas de problemas de contorno, Jackson foi obrigado a usar uma geometria tipo cabo coaxial, não usual na descrição dos circuitos simples. O detalhamento do formalismo usado não cabe aqui, mas suas interpretações podem ser utilizadas para uma apropriada transposição didática, quer seja no nível do ensino médio, ou mesmo no universitário.

Os resultados obtidos por Jackson aplicam-se aos circuitos usuais, estabelecendo o cenário por ele descrito (1996):

Para simplificar, considere um circuito que consiste em um resistor conectado por fios a uma bateria. Suponha que a resistência do resistor seja grande em comparação com a resistência

---

<sup>4</sup> Um bom material em português sobre as cargas superficiais e a corrente elétrica encontra-se em Cargas Superficiais – O Elo Perdido dos Circuitos (<http://www.energieletrica.net/cargas-superficiais/> - acessado em 2/4/2018).

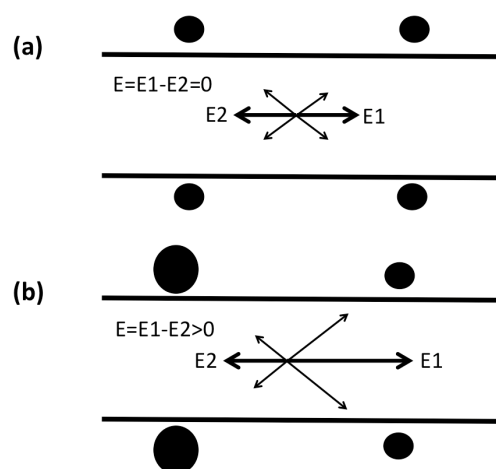
interna da bateria e a dos fios. O circuito é aberto e fechado, removendo e inserindo o resistor, com os fios e a bateria permanecendo inalterados. Quando o circuito está aberto, cargas são distribuídas ao longo das superfícies dos fios de uma maneira que o potencial de cada fio é constante e o mesmo que no terminal correspondente da bateria. No final de cada fio, onde o resistor estaria, há uma maior acumulação de carga, com sinais opostos, para criar o campo elétrico através da lacuna deixada pelo resistor. Quando o circuito é fechado pela inserção do resistor, a corrente flui e há mudanças nas cargas superficiais e no potencial de várias partes do circuito. O potencial em qualquer ponto ao redor do circuito é determinado pela conservação de corrente e pela lei de Ohm dentro dos fios e do resistor, independentemente da configuração geométrica do circuito. Mas, como a resistência do resto do circuito é pequena comparada com a do resistor, praticamente toda queda de potencial ocorre através do resistor. (Tradução nossa).

Essa descrição pode ser utilizada quando o conceito de capacitor e capacitância forem introduzidos, uma vez que a retirada do resistor, deixando a lacuna, ou seja o circuito aberto, é similar à presença de um capacitor. Aliás, em sua abordagem do mesmo problema, Sherwood e Chabay usam um capacitor carregado no lugar de uma bateria.

Vamos construir modelos simplificados a partir das soluções numéricas apresentadas no artigo de Jackson.

Para a criação do campo elétrico e a conseqüente existência de corrente, é necessário que haja um gradiente de cargas superficiais ao longo do circuito. Ou seja, que a distribuição de cargas não seja uniforme ao longo do circuito. Um modelo simples para ilustrar este resultado é apresentado na Figura 4.3.

Figura 4.3 – Modelo ilustrativo para discutir a necessidade de gradiente na distribuição de cargas superficiais em circuitos elétricos.



A figura é apenas ilustrativa. Não está em escala, e vale para cargas positivas e negativas, bastando compatibilizar os sentidos dos vetores para cada caso. No caso da

figura, as cargas são positivas. O condutor é considerado infinito, razão pela qual a simetria permite considerar apenas essas quatro cargas do circuito. Como se vê, se a distribuição é uniforme, Figura 4.3(a), o campo será nulo no interior do condutor. Um campo resultante surge apenas quando há um gradiente de cargas, como ilustra a Figura 4.3(b).

Ferreira e Figueiredo (2003) chamam a atenção para o fato de que Ohm estabeleceu sua lei para justificar o aparecimento de um campo elétrico através de um gradiente de carga volumétrica, mas foi Kirchhoff quem mostrou, por volta de 1850, que uma corrente uniforme necessitava apenas de um gradiente de carga superficial.

## Capítulo 5 – Sobre a intervenção didático-pedagógica e o produto educacional

### 5.1. Introdução

O que classificamos aqui como *Produto Educacional*, e que se ajusta às concepções correntes sobre sequências didáticas (MOREIRA, MARCO ANTONIO, 2011; PIETROCOLA, 2008; RIBOLDI, 2015), é uma parte de um projeto mais amplo, que classificamos como intervenção didático-pedagógica para propiciar a abordagem de concepções alternativas sobre corrente elétrica em circuitos simples.

A *intervenção didática* é ao mesmo tempo ampla em seu conteúdo e restrita em suas circunstâncias. Ela vale especificamente para a realidade educacional onde foi aplicada, na cidade de Itaiçaba (CE). É muito provável que valha para inúmeras outras cidades, mas não pretendemos propô-la como um *Produto Educacional*, que entendemos deva ser algo muito específico de modo a facilitar sua aplicação por outrem, em diferentes circunstâncias. Adotamos aqui o ponto de vista de Lijnsen e Klaassen, segundo o qual, em vez de ambiciosos e amplos programas de ensino em larga escala conceitual (programa para toda a física, ou toda a área do eletromagnetismo, etc), talvez seja mais produtivo o desenvolvimento de projetos de pequena escala com um foco temático bem fechado, de modo que investigações em sala de aula facilite o desenvolvimento de uma teoria da aprendizagem baseada em resultados experimentais mais confiáveis. (LIJNSE; KLAASSEN, 2010).

Nesse sentido, nosso *Produto Educacional* refere-se unicamente a uma proposta didático-pedagógica para o uso de experimentos de baixo custo para abordar concepções alternativas sobre corrente elétrica em circuitos simples. Trata-se de uma sequência didática no estilo de uma UEPS (MOREIRA, MARCO ANTONIO, 2011), transcrita no Apêndice B, e que foi aplicada em circunstâncias didáticas tais que consideramos essencial a implementação de uma ambientação matemática, que foi baseada no uso do geoplano. Diretamente associado ao *Produto Educacional*, mas também não fazendo parte dele, está o conhecimento das concepções alternativas com as quais os alunos raciocinam para resolver problemas simples de circuitos. É extensa a literatura sobre testes para investigar concepções alternativas (SHIPSTONE, D., 1988; SHIPSTONE, et

*al.*, 1988; STOCKLMAYER; TREAGUST, 1996). No nosso caso, montamos um teste, intitulado *Teste SMAMcD*, usando questões elaboradas por Silveira e colaboradores (SILVEIRA; MOREIRA; AXT, 1989) e por McDermott e Shaffer (MCDERMOTT; SHAFFER, 1992).

Para potencializar a identificação de concepções alternativas realizamos entrevistas clínicas (POSNER; GERTZOG, 1982) com uma parcela correspondendo a 15% da população de alunos aos quais foi aplicada a intervenção didática.

Em suma, a intervenção didático-pedagógica que aqui se relata, consta das seguintes fases:

1. Ensino durante um semestre, de tópicos de eletricidade e magnetismo a partir do livro-texto adotado na escola;
2. Uso do teste SMAMcD para investigar;
3. Aplicação do *Produto Educacional*;
4. Entrevistas clínicas com 12 alunos selecionados conforme critérios descritos mais adiante.

## **5.2 – Descrição das Atividades Didático-Pedagógicas**

### **5.2a – Ambientação Matemática com o Geoplano**

Como é do conhecimento de todos que atuam no ensino médio, é grande a deficiência dos alunos em relação às ferramentas matemáticas indispensáveis para o bom aproveitamento das atividades de ensino e aprendizagem de física. Uma grande parte dos alunos têm dificuldades até mesmo no tratamento das quatro operações aritméticas. Em função dessa realidade, decidimos iniciar nossa intervenção didática com o que chamamos de ambientação matemática, a qual consiste no uso do geoplano para abordar vários conceitos matemáticos. Esse dispositivo, criado pelo matemático inglês Caleb Gattegno (FELTRIN *et al.*, 2013), consiste em uma tábua com pregos, e pode ser manipulado com elásticos.

Assim como no caso dos circuitos, discutido mais adiante, os alunos participaram da construção do geoplano que seria usado por cada grupo. Uma vez construídos todos os 16 geoplanos, iniciamos as atividades de ambientação matemática por meio de tarefas simples (adição, subtração, multiplicação e divisão) com o uso exclusivo do ge-

oplano. Na sequência trabalharam com questões de funções, gráficos, calcular áreas e perímetros de figuras.

### **5.2b – Aulas Convencionais com o Livro-Texto**

Participaram do estudo 80 alunos do 3<sup>o</sup> ano do ensino médio da Escola Estadual de Ensino Médio João Barbosa Lima, em Itaiçaba (CE), com Indicador de Nível Socioeconômico (INSE) baixo, conforme classificação do INEP. Foram 30 alunos no turno matutino (turma EnsMedM), 35 no vespertino (turma EnsMedV) e 15 no noturno (turma EnsMedN). Durante o primeiro semestre, por meio de abordagem didática habitual a partir do livro-texto adotado na escola (BISCUOLA; BÔAS; DOCA, 2013), foram tratados os seguintes assuntos:

Noção de carga elétrica; Corpo eletricamente neutro e corpo eletrizado; Quantização da carga elétrica; Princípios da eletrostática; Eletrização; Lei de Coulomb (Força elétrica de atração e repulsão); Conceito e descrição de campo elétrico; Campo elétrico de uma e de várias cargas puntiformes; Linhas de força; Campo elétrico de um condutor esférico; Campo elétrico uniforme; Trabalho e Potencial elétrico; Conceitos fundamentais; Condutor em equilíbrio; Capacitância; Capacidade de um condutor esférico; Energia potencial eletrostática de um condutor; Associação de capacitores; Causa, intensidade e sentido da corrente elétrica; Leis de Ohm; Potência elétrica; Energia elétrica; Associações de resistores (série, paralelo e mista); Reostatos; Curto-circuito; Medidas elétricas.

### **5.2c – Montagem e Uso de Circuitos com Materiais de Baixo Custo para Abordar Concepções Alternativas**

No início do segundo semestre, o teste SMAMcD foi aplicado à turma do matutino, como pré-teste. Os alunos do vespertino e do noturno responderam o teste manipulando os circuitos. Em seguida, as três turmas foram divididas em grupos de cinco alunos. A 3<sup>a</sup> série A (matutino) foi dividida em seis grupos, e a 3<sup>a</sup> série B (vespertino) em sete grupos. Cada grupo tinha como missão construir 10 circuitos idênticos àqueles apresentados nas questões do teste SMAMcD. Durante a montagem, os alunos manipulavam os circuitos para responder as questões do teste, ao mesmo tempo em que retomávamos a discussão de conceitos vistos no primeiro semestre e pertinentes às questões do teste SMAMcD.

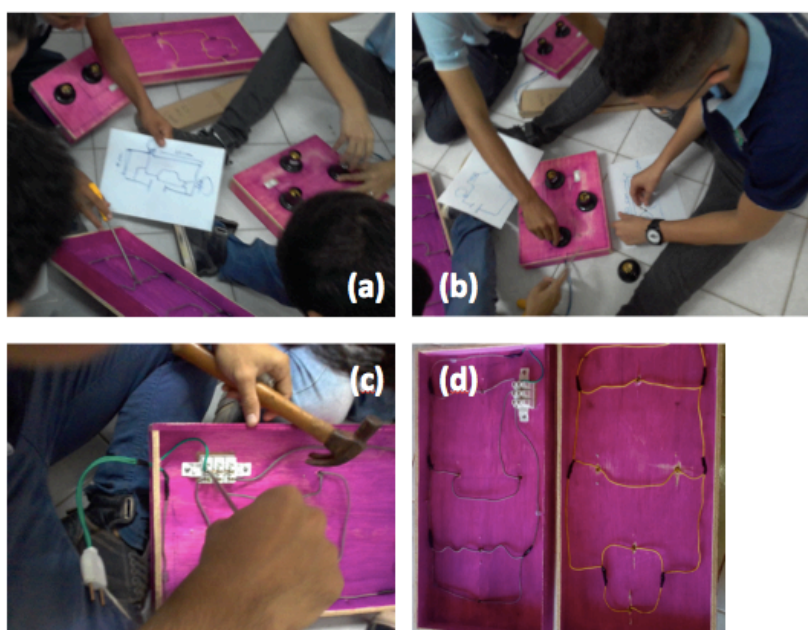
Ao lado dessa abordagem teórica dos conceitos, realizamos atividades para o manuseio de multímetros e fontes de tensão e de como ligar fios, interruptores, etc. Uma observação interessante, é que alguns alunos que demonstravam dificuldades nas aulas

convencionais, apresentavam-se com desenvoltura nas montagens dos circuitos e melhoraram sua articulação verbal em relação aos conceitos.

Cada aluno teve a oportunidade de manipular os dez circuitos montados, e demonstravam prazer em comentar o que estava acontecendo nos circuitos ligados. Era evidente também a satisfação pelo fato de terem eles construído todos aqueles dispositivos.

As Figuras 5.1a a 5.1d ilustram fases da montagem.

Figura 5.1: (a) e (b) Montagem dos circuitos; (c) e (d) Vistas das conexões.

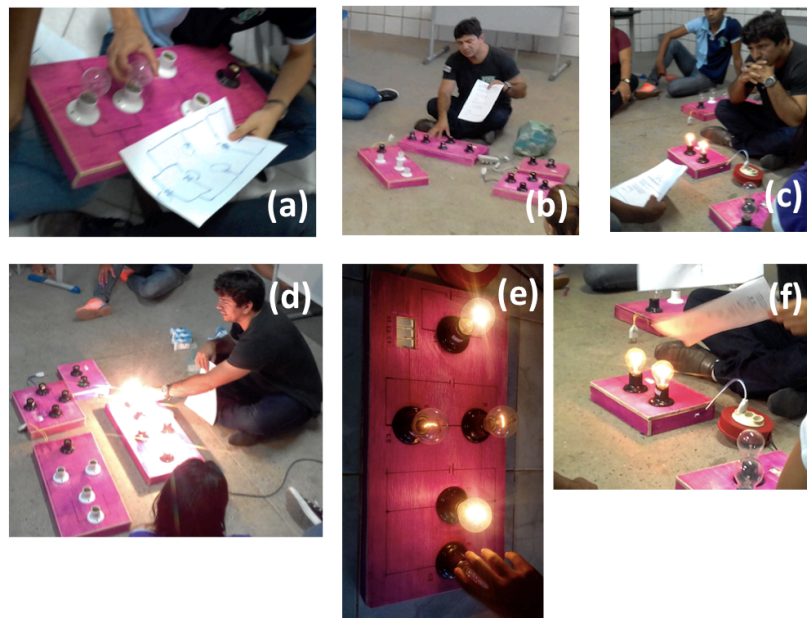


Quando todos os grupos concluíram suas tarefas, organizamos um concurso para escolher os 10 melhores circuitos, tendo como único critério a estética, uma vez que todos os circuitos funcionavam corretamente. Com esses circuitos selecionados, tivemos uma aula para socialização de tudo que foi trabalhado com o produto. Nessa aula foi dada a oportunidade para cada discente se expressar em relação a esse tipo de intervenção didático-pedagógica. Como pode-se ver na íntegra desses depoimentos, apresentada no Apêndice C, todos os alunos apreciaram essa forma de ensino-aprendizagem. A maioria jamais tinha manipulado um circuito elétrico, e ninguém tinha construído algo similar.

Depois dessa fase, 12 alunos foram selecionados para uma entrevista clínica, conforme critérios que serão apresentados mais adiante.

As Figuras 5.2a a 5.2f, ilustram momentos de manipulação dos circuitos para discutir as questões do teste SMAMcD.

Figura 5.2: (a) Aluno testando o circuito; (b) e (d) Professor discute uma das questões com os alunos;; (c) e (f) Manipulando o circuito para responder a questão 6; (e) Manipulando o circuito para responder a questão 1.



## 5.3 – Resultados Obtidos

### 5.3a – Concepções Alternativas

Na tabela 5.1 são apresentadas as respostas ao pré-teste SMAMcD dos alunos do matutino selecionados para a entrevista clínica.

Conforme mencionado acima, o teste SMAMcD foi elaborado com seis questões do teste SMA (SILVEIRA; MOREIRA; AXT, 1989) e quatro questões do teste proposto por McDermott e Shaffer (MCDERMOTT; SHAFFER, 1992). As seis questões do teste SMA, podem ser consideradas como um teste em separado, aqui designado teste SMA6q. Essa parte do teste foi usada para comparar os grupos de respondentes do presente estudo e do estudo realizado por Silveira e colaboradores com estudantes de engenharia da UFRGS em 1988. Esses resultados comparativos são apresentados na Tabela 5.2.



### **5.3a1 – Natureza e sentido da corrente elétrica em circuitos simples**

Uma das concepções alternativas mais recorrentes e persistentes tem a ver com a noção do que seja a corrente elétrica. Alguns livros didáticos transmitem noções equivocadas ou noções que podem gerar equívocos, a partir da análise de circuitos simples, como uma bateria ou pilha ligada a um resistor ou uma lâmpada. É provável que parte desses equívocos estejam ligados à precisão conceitual da natureza da corrente elétrica.

Tabela 5.1. Respostas ao pré-teste SMAMcD, dos oito alunos do turno matutino selecionados para entrevista clínica. As alternativas corretas são apresentadas abaixo do número de cada questão. O total de respostas corretas de cada aluno é apresentado abaixo de seu respectivo nome fictício. Os números atribuídos aos(às) alunos(as) referem-se aos números atribuídos durante as entrevistas.

	1 A	2 A	3 B	4 C	5 C	6 A	7 A	8 C	9 B	10 A
Aluna1 3	B	C	B	B	A	C	C	C	A	A
Aluno2 5	A	A	A	B	B	A	C	C	B	B
Aluno3 2	C	C	A	A	C	A	B	B	A	B
Aluno4 1	C	B	B	A	A	B	B	B	C	B
Aluna5 3	A	C	C	C	B	C	C	B	A	A
Aluna6 7	A	C	B	C	C	A	A	C	A	B
Aluno7 2	A	C	C	B	A	C	C	C	C	C
Aluno8 7	C	C	B	C	C	A	A	C	B	B

Vejam os conceitos apresentados em três bons livros frequentemente adotados no ensino médio e o clássico Halliday-Resnick adotado em cursos universitários.

Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga afirmam que (MÁXIMO; ALVARENGA, 2006):

(...) o estabelecimento de um campo elétrico em um fio metálico provoca um fluxo de elétrons neste condutor, fluxo este que é denominado corrente elétrica.

Em um condutor metálico, sabemos que a corrente real é constituída por elétrons em movimento. Entretanto, vamos imaginá-la substituída pela corrente convencional, de cargas positivas, movendo no sentido do campo elétrico. (Cap. 20).

No tópico 1, da parte II de sua obra, Gualter José Biscuola e colaboradores (BISCUOLA; BÔAS; DOCA, 2013) definem corrente elétrica como sendo “o movi-

mento ordenado, isto é, com direção e sentido preferenciais, de portadores de carga elétrica.” Ao discutir a causa da corrente elétrica, esses autores afirmam que:

Quando o fio é ligado entre as placas A e B, um campo elétrico é estabelecido no interior do fio, orientado do potencial maior para o menor. Como a carga elétrica dos elétrons é negativa, surgem neles forças elétricas de sentido oposto ao do campo. Dessa forma, os elétrons livres passam a se deslocar de B para A, criando-se, então, a corrente elétrica no fio.

Para introduzir o conceito de gerador elétrico, Biscuola e colaboradores ensinam:

Imagine que, na situação apresentada no item anterior, fosse possível acontecer o seguinte: todo elétron que chegasse à placa A fosse transportado por alguém até a placa B (...) Dessa forma, os potenciais elétricos nunca se igualariam e a corrente elétrica no fio seria mantida.

Tabela 5.2. Resultados percentuais do Teste SMA6q aplicados em: turma ensino médio, turno matutino, em uma escola pública com INSE baixo. Respostas A1, B1 e C1; uma turma de Física II-C dos cursos de engenharia da UFRGS (SILVEIRA; MOREIRA; AXT, 1989). Respostas A2, B2 e C2. Os números entre parênteses correspondem, respectivamente, às questões dos testes SMAMcD e SMA. Frequência na resposta correta é indicada pelo asterisco. O nível de significância no teste  $\chi^2$  é dado por ns.

Questão / Opção	1 (5/1)	2 (6/4)	3 (7/9)	4 (8/10)	5 (9/11)	6 (10/13)
A1	27	44*	47*	23	40	47*
B1	13	23	26	27	13*	20
C1	60*	33	27	50*	47	33
A2	10	63*	87*	3	13	80*
B2	2	31	12	9	38*	8
C2	88*	6	1	88*	49	12
$\chi^2$	14,87	18,07	35,05	26,08	13,74	13,42
ns	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Os dois livros citados acima, expõem a analogia comumente utilizada entre corrente elétrica e fluido de água. Essa analogia é uma das fontes de concepções alternativas relatadas na literatura (STOCKLMAYER; TREAGUST, 1996), e no cap. 5 de sua obra, Alberto Gaspar (GASPAR, 2010) teve o cuidado de chamar a atenção para a inadequação dessa analogia, afirmando que:

A analogia entre corrente elétrica e água corrente tem pelo menos três grandes inadequações. A primeira se refere a aquilo que se movimenta (...). A segunda inadequação se refere à velocidade do deslocamento (...). A terceira inadequação se refere à forma de propagação da corrente elétrica (...).

Todavia, apesar de fazer essas ressalvas mais do que procedentes, Alberto Gaspar faz uma concessão perigosa, ao afirmar que “a analogia da corrente elétrica com a água corrente só faz algum sentido em relação à corrente contínua, na qual os portadores de carga movem-se num único sentido”. Mas, a nosso ver a analogia não faz qualquer sentido. É um equívoco dizer que “faz algum sentido”. O próprio autor (GASPAR, 2010) reproduz uma descrição contraditória muito frequente em textos didáticos:

Se houver um campo elétrico uniforme no interior [de um] condutor, [os] elétrons, apesar de continuar a se mover em todos os sentidos, passam a ter um movimento médio resultante em um sentido determinado – o condutor é percorrido por uma corrente elétrica contínua. Se o campo elétrico no interior for oscilante, os elétrons têm também um movimento médio resultante, no entanto não mais em um único sentido, eles oscilam em torno de posições fixas – o condutor é percorrido por uma corrente elétrica alternada.

Desse tipo de afirmação surge a ideia equivocada de que na corrente contínua os portadores de carga se deslocam de um polo a outro da bateria. O tratamento que se dá à ideia da velocidade de arrastamento ou de deriva não tem sido suficiente para evitar a concepção equivocada. De um modo ou de outro, resta a ideia de que é o “movimento ordenado” dos elétrons que produz a corrente, e que esse “movimento ordenado” faz com que elétrons em uma corrente contínua se “desloquem” em um sentido, quem sabe percorrendo uma grande distância, e que elétrons em uma corrente alternada fiquem oscilando em torno de uma posição de equilíbrio. Obviamente isso é contraditório. Por que na corrente contínua o elétron precisa se deslocar e na alternada basta que ele fique no vai-e-vem em um torno de uma posição fixa?

Alguns estudos têm demonstrado que a forma como o assunto é tratado em alguns livros didáticos do ensino médio estão associadas a muitas das concepções alternativas identificadas nos diversos testes relatados na literatura (HARTEL, 1982, 2012b). A sensação que se tem é que ainda não se achou uma linguagem, uma metáfora ou analogia adequadas para realizar a transposição didática do que se entende cientificamente por corrente elétrica. A questão básica que está por trás deste cenário pedagógico talvez possa ser expressa pelo título de um artigo de 1963: o que faz a corrente elétrica fluir? (ROSSER, 1963). Nesse artigo, Rosser discute qualitativamente a importância das cargas superficiais como guia da corrente elétrica. Anos depois a questão foi formalizada por outros autores, sobretudo (ASSIS; HERNANDES, 2007; HARTEL, 2012a; WELTI, 2005). Podemos resumir o que tratam esses artigos, no contexto do presente trabalho, da seguinte maneira.

Não importa aqui saber precisamente como funciona uma fonte de força-eletromotriz, até porque existem diferentes tipos, com diferentes mecanismos para produzir o mesmo efeito, qual seja a acumulação de cargas positivas em um dos seus polos, e de negativas no outro, e a capacidade de repor essas cargas por meio de forças não eletrostáticas. O fato primordial importante no presente contexto, é que ao ser ligada a fonte, essas cargas geram campos elétricos, os quais afetam as cargas nas proximidades, com efeito inversamente proporcional ao quadrado da distância, conforme as leis de Coulomb e de Gauss. O que acontece nos momentos imediatos em todo o circuito e no espaço externo é formalmente muito complexo, mas podemos definir um cenário qualitativamente compreensível.

Depois de um curto intervalo de tempo inicial, denominado transiente, os elétrons livres migram para as superfícies dos condutores metálicos, formando uma estrutura de cargas superficiais, as quais geram campos eletrostáticos responsáveis pela circulação de corrente no interior dos condutores. Ou seja, o fluxo de corrente é determinado pela ação da fonte de força-eletromotriz (bateria, pilha ou gerador) e pelos campos eletrostáticos criados pelas cargas superficiais negativas ou positivas. Os sinais de campo elétrico que conduzem a corrente são transmitidos a velocidades próximas à da luz (no espaço vazio esses sinais são transmitidos exatamente à velocidade da luz). Isso faz com que na prática possamos imaginar a transmissão instantânea do sinal elétrico.

Em suma, não é o elétron que sai do polo negativo e eventualmente chega ao polo positivo o responsável pela corrente elétrica. A corrente elétrica é consequência de campos elétricos criados pelas cargas superficiais e pela transmissão quase instantânea das variações de campos elétricos no interior do condutor<sup>5</sup>.

Essa associação da corrente elétrica às cargas superficiais não é adotada pelos principais autores de livros didáticos. Halliday-Resnick (cap. 28) apresenta o modelo de corrente elétrica como movimento ordenado dos elétrons sem entretanto referir que o campo elétrico existente internamente aos condutores é dependente de cargas na superfície dos mesmos (HALLIDAY; RESNICK, 1981):

Campos elétricos atuam no interior [do condutor], exercendo forças sobre os elétrons de condução e estabelecendo uma corrente. Depois de um curto espaço de tempo, o fluxo de

---

<sup>5</sup> - Um bom material em português sobre as cargas superficiais e a corrente elétrica encontra-se em Cargas Superficiais – O Elo Perdido dos Circuitos (<http://www.energieletrica.net/cargas-superficiais/> - acessado em 02/04/2018).

elétrons alcança uma condição estável. A situação é, então, análoga à do fluxo fluido constante (...).

A adição de uma bateria impõe uma diferença de potencial. Um campo elétrico surge dentro do condutor e produz cargas que se movimentam ao redor da malha, constituindo uma corrente.

É inevitável associar o texto acima à ideia equivocada de que na corrente contínua o elétron sai de um polo e chega ao outro. Vejamos como os estudantes do ensino médio e do curso de engenharia da UFRGS comportam-se frente a essas questões.

De um modo ou de outro, todas as questões do teste SMAMcD permitem a investigação da natureza e o sentido da corrente em circuitos elétricos simples, se a investigação é feita a partir de entrevista clínica. Pelas respostas escritas, apenas as questões 5 e 7 permitem inferência sobre o sentido da corrente adotado pelo respondente, e mesmo assim, apenas se ele também possui a concepção alternativa do consumo de corrente. Caso contrário resta a dúvida nas respostas ao teste sobre qual o sentido da corrente adotado pelo aluno. Vamos supor que ele trabalha com a ideia do consumo de energia. Então, se ele escolhe a opção (a) na questão 5, provavelmente ele imagina a corrente indo do polo positivo para o negativo. Se ele escolhe a opção (b), provavelmente imagina que a corrente vai do polo negativo para o positivo. Se ele acerta a questão, escolhendo a opção (c), não há como saber o que ele pensa a respeito do sentido da corrente.

Na questão 7 a situação é similar. Se o respondente escolhe a opção (b), provavelmente imagina a corrente circulando do polo positivo para o negativo. A corrente deve circular no sentido contrário para quem escolhe a opção (c). A opção correta, (a), é compatível com qualquer sentido.

Conforme consta na Tabela 5.1, referente ao pré-teste SMAMcD, dos oito alunos da turma EnsMedM selecionados para a entrevista, quatro escolheram a opção (a) na questão 5, e dois escolheram a opção (b). Ou seja, provavelmente a metade dessa seleta amostra imagina a corrente circulando do polo positivo para o negativo. Todavia, como foi observado em estudo anterior (ANDRADE *et al.*, 2018) e nas entrevistas aqui realizadas, as respostas dos alunos nem sempre são consistentes. Por exemplo, quem escolheu a opção (a) na questão 5, provavelmente trabalha com a ideia do consumo de corrente e imagina a corrente circulando do polo positivo para o negativo, e portanto deveria escolher a opção (b) na questão 7. Nesse sentido, apenas o Aluno4 foi consistente. Por outro lado, quem escolheu a letra (b) na questão 5, deveria escolher a letra (c)

na questão 7. Neste caso, foram consistentes os respondentes Aluno2 e Aluno5. Esse tipo de ambiguidade só pode ser resolvida por meio da entrevista clínica.

As respostas durante as entrevistas foram em geral condicionadas pelos experimentos, realizados um mês antes. Ou seja, em geral os alunos do matutino corrigiram os erros cometidos no pré-teste. Por exemplo, todos os alunos responderam corretamente a questão 5, enquanto no pré-teste apenas os alunos 3, 7 e 8 acertaram a questão.

Com relação ao sentido da corrente elétrica, apenas o Aluno2 mostrou que de fato trabalha com a ideia de corrente eletrônica, ou seja corrente de elétrons, do polo negativo para o positivo. Todos os outros alunos afirmaram que o sentido da corrente é do polo positivo para o negativo, e todos os outros mencionaram que se tratava da corrente convencional.

### **5.3a2 – Conservação espacial e consumo de corrente**

A questão 2, 5 e 7 do teste SMAMcD foram elaboradas para investigar a concepção científica da conservação espacial da corrente, e a concepção alternativa do consumo de corrente. As questões 5 e 7 foram incorporadas ao teste SMA6q com números 1 e 3, respectivamente. Na seção anterior essas questões foram discutidas em relação ao sentido da corrente. A seguir são apresentadas as respostas dos alunos em função da ideia do consumo de corrente. Quem escolhe os itens (a) e (b) na questão 5, provavelmente trabalha com a ideia do consumo de corrente. As entrevistas clínicas com os 12 alunos selecionados sugerem que essa concepção alternativa não foi totalmente superada durante os experimentos, ela permanece de maneira mais sutil em outras questões, como veremos na sequência.

Todos os alunos manipularam os circuitos com as questões um mês antes das entrevistas, e responderam a questão 5 (SMAMcD) corretamente, com frases do tipo “as três lâmpadas têm o mesmo brilho porque elas estão ligadas em série” (Aluno3). No entanto, esse mesmo aluno deu indícios da concepção alternativa do consumo de corrente ao responder a questão 2 do teste SMAMcD. No pré-teste ele optou pela alternativa (c), como se vê na Tabela 5.1. Essa alternativa corresponde à ideia de que a corrente vai sendo consumida à medida que passa por cada ramo do circuito em paralelo. Durante a entrevista esse aluno apresentou sinais de conflito cognitivo. Inicialmente ele escolheu a alternativa correta, (a), provavelmente induzido pelo que vira durante a manipulação do circuito, mas quando o entrevistador propôs uma pequena alteração no circuito, o aluno apresentou justificativas equivocadas:

[15:53] Entrevistador: Vamos imaginar que o circuito só contenha as lâmpadas A, B e C. Neste caso, quem brilha mais?

[15:54] Aluno3: A lâmpada (a).

[15:55] Entrevistador: Explique por que a lâmpada A brilha mais.

[16:00] Aluno3: Porque a lâmpada A está isolada sendo que a corrente terá que passar primeiro por ela.

[16:00] Entrevistador: Passa primeiro por ela, e então, o que acontece?

[16:06] Aluno3: Como a corrente passa primeiro por ela terá mais brilho que as lâmpadas B e C

[16:08] Entrevistador: Você quer dizer que sobra menos corrente para B e C, é isso?

[16:19] Aluno3: Acho que sim.

Além de servir para examinar as concepções referentes à conservação espacial e consumo de corrente, a questão 7 do teste SMAMcD serve para avaliar o domínio que os estudantes têm a respeito da associação de resistências. Para alguns estudantes o que importa é o total de resistências, e não a forma como estão conectadas no circuito. Esse tipo de raciocínio já foi relatado em testes com estudantes do ensino médio e da universidade (ENGELHARDT; BEICHNER, 2004).

Um caso interessante de modelo de consumo de corrente foi exibido pelo Aluno10, pertencente à turma EnsMedV, ao responder a questão 7, durante a entrevista clínica. Como todos os outros alunos, ele escolheu a alternativa correta (a), mas ao ser questionado pelo entrevistador apresentou conflitos cognitivos interessantes.

[16:05] Aluno10: Alternativa (a), pois acho que tanto para L1 como para L4 têm a resistência.

[16:07] Entrevistador: Se a resistência de L1 fosse menor do que a de L4, o que aconteceria?

[16:08] Aluno10: O brilho de L1 seria maior, pois a corrente passaria sem nenhum obstáculo.

Comentário: O aluno não apresenta a concepção científica da conservação de carga, ou da continuidade da corrente.

[16:15] Se L3 for retirada do circuito, o que acontece em termos dos brilhos em L1, L2 e L4?

[16:17] Aluno10: O brilho seria igual para L1, L2 e L4.

[16:18] Entrevistador: Seria maior ou menor do que o brilho anterior?

[16:19] Aluno10: Seria menor

[16:20] Entrevistador: Por quê?

[16:21] Aluno10: Me enganei. Acho que seria maior pois agora além de ter uma lâmpada a menos, elas estão em serie.

Para esse aluno, o fato de ter menos lâmpadas aumenta o brilho porque tem menos fontes de consumo.

Aparentemente, a questão da conservação de carga e conservação espacial da corrente é muito séria no ensino médio. Menos da metade dos alunos da turma Ens-MedM acertou a questão 7 no pré-teste SMAMcD (questão 3 do SMA6q). Exatamente 47% acertaram, 26% optaram pela alternativa (b) e 27% pela alternativa (c). Este resultado é similar àquele obtido por Andrade e colaboradores (ANDRADE *et al.*, 2018) para a mesma questão (47/15/38).

Nenhum aluno justificou sua resposta alegando a continuidade ou conservação espacial da corrente.

No pré-teste, o Aluno2 escolheu a opção (c). Como já foi dito acima, esse aluno trabalha com a noção da corrente eletrônica, que geralmente é denominada corrente real nos livros-textos. Além disso, foi o aluno que mostrou maior consistência em suas respostas. A alternativa (c) evidencia a existência do modelo de consumo de corrente. Em sua entrevista, depois de manipular o circuito referente à questão, ele escolheu a alternativa correta, (a). Vejamos parte da sua entrevista:

[20:28] Aluno2: Letra (a), pois L1 e L4 estão ligadas em serie.

[20:30] Entrevistador: L2 e L3 não têm qualquer influência nisso?

[20:30] Entrevistador: Não.

[20:31] Entrevistador: O que aconteceria se L3 fosse retirada do circuito?

[20:31] Aluno2: Todas apagariam? Pois L1, L3 e L4 estão em serie, assim como L1, L2 e L4 estão em serie. Mas, L2 e L3 em paralelo.

Comentário: o aluno esqueceu da questão 9, na qual a lâmpada L3 era retirada, apesar de ter acertado essa questão no pré-teste, escolhendo a opção (b), segundo a qual o brilho em L1 diminui.

[20:34] Entrevistador: Estou perguntando se L3 fosse retirada. O circuito seria apenas com L1, L2 e L4, na mesma estrutura acima. O que aconteceria com a corrente no circuito modificado é maior ou menor do que no original?

[20:40] Aluno2: Terá o mesmo valor.

[20:42] Entrevistador: As lâmpadas L2 e L3 não têm qualquer efeito na corrente, é isso?

Comentário: esse questionamento do entrevistador tem o papel de estabelecer um conflito cognitivo no estudante, conforme preconizam Posner e colaboradores (POSNER, G. *et al.*, 1982). Observe que o aluno muda seu raciocínio, mas não apresenta uma resposta correta. Esse tipo de evento aconteceu em outras entrevistas na presente investigação.

[20:43] Aluno2: Desculpa, acho que me confundi. Elas têm efeito sim. Se retirar L3 o valor da corrente aumenta.

[20:44] Entrevistador: Pode explicar por quê?



[20:44] Aluno2: Porque a resistência diminuirá.

Convém salientar que uma entrevista clínica com o objetivo de acesso à estrutura cognitiva, como essa que estamos fazendo neste trabalho, é diferente de uma entrevista clínica com objetivo didático. No caso de uma entrevista clínica em uma intervenção didático-pedagógica, o Aluno2 deveria ser questionado sobre a razão da diminuição da resistência. Esse questionamento deveria levá-lo a uma mudança conceitual e convencê-lo de que a retirada de L3 aumenta a resistência total no circuito, fazendo com que a corrente, e conseqüentemente o brilho nas lâmpadas diminuísse.

### **5.3a3 – Raciocínio local e raciocínio sequencial**

O que normalmente é considerado na literatura como raciocínio local e raciocínio sequencial (ENGELHARDT; BEICHNER, 2004; SHIPSTONE, D. M. *et al.*, 1988) é aqui englobado no modelo III. De acordo com o que se entende por raciocínio local, o sujeito focaliza sua atenção no elemento através do qual passa a corrente, sem considerar o que acontece em outras partes do circuito. Esse tipo de raciocínio leva muitos alunos a imaginarem a bateria como uma fonte constante de corrente, e não como uma fonte constante de voltagem. Então, se a bateria é uma fonte constante de corrente, não importa o que haja no circuito, sempre haverá aquela corrente determinada pela fornecedora.

O raciocínio sequencial é similar ao raciocínio local. A partir desse tipo de raciocínio, o sujeito analisa o circuito em termos de “antes” e “depois” a corrente passar por determinado elemento. Uma mudança no circuito antes do elemento influencia a corrente que passa por ele, mas se a mudança for após o elemento, isso não altera a corrente.

As questões 6, 9 e 10 do teste SMAMcD foram elaboradas para examinar, entre outras coisas, a existência desses raciocínios. Quem escolhe a alternativa (b) na questão 6, provavelmente trabalha com o raciocínio local. Para esses alunos, a alteração no estado ligado/desligado do interruptor não causa qualquer efeito em L1. A Tabela 5.2 sugere que 23% dos alunos da turma EnsMedM e 31% da turma Física II-C apresentam esse raciocínio local. Por outro lado, é difícil explicar a razão da escolha da alternativa (c) por 33% dos alunos da turma EnsMedM. Talvez esses alunos imaginem a corrente circulando a partir do polo negativo e sendo parcialmente consumida no interruptor, razão pela qual a intensidade diminui em L1.

É interessante comparar os resultados obtidos aqui para a questão 6, com aqueles reportados por Andrade e colaboradores (ANDRADE *et al.*, 2018) em um estudo no

qual os alunos não tiveram contato com circuitos idênticos aos do teste. Quatro dos sete entrevistados na referida investigação, disseram que o brilho de L1 permanece o mesmo, porque (ANDRADE *et al.*, 2018):

- como a L1 está antes da L2, o interruptor não afetará L1 (Aluna12);
- L2 vai dividir com o que será fechado, e L1 ficará com o mesmo brilho (Aluna5);
- a corrente já passou por L1, e eu acho que não vai mudar (Aluno7).

No presente trabalho esse tipo de resposta nas entrevistas não ocorreu porque os alunos manipularam os experimentos antes das mesmas. Mas, pudemos perceber equívocos conceituais mascarados pela respostas certas em consequência da simples observação dos experimentos.

Como era de se esperar, todos os alunos escolheram a resposta correta, alternativa (a), durante as entrevistas, mas nem todas as justificativas foram precisas, e algumas apresentaram sinais da concepção de consumo de corrente. Por exemplo, o Aluno3 não reconhece o estado de curto-circuito do interruptor fechado, embora tenha visto nos experimentos que a lâmpada L2 fica apagada como o interruptor fechado:

[16:28] Aluno3: Ao fechar o interruptor o brilho de L1 aumentará pois a corrente terá que passar pelo caminho que está entre L1 e L2.

[16:45] Entrevistador: O que acontece com a corrente depois que passa de L1?

[16:47] Aluno3: Depois que passa por L1 a corrente não segue diretamente para L2 ela passará primeiro pelo caminho que foi criado quando se fechou o interruptor.

[16:50] Entrevistador: Se você diz que "a corrente não segue diretamente para L2, ela passará primeiro pelo caminho . . ." Isso significa que depois vai passar por L2? Explique melhor isso.

[16:55] Aluno3: Quis dizer que ela não passará completamente por L2 assim somente uma parte passara por L2.

[16:56] Entrevistador: Uma parte passará por L2 e outra parte passará "pelo caminho que foi criado quando se fechou o interruptor", é isso?

[16:57] Aluno3: Sim.

O Aluno4 e a Aluna5 apresentaram argumentos similares. Por outro lado, o Aluno9 apresentou o modelo de consumo nessa questão 6, ao afirmar que : “fechando o interruptor, fica impossibilitada a passagem de corrente por L2, deixando assim uma corrente maior para L1 que consequentemente aumentará o brilho”. Ou seja, para esse aluno, a corrente era dividida entre L1 e L2.

### 5.3b – Entrevistas com Alunos Selecionados

Conforme salientamos na Seção 3.4, há uma diferença fundamental entre uma genuína entrevista clínica e as entrevistas que realizamos para subsidiar o presente trabalho. A entrevista clínica tem dois objetivos básicos: acessar com a máxima profundidade possível a estrutura cognitiva do entrevistado, e superar os obstáculos cognitivos que ele eventualmente apresente. Para atender esses dois objetivos, a entrevista clínica exige um adequado treinamento do entrevistador, assim como tempo suficiente de entrevista para a consecução desses objetivos. Na prática isso limita o número de entrevistados em uma pesquisa, bem como exige o estabelecimento de bons critérios para a seleção de uma amostragem significativa em uma determinada população.

As entrevistas que usamos aqui tinham o único objetivo de obter indicativos da existência de concepções alternativas sobre circuitos elétricos simples em uma população de estudantes da terceira série do ensino médio. Portanto, aspectos relevantes do ponto de vista do processo de ensino-aprendizagem, como determinados tipos de conflito cognitivo, eventualmente deixaram de ser explorados. Todavia, a íntegra das entrevistas, contida no Apêndice D, poderá servir de inspiração para trabalhos futuros, talvez usando as técnicas da genuína entrevista clínica (POSNER, G. J.; GERTZOG, 1982; ROWELL, 1975).

Sendo praticamente impossível entrevistar todos os alunos, definimos os seguintes critérios para a seleção de 12 entrevistados:

1. Para os oito alunos do matutino (os únicos que fizeram o pré-teste SMAMcD):
  - a. No máximo três alunos que acertaram sete ou mais questões no pré-teste;
  - b. Um aluno que acertou entre quatro e seis questões;
  - c. No máximo quatro alunos que acertaram menos de quatro questões;
2. Para os alunos do vespertino, que responderam ao teste manuseando os circuitos, escolhemos um de baixo rendimento escolar e outro de alto rendimento para cada turma.

Não foi possível obedecer esse critério rigorosamente, porque:

1. Apenas dois alunos do matutino atenderam o critério 1a. Decidimos escolher quatro alunos com o critério 1c, com a suposição de que esse estrato da amostragem é mais significativo em relação à exibição de concepções alternativas;
2. A aluna do noturno com baixo rendimento escolar não pôde atender o compromisso agendado, de modo que emergencialmente a substituímos por uma aluna do vespertino com desempenho escolar similar.

Na seção anterior discutimos os principais resultados obtidos com as entrevistas em conexão com os resultados obtidos no teste SMAMcD. Nesta seção apresentaremos aspectos mais específicos das entrevistas. Ao leitor interessado recomendamos o Apêndice D, onde encontra-se a íntegra das entrevistas. Como se verá na leitura desse apêndice, trata-se de um rico documento, que não está sendo totalmente explorado aqui, porque, como dissemos acima, o objetivo das entrevistas era unicamente obter indicações de concepções alternativas apresentadas pelos alunos. Aspectos mais detalhados do processo ensino-aprendizagem na área de circuitos elétricos simples poderão ser investigados com uma análise mais detalhada dessas entrevistas, por meio de uma pesquisa específica baseada nas respostas contidas nessas entrevistas. É nossa expectativa de que esse documento servirá para estudos futuros.

Um aspecto interessante nesses resultados é observar que há uma certa correlação entre a avaliação de rendimento escolar que fizemos e os resultados no pré-teste SMAMcD (Tabela 5.3). Essa correlação é mais notável em relação aos extremos do rendimento escolar (baixo e alto). Certamente isso deve-se à imprecisão na avaliação de rendimento médio. Um *rendimento médio* tanto pode estar mais próximo de um rendimento *baixo*, quanto de um *alto*.

Um resultado aparentemente paradoxal, observado na Tabela 5.3, é que os alunos de melhor rendimento escolar apresentam mais concepções alternativas que os de baixo rendimento. Para exibir uma concepção alternativa durante uma entrevista, o entrevistado precisa articular suas ideias a respeito da questão que lhe é apresentada. Essa capacidade de articulação é mais frequente entre alunos de bom rendimento escolar. Alguns alunos de baixo rendimento têm tanta dificuldade de articular suas respostas que praticamente impedem a detecção clara de concepções alternativas. É por isso que decidimos definir mais uma qualificação: *articulação conceitual*.

Por tudo que foi dito até aqui sobre *entrevista clínica*, é possível entender que a sequência de perguntas depende muito das respostas dos entrevistados. É por isso que esse tipo de entrevista necessita que o entrevistador seja bem treinado para esse tipo de atividade. Por exemplo, quando o entrevistador percebe que o aluno tem dificuldade em articular corretamente os conceitos, não vale a pena insistir. Para que o aluno chegue a expor suas concepções alternativas, há que se fazer uma longa entrevista, como aquelas que já denominados de *genuína entrevista clínica*. Na genuína entrevista clínica com objetivo de mudança conceitual, o entrevistador deve sempre provocar o conflito cognitivo, uma condição que poderá tomar muito tempo.

No presente projeto, quando a narrativa do aluno indica conflito cognitivo muito complexo, o entrevistador deve passar para a questão seguinte porque dificilmente o aluno dará sinais de concepções alternativas na questão em pauta.

Na Tabela 5.3 são apresentadas algumas informações importantes sobre os alunos entrevistados. Um extrato das concepções alternativas e dos conflitos cognitivos mais evidentes, extraídos das entrevistas (ver a íntegra no Apêndice D) também é apresentado na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Algumas características dos(as) alunos(as) selecionados(as) para a entrevista.

Número do aluno - Gênero - Acertos no teste SMAMcD	Turno	Rendimento escolar	Concepções alternativas ou dificuldades de articulação conceitual mais evidentes
1 – feminino - 3	Matutino	Baixo	(1) Dificuldade em distinguir ligação em série de ligação em paralelo. (2) Grande dificuldade de articulação conceitual, o que terminou prejudicando a entrevista.
2 – masculino - 5	Matutino	Alto	(1) Não diferencia ligações em série e paralelo. Não reconhece o efeito de um ramo do circuito em paralelo sobre a resistência equivalente. Aparentemente, a resistência do circuito está associada apenas à soma de resistências, e não ao modo com o qual estão ligadas. (2) Apresenta concepção alternativa que faz analogia de corrente elétrica com o fluxo de água.
3 – masculino - 2	Matutino	Médio	(1) Usa o modelo de consumo de corrente. (2) Não compreende que o interruptor funciona como um curto-circuito. (3) Não reconhece ligação em série e em paralelo em um circuito.
4 – masculino - 1	Matutino	Baixo	(1) Grande dificuldade de articulação conceitual. (2) Usa o modelo de consumo de energia.
5 – feminino - 3	Matutino	Baixo	(1) Não distingue ligações em série de ligações em paralelo, e portanto não reconhece o efeito dessas ligações sobre a intensidade da corrente. (2) Tem muitos problemas com a compreensão dos conceitos referentes às questões do teste.
6 – feminino - 7	Matutino	Alto	(1) A aluna confunde o papel das ligações em série e em paralelo em um circuito misto. (2) Não raciocina com a conservação de corrente, ou de carga. (3) Exibe o modelo do consumo de corrente. (4) Usa o modelo do consumo de corrente.
7 – masculino - 2	Matutino	Baixo	Grande dificuldade de articulação conceitual. Só conseguimos entrevistar sobre duas perguntas porque ele tinha compromisso. Depois não atendeu o chamado no dia agendado para continuar a entrevista.
8 – masculino - 7	Matutino	Médio	(1) Usa o modelo do consumo de corrente. (2) Não reconhece o efeito de ligações em série e em paralelo sobre a resistência equivalente de um circuito; o que vale é o total de resistências, e não a forma como elas estão ligadas no circuito. (2) Exibe claramente o modelo do consumo de corrente.
9 – masculino	Vespertino	Baixo	(1) Aparentemente não tem uma estrutura cognitiva resultante da apropriação de conceitos. Emite as respostas mecanicamente, em função do que lembra das aulas. (2) Não reconhece o efeito de ligações em série e em paralelo sobre a intensidade da corrente fornecida pela bateria; o que vale é o total de resistências, e não a forma como

			estão conectadas no circuito. (3) Exibe o modelo do consumo de corrente.(4) Exibe o modelo da fonte de corrente constante.
10 – masculino	Vespertino	Alto	(1) Incapaz de reconhecer ligação em série e em paralelo nesses tipos de circuito. (2) Exibe o modelo da fonte constante de corrente. (3) Exibe o modelo do consumo de corrente. (4) Exibe a concepção segundo a qual o que importa em um circuito é o número de resistências e não a forma como estão conectadas.
11 – masculino	Noturno	Alto	Exibe o modelo do consumo de corrente.
12 – feminino	Vespertino	Baixo	(1) Aparentemente decorou o que viu durante a manipulação dos circuitos, sem se apropriar dos conceitos que estão por trás dos fenômenos observados. (2) Usa o modelo do consumo de corrente. (3) Viola a lei de conservação de corrente.

Como dissemos acima, resultados obtidos com as entrevistas, em conexão com os resultados obtidos com o teste SMAMcD foram discutidos na seção anterior. Apresentaremos aqui apenas resultados extraídos das entrevistas, sem qualquer referência ao teste SMAMcD.

Como a Tabela 5.3 apresenta um sumário representativo de todas as entrevistas contidas no Apêndice D, consideramos que não há necessidade de discutirmos aqui detalhadamente cada entrevista. Achamos mais instrutivo discutir na íntegra apenas uma entrevista que seja mais representativa da questão que estamos abordando na presente dissertação, qual seja a existência e superação de concepções alternativas sobre corrente elétrica em circuitos simples. Como pode-se concluir a partir de uma análise cuidadosa do Apêndice D, a entrevista do Aluno9 pode ser identificada como uma das mais representativas desse conjunto de 12 entrevistas. Chama-se especial atenção para os comentário em negrito.

### 5.3c – Íntegra da Entrevista com o Aluno9

**Aluno9 (turma vespertina, aluno com baixo rendimento escolar)**

05 – No circuito da figura 1 pode-se afirmar que:

- $L_1$  brilha mais que  $L_2$  e esta mais que  $L_3$
- $L_3$  brilha mais que  $L_2$  e esta mais que  $L_1$
- As três lâmpadas tem o mesmo brilho

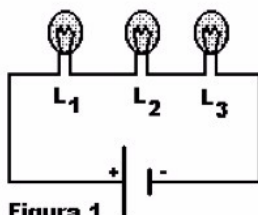


Figura 1

[14:55, 15/1/2018] Entrevistador: Lembra qual a resposta e a justificativa?

[14:55, 15/1/2018] Aluno9: Alternativa C, pois elas estão em série.

[14:56, 15/1/2018] Entrevistador: E quem produz o brilho nas lâmpadas?

[14:59, 15/1/2018] Aluno9: Essa eu não estou lembrado.

[15:00, 15/1/2018] Entrevistador: Mas como você acha que a lâmpada brilha?

[15:02, 15/1/2018] Aluno9: Acho que por causa dos watts.

[15:02, 15/1/2018] Entrevistador: o que significa "watts"?

[15:05, 15/1/2018] Aluno9: É uma potência que diz respeito à energia.

[15:07, 15/1/2018] Entrevistador: Então, quem produz o brilho na lâmpada? Uma potência? Uma energia? Como a potência ou a energia se manifestam fisicamente?

[15:09, 15/1/2018] Aluno9: A energia.

[15:10, 15/1/2018] Aluno9: Como elas se manifestam, eu não estou lembrado.

**Comentário: Parece que o aluno não tem uma estrutura cognitiva resultante da apropriação de conceitos. Ele emite as respostas mecanicamente, em função do que lembra das aulas.**

[15:14, 15/1/2018] Entrevistador: Como a energia chega até às lâmpadas?

[15:15, 15/1/2018] Aluno9: Através dos circuitos.

[15:16, 15/1/2018] Entrevistador: Quem leva a energia até às lâmpadas?

[15:18, 15/1/2018] Aluno9: Os geradores.

[15:19, 15/1/2018] Entrevistador: Exatamente como o gerador leva a energia até à lâmpada? Você vê o gerador levando? Onde está o gerador?

[15:20, 15/1/2018] Aluno9: Não, não se vê. Está nos resistores?

[15:21, 15/1/2018] Entrevistador: No resistor tem um gerador?

[15:22, 15/1/2018] Aluno9: Eu acho que sim.

[15:24, 15/1/2018] Entrevistador: Qualquer pedaço de fio é um resistor, estou certo?

[15:27, 15/1/2018] Aluno9: Sim.

[15:28, 15/1/2018] Entrevistador: Então, se você cortar um pedaço de fio ali tem um gerador?

[15:29, 15/1/2018] Aluno9: Acho que não.

[15:30, 15/1/2018] Entrevistador: Então vou repetir a pergunta: No resistor tem um gerador?

[15:32, 15/1/2018] Aluno9: Olhando agora, não.

[15:32, 15/1/2018] Entrevistador: Ok! Então quem leva a energia até à lâmpada?

[15:34, 15/1/2018] Aluno9: Corrente elétrica?

[15:34, 15/1/2018] Entrevistador: Iiiiiisso!

[15:34, 15/1/2018] Entrevistador: E qual o sentido da corrente elétrica nesse circuito?

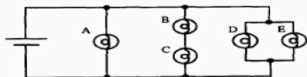
[15:36, 15/1/2018] Aluno9: Sentindo convencional.

[15:36, 15/1/2018] Entrevistador: E qual é o sentido convencional?

[15:37, 15/1/2018] Aluno9: Ele corresponde ao sentido do campo elétrico no interior do condutor, que vai do polo positivo para o negativo.

[15:37, 15/1/2018] Entrevistador: Maravilha!

02 – No circuito da figura abaixo ordene as lâmpadas de acordo com a luminosidade se a bateria for ideal.



- a)  $A=D=E>B=C$   
 b)  $A=D=B=C=E$   
 c)  $A>B=C>D=E$

[15:38, 15/1/2018] Entrevistador: Resposta e justificativa?

[15:44, 15/1/2018] Aluno9: Alternativa A, porque B e C estão em série assim tendo o mesmo brilho, e A, D e E diferentes de B e C por serem paralelas (ADE).

[15:46, 15/1/2018] Entrevistador: E por que A, D e E brilham mais do que B e C?

[15:50, 15/1/2018] Aluno9: Por estarem em paralelo.

[16:00, 15/1/2018] Entrevistador: E o que tem a ver o fato de estarem em paralelo com a luminosidade maior ou menor?

[16:06, 15/1/2018] Aluno9: Eu não estou lembrado.

**Comentário: Como outros alunos, o Aluno9 não se reporta, mesmo inconscientemente, à sua estrutura cognitiva, formada com a apropriação de conceitos. Ele se reporta a eventos que memorizou, e eventualmente esqueceu. Esse é um aspecto evidenciado aqui e que merece um estudo detalhado.**

[16:12, 15/1/2018] Entrevistador: Você disse que é a corrente elétrica que leva a energia às lâmpadas.

[16:12, 15/1/2018] Entrevistador: A luminosidade depende dessa energia?

[16:19, 15/1/2018] Aluno9: Sim.

[16:26, 15/1/2018] Entrevistador: E a energia depende da intensidade da corrente?

[16:31, 15/1/2018] Aluno9: Eu acho que sim.

[16:33, 15/1/2018] Entrevistador: Então, se a corrente é mais intensa, a luminosidade é maior ou menor?

[16:43, 15/1/2018] Aluno9: Maior.

[16:44, 15/1/2018] Entrevistador: Concluindo: quanto maior a intensidade da corrente maior a luminosidade!

[16:44, 15/1/2018] Aluno9: Isso.

[16:45, 15/1/2018] Entrevistador: Então, por que A brilha mais do que B e C?

[16:46, 15/1/2018] Aluno9: Por conta da intensidade da corrente.

[16:52, 15/1/2018] Entrevistador: E por que a intensidade da corrente é maior em A do que em B e C?

[16:54, 15/1/2018] Aluno9: Porque tem uma lâmpada só.

**Comentário: Outro aluno que relaciona a intensidade da corrente de acordo com o número de resistências, e não à forma como elas estão conectadas no circuito.**

[16:58, 15/1/2018] Entrevistador: E o por que uma lâmpada só implica em luminosidade maior?

[17:05, 15/1/2018] Aluno9: Porque teria mais energia para ela.

**Comentário: Modelo do consumo de energia.**

[17:09, 15/1/2018] Entrevistador: Olhe o circuito da questão. As lâmpadas são todas iguais. Você está dizendo que tem mais energia para A do que para B e C, é isso?

[17:10, 15/1/2018] Entrevistador: Se a energia para A for X, quanto será a energia para B e C?



[17:12, 15/1/2018] Aluno9: Será maior?

[17:13, 15/1/2018] Entrevistador: Quanto maior? Eu dei o valor da energia de A, que é X. Quanto será a energia de B e C?

[17:14, 15/1/2018] Aluno9: 2x?

[17:16, 15/1/2018] Entrevistador: Mas você disse acima que brilha mais do que B e C por que tem mais energia em A. É o contrário do que você está dizendo agora.

**Comentário: O Aluno9 exibe enormes conflitos cognitivos em relação ao comportamento de circuitos elétricos simples.**

[17:16, 15/1/2018] Entrevistador: A brilha mais do que B e C.

[17:19, 15/1/2018] Aluno9: Então A vai brilhar mais que B e C?

[17:21, 15/1/2018] Entrevistador: Foi o que você disse no início. E no final mudou. A resposta que você deu à questão é que  $A=D=E>B=C$

[17:21, 15/1/2018] Entrevistador: Ou seja, A brilha mais do B e C. Eu quero saber por quê?

[17:22, 15/1/2018] Aluno9: Vou tentar explicar de novo, na minha linha raciocínio.

[17:25, 15/1/2018] Aluno9: A brilha mais do que B e C por que só tem uma lâmpada e em B e C a energia vai ser dividida para as duas igualmente, fazendo que A seja maior por ter mais energia.

**Comentário: O aluno exibe essa forma do modelo de consumo exibida por outros entrevistados.**

[17:26, 15/1/2018] Entrevistador: OK!

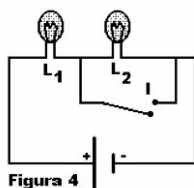
[17:27, 15/1/2018] Entrevistador: E por que D e E têm o mesmo brilho de A?

[17:30, 15/1/2018] Aluno9: Por que D e E estão em paralelo, assim não precisando dividir a energia, igualmente a A.

[17:32, 15/1/2018] Entrevistador: OK!

06 – No circuito da figura 4, I é um interruptor aberto. Ao fechá-lo:

- Aumenta o brilho de  $L_1$ .
- O brilho de  $L_1$  permanece o mesmo.
- Diminui o brilho de  $L_1$ .



[17:32, 15/1/2018] Entrevistador: Resposta e justificativa?

[17:35, 15/1/2018] Aluno9: Alternativa A, porque fechando essa chave fica impossibilitado de passar corrente para  $L_2$ , deixando assim uma corrente maior para  $L_1$  que conseqüentemente aumentará o brilho.

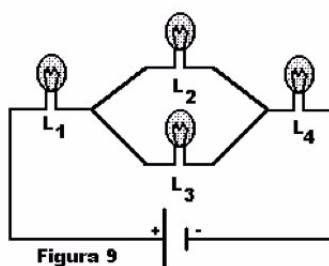
[17:36, 15/1/2018] Entrevistador: OK!

**Comentário: O modelo de consumo de corrente é persistente. O aluno não atribui o brilho maior à resistência menor no circuito, mas ao fato de haver menos lâmpada para consumir a corrente. Aqui também se manifesta o modelo da fonte de corrente constante.**

[17:37, 15/1/2018] Entrevistador: Vamos para a última questão.

07 – 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  $L_4$ .



[17:37, 15/1/2018] Entrevistador: Resposta e justificativa?

[17:44, 15/1/2018] Aluno9: Alternativa A, porque  $L_1$  e  $L_4$  meio que estão em série, e por conta de  $L_2$  e  $L_3$  estarem em paralelo e não alterarem os brilhos de  $L_1$  e  $L_4$ .

[17:46, 15/1/2018] Entrevistador: E se a lâmpada  $L_3$  fosse retirada do circuito, como ficariam os brilhos?

[17:48, 15/1/2018] Aluno9: Acho que  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_4$  ficariam com o mesmo brilho.

[17:49, 15/1/2018] Entrevistador: E mudaria o brilho em relação ao circuito anterior?

[17:53, 15/1/2018] Aluno9: Acho que mudaria apenas o de  $L_2$ , se igualando a  $L_1$  e  $L_4$ .

[17:54, 15/1/2018] Entrevistador: Os brilhos de  $L_1$  e  $L_4$  seriam os mesmos nos dois circuitos?

[17:56, 15/1/2018] Aluno9: Sim.

**Comentário: O que está implícito nessa resposta é que a fonte libera uma certa corrente, independente do circuito que a ela estiver ligado. Então, a corrente que sai de  $L_1$  é dividida entre  $L_2$  e  $L_3$ . Se  $L_3$  for retirada, o brilho de  $L_2$  aumentará para se igualar ao de  $L_1$  e  $L_4$ .**

[17:58, 15/1/2018] Entrevistador: Ou seja, tanto faz ter  $L_2$  ou  $L_3$  sozinhas ou as duas, que a corrente que passa por  $L_1$  e  $L_4$  é a mesma?

[17:59, 15/1/2018] Aluno9: Sim.

[18:01, 15/1/2018] Entrevistador: Então, se a corrente em  $L_1$  e  $L_4$  não muda, e se a corrente em  $L_2$  é igual à de  $L_1$  e  $L_4$  quando  $L_3$  é retirada, qual é a corrente em  $L_2$  e  $L_3$  em relação à corrente de  $L_1$  e  $L_4$  quando o circuito estiver completo?

[18:04, 15/1/2018] Aluno9: Acredito que  $L_2$  e  $L_3$  tenham o brilho mais forte.

[18:06, 15/1/2018] Entrevistador:  $L_2$  e  $L_3$  têm brilho mais forte do que  $L_1$  e  $L_4$ , é isso?

[18:06, 15/1/2018] Aluno9: Sim.

**Comentário: O aluno entra em conflito cognitivo com o suposto modelo mencionado no comentário anterior.**

[18:07, 15/1/2018] Entrevistador: Se  $L_2$  e  $L_3$  brilham mais, significa que passa mais corrente por elas, é isso?

[18:07, 15/1/2018] Aluno9: Isso.

[18:08, 15/1/2018] Entrevistador: Então, como é que a corrente que passa por  $L_1$  fica maior quando passar por  $L_2$  e  $L_3$ ?

[18:09, 15/1/2018] Aluno9: Eu não sei mais.

**Comentário: O conflito leva o aluno ao colapso.**

[18:11, 15/1/2018] Entrevistador: Mas você tem certeza que L2 e L3 brilham mais do que L1 e L4, é isso? E não saberia explicar o porquê, é isso? Não tem a menor ideia?

[18:12, 15/1/2018] Aluno9: Creio que seja por elas estarem em paralelo.

[18:16, 15/1/2018] Entrevistador: Vamos retomar a questão. Tem uma corrente que passa por L1, com uma certa intensidade, que é a mesma intensidade com a qual ela passa por L4.

[18:17, 15/1/2018] Entrevistador: E você diz que essa corrente cresce quando passa por L2 e L3, mas não sabe explicar.

[18:18, 15/1/2018] Entrevistador: Eu lhe pergunto, você não acha estranho que a intensidade da corrente de repente cresça?

[18:20, 15/1/2018] Aluno9: Sim.

[18:22, 15/1/2018] Entrevistador: Obrigado. Foi ótima a entrevista. Depois o prof. Cristiano vai conversar com vocês sobre isso, ou vai enviar um texto com os resultados da nossa pesquisa. Abraço

[18:23, 15/1/2018] Aluno9: Disponha, forte abraço.

## 5.4 – Comentários dos Alunos

Comentários dos alunos que participaram das entrevistas e de outro que não participou mas desejou deixar um depoimento, são apresentados na Tabela 5.4. Editamos os textos para corrigir erros de ortografia e gramática, bem como melhorar o estilo redacional, mas a essência dos comentários foi mantida.

É interessante comparar esses depoimentos com a avaliação de rendimento escolar que fizemos de cada aluno. Observa-se que a articulação verbal dos alunos melhora com o nível de rendimento escolar.

Tabela 5.4 – Comentários dos alunos. A numeração corresponde àquela usada nas entrevistas.

Aluno(a) / Rendimento escolar	Comentário
Aluna1 Baixo	Tivemos a oportunidade de construir equipamentos para usar na prática e aprendemos a usar e resolver questões sobre luminosidade em lâmpadas, onde algumas acendem mais e outras acendem menos de acordo com a corrente e como elas estão associadas.
Aluno2 Alto	Percebi que construindo o circuito aprendi a resolver cada questão e entendi o que é corrente real e convencional e porque as lâmpadas, algumas brilham mais que outras.
Aluno3 Médio	Foi perfeita a disciplina de física, construindo esses circuitos. Contribuiu muito para nossa aprendizagem sobre corrente e energia.
Aluno4 Baixo	Os circuitos foram legais mas aquela tábua com pregos (geoplano) foi show de bola aprendi muito.
Aluna5 Baixo	Os materiais práticos facilitaram nossa aprendizagem. Além de ouvir a explicação, podíamos observar o fenômeno. Além das aulas se tornarem mais divertidas e mais proveitosas, pois muita gente tem dificuldade de aprender só com a teoria.
Aluna6 Alto	As aulas práticas foram dadas em sala de aula e no laboratório. Foi um conteúdo muito simples e fácil de entender e de explicar também, deixando de forma mais clara as questões dos testes.

Aluno7 Baixo	Apreendi muito com os meninos da minha equipe, principalmente quando eu estava montando as experiências. Antes não sabia de nada.
Aluno8 Médio	Antes de ver os circuitos, eu errei algumas questões do pré-teste, porque eu tinha um conhecimento superficial. Depois que eu vi a prática tive facilidade para resolver as questões, tendo em vista que você observa a questão mais detalhada. Nas aulas normais tínhamos o costume de memorizar fórmulas. Creio que oportunidade que tive de construir os circuitos e usa-los para resolver as questões, fará com que jamais as esquecerei.
Aluno9 Baixo	Foi construindo esses circuitos que comecei a entender a tal da lei de OHM e porque a energia lá de casa vem tão cara.
Aluno10 Alto	Foi muito bacana entender como funciona a luminosidade daquelas lâmpadas e ver que a forma como são colocadas no circuito (série, paralelo, misto) vai interferir no resultado.
Aluno11 Alto	Eu vi como ligar os fios e colocar as lâmpadas em série, paralelo e misto. Então, entendi porque umas clareiam igual às outras e porque umas clareiam mais que outras.
Aluna12 Baixo	Quero dizer que a prática me ajudou a entender aquilo que o professor explicou na sala de aula sobre resistores em série e em paralelo. Também as lâmpadas quando vinha uma questão no ENEM falando quem brilha mais, quem brilha menos, eu não entendia muito bem. Construindo os circuitos e depois usando-os para resolver as questões, acertei todas e acho que quando cair uma questão de circuito no ENEM, vou acertar.
Médio	Eu tinha errado umas questões do pré-teste, mas quando comecei a mexer nos circuitos resolvi todas as questões entendendo tudo aquilo que eu tinha errado. (Aluno do matutino que não participou das entrevistas).

## **Capítulo 6 – Sumário, Resultados Relevantes e Considerações Finais**

### **6.1. Sumário**

Abordamos nesta dissertação duas temáticas antigas, mas o fizemos de um modo inovador. É extensa a literatura sobre investigações de concepções alternativas em circuitos elétricos simples, bem como sobre a Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP). Mas, ao nosso conhecimento não há relato na literatura de tentativas de uso de experimentos construídos por alunos com materiais de baixo custo, para a abordagem de concepções alternativas nesse assunto. O único trabalho de nosso conhecimento, com alguma similaridade, é de autoria de Medeiros e colaboradores e foi apresentado em 2000 no VII EPEF (MEDEIROS; LINS; DIAS, [S.d.]).

Investigamos a existência de concepções alternativas sobre circuitos elétricos simples em alunos do 3º. Ano do Ensino Médio, em uma escola pública na cidade de Itaiçaba (CE). Elaboramos e aplicamos uma sequência didática, cuja íntegra encontra-se no Apêndice B, para superar as concepções alternativas fazendo uso de circuitos montados pelos alunos, com materiais de baixo custo. Participaram da pesquisa 80 alunos de três turmas (matutino, vespertino e noturno).

Em função da notável deficiência dos alunos do ensino médio em relação às ferramentas matemáticas indispensáveis para o bom aproveitamento das atividades de ensino e aprendizagem de física, decidimos iniciar nossa intervenção didática com o que chamamos de ambientação matemática, fazendo uso do geoplano para abordar vários conceitos matemáticos.

Depois dessa ambientação, e ao longo de todo o primeiro semestre o conteúdo foi abordado com o uso do livro-texto adotado na escola. No início do segundo semestre, os alunos do matutino responderam um pré-teste com questões utilizadas por outros investigadores e relatadas na literatura (Apêndice A). Após esse evento, os alunos das três turmas foram divididos em grupos de 5 alunos e instruídos a confeccionarem os circuitos apresentados nas questões do pré-teste, fazendo uso de sucatas e materiais de baixo custo de fácil acesso.

Quando todos os circuitos foram concluídos, os alunos foram reunidos em suas respectivas salas para manipularem os experimentos conforme as questões do pré-teste. Ao final, 12 alunos foram selecionados para entrevistas clínicas, cujos resultados subsidiaram as principais conclusões aqui apresentadas. A íntegra dessas entrevistas encontra-se no Apêndice D.

## **6.2. Resultados relevantes**

Das respostas apresentadas no pré-teste e nas entrevistas clínicas, observamos a recorrência de concepções alternativas há muito tempo relatadas na literatura. Além disso, também observamos problemas de consistência nas respostas escritas, como recentemente relatado por Andrade e colaboradores (ANDRADE *et al.*, 2018). Tais inconsistências ficam evidentes quando os alunos participam de entrevistas clínicas.

As entrevistas clínicas, realizadas aproximadamente um mês após a manipulação dos experimentos, mostraram que a simples realização dos experimentos não é capaz de superar as concepções alternativas mais persistentes, mas esse tipo de abordagem pedagógica, ou seja o uso concomitante de experimentos e entrevistas clínicas, pode ser potencialmente útil para proporcionar a mudança conceitual, segundo o referencial de Posner e colaboradores (POSNER, G. *et al.*, 1982).

## **6.3. Considerações Finais**

Era notável o encantamento dos alunos, à medida que manuseavam os circuitos e visualizavam as soluções do teste. Demonstravam satisfação porque comprovavam algo com equipamentos que eles haviam construído.

Outro benefício resultante de nossa estratégia didática tem um importante caráter pedagógico, ou seja: os alunos sentiram-se bem em atividades em grupo, socializando seus conhecimentos e suas habilidades. Certamente isso contribuirá para que se tornem pessoas mais reflexivas, interativas e autônomas.

Também podemos destacar benefícios de nossa iniciativa para além da sala de aula. Minha postura pedagógica em sala de aula mudou em função dos resultados obtidos, os quais tenho compartilhado em reuniões com outros professores das ciências da natureza e matemática. Alunos de outras séries têm questionado se eles também não terão a oportunidade de realizar as atividades que os colegas da terceira série realizaram. Alguns professores têm solicitado sugestões para mudar suas metodologias em sala de

aula. A diretoria da escola nos consultou sobre a possibilidade de transformar o produto em um projeto para representar a escola na feira de ciência regional.

## Referências

- ALVES-FILHO, J. DE P. *Atividades experimentais: do método à prática construtivista*. 2000. 312 f. UFSC, 2000.
- 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.
- ARAUJO, I. S.; MAZUR, E. Instrução pelos colegas e ensino sob medida: uma proposta para o engajamento dos alunos no processo de ensino-aprendizagem de física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 30, n. 2, p. 362–384, 2013.
- ASSIS, A. K. T. Circuit theory in Weber electrodynamics. *European Journal of Physics*, v. 18, p. 241–246, 1997.
- ASSIS, A. K. T.; HERNANDES, J. A. *The Electric Force of a Current: Weber and the surface charges of resistive conductors carrying steady currents*. Montreal: C. Roy Keys, 2007.
- AUSUBEL, D. P. Cognitive structure and the facilitation of meaningful verbal learning. *Journal of Teacher Education*, v. 14, n. 2, p. 217–222, 1963.
- AXT, R.; MOREIRA, M. A. O ensino experimental e a questão do equipamento de baixo custo. *Revista de Ensino de Física*, v. 13, p. 97–103, 1991.
- 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.
- BENIGNO BARRETO FILHO; CLAUDIO XAVIER DA SILVA. *Física aula por aula: eletromagnetismo, ondulatória, física moderna*. São Paulo: FTD, 2013.
- BISCUOLA, G. J.; BÔAS, N. V.; DOCA, R. H. *Física 3: Eletricidade, Física Moderna, Análise Dimensional*. São Paulo: Editora Saraiva, 2013.
- BLUMENFELD, P. C. *et al.* Motivating project-based learning: sustaining the doing, supporting the learning. *Educational Psychologist*, v. 26, n. 3, p. 369–398, 1991.
- BORGES, A. T.; GILBERT, J. K. *Mental models of electricity*. INT. J. SCI. EDUC. [S.l: s.n.], 1999.
- CARLOS ARIEL SAMUNDIO PÉREZ. O modelo do elétron livre de Drude completa 100 anos. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 17, n. 3, p. 348–359, 2000. Disponível em: <file:///Users/cas/Downloads/6766-20469-1-PB.pdf>. Acesso em: 12 set. 2018.
- DOMINGUEZ, M. E.; MOREIRA, M. A. Deteccion de conceptos intuitivos en



electricidad a través de entrevistas clínicas. *Revista de Enseñanza de la Física*, v. 2, n. 1, p. 7–15, 1988.

DRIVER, R. *et al.* Electricity. *Making sense of secondary science: Research into children's ideas*. London: Routledge, 1994. p. 117–125.

EDWARD M. PURCELL. *Eletricidade e Magnetismo. Curso de Física de Berkeley, Vol.2*. Rio de Janeiro: Edgard Blücher Ltda, 1970.

ENGELHARDT, P. V.; BEICHNER, R. J. Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. *American Journal of Physics*, 2004.

EVANS, J. Teaching electricity with batteries and bulbs. *The Physics Teacher*, v. 16, p. 15–22, 1978.

FELTRIN, D. A. *et al.* Geoplanos: atividades utilizando geoplanos manipuláveis e digitais. 2013, Curitiba: Sociedade Brasileira de Educação Matemática, 2013. p. 1–10.

FERREIRA, G. F. L.; FIGUEIREDO, M. T. DE. A Eletrostática na Corrente Elétrica em Fios. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 25, n. 4, p. 374–377, 2003.

FREDETTE, N.; LOCHHEAD, J. Student conceptions of simple circuits. *The Physics Teacher*, 1980.

GASPAR, A. *ATIVIDADES EXPERIMENTAIS DE DEMONSTRAÇÕES EM SALA DE AULA: UMA ANÁLISE SEGUNDO O REFERENCIAL DA TEORIA DE VYGOTSKY (Experimental activities of classroom demonstrations: an analysis according to Vygotsky theory)*. . [S.l: s.n.], 2005.

GASPAR, A. *Compreendendo a física: eletromagnetismo e física moderna*. São Paulo: Editora Ática, 2010.

HAERTEL, H. Tensão e cargas superficiais – o que Wilhelm Weber já sabia há 150 anos. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 29, n. 3, 20 dez. 2012a. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/27435>>. Acesso em: 9 set. 2018.

HAERTEL, H. The Electric Circuit as a System: A New Approach. *European Journal of Science Education*, v. 4, n. 1, p. 45–55, 1982.

HAERTEL, H. *The so-called simple electric circuit-it is not that simple*. . [S.l: s.n.], 2012b. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/311102570>>.

HAERTEL, H. *The so-called simple electric circuit - it is not that simple*.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. *Física Básica, vol. 3*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1981.

HARTEL, H. Tensão e cargas superficiais - O que Wilhelm Weber já sabia há 150 anos.

*Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 29, n. 3, p. 1015–1029, 2012a.

HARTEL, H. The Electric Circuit as a System: A New Approach. *European Journal of Science Education*, v. 4, n. 1, p. 45–55, 1982.

HARTEL, H. *The so-called simple electric circuit - it is not that simple*.

HEALD, M. A. Electric fields and charges in elementary circuits. *American Journal of Physics*, 1984.

HERNANDES, J. A.; NOGUEIRA, G. T. The electric field and surface charges far and close to the battery for the transmission line. *European Journal of Physics*, 2016.

JACKSON, J. D. Surface charges on circuit wires and resistors play three roles. *American Journal of Physics*, v. 64, n. 7, p. 855–870, 1996.

JOSÉ ROBERTO BONJORNO *et al.* *Física: eletromagnetismo e física moderna*. São Paulo: FTD, 2013.

KOHORI, R. K. *Estratégias experimentais de ensino visando contribuir com o ensino de física de modo significativo: atividades de eletricidade, magnetismo e eletromagnetismo*. 2015. 1-70 f. UNESP, 2015.

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.

LIJNSE, P.; KLAASSEN, K. Didactical structures as an outcome of research on teaching-learning sequences? In: KORTLAND, K.; KLAASSEN, K. (Org.). *Designing Theory-Based Teaching-Learning Sequences for Science Education*. Utrecht: CDBeta Press, 2010. p. 157–174.

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.

MARCUS, A. The Electric Field Associated with a Steady Current in Long Cylindrical Conductor. *Citation: Am. J. Phys.*, v. 9, p. 225, 1941.

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.

MEDEIROS, A.; LINS, S.; DIAS, E. *ESTUDANDO OS MODELOS MENTAIS DE ESTUDANTES COM A UTILIZAÇÃO DE UM QUADRO DE CIRCUITOS*. [S.l.: s.n.],

[S.d.].

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. *Aprendizagem Significativa em Revista*, v. 1, n. 2, p. 43–63, 2011.

NEHRING, C. M. *et al.* As ilhas da racionalidade e o saber significativo: o ensino de ciências através de projetos. *Ensaio*, v. 2, n. 1, p. 88–105, 2000.

NOVAK, J. D. *A Summary of Research in Science Education - 1972*. . Columbus: [s.n.], 1973.

NOVAK, J. D. Concept mapping: A useful tool for science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 1990.

NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física Básica. Eletromagnetismo*. São Paulo: Edgard Blücher, 1997.

OSBORNE, R. Towards Modifying Children's Ideas about Electric Current. *Research in Science & Technological Education*, 1983.

PARKER, S. Electrostatics and Current Flow. *Citation: Am. J. Phys*, v. 38, p. 720, 1970.

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.

PIETROCOLA, M. Inovação curricular em física: Transposição didática e a sobrevivência dos saberes. 2008, Curitiba: [s.n.], 2008. p. 1–20.

POSNER, G. *et al.* Accommodation of scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, v. 66, p. 211–227, 1982.

POSNER, G. J.; GERTZOG, W. The Clinical Interview and the Measurement of Conceptual Change. *Science Education*, v. 66, n. 2, p. 195–209, 1982.

RIBOLDI, B. M. *A construção de uma unidade de uma unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS) para ensinar relatividade utilizando animações e o game A Slower Speed of Light*. 2015. 145 f. Universidade Federal de São Carlos, 2015.

RODRIGUES, B. A.; BORGES, A. T. O ensino de ciências por investigação: Reconstrução histórica. 2008, Curitiba: [s.n.], 2008. p. 1–12.

ROSSER, W. G. V. What Makes an Electric Current “Flow”. *American Journal of Physics*, 1963.

ROWELL, R. M. Children's concepts of natural phenomena: use of a cognitive mapping approach to describe these concepts. 1975, Los Angeles: Association for Research in Science Teaching, 1975. p. 41.

RUSSELL, B. R. Surface Charges on Conductors Carrying Steady Currents. *Citation: Am. J. Phys*, v. 36, p. 527, 1968.

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*, 1992.

SHERWOOD, B. A.; CHABAY, R. W. *A unified treatment of electrostatics and circuits*. . [S.l: s.n.], [S.d.].

SHIPSTONE, D. Pupils' understanding of simple electrical circuits. Some implications for instruction. *Physics education*, v. 23, n. 92–96, 1988.

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.

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.

STOCKLMAYER, S. M.; TREAGUST, D. F. Images of electricity: How do novices and experts model electric current? *International Journal of Science Education*, 1996.

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

WELTI, R. Las cargas superficiales y el flujo de energía en un circuito simple. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 27, n. 4, p. 577–582, 2005.



## **Apêndice A – Teste para Investigar Concepções Alternativas**

# E.E.M. JOÃO BARBOSA LIMA

ESP: Pré-teste

SÉRIE:

ENS.: Médio

DISC.: Físi-

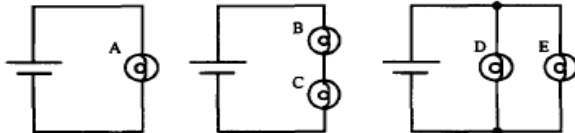
DATA.:

NOME:

Nº

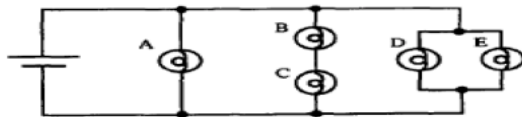
PROF.: *Cristia-*

01 – Observe as situações mostradas nos circuitos da figura abaixo e ordene as lâmpadas de acordo com a luminosidade.



- a)  $A=D=E>B=C$
- b)  $A=D=B=C=E$
- c)  $A>B=C>D=E$

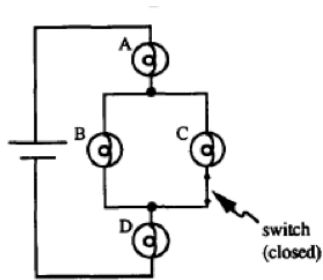
02 – No circuito da figura abaixo ordene as lâmpadas de acordo com a luminosidade se a bateria for ideal.



- a)  $A=D=E>B=C$
- b)  $A=D=B=C=E$
- c)  $A>B=C>D=E$

03 – No circuito abaixo indique o brilho relativo as lâmpadas com a chave fechada.

- a)  $A=B=C=D$
- b)  $A=D>B=C$
- c)  $A>B>C>D$

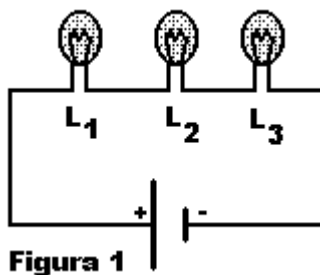


04 – De acordo com o circuito da figura anterior o que acontecerá com o brilho da lâmpada B se a chave for aberta.

- a) B diminui o brilho
- b) B permanece com o mesmo brilho
- c) B aumenta o brilho

05 – No circuito da figura 1 pode-se afirmar que:

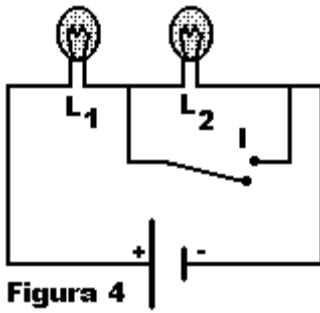
- a)  $L_1$  brilha mais que  $L_2$  e esta mais que  $L_3$
- b)  $L_3$  brilha mais que  $L_2$  e esta mais que  $L_1$
- c) As três lâmpadas tem o mesmo brilho



06 – No circuito da figura 4, I é um interruptor aberto. Ao fechá-lo:

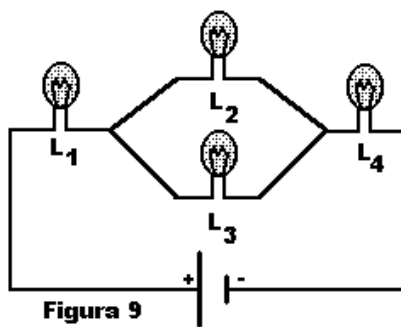
- a) Aumenta o brilho de  $L_1$ .
- b) O brilho de  $L_1$  permanece o mesmo.
- c) Diminui o brilho de  $L_1$ .





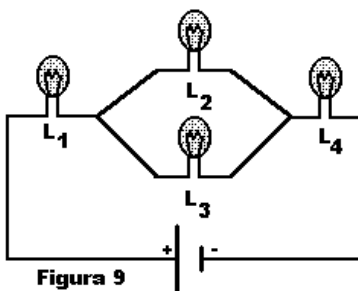
07 – No circuito da figura 9 o brilho de  $L_1$  é:

- a) Igual ao de  $L_4$ .
- b) Maior do que o de  $L_4$ .
- c) Menor do que o de  $L_4$ .

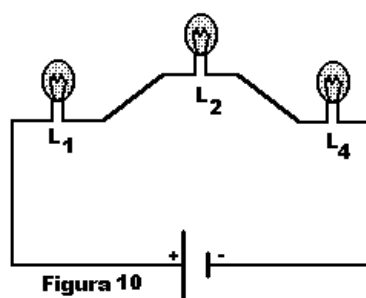


08 – No circuito da figura 9 o brilho de  $L_2$  é:

- a) Igual ao de  $L_4$ .
- b) Maior do que o de  $L_4$ .
- c) Menor do que o de  $L_4$ .



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

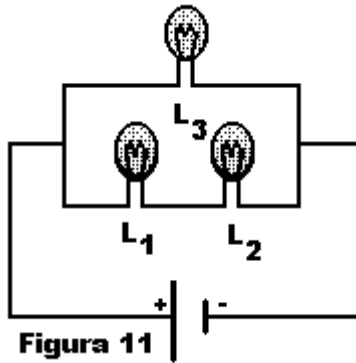


Quando se compara o brilho de  $L_1$  nos circuitos 9 e 10 ele é:

- a) Maior no circuito 10.
- b) Menor no circuito 10.
- c) O mesmo nos dois.

10 – No circuito da figura 11:

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



**Apêndice B – Produto Educacional: Proposta de uma Intervenção Didático-Pedagógica para Abordar Concepções Alternativas sobre Corrente Elétrica em Circuitos Simples, Fazendo Uso de Experimentos de Baixo Custo**

**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física

UNIVERSIDADE FEDERAL  
**UFERSA**  
RURAL DO SEMI-ÁRIDO



## **Proposta de uma Intervenção Didático- Pedagógica para Abordar Concepções Alternati- vas sobre Corrente Elétrica em Circuitos Sim- ples, Fazendo Uso de Experimentos de Baixo Custo**



**Francisco Cristiano Barbosa Lima**  
**Autor**

**Carlos Alberto dos Santos e Geovani Ferreira Barbosa**  
**Orientadores**

2018

## **Apresentação**

Consiste o presente produto educacional em uma proposta de intervenção didático-pedagógica para abordar concepções alternativas sobre corrente elétrica em circuitos simples, fazendo uso de experimentos de baixo custo construídos pelos próprios estudantes. Em sua concepção, o produto engloba elementos do método de ensino baseado em projetos a partir do uso de materiais de baixo custo, da teoria de aprendizagem de David Ausubel, bem como ideias de Vygotsky para o processo de socialização durante a aprendizagem.

O ponto de partida da intervenção é o conhecimento das concepções alternativas apropriadas pelos alunos. A alternativa mais simples e universalmente utilizada é a aplicação de testes especialmente elaborados para esse tipo de averiguação. A alternativa mais complexa e de difícil execução seria fazer a averiguação por meio de entrevistas clínicas com todos os alunos. Propomos em nossa intervenção o uso de um teste e a realização de entrevistas com uma amostragem da população, escolhida de acordo com alguns critérios de desempenho, quer seja na resposta ao teste, ou no rendimento escolar usual.

No que se segue apresentaremos uma revisão da literatura internacional a respeito das concepções alternativas pertinentes ao tema do presente produto educacional e um guia do professor baseado em nossa experiência em sala de aula.

A intervenção didática foi realizada em turmas da 3ª Série da Escola de Ensino Médio João Barbosa Lima, na cidade de Itaiçaba – CE, ao longo de 28 horas-aula, de 50 minutos.

## Sumário

<b>Apresentação .....</b>	<b>77</b>
<b>1 Corrente elétrica em circuitos elétricos simples .....</b>	<b>79</b>
<b>1.1 Introdução .....</b>	<b>79</b>
<b>1.2 Natureza e sentido da corrente elétrica em circuitos simples .....</b>	<b>79</b>
<b>1.3 Modelo microscópico da condutividade elétrica nos metais .....</b>	<b>82</b>
<b>1.4 O papel das cargas superficiais em circuitos simples.....</b>	<b>87</b>
<b>2 Guia do Professor.....</b>	<b>90</b>
<b>2.1 Ambientação Matemática com o Geoplano .....</b>	<b>91</b>
<b>2.2 Atividades em sala de aula.....</b>	<b>91</b>
<b>2.3 Subsunções .....</b>	<b>93</b>
<b>2.4 Diferenciação progressiva .....</b>	<b>94</b>
<b>2.5 Reconciliação integradora .....</b>	<b>94</b>
<b>2.6 Sociabilidade .....</b>	<b>94</b>
<b>Referências .....</b>	<b>96</b>

# 1 Corrente elétrica em circuitos elétricos simples

## 1.1 Introdução

O título sugere tratar-se de algo trivial. Os livros didáticos, do ensino médio ao universitário sugerem isso. No entanto, trata-se de uma questão extremamente complexa. Não é por nada que Haertel assim intitulou um dos seus artigos sobre essa questão: *O chamado circuito elétrico simples - não é tão simples* (HAERTEL, 2012b). Mostraremos na sequência como alguns livros didáticos tratam essa questão, e como ela deve ser tratada de modo a evitar algumas das concepções alternativas recorrentemente relatadas na literatura.

No capítulo 3 da dissertação foram apresentadas as principais concepções alternativas exibidas por alunos de todos os níveis educacionais, da escola secundária à universidade, em qualquer que seja a localização da escola. Como veremos a seguir, há consenso de que parte dessas concepções originam-se nos principais livros didáticos, ou seja na forma como o assunto é tratado em sala de aula.

A literatura didática, do ensino médio ao básico universitário ainda resiste à utilização de modelos microscópicos no ensino de eletricidade e magnetismo, e principalmente apresentam a eletrodinâmica completamente desconectada da eletrostática (FERREIRA; FIGUEIREDO, 2003; JACKSON, 1996; SHERWOOD; CHABAY, [S.d.]; WELTI, 2005). Ainda não está bem difundida a ideia de usar o modelo de Drude para o tratamento da condutividade em metais, de modo um tratamento microscópico, embora clássico, possa ser apresentado. Neste sentido, nos parece perfeitamente possível uma transposição didática do conteúdo disponível no capítulo 4 (Correntes elétricas) do livro de física da Universidade de Berkeley (PURCELL, 1970) para uma linguagem apropriada ao ensino médio, sobretudo no que se refere ao modelo de elétrons livres de Drude, que é adequado para explicar vários fenômenos em circuitos simples. Essa ideia de um tratamento unificado de eletrostática e circuitos é fortemente defendida por Sherwood e Chabay desde o início dos anos 1990, mas ainda não teve a devida receptividade na literatura. Mais adiante voltaremos a essa questão.

## 1.2 Natureza e sentido da corrente elétrica em circuitos simples

Uma das concepções alternativas mais recorrentes e persistentes tem a ver com a noção do que seja a corrente elétrica. Alguns livros didáticos transmitem noções equivocadas

ou noções que podem gerar equívocos, a partir da análise de circuitos simples, como uma bateria ou pilha ligada a um resistor ou uma lâmpada. É provável que parte desses equívocos estejam ligados à precisão conceitual da natureza da corrente elétrica.

Vejamos como esses conceitos são apresentados em três bons livros frequentemente adotados no ensino médio e no clássico Halliday-Resnick adotado em cursos universitários.

Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga afirmam que (MÁXIMO; ALVARENGA, 2006):

(...) o estabelecimento de um campo elétrico em um fio metálico provoca um fluxo de elétrons neste condutor, fluxo este que é denominado corrente elétrica.

Em um condutor metálico, sabemos que a corrente real é constituída por elétrons em movimento. Entretanto, vamos imaginá-la substituída pela corrente convencional, de cargas positivas, movendo no sentido do campo elétrico. (Cap. 20).

No tópico 1, da parte II de sua obra, Gualter José Biscuola e colaboradores (BISCUOLA; BÔAS; DOCA, 2013) definem corrente elétrica como sendo “o movimento ordenado, isto é, com direção e sentido preferenciais, de portadores de carga elétrica.” Ao discutir a causa da corrente elétrica, esses autores afirmam que:

Quando o fio é ligado entre as placas A e B, um campo elétrico é estabelecido no interior do fio, orientado do potencial maior para o menor. Como a carga elétrica dos elétrons é negativa, surgem neles forças elétricas de sentido oposto ao do campo. Dessa forma, os elétrons livres passam a se deslocar de B para A, criando-se, então, a corrente elétrica no fio.

Para introduzir o conceito de gerador elétrico, Biscuola e colaboradores ensinam:

Imagine que, na situação apresentada no item anterior, fosse possível acontecer o seguinte: todo elétron que chegasse à placa A fosse transportado por alguém até a placa B (...) Dessa forma, os potenciais elétricos nunca se igualariam e a corrente elétrica no fio seria mantida.

Os dois livros citados acima, expõem a analogia comumente utilizada entre corrente elétrica e fluido de água. Essa analogia é uma das fontes de concepções alternativas relatadas na literatura (STOCKLMAYER; TREAGUST, 1996), e no cap. 5 de sua obra, Alberto Gaspar (GASPAR, 2010) teve o cuidado de chamar a atenção para a inadequação dessa analogia, afirmando que:

A analogia entre corrente elétrica e água corrente tem pelo menos três grandes inadequações. A primeira se refere a aquilo que se movimenta (...). A segunda inadequação se refere à velocidade



do deslocamento (...). A terceira inadequação se refere à forma de propagação da corrente elétrica (...).

Todavia, apesar de fazer essas ressalvas mais do que procedentes, Alberto Gaspar faz uma concessão perigosa, ao afirmar que “a analogia da corrente elétrica com a água corrente só faz algum sentido em relação à corrente contínua, na qual os portadores de carga movem-se num único sentido”. Mas, a nosso ver a analogia não faz qualquer sentido. É um equívoco dizer que “faz algum sentido”. O próprio autor (GASPAR, 2010) reproduz uma descrição contraditória muito frequente em textos didáticos:

Se houver um campo elétrico uniforme no interior [de um] condutor, [os] elétrons, apesar de continuar a se mover em todos os sentidos, passam a ter um movimento médio resultante em um sentido determinado – o condutor é percorrido por uma corrente elétrica contínua. Se o campo elétrico no interior for oscilante, os elétrons têm também um movimento médio resultante, no entanto não mais em um único sentido, eles oscilam em torno de posições fixas – o condutor é percorrido por uma corrente elétrica alternada.

Desse tipo de afirmação surge a ideia equivocada de que na corrente contínua os portadores de carga se deslocam de um polo a outro da bateria. O tratamento que se dá à ideia da velocidade de arrastamento ou de deriva não tem sido suficiente para evitar a concepção equivocada. De um modo ou de outro, resta a ideia de que é o “movimento ordenado” dos elétrons que produz a corrente, e que esse “movimento ordenado” faz com que elétrons em uma corrente contínua se “desloquem” em um sentido, quem sabe percorrendo uma grande distância, e que elétrons em uma corrente alternada fiquem oscilando em torno de uma posição de equilíbrio. Obviamente isso é contraditório. Por que na corrente contínua o elétron precisa se deslocar e na alternada basta que ele fique no vai-e-vem em um torno de uma posição fixa?

Alguns estudos têm demonstrado que a forma como o assunto é tratado em alguns livros didáticos do ensino médio estão associadas a muitas das concepções alternativas identificadas nos diversos testes relatados na literatura (HAERTEL, H., 1982, 2012). A sensação que se tem é que ainda não se achou uma linguagem, uma metáfora ou analogia adequadas para realizar a transposição didática do que se entende cientificamente por corrente elétrica. A questão básica que está por trás deste cenário pedagógico talvez possa ser expressa pelo título de um artigo de 1963: o que faz a corrente elétrica fluir? (ROSSER, 1963). Nesse artigo, Rosser discute qualitativamente a importância das cargas superficiais como guia da corrente elétrica.

Antes de discutirmos essa questão crucial, cabe ressaltar que essa associação da corrente elétrica às cargas superficiais não é adotada pelos principais autores de livros didáticos, nem mesmo nos cursos universitários. Halliday-Resnick (cap. 28) apresenta o modelo de corrente elétrica como movimento ordenado dos elétrons sem entretanto referir que o campo elétrico existente internamente aos condutores é dependente de cargas na superfície dos mesmos (HALLIDAY; RESNICK, 1981):

Campos elétricos atuam no interior [do condutor], exercendo forças sobre os elétrons de condução e estabelecendo uma corrente. Depois de um curto espaço de tempo, o fluxo de elétrons alcança uma condição estável. A situação é, então, análoga à do fluxo fluido constante (...).

A adição de uma bateria impõe uma diferença de potencial. Um campo elétrico surge dentro do condutor e produz cargas que se movimentam ao redor da malha, constituindo uma corrente.

É inevitável associar o texto acima à ideia equivocada de que na corrente contínua o elétron sai de um polo e chega ao outro.

Existem duas formas de abordar a corrente elétrica, ou mais especificamente, a condutividade elétrica nos metais. Uma é a partir do modelo de Drude, ou modelo de elétrons livres, a outra é a partir do papel das cargas superficiais em circuitos simples.

### **1.3 Modelo microscópico da condutividade elétrica nos metais**

Ao nível do ensino médio e básico da universidade, quando se fala em modelo microscópico da condutividade elétrica nos metais, estamos nos referindo ao modelo de Drude, ou modelo de elétrons livres. Dos livros de ensino médio mais utilizados no Brasil (BARRETO FILHO; SILVA, 2013; BISCUOLA; BÔAS; DOCA, 2013; GASPAR, 2010; BONJORNO *et al.*, 2013; MÁXIMO; ALVARENGA, 2006), apenas Bonjorno e Gaspar fazem uma breve referência ao modelo de elétrons livres, sem no entanto mencionar a autoria de Drude. Dos livros de física básica para cursos universitários (PURCELL, 1970; HALLIDAY; RESNICK, 1981; NUSSENZVEIG, 1997), os que apresentam abordagens mais apropriadas para se efetuar uma transposição didática são (PURCELL, 1970; HALLIDAY; RESNICK, 1981). Além disso, há um artigo muito interessante em comemoração ao centenário do modelo de Drude, publicado no Caderno Catarinense de Ensino de Física (PÉREZ, 2000). Portanto, o que se segue nesta seção será baseado nessas três referências.

Drude propôs seu modelo em 1900 para descrever microscopicamente a condução elétrica e térmica em metais. O modelo, baseado em um gás de elétrons livres, os quais se movem através de uma rede cristalina de íons positivos fixos, prediz muito bem a lei de Ohm. Durante o movimento, os elétrons chocam-se entre si, através de colisões elásticas. Pelo fato de ser muito simples, o modelo falha na interpretação de outros fenômenos, que não serão tratados aqui.

De acordo com Pérez (2000), as considerações básicas nas quais fundamenta-se o modelo de Drude são as seguintes:

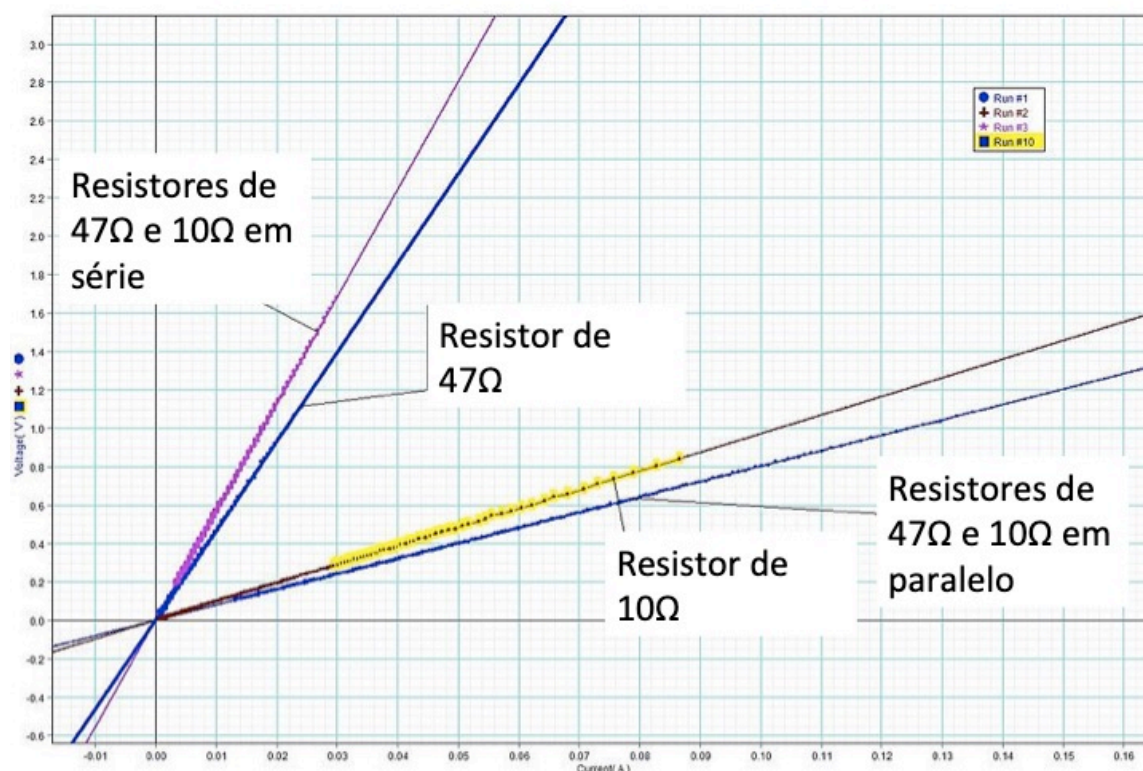
5. Entre uma colisão e outra, as forças de interação elétron-elétron e elétron-íon são desprezíveis: todos os cálculos desenvolvem-se como se os elétrons de condução pudessem se mover livremente para qualquer parte no interior do metal. A energia total é cinética; a energia potencial é desprezada. A omissão da interação elétron-elétron entre as colisões é denominada aproximação do elétron independente. A correspondente omissão da interação elétron-íon é conhecida como aproximação do elétron livre. Atualmente é possível afirmar que a aproximação do elétron independente é, em muitos contextos, surpreendentemente boa. Enquanto que a aproximação do elétron livre apresenta-se inadequada até para poder obter uma compreensão qualitativa de muitas propriedades metálicas.
6. As colisões das partículas do gás são consideradas eventos instantâneos que abruptamente alteram a velocidade dos elétrons. Mas, ao contrário do gás ideal na teoria cinética, omitem-se as colisões entre as partículas do gás: somente são consideradas as colisões dos elétrons com os íons da rede cristalina. Na verdade, a imagem clássica dos elétrons ricocheteando de um íon para outro está longe da realidade. Afortunadamente, para uma compreensão qualitativa, e muitas vezes quantitativa, do fenômeno da condução metálica só se faz necessário levar em consideração que existe um mecanismo de espalhamento das partículas.
7. O elétron colide aleatoriamente contra um íon em um dado instante, tendo em média viajado livremente durante um tempo, desde sua última colisão, e viaja em média livremente durante um tempo, até sua próxima colisão. O tempo, denominado tempo de relaxação, tempo livre médio entre colisões, ou ainda, tempo médio de espalhamento. é considerado independente da posição e da velocidade do elétron.
8. O equilíbrio térmico do sistema é mantido através das colisões de elétrons com a rede de íons: este é o único mecanismo possível quando admitidas as aproximações do elétron independente e do elétron livre. O equilíbrio é mantido da seguinte forma: imediatamente após cada colisão, o elétron movimenta-se em direção aleatória com uma velocidade que não tem relação nenhuma com a velocidade antes do choque, mas o módulo é apropriado à temperatura do lugar onde ocorreu a colisão. Quanto mais alta for a temperatura do lugar onde se dá a colisão, mais rapidamente se movimentará o elétron após o choque.

Bem antes desse modelo microscópico, exatamente em 1827, Georg Simon Ohm publicou seu famoso livro "*Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet*", no qual apareceu aquilo que se denomina *lei de Ohm*<sup>6</sup>. Quase todos os autores (PÉREZ, 2000; PURCELL, 1970; GASPAR, 2005; NUSSENZVEIG, 1997), apresentam a lei de Ohm pela expressão

$$V = Ri. \quad (1)$$

Na verdade, esta equação representa simplesmente a definição de resistência. O que a lei de Ohm diz é que para alguns materiais, ditos materiais ôhmicos, a razão  $V/i$  é constante (HALLIDAY; RESNICK, 1981). Uma bela ilustração da equação (1) é apresentada na Figura 1.

Figura 1 – Experimentos com a lei de Ohm, com dois resistores ( $47\Omega$  e  $10\Omega$ ). O eixo Y representa a voltagem, e o X a corrente. O coeficiente angular fornece o valor da resistência. A reta superior foi obtida com os dois resistores em série. Na segunda reta os dados referem-se ao resistor de  $47\Omega$ , e na terceira referem-se ao resistor de  $10\Omega$ . A reta de baixo foi obtida com os dois resistores em paralelo. Adaptada de <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ohm%27s\\_law\\_experiment\\_with\\_two\\_resistors.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ohm%27s_law_experiment_with_two_resistors.jpg)>. Acesso em 9/9/2018.



<sup>6</sup> [https://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/mod06/m\\_s04.html](https://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/mod06/m_s04.html). Acesso em 10/4/2018.

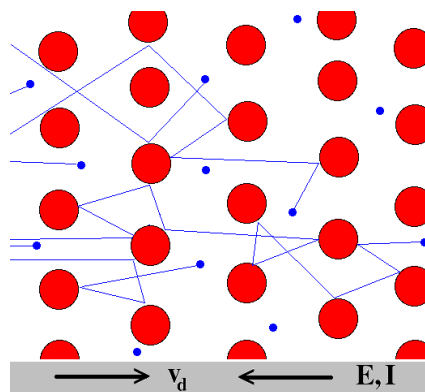
Antes de mostrarmos como o modelo de Drude nos leva à lei de Ohm, vamos detalhar um pouco mais essa lei. A equação (1) diz que a diferença de potencial ( $V$ ) entre dois pontos de um condutor é igual ao produto da resistência entre esses dois pontos pela corrente que atravessa esse segmento do resistor. A resistência é um parâmetro que só depende da geometria do resistor e de suas características elétricas representadas pela sua resistividade. Ou seja,

$$R = \rho \frac{L}{A}, \quad (2)$$

onde  $\rho$  é a resistividade do material,  $L$  é comprimento do resistor e  $A$  é a área da sua seção reta.

Todas as grandezas envolvidas nas equações (1) e (2) são macroscópicas. Diz-se que essas equações são as equações dos engenheiros eletricitas (PURCELL, 1970). Ao físico interessa compreender os mecanismos microscópicos que originam essas equações macroscópicas. Foi o que fez Drude com o seu modelo, cuja representação esquemática é apresentada na Figura 2.

Figura 2 – Representação esquemática do modelo de Drude. Disponível em <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electrona\\_in\\_crystallo\\_fluentia.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electrona_in_crystallo_fluentia.png)>. Acesso em 9/9/2018.



As equações (1) e (2) podem ser manipuladas de modo que propriedades macroscópicas sejam substituídas por propriedades microscópicas. Inicialmente, substituímos a resistividade,  $\rho$ , pelo seu inverso, a condutividade,  $\sigma$ . Com essa substituição, a equação (2) transforma-se em

$$\sigma = \frac{1}{R} \frac{L}{A}. \quad (3)$$

Tirando o  $R$  de (1) e substituindo em (3), obtém-se

$$\sigma = \frac{i}{A} \frac{L}{V}. \quad (4)$$

Na equação (4),  $i/A$  é a densidade de corrente,  $J$ , e  $V/L$  é o campo elétrico dentro do condutor. Portanto, a equação (4) pode ser escrita da seguinte forma:

$$J = \sigma E. \quad (5)$$

A equação (5) é a lei de Ohm em sua forma microscópica. Neste caso ela não depende nem das dimensões, nem do formato do condutor. Depende apenas das propriedades do material, representadas pela condutividade.

Vejam agora como o modelo de Drude nos leva à equação (5). Como vimos acima, no modelo de Drude, os elétrons livres dos metais devem se movimentar aleatoriamente, com velocidade média igual a zero (um movimento em zig-zag), formando uma espécie de gás ideal. Quando um campo elétrico,  $\vec{E}$ , é aplicado no interior do condutor, o primeiro efeito é levar os elétrons a um movimento ordenado, por conta da força  $\vec{F} = -e\vec{E}$ . Mas, esse movimento ordenado dura pouco tempo, porque os elétrons são espalhados pelos íons positivos<sup>7</sup>.

Qualitativamente, o que acontece é o seguinte: sob a ação do campo elétrico os elétrons começam a se mover, mas logo são espalhados e mudam de direção. Na sequência são novamente conduzidos pelo campo elétrico, na direção anterior, ou seja na direção contrário à do campo elétrico. Depois de um longo tempo, o que se observa é que aquele gás de elétrons apresenta uma velocidade média, conhecida como velocidade de deriva. Vejam isso quantitativamente.

Vamos supor que no interior do condutor existam  $n$  elétrons livres por unidade de volume, deslocando-se com a velocidade  $v_d$ , após a ação do campo elétrico. Ao longo de um tempo  $dt$ , o elétron percorrerá uma distância  $v_d dt$ , na direção contrária ao campo. Nesse intervalo de tempo,  $nv_d A dt$  elétrons atravessarão a área,  $A$ , transversal à direção do deslocamento. Ou seja,  $-nev_d A dt$  é a carga que atravessa a área, ou a seção reta do condutor. Portanto,  $-nev_d A$  será a corrente que circula no condutor. Assim, a densidade de corrente  $J=i/A$  é dada pela equação

$$J = nev_d. \quad (6)$$

Pela segunda lei de Newton,  $\vec{F} = -e\vec{E} = m_e \vec{a} \rightarrow a = \frac{eE}{m_e}$ . Supondo que  $\tau$  seja o tempo entre colisões subsequentes, tem-se que

$$v_d = eE\tau/m_e. \quad (7)$$

---

<sup>7</sup> Essa questão do espalhamento pelos íons foi um dos equívocos no modelo de Drude, que foi corrigido por outros estudiosos. Não discutiremos essa questão aqui. Vamos considerar aqui o modelo puro de Drude

Combinando as equações (6) e (7),

$$J = \left( \frac{ne^2\tau}{m_e} \right) E. \quad (8)$$

Comparando as equações (5) e (8), obtém-se a condutividade em termos de parâmetros microscópicos:

$$\sigma = \frac{ne^2\tau}{m_e}. \quad (9)$$

Portanto, o modelo de Drude satisfaz a lei de Ohm.

A abordagem da corrente elétrica a partir de transposições didáticas desse modelo microscópico, inevitavelmente leva à questão: onde estão as cargas que produzem o campo elétrico? Geralmente, essa abordagem leva à analogia entre corrente elétrica e fluxo de água, que originam concepções alternativas danosas para a aprendizagem. Uma alternativa científica mais aceitável é tratar a questão a partir do conceito de potencial, mas esse conceito é muito abstrato e também dificulta a aprendizagem. Além do mais, sabemos que, excetuando campos magnéticos variáveis, cargas são as únicas fontes de campo elétrico. A abordagem apresentada a seguir é uma alternativa para tratar essa questão, embora ainda não esteja consolidada na literatura didática.

## 1.4 O papel das cargas superficiais em circuitos simples

No levantamento que fizemos na literatura, recuperamos 11 artigos sobre essa questão (FERREIRA; FIGUEIREDO, 2003; HAERTEL, 2012a; HEALD, 1984; HERNANDES; NOGUEIRA, 2016; JACKSON, 1996; MARCUS, 1941; PARKER, 1970; ROSSER, 1963; RUSSELL, 1968; SHERWOOD; CHABAY, [S.d.]; WELTI, 2005). Vamos discutir essa questão usando um princípio ausubeliano, ou seja, inicialmente vamos resumir o que tratam esses artigos, no contexto do presente trabalho e depois vamos apresentar a formalização do problema.

Não importa aqui saber precisamente como funciona uma fonte de força eletromotriz, até porque existem diferentes tipos, com diferentes mecanismos para produzir o mesmo efeito, qual seja a acumulação de cargas positivas em um dos seus polos, e de negativas no outro, e a capacidade de repor essas cargas por meio de forças não eletrostáticas. O fato primordial no presente contexto, é que ao ser ligada a fonte, essas cargas geram campos elétricos, os quais afetam as cargas nas proximidades, com efeito inversamente proporcional ao quadrado da distância, conforme as leis de Coulomb e de Gauss. O que acontece nos momentos imediatos em todo o circuito e no espaço externo

é formalmente muito complexo, mas podemos definir um cenário qualitativamente compreensível.

Depois de um curto intervalo de tempo inicial, denominado transiente, os elétrons livres migram para as superfícies dos condutores metálicos, formando uma estrutura de cargas superficiais, as quais geram campos eletrostáticos responsáveis pela circulação de corrente no interior dos condutores. Ou seja, o fluxo de corrente é determinado pela ação da fonte de força eletromotriz (bateria, pilha ou gerador) e pelos campos eletrostáticos criados pelas cargas superficiais negativas ou positivas. Os sinais de campo elétrico que conduzem a corrente são transmitidos a velocidades próximas à da luz (no espaço vazio esses sinais são transmitidos exatamente à velocidade da luz). Isso faz com que na prática possamos imaginar a transmissão instantânea do sinal elétrico.

Em suma, não é o elétron que sai do polo negativo e eventualmente chega ao polo positivo o responsável pela corrente elétrica. A corrente elétrica é consequência de campos elétricos criados pelas cargas superficiais e pela transmissão quase instantânea das variações de campos elétricos no interior do condutor<sup>8</sup>.

A maioria dos artigos supra referidos, tratam essa questão qualitativamente, como fizemos nos dois parágrafos anteriores. Da literatura à nossa disposição, a primeira abordagem quantitativa foi apresentada por John David Jackson (1996), autor de um livro de eletromagnetismo avançado geralmente usado na pós-graduação em física. Em seu artigo publicado na RBEF, Ferreira e Figueiredo (2003) usam modelos apresentados por Arnold Sommerfeld, em seu livro de 1952, *Electrodynamics* e por M. Jouguet no livro *Le Champ Électromagnétique*, publicado em 1948. Isso dá ideia da raridade com que o assunto é tratado na literatura.

Para abordar a questão formalmente, utilizando técnicas matemáticas e computacionais típicas de problemas de contorno, Jackson foi obrigado a usar uma geometria tipo cabo coaxial, não usual na descrição dos circuitos simples. O detalhamento do formalismo usado não cabe aqui, mas suas interpretações podem ser utilizadas para uma apropriada transposição didática, quer seja no nível do ensino médio, ou mesmo no universitário.

Os resultados obtidos por Jackson aplicam-se aos circuitos usuais, estabelecendo o cenário por ele descrito (1996):

---

<sup>8</sup> Um bom material em português sobre as cargas superficiais e a corrente elétrica encontra-se em Cargas Superficiais – O Elo Perdido dos Circuitos (<http://www.energiaeletrica.net/cargas-superficiais/> - acessado em 2/4/2018).



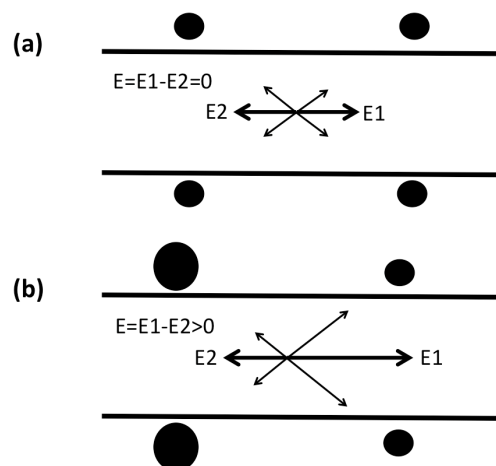
Para simplificar, considere um circuito que consiste em um resistor conectado por fios a uma bateria. Suponha que a resistência do resistor seja grande em comparação com a resistência interna da bateria e a dos fios. O circuito é aberto e fechado, removendo e inserindo o resistor, com os fios e a bateria permanecendo inalterados. Quando o circuito está aberto, cargas são distribuídas ao longo das superfícies dos fios de uma maneira que o potencial de cada fio é constante e o mesmo que no terminal correspondente da bateria. No final de cada fio, onde o resistor estaria, há uma maior acumulação de carga, com sinais opostos, para criar o campo elétrico através da lacuna deixada pelo resistor. Quando o circuito é fechado pela inserção do resistor, a corrente flui e há mudanças nas cargas superficiais e no potencial de várias partes do circuito. O potencial em qualquer ponto ao redor do circuito é determinado pela conservação de corrente e pela lei de Ohm dentro dos fios e do resistor, independentemente da configuração geométrica do circuito. Mas, como a resistência do resto do circuito é pequena comparada com a do resistor, praticamente toda queda de potencial ocorre através do resistor. (Tradução nossa).

Essa descrição pode ser utilizada quando o conceito de capacitor e capacitância forem introduzidos, uma vez que a retirada do resistor, deixando a lacuna, ou seja o circuito aberto, é similar à presença de um capacitor. Aliás, em sua abordagem do mesmo problema, Sherwood e Chabay usam um capacitor carregado no lugar de uma bateria.

Vamos construir modelos simplificados a partir das soluções numéricas apresentadas no artigo de Jackson.

Para a criação do campo elétrico e a conseqüente existência de corrente, é necessário que haja um gradiente de cargas superficiais ao longo do circuito. Ou seja, que a distribuição de cargas não seja uniforme ao longo do circuito. Um modelo simples para ilustrar este resultado é apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Modelo ilustrativo para discutir a necessidade de gradiente na distribuição de cargas superficiais em circuitos elétricos.



A figura é apenas ilustrativa. Não está em escala, e vale para cargas positivas e negativas, bastando compatibilizar os sentidos dos vetores para cada caso. No caso da figura, as cargas são positivas. O condutor é considerado infinito, razão pela qual a simetria permite considerar apenas essas quatro cargas do circuito. Como se vê, se a distribuição é uniforme, Figura 3(a), o campo será nulo no interior do condutor. Um campo resultante surge apenas quando há um gradiente de cargas, como ilustra a Figura 3(b).

Ferreira e Figueiredo (2003) chamam a atenção para o fato de que Ohm estabeleceu sua lei para justificar o aparecimento de um campo elétrico através de um gradiente de carga volumétrica, mas foi Kirchhoff quem mostrou, por volta de 1850, que uma corrente uniforme necessitava apenas de um gradiente de carga superficial.

## **2 Guia do Professor**

A presente proposta de intervenção didático-pedagógica pode ser usada com qualquer referencial teórico, ou mesmo do modo usualmente adotado pelo professor. No nosso caso ela foi usada com o objetivo de abordar concepções alternativas recorrentemente relatadas na literatura. Foi por isso que apresentamos uma breve revisão da literatura na introdução. Do mesmo modo, também fizemos na introdução, breves referências às abordagens pedagógicas de Ausubel (AUSUBEL, 1960; MOREIRA, 1979) e Vygotsky (JÓFILI, 2002; VYGOTSKY, 1991).

A seguir apresentaremos como a intervenção pode ser aplicada seguindo princípios ausubelianos e vygotskianos. Mais detalhes sobre essas questões didático-pedagógicas encontram-se na dissertação do autor (LIMA, 2018). Todavia, cabe aqui destacar os seguintes aspectos:

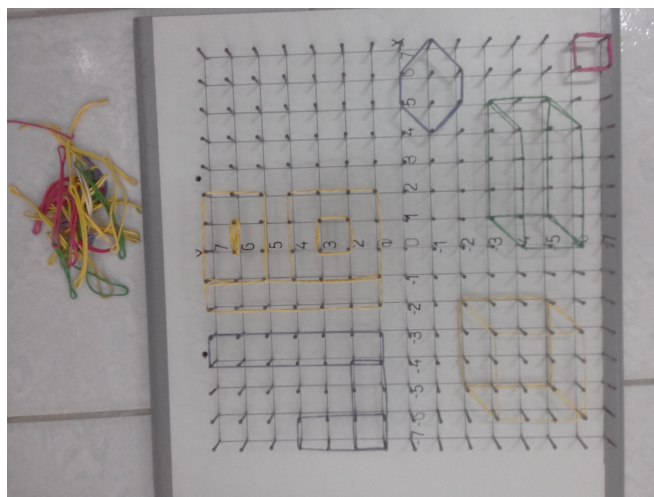
1. As concepções alternativas apropriadas pelos alunos foram investigadas por meio de um teste elaborado a partir de propostas disponíveis na literatura (MCDERMOTT; SHAFFER, 1992; SILVEIRA; MOREIRA; AXT, 1989). Denominamos esse teste SMAMcD;
2. Entrevistas clínicas foram realizadas conforme modelo sugerido por Posner e Gertzog (POSNER; GERTZOG, 1982);
3. Aulas convencionais foram ministradas no primeiro semestre com o intuito de fornecer subsunçores relevantes, conforme a teoria de aprendizagem de Ausubel (AUSUBEL, 1960; MOREIRA, 1979).

## 2.1 Ambientação Matemática com o Geoplano

Como é do conhecimento de todos que atuam no ensino médio, é grande a deficiência dos alunos em relação às ferramentas matemáticas indispensáveis para o bom aproveitamento das atividades de ensino e aprendizagem de física. Uma grande parte dos alunos têm dificuldades até mesmo no tratamento das quatro operações aritméticas. Em função dessa realidade, decidimos iniciar nossa intervenção didática com o que chamamos de ambientação matemática, a qual consiste no uso do geoplano para abordar vários conceitos matemáticos. Esse dispositivo, criado pelo matemático inglês Caleb Gattegno (FELTRIN *et al.*, 2013), consiste em uma tábua com pregos, e pode ser manipulado com elásticos.

Assim como no caso dos circuitos, discutido mais adiante, os alunos participaram da construção do geoplano que seria usado por cada grupo. Uma vez construídos todos os 16 geoplanos, iniciamos as atividades de ambientação matemática por meio de tarefas simples (adição, subtração, multiplicação e divisão) com o uso exclusivo do geoplano (Figura 4). Na sequência trabalharam com questões de funções, gráficos, calcular áreas e perímetros de figuras.

Figura 4 –Geoplano construído por um grupo de alunos.



## 2.2 Atividades em sala de aula

Os alunos foram divididos em grupos de cinco alunos para construírem os dez circuitos das questões do teste SMAMcD. A turma do matutino respondeu o teste antes do início das montagens, a título de pré-teste. Os alunos do vespertino e do noturno responderam o teste manipulando os circuitos. Durante a montagem, os alunos manipulavam os cir-

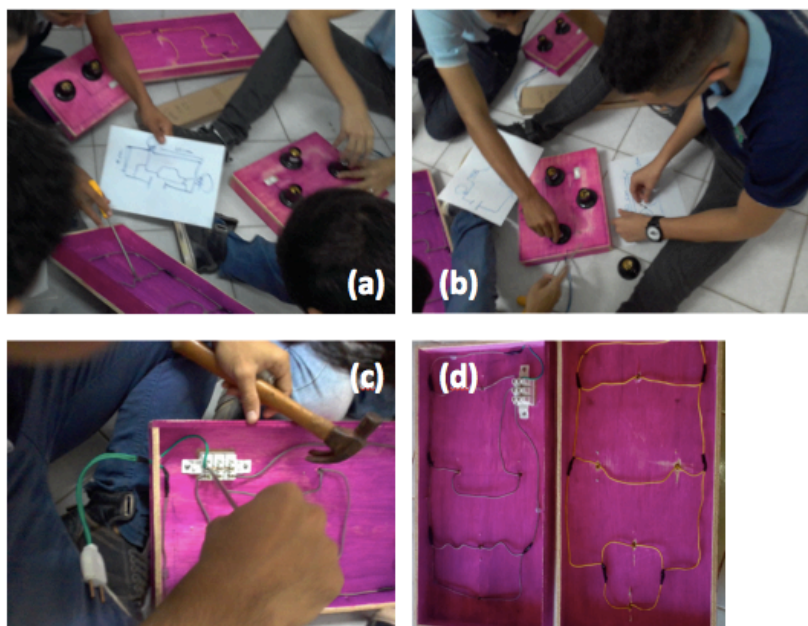
cuitos para responder as questões do teste, ao mesmo tempo em que retomávamos a discussão de conceitos vistos no primeiro semestre e pertinentes às questões do teste SMAMcD.

Ao lado dessa abordagem teórica dos conceitos, realizamos atividades para o manuseio de multímetros e fontes de tensão e de como ligar fios, interruptores, etc. Uma observação interessante, é que alguns alunos que demonstravam dificuldades nas aulas convencionais, apresentavam-se com desenvoltura nas montagens dos circuitos e melhoraram sua articulação verbal em relação aos conceitos.

Cada aluno teve a oportunidade de manipular os dez circuitos montados, e demonstravam prazer em comentar o que estava acontecendo nos circuitos ligados. Era evidente também a satisfação pelo fato de terem eles construído todos aqueles dispositivos.

As Figuras 5a a 5d ilustram fases da montagem.

Figura 5: (a) e (b) Montagem dos circuitos; (c) e (d) Vistas das conexões.



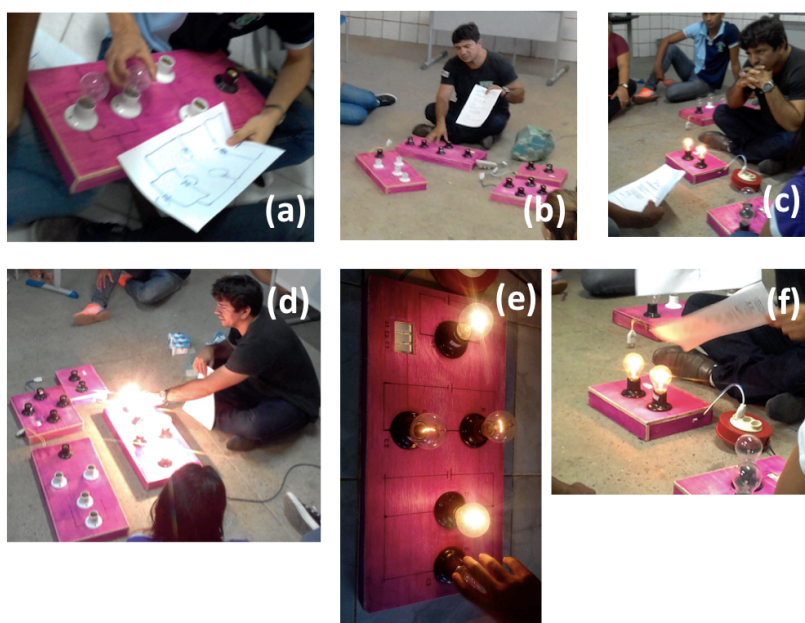
Quando todos os grupos concluíram suas tarefas, organizamos um concurso para escolher os 10 melhores circuitos, tendo como único critério a estética, uma vez que todos os circuitos funcionavam corretamente. Com esses circuitos selecionados, tivemos uma aula para socialização de tudo que foi trabalhado com o produto. Nessa aula foi dada a oportunidade para cada discente se expressar em relação a esse tipo de interven-

ção didático-pedagógica. Todos os alunos apreciaram essa forma de ensino-aprendizagem. A maioria jamais tinha manipulado um circuito elétrico, e ninguém tinha construído algo similar.

Depois dessa fase, 12 alunos foram selecionados para uma entrevista clínica, conforme critérios que serão apresentados mais adiante.

As Figuras 6a a 6f, ilustram momentos de manipulação dos circuitos para discutir as questões do teste SMAMcD.

Figura 6: (a) Aluno testando o circuito; (b) e (d) Professor discute uma das questões com os alunos;; (c) e (f) Manipulando o circuito para responder a questão 6; (e) Manipulando o circuito para responder a questão 1.



## 2.3 Subsunoçores

Um elemento importante na teoria de Ausubel são os subsunoçores. Para Ausubel, aprendizagem significativa se dá por um mecanismo de ancoragem do material a ser aprendido a uma estrutura de subsunoçores, que representa a estrutura cognitiva anterior à aprendizagem (AUSUBEL, 1963; MOREIRA, 1979). Utilizamos o primeiro semestre para o provimento dos subsunoçores relevantes ao tema central da intervenção didática, ou seja corrente elétrica em circuitos simples. Isso foi feito por meio de abordagem didática habitual a partir do livro-texto adotado na escola (BISCUOLA; BÔAS; DOCA, 2013). Durante o semestre foram tratados os seguintes assuntos:

Noção de carga elétrica; Corpo eletricamente neutro e corpo eletrizado; Quantização da carga

elétrica; Princípios da eletrostática; Eletrização; Lei de Coulomb (Força elétrica de atração e repulsão); Conceito e descrição de campo elétrico; Campo elétrico de uma e de várias cargas puntiformes; Linhas de força; Campo elétrico de um condutor esférico; Campo elétrico uniforme; Trabalho e Potencial elétrico; Conceitos fundamentais; Condutor em equilíbrio; Capacitância; Capacidade de um condutor esférico; Energia potencial eletrostática de um condutor; Associação de capacitores; Causa, intensidade e sentido da corrente elétrica; Leis de Ohm; Potência elétrica; Energia elétrica; Associações de resistores (série, paralelo e mista); Reostatos; Curto-circuito; Medidas elétricas.

Se o professor não tiver tempo de seguir a sequência aqui proposta, é necessário que ele trate, na forma de organizadores avançados (AUSUBEL, 1960) os seguintes conceitos, antes de iniciar o uso desse produto educacional: campo elétrico, potencial elétrico, força elétrica, carga elétrica.

## **2.4 Diferenciação progressiva**

À medida que os alunos vão construindo e manipulando seus circuitos para responder as questões do teste SMAMcD, o professor retoma conceitos discutidos no primeiro semestre e os coloca no contexto do experimento. Esse é o processo que Ausubel denominou *Diferenciação Progressiva* (AUSUBEL, 1963; MOREIRA, 1979).

## **2.5 Reconciliação integradora**

Ao final das atividades experimentais, o professor coordena um processo que Ausubel denominou *Reconciliação Integradora* (MOREIRA, 1979). Essa etapa, conduzida em aproximadamente três aulas, tem por finalidade rever as situações-problemas apresentadas e discutidas nas primeiras aulas.

A análise do professor será discutida com a turma, em uma aula tipicamente dialógica, como preconiza Paulo Freire (FREIRE, 1970).

## **2.6 Sociabilidade**

As atividades em grupo, em função de sua capacidade de articulação e de sua prática, podem ser identificados como elementos vygotskianos, como bem destaca Jófili (2002):

Desenvolvendo sua teoria, Vygotsky demonstra a efetividade da interação social no

desenvolvimento de altas funções mentais tais como: memória voluntária, atenção seletiva e pensamento lógico. Sugere, também, que a escola atue na estimulação da zona de desenvolvimento proximal, pondo em movimento processos de desenvolvimento interno que seriam desencadeados pela interação da criança com outras pessoas de seu meio. Uma vez internalizados, esses atos se incorporariam ao processo de desenvolvimento da criança.

Conforme Moreira e Massoni(2015), para Vygotsky:

os processos ou funções mentais superiores (pensamento, linguagem, comportamento volitivo) têm origem em processos ou funções sociais; o desenvolvimento cognitivo é a conversão de relações sociais em funções mentais; é por meio da socialização que se dá o desenvolvimento dos processos mentais superiores.

## Referências

- ASSIS, A. K. T. Circuit theory in Weber electrodynamics. *European Journal of Physics*, v. 18, p. 241–246, 1997.
- 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*, 1960.
- BENIGNO BARRETO FILHO; CLAUDIO XAVIER DA SILVA. *Física aula por aula: eletromagnetismo, ondulatória, física moderna*. São Paulo: FTD, 2013.
- BISCUOLA, G. J.; BÔAS, N. V.; DOCA, R. H. *Física 3: Eletricidade, Física Moderna, Análise Dimensional*. São Paulo: Editora Saraiva, 2013.
- CARLOS ARIEL SAMUNDIO PÉREZ. O modelo do elétron livre de Drude completa 100 anos. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 17, n. 3, p. 348–359, 2000. Disponível em: <file:///Users/cas/Downloads/6766-20469-1-PB.pdf>. Acesso em: 12 set. 2018.
- EDWARD M. PURCELL. *Eletricidade e Magnetismo. Curso de Física de Berkeley, Vol.2*. Rio de Janeiro: Edgard Blücher Ltda, 1970.
- FELTRIN, D. A. *et al.* Geoplanos: atividades utilizando geoplanos manipuláveis e digitais. 2013, Curitiba: Sociedade Brasileira de Educação Matemática, 2013. p. 1–10.
- FERREIRA, G. F. L.; FIGUEIREDO, M. T. DE. A Eletrostática na Corrente Elétrica em Fios. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 25, n. 4, p. 374–377, 2003.
- FREIRE, P. *Pedagogia do Oprimido*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1970.
- GASPAR, A. *ATIVIDADES EXPERIMENTAIS DE DEMONSTRAÇÕES EM SALA DE AULA: UMA ANÁLISE SEGUNDO O REFERENCIAL DA TEORIA DE VYGOTSKY (Experimental activities of classroom demonstrations: an analysis according to Vygotsky theory)*. [S.l: s.n.], 2005.
- GASPAR, A. *Compreendendo a física: eletromagnetismo e física moderna*. São Paulo: Editora Ática, 2010.
- HAERTEL, H. Tensão e cargas superficiais – o que Wilhelm Weber já sabia há 150 anos. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 29, n. 3, 20 dez. 2012a. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/27435>>. Acesso em: 9 set. 2018.
- HAERTEL, H. The Electric Circuit as a System: A New Approach. *European Journal*



*of Science Education*, v. 4, n. 1, p. 45–55, 1982.

HAERTEL, H. *The so-called simple electric circuit-it is not that simple*. . [S.l: s.n.], 2012b. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/311102570>>.

HAERTEL, H. *The so-called simple electric circuit - it is not that simple*.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. *Física Básica, vol. 3*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1981.

HEALD, M. A. Electric fields and charges in elementary circuits. *American Journal of Physics*, 1984.

HERNANDES, J. A.; NOGUEIRA, G. T. The electric field and surface charges far and close to the battery for the transmission line. *European Journal of Physics*, 2016.

JACKSON, J. D. Surface charges on circuit wires and resistors play three roles. *American Journal of Physics*, v. 64, n. 7, p. 855–870, 1996.

JÓFILI, Z. Piaget, Vygostsky, Freire e a construção do conhecimento na escola. *Educação: Teorias e Práticas*, v. 2, n. 2, p. 191–208, 2002.

JOSÉ ROBERTO BONJORNO *et al.* *Física: eletromagnetismo e física moderna*. São Paulo: FTD, 2013.

LIMA, F. C. B. *Experimentos de baixo custo para abordar concepções alternativas sobre corrente elétrica em circuitos simples*. 2018. 125 f. Universidade Federal Rural do Semiárido, 2018.

MARCUS, A. The Electric Field Associated with a Steady Current in Long Cylindrical Conductor. *Citation: Am. J. Phys*, v. 9, p. 225, 1941.

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.

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.

NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física Básica. Eletromagnetismo*. São Paulo: Edgard Blücher, 1997.

PARKER, S. Electrostatics and Current Flow. *Citation: Am. J. Phys*, v. 38, p. 720, 1970.

POSNER, G. J.; GERTZOG, W. A. The clinical interview and the measurement of

conceptual change. *Science Education*, 1982.

ROSSER, W. G. V. What Makes an Electric Current “Flow”. *American Journal of Physics*, 1963.

RUSSELL, B. R. Surface Charges on Conductors Carrying Steady Currents. *Citation: Am. J. Phys*, v. 36, p. 527, 1968.

SHERWOOD, B. A.; CHABAY, R. W. *A unified treatment of electrostatics and circuits*. . [S.l: s.n.], [S.d.].

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.

STOCKLMAYER, S. M.; TREAGUST, D. F. Images of electricity: How do novices and experts model electric current? *International Journal of Science Education*, 1996.

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

WELTI, R. Las cargas superficiales y el flujo de energía en un circuito simple. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 27, n. 4, p. 577–582, 2005.

## Apêndice C – Relato dos alunos sobre o produto

Aluna1: Os materiais práticos fazem com que tenhamos uma facilidade maior de aprendizado, pois além de ouvir a explicação, podemos observar na prática como realmente é. Além das aulas se tornarem mais divertidas e mais proveitosas. Uma vez que pessoas com mais dificuldades de aprender, não entendem na teoria.

Aluno2: Antes de ver o produto eu errei algumas questões do pré-teste, porque eu tinha um conhecimento superficial. Depois que eu vi a prática tive facilidade para resolver as questões, tendo em vista que você observa a questão mais detalhada. Na sala de aula tínhamos o costume de memorizar fórmulas. Na oportunidade que tive de construir o equipamento e usar ele para resolver a questão, nunca mais vou esquecer delas.

Aluno3: Entender como funciona a claridade daquelas lâmpadas e ver que a forma como elas são colocadas no circuito (série, paralela, mista) vai interferir é muito bacana.

Aluna4: Tivemos a oportunidade de fazer um equipamento para usar na prática e aprendemos a usar e resolver as questões olhando a claridade das lâmpadas, onde algumas acendem mais e outras acendem menos de acordo com a corrente e como elas estão associadas.

Aluna5: Nas aulas práticas em sala de aula e no laboratório, foi dado um conteúdo muito simples e fácil de entender e de explicar também, deixando de forma mais clara as questões dos testes.

Aluno6: Os circuitos foram legais, mas aquela tábua com pregos foi show de bola aprendi demais

Aluno7: Percebi que construindo o circuito aprendi a resolver cada questão e entendi o que é corrente real e convencional e porque as lâmpadas, algumas brilham mais que outras.

Aluno8: Eu aprendi como ligar os fios e botar as lâmpadas em série, paralelo e misto. Então, entendi porque umas clareiam igual às outras e porque umas clareiam mais que outras.

Aluno9: Foi construindo esse experimento que comecei a entender a lei de OHM.

Aluno10: Aprendi muito com os meninos da minha equipe principalmente quando eu estava montando a experiência.

Aluno11: Foi perfeita a aula de física construindo esses negócio aí. Faz os alunos aprenderem muito e entender sobre corrente e energia.

Aluna12: Eu vou falar como a prática me ajudou a entender aquilo que o professor explicou na sala de aula sobre resistores em série e em paralelo. Também as lâmpadas quando vinha uma questão no ENEM falando quem brilha mais, quem brilha menos, eu não entendia muito bem. Fazendo o circuito e depois usando para resolver as questões, acertei todas e acho que quando cair uma questão de circuito no ENEM, vou acertar.

Aluno13: Eu sou aluno da escola João Barbosa e tinha errado umas questões do pré-teste, mas quando comecei a mexer nos equipamentos resolvi todas as questões entendendo tudo aquilo que eu tinha errado.

## Apêndice D – Íntegra das Entrevistas com os alunos

No início do convite ao(à) aluno(a) para participar da entrevista, era dito, pelo mestrando:

Você foi selecionado(a) para dar uma entrevista ao prof. Carlos Alberto, para discutir alguns detalhes dos experimentos realizados em sala de aula. Antecipadamente agradecemos sua colaboração. Será muito importante para nossa pesquisa.

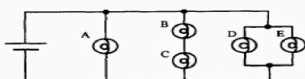
No primeiro contato do prof. Carlos Alberto com o(a) aluno(a), ele declarava:

Essa entrevista faz parte de uma pesquisa que estou fazendo com o prof. Cristiano. Selecionamos 12 alunos para isso, mas para a pesquisa não perder a validade, é importante que os entrevistados não conversem sobre o assunto enquanto não fizermos as entrevistas com todos. Depois o prof. Cristiano vai conversar com vocês sobre os resultados da pesquisa. Antecipadamente muito obrigado por participar e por guardar silêncio enquanto o prof. Cristiano não avisar que as entrevistas foram encerradas.

### Aluna1 (Turma matutina, aluna com baixo rendimento escolar)

[14:09, 12/1/2018] Entrevistador: Lembra dessa questão?

02 – No circuito da figura abaixo ordene as lâmpadas de acordo com a luminosidade se a bateria for ideal.



- a)  $A=D=E>B=C$
- b)  $A=D=B=C=E$
- c)  $A>B=C>D=E$

[14:10, 12/1/2018] Aluna1: Lembro

[14:10, 12/1/2018] Entrevistador: Lembra qual é a resposta correta? E qual a justificativa?

[14:12, 12/1/2018] Aluna1: Não! Já faz tempo e não lembro o que marquei

[14:16, 12/1/2018] Entrevistador: Qual resposta você acha que é a correta?

[14:19, 12/1/2018] Aluna1: A, D e E estão associadas em série então acredito que tenham a mesma luminosidade, sendo assim diferente de B e C que estão associadas em Paralelo!

[14:19, 12/1/2018] Aluna1: A seria a correta

[14:19, 12/1/2018] Aluna1: OPA!

[14:20, 12/1/2018] Aluna1: C

[14:20, 12/1/2018] Entrevistador: Pode explicar sua resposta?

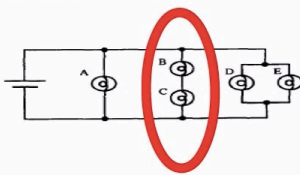
[14:21, 12/1/2018] Aluna1: Alternativa correta seria a A

[14:24, 12/1/2018] Entrevistador: Por que você diz que B e C estão associadas em paralelo?

[14:27, 12/1/2018] Aluna1: Acho que me confundi.

[14:27, 12/1/2018] Entrevistador: Como assim?

02 – No circuito da figura abaixo ordene as lâmpadas de acordo com a luminosidade se a bateria for ideal.



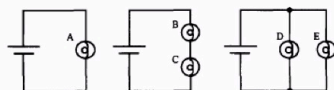
- a)  $A=D=E>B=C$
- b)  $A=D=B=C=E$
- c)  $A>B=C>D=E$

[14:28, 12/1/2018] Aluna1: Achei que elas estariam associadas em paralelo devido estar nessa formação.

**Comentário: A aluna tem dificuldade em distinguir ligação em série de ligação em paralelo.**

[14:35, 12/1/2018] Entrevistador: Talvez seja conveniente definirmos o que significam os termos associação em série e associação em paralelo.

01 – Observe as situações mostradas nos circuitos da figura abaixo e ordene as lâmpadas de acordo com a luminosidade.



- a)  $A=D=E>B=C$
- b)  $A=D=B=C=E$
- c)  $A>B=C>D=E$

[14:38, 12/1/2018] Entrevistador: No circuito do meio, as lâmpadas B e C estão ligadas em série ou em paralelo?

[14:44, 12/1/2018] Aluna1: Em série porque estão ligadas em um único trajeto

[14:46, 12/1/2018] Entrevistador: Você está demorando em responder. Você consulta algum material para responder as perguntas? Isso atrapalha nossa pesquisa. O importante é que a resposta seja espontânea. Estamos investigando a estrutura cognitiva de alunos de vários lugares, e as respostas têm que ser espontâneas. Por favor responda sem consultar qualquer material ou internet.

[14:47, 12/1/2018] Entrevistador: E por que na figura da questão você disse que B e C estavam ligadas em paralelo?

[14:47, 12/1/2018] Entrevistador: na figura da questão 2

[14:48, 12/1/2018] Aluna1: Eu estou demorando porque minha mãe tem uma mercearia e estou sozinha em casa e às vezes chega gente e preciso atender.

[14:48, 12/1/2018] Aluna1: Desculpa a demora.

[14:48, 12/1/2018] Entrevistador: Desculpe por pensar que você estava consultando material para responder.

[14:49, 12/1/2018] Aluna1: Eu falei mas logo vi que tinha me equivocado

[14:50, 12/1/2018] Entrevistador: OK! Vamos definir direitinho o que você entende por ligação ou associação em série e em paralelo.

[14:50, 12/1/2018] Entrevistador: Você mencionou que B e C estão ligados em único trajeto.

[14:51, 12/1/2018] Entrevistador: O que significa "um único trajeto"?

[14:53, 12/1/2018] Aluna1: Acho que em um fio.

[14:53, 12/1/2018] Entrevistador: Vou fazer a pergunta de outro modo: trajeto para quem? trajeto de quem?

[14:54, 12/1/2018] Entrevistador: Trajeto de quem?

[14:54, 12/1/2018] Aluna1: Do resistor.

[14:56, 12/1/2018] Entrevistador: Quando a gente fala em trajeto, geralmente estamos pensando num caminho que a gente percorre. Neste caso é o trajeto por onde percorremos. O seu trajeto de casa para a escola: vai pela rua TAL, dobra na esquina TAL, caminha mais TANTOS metros, etc.

[14:56, 12/1/2018] Entrevistador: Então, o que significa trajeto no circuito elétrico?

[14:57, 12/1/2018] Aluna1: Eu não sei responder a pergunta, já está com um tempo que fiz o teste e por isso não lembro bem da explicação.

[14:58, 12/1/2018] Aluna1: Desculpe.

[14:59, 12/1/2018] Entrevistador: Mas, como te falei antes, a explicação tem a ver com o teste apenas levemente. O que estamos investigando é a estrutura cognitiva de alunos do ensino médio, independente dos testes. Esses servem para dar uma indicação, depois a gente faz esses entrevistas clínicas para aprofundar nosso conhecimento.

[14:59, 12/1/2018] Aluna1: Como foi mencionado eu não posso consultar nenhum material para responder às perguntas e então no momento não me lembro.

[15:00, 12/1/2018] Aluna1: Entendo!

[15:00, 12/1/2018] Entrevistador: Vamos continuar. Quem é que faz o trajeto num circuito elétrico?

[15:00, 12/1/2018] Aluna1: A corrente elétrica.

[15:01, 12/1/2018] Entrevistador: IIIIISSO

[15:01, 12/1/2018] Entrevistador: Quem é que faz a lâmpada brilhar?

[15:03, 12/1/2018] Aluna1: Só um minuto.

[15:04, 12/1/2018] Aluna1: A energia elétrica

[15:05, 12/1/2018] Aluna1: Só um minuto.

[15:05, 12/1/2018] Entrevistador: Você disse que o trajeto no circuito é feito pela corrente e que é a energia elétrica que faz a lâmpada brilhar.

[15:05, 12/1/2018] Aluna1: Pronto!

[15:07, 12/1/2018] Entrevistador: Explica essa história. É a corrente elétrica que circula no circuito, mas é a energia elétrica que faz a lâmpada brilhar. Você sabe como a energia elétrica faz a lâmpada brilhar?

[15:07, 12/1/2018] Aluna1: Não.

[15:08, 12/1/2018] Aluna1: É a corrente elétrica que faz brilhar.

[15:08, 12/1/2018] Entrevistador: E como ela faz brilhar?

[15:09, 12/1/2018] Aluna1: Não sei.

[15:09, 12/1/2018] Aluna1: Estou um pouco nervosa.

**Comentário: A aluna não sabe como a corrente elétrica produz o brilho nas lâmpadas.**

[15:10, 12/1/2018] Entrevistador: Não fique nervosa. Pense que isso aqui é uma brincadeira. Um jogo de RPG.

[15:10, 12/1/2018] Entrevistador: Se você não tem ideia de como a corrente elétrica faz a lâmpada brilhar, deixe pra lá. A gente volta ao assunto depois.

[15:11, 12/1/2018] Entrevistador: Vamos continuar. É a corrente que circula no circuito. Quando você fala em trajeto, você está pensando na corrente circulando por este trajeto. É assim?

[15:12, 12/1/2018] Aluna1: Sim.

[15:12, 12/1/2018] Entrevistador: Qual é a direção que a corrente circula no circuito?

[15:15, 12/1/2018] Aluna1: Deixe-me pensar.

[15:18, 12/1/2018] Aluna1: Não sei, nunca pensei que isso era tão difícil.

[15:19, 12/1/2018] Entrevistador: Vamos deixar essa questão de lado um pouquinho. Depois voltamos. Quero agora colocar outra pergunta.

05 – No circuito da figura 1 pode-se afirmar que:

- a)  $L_1$  brilha mais que  $L_2$  e esta mais que  $L_3$
- b)  $L_3$  brilha mais que  $L_2$  e esta mais que  $L_1$
- c) As três lâmpadas tem o mesmo brilho

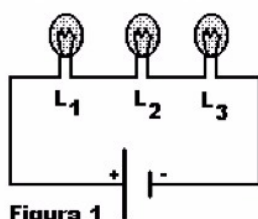


Figura 1

[15:19, 12/1/2018] Entrevistador: Sabe a resposta e a justificativa?

[15:31, 12/1/2018] Aluna1: Eu acho que elas têm o mesmo brilho porque está passando a mesma corrente elétrica.

[15:31, 12/1/2018] Entrevistador: Então é a corrente elétrica que produz o brilho?

[15:32, 12/1/2018] Aluna1: É.

[15:32, 12/1/2018] Aluna1: É a corrente elétrica.

[15:32, 12/1/2018] Entrevistador: O brilho tem a ver com a intensidade da corrente elétrica?

[15:32, 12/1/2018] Aluna1: Tem.

[15:33, 12/1/2018] Entrevistador: Como? Na proporção direta ou na inversa?

[15:34, 12/1/2018] Aluna1: Na proporção direta.

[15:35, 12/1/2018] Entrevistador: Ou seja, quanto maior a corrente, maior o brilho, é isso?

[15:37, 12/1/2018] Aluna1: Acho que sim.

[15:43, 12/1/2018] Entrevistador: Como "acho que sim"? Você afirmou acima que havia uma relação direta entre corrente e brilho. Então, se há uma relação direta, MAIOR INTENSIDADE DA CORRENTE, MAIOR O BRILHO.

[15:44, 12/1/2018] Entrevistador: Para finalizar essa questão: qual o sentido que a corrente circula nesse circuito?

[15:44, 12/1/2018] Aluna1: Vai do polo positivo pro negativo.

[15:46, 12/1/2018] Aluna1: Falta muitas perguntas? Às 4 horas vou precisar sair.

[15:47, 12/1/2018] Entrevistador: Faltam mais 4 perguntas. Podemos agendar para segunda-feira?

[15:47, 12/1/2018] Aluna1: Podemos.

[15:48, 12/1/2018] Entrevistador: Que hora você prefere?



[15:48, 12/1/2018] Entrevistador: Se você não puder decidir agora, você me envia a hora aqui pelo what-sApp.

[15:50, 12/1/2018] Aluna1: 9h da manhã.

[15:50, 12/1/2018] Aluna1: Pode ser?

[15:50, 12/1/2018] Entrevistador: ok. Combinado 9h

[15:52, 12/1/2018] Entrevistador: Bom fim de semana!

Comentário: infelizmente a aluna não atendeu na hora marcada, nem foi possível agendar outra data.

### Aluno2 (Turma matutina, aluno com bom rendimento)

05 – No circuito da figura 1 pode-se afirmar que:

- a)  $L_1$  brilha mais que  $L_2$  e esta mais que  $L_3$
- b)  $L_3$  brilha mais que  $L_2$  e esta mais que  $L_1$
- c) As três lâmpadas tem o mesmo brilho

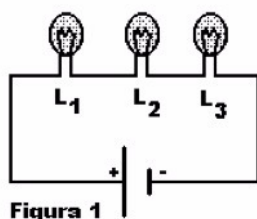


Figura 1

[20:06, 16/1/2018] Entrevistador: Pode dizer qual a alternativa correta e qual a justificativa?

[20:08, 16/1/2018] Aluno2: Posso falar por áudio?

**Comentário: Em áudio o aluno disse que como estão em série, “elas vão ter a mesma intensidade de luz, só que brilhando menos”. Aparentemente ele faz confusão com outros circuitos, onde existem resistores em série e em paralelo.**

[20:10, 16/1/2018] Entrevistador: Seria melhor que as respostas fossem escritas, porque o prof. Cristiano vai usar trechos das entrevistas, sem identificar o aluno.

[20:10, 16/1/2018] Aluno2: Tá bom.

[20:10, 16/1/2018] Entrevistador: Como brilhando menos? Não entendi.

[20:11, 16/1/2018] Aluno2: Porque o brilho delas é menor, elas estando em serie.

[20:12, 16/1/2018] Entrevistador: É menor em relação a quê?

[20:12, 16/1/2018] Aluno2: Às lâmpadas em paralelo. Só que nesse circuito não tem lâmpada em paralelo.

[20:13, 16/1/2018] Entrevistador: Mas a questão é apenas sobre o circuito acima. Não tem nada em paralelo ali, não é?

[20:14, 16/1/2018] Aluno2: Verdade. Só falei para lembrar o conceito.

[20:14, 16/1/2018] Entrevistador: OK!

[20:14, 16/1/2018] Entrevistador: Quem é que faz a lâmpada brilhar?

[20:15, 16/1/2018] Aluno2: A corrente elétrica.

[20:15, 16/1/2018] Entrevistador: E qual é o sentido que a corrente circula no circuito.

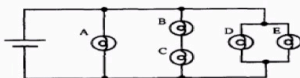
[20:16, 16/1/2018] Aluno2: Do negativo para o positivo.

[20:16, 16/1/2018] Entrevistador: Ou seja ela passa primeiro em L3?

[20:16, 16/1/2018] Aluno2: Isso.

[20:17, 16/1/2018] Entrevistador: OK! Vamos para a próxima questão.

02 – No circuito da figura abaixo ordene as lâmpadas de acordo com a luminosidade se a bateria for ideal.



- a)  $A=D=E>B=C$
- b)  $A=D=B=C=E$
- c)  $A>B=C>D=E$

[20:17, 16/1/2018] Entrevistador: Resposta e justificativa?

[20:18, 16/1/2018] Aluno2: Resposta letra A

[20:18, 16/1/2018] Entrevistador: Por quê?

[20:18, 16/1/2018] Aluno2: Pois A, D e E estão em paralelo, e B e C em série.

[20:19, 16/1/2018] Aluno2: Então, as que estão em paralelo brilham mais, e as em série menos.

[20:20, 16/1/2018] Entrevistador: Por que o fato de B e C estarem em série faz com que elas brilhem menos?

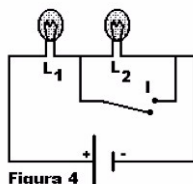
[20:20, 16/1/2018] Aluno2: Porque a corrente tem mais dificuldade para percorrer o fio.

[20:20, 16/1/2018] Aluno2: Tem mais resistência.

[20:23, 16/1/2018] Entrevistador: OK!

06 – No circuito da figura 4, I é um interruptor aberto. Ao fechá-lo:

- a) Aumenta o brilho de  $L_1$ .
- b) O brilho de  $L_1$  permanece o mesmo.
- c) Diminui o brilho de  $L_1$ .



[20:23, 16/1/2018] Entrevistador: Resposta e justificativa?

[20:24, 16/1/2018] Aluno2: Resposta letra A, pois ao fechar o interruptor a corrente vai passar pelo caminho mais fácil.

[20:26, 16/1/2018] Aluno2: Não vai passar por  $L_2$ .

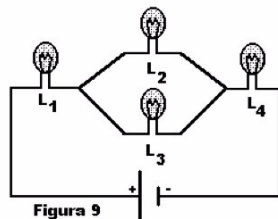
[20:26, 16/1/2018] Entrevistador: E por que ao passar pelo caminho mais fácil aumenta o brilho de  $L_1$ ?

[20:27, 16/1/2018] Aluno2: Porque diminui a resistência.

[20:27, 16/1/2018] Entrevistador: Perfeito!

07 – 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  $L_4$ .



[20:28, 16/1/2018] Entrevistador: Resposta e justificativa?

[20:28, 16/1/2018] Aluno2: Letra A.

[20:28, 16/1/2018] Aluno2: Pois  $L_1$  e  $L_4$  estão ligadas em serie.

[20:30, 16/1/2018] Entrevistador: E  $L_2$  e  $L_3$  não têm qualquer influência nisso?

[20:31, 16/1/2018] Entrevistador: O que aconteceria se  $L_3$  fosse retirada do circuito?

[20:31, 16/1/2018] Aluno2: Todas apagavam?

[20:32, 16/1/2018] Aluno2: Pois  $L_1$ ,  $L_3$  e  $L_4$  estão em serie.

[20:32, 16/1/2018] Aluno2: Assim como  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_4$  estão em serie.

[20:33, 16/1/2018] Aluno2: Mas  $L_2$  e  $L_3$  estão em paralelo.

[20:34, 16/1/2018] Entrevistador: Estou perguntando se  $L_3$  fosse retirada. O circuito seria apenas com  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_4$ , na mesma estrutura acima.

[20:34, 16/1/2018] Aluno2: Sim.

[20:36, 16/1/2018] Entrevistador: O que aconteceria com a corrente?

[20:37, 16/1/2018] Aluno2: Ela não seria mais dividida.

[20:39, 16/1/2018] Aluno2: E vai percorrer um único fio.

**Comentário: Essa resposta está correta, mas contradiz aquela que o aluno deu acima (20:31).**

[20:40, 16/1/2018] Entrevistador: OK, mas em relação ao valor? A corrente no circuito modificado é maior ou menor do que no original?

[20:40, 16/1/2018] Aluno2: Terá o mesmo valor.

[20:42, 16/1/2018] Entrevistador: As lâmpadas  $L_2$  e  $L_3$  não têm qualquer efeito na corrente, é isso?

[20:43, 16/1/2018] Aluno2: Desculpa acho que me confundi.

[20:43, 16/1/2018] Aluno2: Elas têm efeito.

[20:44, 16/1/2018] Aluno2: Se retirar  $L_3$  o valor da corrente aumenta.

[20:44, 16/1/2018] Entrevistador: Pode explicar por quê?

[20:44, 16/1/2018] Aluno2: Pois a resistência diminuirá.

**Comentário: O aluno não diferencia ligações em série e paralelo neste caso. Aparentemente, a resistência do circuito está associada apenas à soma de resistências, e não ao modo com o qual estão ligadas.**

[20:46, 16/1/2018] Entrevistador: Obrigado. Muito boa sua entrevista. Não esqueça o que falei no início, para não comentar com seus colegas sobre a entrevista. Quando fizermos a última entrevista o prof Cristiano vai procurar vocês. Sucesso nos estudos.

[20:46, 16/1/2018] Aluno2: Tá bom, pode deixar.

Comentário: Dois dias depois achamos conveniente detalharmos um pouco mais a entrevista com o Aluno2.

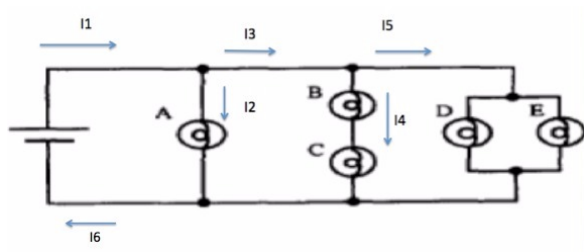
[15:40, 18/1/2018] Entrevistador: Alô, você está aí?

[15:41, 18/1/2018] Aluno2: Estou.

[15:43, 18/1/2018] Entrevistador: Tem tempo para me responder uma questão?

[15:43, 18/1/2018] Aluno2: Tenho.

[15:43, 18/1/2018] Entrevistador: Veja as correntes nessa figura.



[15:44, 18/1/2018] Entrevistador: Consegue identificar quais são iguais, e quais são maiores. Você consegue ordená-las pela intensidade?

[15:45, 18/1/2018] Aluno2: A seta tá indicando o sentido da corrente?

[15:46, 18/1/2018] Entrevistador: Isso!

[15:46, 18/1/2018] Aluno2: Se ela estiver indicando acho que está errado pois na figura ela está partindo do polo positivo.

**Comentário: O aluno tem bem firmada a ideia de que o sentido da corrente é o que se denomina de “corrente real”, do polo negativo para o positivo.**

[15:48, 18/1/2018] Entrevistador: Suponha que os polos estejam invertidos. O positivo da figura é o negativo.

[15:48, 18/1/2018] Aluno2: Tá bom.

[15:50, 18/1/2018] Aluno2: L1, L3, L5 e L2 são iguais.

[15:51, 18/1/2018] Aluno2: L4 está entre B e C?

[15:52, 18/1/2018] Entrevistador: L4 está passando por B e C

[15:53, 18/1/2018] Aluno2: L4 é menor L1, L3, L5 e L2

[15:53, 18/1/2018] Entrevistador: E L6?

[15:54, 18/1/2018] Aluno2: Ela terá a mesma intensidade da primeira corrente

[15:55, 18/1/2018] Entrevistador: Por quê?

[15:56, 18/1/2018] Aluno2: Pois mesmo q ela passe pelas resistencias ela chegara ao polo com o mesmo valor.

**Comentário: O aluno dá indícios de que domina a ideia de conservação de corrente.**

[15:56, 18/1/2018] Entrevistador: Maravilha!

[15:57, 18/1/2018] Entrevistador: Agora diga-me, por que você diz que a corrente circula do polo negativo para o positivo?

[15:58, 18/1/2018] Aluno2: Pois corrente elétrica tem elétrons e eles têm carga negativa.

[15:58, 18/1/2018] Aluno2: Então, eles serão atraídos pelo polo positivo.

**Comentário: Esse raciocínio indica a existência da concepção alternativa que faz analogia de corrente elétrica com o fluxo de água.**

[15:59, 18/1/2018] Aluno2: E a corrente vai ter esse sentido do negativo para o positivo.

[16:02, 18/1/2018] Entrevistador: Você está certo. Essa é o que se chama de corrente real. Tem a convencional, que a maioria das pessoas costumam se referir, incluindo os livros-textos. Essa corrente convencional vai do polo positivo para o negativo. Como a maioria dos alunos referem-se a essa corrente eu coloquei o sentido da corrente convencional no circuito. Obrigado!

[16:02, 18/1/2018] Aluno2: De nada.

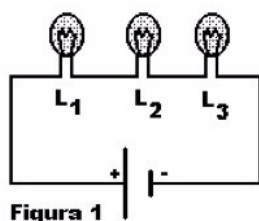
[16:10, 18/1/2018] Aluno2: Precisando pode chamar.

[16:10, 18/1/2018] Entrevistador: Obrigado. Sucesso nos estudos.

### Aluno3 (turma matutina, aluno com rendimento escolar mediano)

05 – No circuito da figura 1 pode-se afirmar que:

- $L_1$  brilha mais que  $L_2$  e esta mais que  $L_3$
- $L_3$  brilha mais que  $L_2$  e esta mais que  $L_1$
- As três lâmpadas tem o mesmo brilho



[15:07, 16/1/2018] Entrevistador: Por favor diga qual é a resposta e justifique.

[15:15, 16/1/2018] Aluno3: Acho que as três lâmpadas tem o mesmo brilho, porque elas estão ligadas em série.

[15:16, 16/1/2018] Entrevistador: O que produz o brilho nas lâmpadas?

[15:19, 16/1/2018] Aluno3: Acho que a corrente elétrica.

[15:20, 16/1/2018] Entrevistador: Se a corrente elétrica for mais intensa, o que acontece com o brilho?

[15:25, 16/1/2018] Aluno3: Acho que o brilho vai ser mais intenso.

[15:26, 16/1/2018] Entrevistador: OK. E nesse circuito da figura, qual o sentido da corrente?

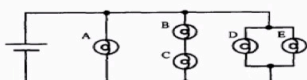
[15:34, 16/1/2018] Aluno3: Acho que sentido convencional.

[15:35, 16/1/2018] Entrevistador: o qual é o sentido convencional?

[15:39, 16/1/2018] Aluno3: Acho que o sentido convencional seria quando a corrente sai do ponto positivo para o negativo.

[15:42, 16/1/2018] Entrevistador: OK! Vamos para a próxima questão.

02 – No circuito da figura abaixo ordene as lâmpadas de acordo com a luminosidade se a bateria for ideal.



- $A=D=E>B=C$
- $A=D=B=C=E$
- $A>B=C>D=E$

[15:43, 16/1/2018] Entrevistador: Resposta e justificativa?

[15:50, 16/1/2018] Aluno3: Letra A, porque as lâmpadas A, D e E estão ligadas em paralelo assim brilhando mais do que a B e a C que estão em série.

[15:53, 16/1/2018] Entrevistador: Para simplificar, vamos imaginar que o circuito só contenha as lâmpadas A, B e C.

[15:53, 16/1/2018] Entrevistador: Quem brilha mais?

[15:54, 16/1/2018] Aluno3: A lâmpada A

[15:55, 16/1/2018] Entrevistador: Neste caso, só com as três lâmpadas, explique direitinho por que A brilha mais.

[16:00, 16/1/2018] Aluno3: Porque a lâmpada A está isolada sendo que a corrente terá que passar primeiro por ela.

**Comentário: A resposta indica a existência do modelo de consumo de corrente.**

[16:00, 16/1/2018] Entrevistador: Passa primeiro por ela, e então, o que acontece?

[16:06, 16/1/2018] Aluno3: Como a corrente passa primeiro por ela terá mais brilho que as lâmpadas B e C.

[16:08, 16/1/2018] Entrevistador: Você quer dizer que sobra menos corrente para B e C, é isso?

[16:12, 16/1/2018] Aluno3: Acho que a lâmpada A esta em paralelo com as lâmpadas B e C por isso que ela brilhará mais .

[16:18, 16/1/2018] Entrevistador: A pergunta não é essa. Quero que você explique sua frase acima: "como a corrente passa primeiro por ela (A) terá mais brilho que as lâmpadas B e C".

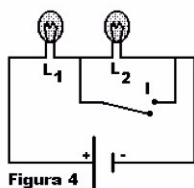
[16:18, 16/1/2018] Entrevistador: O que você quer dizer com essa frase? Você quer dizer que sobra menos corrente para B e C?

[16:19, 16/1/2018] Aluno3: Acho que sim.

[16:19, 16/1/2018] Entrevistador: OK! Vamos para a próxima.

06 – No circuito da figura 4, I é um interruptor aberto. Ao fechá-lo:

- Aumenta o brilho de L<sub>1</sub>.
- O brilho de L<sub>1</sub> permanece o mesmo.
- Diminui o brilho de L<sub>1</sub>.



[16:20, 16/1/2018] Entrevistador: Resposta e justificativa?

[16:28, 16/1/2018] Aluno3: Ao fechar o interruptor o brilho de L<sub>1</sub> aumentará pois a corrente terá que passar pelo caminho que está entre L<sub>1</sub> e L<sub>2</sub>.

[16:30, 16/1/2018] Entrevistador: Explique melhor. Não entendi. Descreva o caminho da corrente com o interruptor aberto. Assim: a corrente sai do polo positivo, passa por L<sub>1</sub> e . . . continue a narrativa.

[16:33, 16/1/2018] Aluno3: E vai para L<sub>2</sub> sem nenhuma resistência.

[16:35, 16/1/2018] Entrevistador: Você está dizendo que L<sub>2</sub> não tem resistência?

[16:37, 16/1/2018] Aluno3: Com resistência quis dizer sem nenhum problema.

[16:44, 16/1/2018] Entrevistador: E quando o interruptor é fechado o que acontece?

[16:45, 16/1/2018] Entrevistador: O que acontece com a corrente depois que passa por L1?

[16:47, 16/1/2018] Aluno3: Depois que passa por L1 a corrente não segue diretamente pra L2 ela passará primeiro pelo caminho que foi criado quando se fechou o interruptor.

[16:50, 16/1/2018] Entrevistador: Se você diz que "a corrente não segue diretamente para L2, ela passará primeiro pelo caminho . . ." Isso significa que depois vai passar por L2? Explique melhor isso.

[16:55, 16/1/2018] Aluno3: Quis dizer que ela não passará completamente por L2 assim somente uma parte passara por L2.

[16:56, 16/1/2018] Entrevistador: Uma parte passará por L2 e outra parte passará "pelo caminho que foi criado quando se fechou o interruptor", é isso?

[16:57, 16/1/2018] Aluno3: Sim.

**Comentário: O aluno não compreende que o interruptor funciona como um curto-circuito.**

[17:00, 16/1/2018] Entrevistador: Suponha que a corrente que passa por L1 tenha intensidade  $i$ , qual é a intensidade da corrente que passa por L2 quando o interruptor estiver fechado?

[17:03, 16/1/2018] Aluno3: Desculpe, não sei responder.

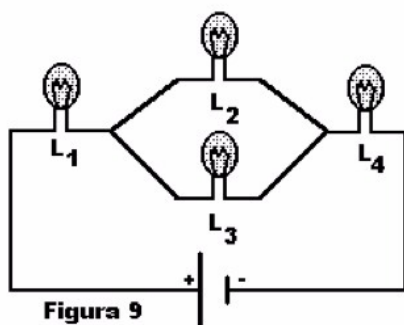
[17:05, 16/1/2018] Entrevistador: Mas você disse que uma parte da corrente passa por L2 e outra parte passa pelo "caminho . . .". Você não faz ideia de que parte passa por um e que parte passa pelo outro?

[17:07, 16/1/2018] Aluno3: Não, só sei que alguma parte passa pelo caminho.

[17:08, 16/1/2018] Entrevistador: OK! Vamos passar para outra questão.

**07 – No circuito da figura 9 o brilho de  $L_1$  é:**

- a) Igual ao de  $L_4$ .
- b) Maior do que o de  $L_4$ .
- c) Menor do que o de  $L_4$ .



[17:08, 16/1/2018] Entrevistador: Resposta e justificativa?

[17:15, 16/1/2018] Aluno3: Igual ao de  $L_4$  pois estão em paralelo

[17:16, 16/1/2018] Entrevistador: Você está dizendo que  $L_1$  e  $L_4$  estão em paralelo e por isso os brilhos são iguais, é isso?

[17:19, 16/1/2018] Aluno3: Sim.

**Comentário: O aluno não reconhece ligação em série e em paralelo neste circuito.**

[17:27, 16/1/2018] Entrevistador: E o que você diz sobre o tipo de ligação de  $L_2$  e  $L_3$ ?

[17:29, 16/1/2018] Aluno3: Acho que também é em paralelo.

[17:29, 16/1/2018] Entrevistador: OK!

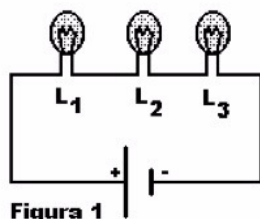
[17:30, 16/1/2018] Entrevistador: Obrigado pela colaboração. Por favor lembre do que disse no início, não comente com seus colegas o que discutimos aqui. Sucesso nos estudos.

[17:31, 16/1/2018] Aluno3: Ok!

**Aluno4 (turma matutina, aluno com baixo rendimento escolar)**

05 – No circuito da figura 1 pode-se afirmar que:

- a)  $L_1$  brilha mais que  $L_2$  e esta mais que  $L_3$
- b)  $L_3$  brilha mais que  $L_2$  e esta mais que  $L_1$
- c) As três lâmpadas tem o mesmo brilho



[15:07, 18/1/2018] Entrevistador: Pode indicar a opção correta? E qual a sua justificativa?

[15:09, 18/1/2018] Aluno4: Letra C, porque estão em série.

[15:10, 18/1/2018] Entrevistador: Por que as lâmpadas brilham?

[15:10, 18/1/2018] Aluno4: Porque tem corrente elétrica.

[15:12, 18/1/2018] Entrevistador: E o brilho é proporcional à intensidade da corrente?

[15:13, 18/1/2018] Aluno4: Sim.

[15:14, 18/1/2018] Entrevistador: Quando aumenta a intensidade da corrente, o que acontece com o brilho?

[15:14, 18/1/2018] Aluno4: Aumenta.

[15:16, 18/1/2018] Entrevistador: Qual é o sentido da corrente num circuito?

[15:17, 18/1/2018] Aluno4: Eu acho que é convencional.

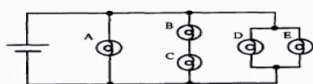
[15:17, 18/1/2018] Entrevistador: O que significa "convencional"?

[15:19, 18/1/2018] Aluno4: Quando a corrente sai do ponto positivo para o negativo.

[15:20, 18/1/2018] Entrevistador: Então podemos dizer que o sentido da corrente convencional é do polo positivo para o negativo, é isso?

[15:21, 18/1/2018] Aluno4: Sim.

02 – No circuito da figura abaixo ordene as lâmpadas de acordo com a luminosidade se a bateria for ideal.



- a)  $A=D=E>B=C$
- b)  $A=D=B=C=E$
- c)  $A>B=C>D=E$

[15:21, 18/1/2018] Entrevistador: Resposta e justificativa?

[15:24, 18/1/2018] Aluno4: Letra A, porque enquanto ADE estão em paralelo, BC estão em série.

[15:25, 18/1/2018] Entrevistador: Se os brilhos são diferentes, significa que as correntes que passam por elas são diferentes, é isso?



[15:26, 18/1/2018] Aluno4: Não.

[15:28, 18/1/2018] Entrevistador: As correntes são iguais?

[15:28, 18/1/2018] Aluno4: São.

[15:29, 18/1/2018] Entrevistador: Mas, na sua resposta você disse que a intensidade de A é maior do que a de B e C!

[15:30, 18/1/2018] Aluno4: Sim.

[15:31, 18/1/2018] Entrevistador: Então as intensidades não são iguais!

[15:32, 18/1/2018] Entrevistador: Ou seja, as correntes não são iguais.

[15:32, 18/1/2018] Aluno4: Ok.

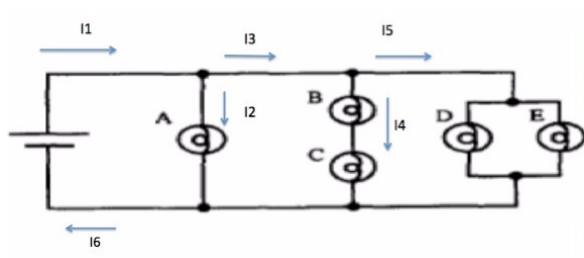
[15:33, 18/1/2018] Entrevistador: Por que a corrente de A é maior do que a de B?

[15:35, 18/1/2018] Aluno4: Acho que é porque ela está isolada.

[15:36, 18/1/2018] Entrevistador: Mas D e E não estão isoladas, e também têm correntes maiores do que B. Então não é por que A está isolada.

[15:41, 18/1/2018] Aluno4: Então não sei.

[15:42, 18/1/2018] Entrevistador: Observe as correntes nessa figura:



[15:42, 18/1/2018] Entrevistador: Consegue identificar quais são iguais e quais são maiores?

[15:44, 18/1/2018] Aluno4: Não consigo.

[15:46, 18/1/2018] Entrevistador: Consegue fazer um relato do trajeto da corrente? Assim: a corrente sai do polo positivo com uma certa intensidade. Quando chega no ponto ligado a A . . . continue a narrativa . . . o que acontece com a corrente?

[15:55, 18/1/2018] Aluno4: Acho que ela seguirá para os pontos B e C depois D e E e irá para o polo negativo.

[15:56, 18/1/2018] Entrevistador: Sim, mas tem uma que vai por A, outra que vai por B e C, elas são iguais?

[15:58, 18/1/2018] Aluno4: Acho que não.

[16:00, 18/1/2018] Entrevistador: Ok! vamos para a próxima.

06 – No circuito da figura 4, I é um interruptor aberto. Ao fechá-lo:

- Aumenta o brilho de  $L_1$ .
- O brilho de  $L_1$  permanece o mesmo.
- Diminui o brilho de  $L_1$ .

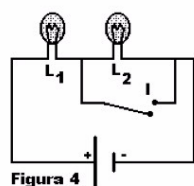


Figura 4

[16:00, 18/1/2018] Entrevistador: Resposta e justificativa?

[16:05, 18/1/2018] Aluno4: Letra A, acho que é porque ao fechar o interruptor o brilho de L1 vai aumentar, pois a corrente vai passar pelo caminho que esta entre L1 e L2.

[16:06, 18/1/2018] Entrevistador: E por que o fato de passar pelo caminho "entre L1 e L2" vai aumentar o brilho de L1?

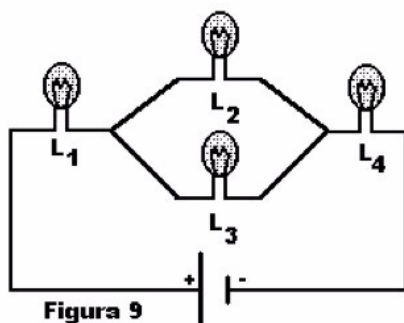
[16:17, 18/1/2018] Aluno4: Acho que a corrente ao passar por L1 não seguirá completamente por L2 diminuindo o brilho de L2.

[16:19, 18/1/2018] Entrevistador: Você está dizendo que depois de L1 a corrente vai se dividir? Uma parte passa por L2 e outra passa pelo "caminho entre L1 e L2"? É isso?

[16:20, 18/1/2018] Aluno4: Isso.

07 – 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  $L_4$ .



[16:25, 18/1/2018] Entrevistador: Resposta e justificativa?

[16:28, 18/1/2018] Aluno4: Letra C, porque L2 e L3 estão em paralelo.

[16:29, 18/1/2018] Entrevistador: Você está dizendo que a corrente que passa por L1 é menor do que a que passa por L4, é isso?

[16:30, 18/1/2018] Aluno4: Acho que sim.

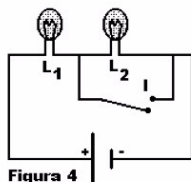
[16:31, 18/1/2018] Entrevistador: OK! Obrigado. Depois o prof. Cristiano vai entrar em contato com vocês sobre os resultados da pesquisa. Sucesso nos estudos.

### Segunda entrevista com o Aluno4

[14:17, 14/3/2018] Entrevistador: Lembra dessa questão?

06 – No circuito da figura 4, I é um interruptor aberto. Ao fechá-lo:

- Aumenta o brilho de  $L_1$ .
- O brilho de  $L_1$  permanece o mesmo.
- Diminui o brilho de  $L_1$ .



[14:19, 14/3/2018] Aluno4: Sim.

[14:19, 14/3/2018] Entrevistador: Lembra da resposta?

[14:23, 14/3/2018] Aluno4: Letra A.

[14:24, 14/3/2018] Entrevistador: Lembra da explicação?

[14:26, 14/3/2018] Aluno4: acho que é porque quando fechar o interruptor o brilho L1 vai aumentar pois a corrente vai passar pelo caminho que esta entre L1 e L2.

[14:29, 14/3/2018] Entrevistador: O caminho que está entre L1 e L2 é exatamente o interruptor, certo?

[14:31, 14/3/2018] Aluno4: Sim.

[14:32, 14/3/2018] Entrevistador: Ok, foi essa a resposta que você deu antes. Por que o fato de passar pelo interruptor aumenta o brilho de L1?

[14:39, 14/3/2018] Aluno4: Porque a corrente ao passar por L1 não seguirá completamente por L2 diminuindo o brilho de L2.

[14:41, 14/3/2018] Entrevistador: Você está dizendo duas coisas que eu preciso entender. A primeira é que a corrente vai se dividir entre o interruptor e L2. É isso mesmo?

[14:43, 14/3/2018] Aluno4: Sim.

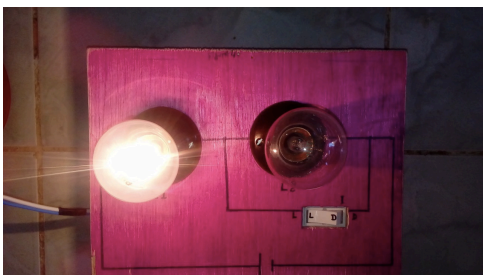
[14:44, 14/3/2018] Entrevistador: Você lembra o que aconteceu quando fizeram esse experimento?

[14:44, 14/3/2018] Aluno4: Infelizmente não.

[14:46, 14/3/2018] Entrevistador: essa é uma foto com o interruptor desligado:



[14:46, 14/3/2018] Entrevistador: E essa é com o interruptor ligado:



[14:47, 14/3/2018] Entrevistador: Qual é a diferença entre elas?

[14:49, 14/3/2018] Aluno4: Uma tá acesa e a outra não.

[14:50, 14/3/2018] Entrevistador: Descreva essas duas fotos, sem explicar. Apenas descreva o que você observa em cada uma.

[14:51, 14/3/2018] Entrevistador: Comece pela de cima, com o interruptor desligado.

[14:56, 14/3/2018] Aluno4: Estão com mesmo brilho pois estão na mesma corrente elétrica.

[14:57, 14/3/2018] Entrevistador: Não precisa explicar agora. Basta descrever. Então, com o interruptor desligado L1 e L2 apresentam o mesmo brilho.

[14:57, 14/3/2018] Entrevistador: E com o interruptor ligado?

[14:57, 14/3/2018] Aluno4: Apenas uma está acesa com o brilho mais forte e a outra está apagada

[14:58, 14/3/2018] Entrevistador: Ok. Agora vamos tentar entender o que está acontecendo.

[14:58, 14/3/2018] Entrevistador: O primeiro caso você já explicou. Por L1 e L2 passa a mesma corrente.

[14:59, 14/3/2018] Entrevistador: Agora explique: 1) por que L2 apagou com o interruptor ligado?

[15:01, 14/3/2018] Aluno4: Porque a corrente não seguiu para a L2.

[15:02, 14/3/2018] Entrevistador: Ok! E ela seguiu por onde?

[15:03, 14/3/2018] Aluno4: Apenas L1

[15:04, 14/3/2018] Entrevistador: Depois que ela passou de L1, para onde ela foi?

[15:08, 14/3/2018] Aluno4: Seguiu caminho onde o interruptor foi ligado

[15:10, 14/3/2018] Entrevistador: E por que L1 brilha mais?

[15:16, 14/3/2018] Entrevistador: Alô, você continua aí?

[15:17, 14/3/2018] Entrevistador: Se essa questão está difícil, vamos para a outra. Talvez ela refresque sua memória.

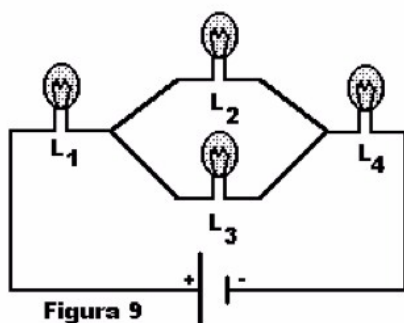
[15:16, 14/3/2018] Aluno4: Só um momento.

[15:19, 14/3/2018] Aluno4: Quando a corrente passava pelas duas lâmpadas ela se dividia entre as duas e quando ligou o interruptor ela se concentrou só numa.

**Comentário: O aluno indica o mesmo tipo de concepção alternativa da Aluna12 (questão 2), que tem a ver com o modelo de consumo de energia.**

07 – No circuito da figura 9 o brilho de  $L_1$  é:

- a) Igual ao de  $L_4$ .
- b) Maior do que o de  $L_4$ .
- c) Menor do que o de  $L_4$ .



[15:21, 14/3/2018] Entrevistador: Você disse nessa questão, que a resposta era (c)

[15:22, 14/3/2018] Entrevistador: Ou seja que o brilho de  $L_1$  é menor do que de  $L_4$ . Pode explicar?

[15:22, 14/3/2018] Entrevistador: São só essas duas questões que fiquei em dúvida sobre sua resposta.

[15:24, 14/3/2018] Aluno4: Porque  $L_2$  e  $L_3$  estão em paralelo.

[15:26, 14/3/2018] Entrevistador: Foi isso que não entendi na sua resposta. Por que o fato de  $L_2$  e  $L_3$  estarem em paralelo faz com que o brilho de  $L_1$  seja menor do que de  $L_4$ ?

[15:26, 14/3/2018] Aluno4: Acho que sim.

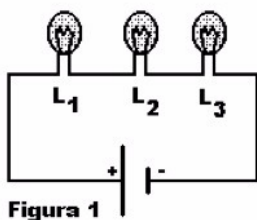
[15:27, 14/3/2018] Entrevistador: Mas, por quê?

[15:30, 14/3/2018] Aluno4: Infelizmente não sei te explicar.

**Aluna5 (turma matutina, aluna com baixo rendimento escolar)**

05 – No circuito da figura 1 pode-se afirmar que:

- a)  $L_1$  brilha mais que  $L_2$  e esta mais que  $L_3$
- b)  $L_3$  brilha mais que  $L_2$  e esta mais que  $L_1$
- c) As três lâmpadas tem o mesmo brilho



[20:02, 15/1/2018] Entrevistador: Qual é a resposta e a justificativa?

[20:02, 15/1/2018] Aluna5: C. As três lâmpadas têm o mesmo brilho.

[20:03, 15/1/2018] Entrevistador: Por quê?

[20:06, 15/1/2018] Aluna5: Acho que é porque estão ligadas em série no mesmo circuito.

[20:09, 15/1/2018] Entrevistador: O que é que provoca o brilho nas lâmpadas?

[20:13, 15/1/2018] Aluna5: Não sei responder.

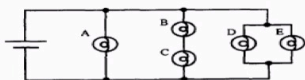
[20:16, 15/1/2018] Entrevistador: Se você não sabe o que provoca o brilho, como você sabe que o brilho é o mesmo nas três lâmpadas?

[20:17, 15/1/2018] Aluna5: Pelo teste da sala de aula, porque na prática o professor mostrou claramente, mais não lembro o porquê.

**Comentário: A pergunta do entrevistador foi feita para provocar essa resposta que a aluna deu.**

[20:17, 15/1/2018] Entrevistador: Ok!

02 – No circuito da figura abaixo ordene as lâmpadas de acordo com a luminosidade se a bateria for ideal.



- a)  $A=D=E>B=C$
- b)  $A=D=B=C=E$
- c)  $A>B=C>D=E$

[20:18, 15/1/2018] Entrevistador: Resposta e justificativa?

[20:24, 15/1/2018] Aluna5: Alternativa b. O circuito está em paralelo e a tensão entre as lâmpadas serão as mesmas, fazendo assim elas brilharem da mesma forma.

**Comentário: A aluna começa bem. É a único, entre os entrevistados que associa a corrente à ddp, mas não relaciona com o fato de que as lâmpadas B e C estão ligadas em série, fazendo com que a corrente que passa naquele trecho seja menor.**

[20:28, 15/1/2018] Entrevistador: OK! Vamos para a próxima.

06 – No circuito da figura 4, I é um interruptor aberto. Ao fechá-lo:

- Aumenta o brilho de  $L_1$ .
- O brilho de  $L_1$  permanece o mesmo.
- Diminui o brilho de  $L_1$ .

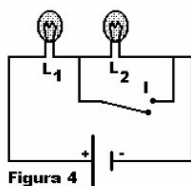


Figura 4

[20:28, 15/1/2018] Entrevistador: Resposta e justificativa?

[20:30, 15/1/2018] Aluna5: Alternativa a. Isto porque quando fecha o circuito em uma lâmpada a outra lâmpada vai brilhar mais.

[20:31, 15/1/2018] Entrevistador: Por quê?

[20:37, 15/1/2018] Aluna5: Acho que porque ao fechar o interruptor a lâmpada  $L_2$  irá perder seu potencial e a  $L_1$  ganha mais carga elétrica.

**Comentário:** O entrevistador avalia que a aluna tem muitos problemas com a compreensão dos conceitos referentes à questão. Em uma entrevista clínica para tentar contornar esses problemas, o questionamento deveria continuar até que a aluna esclarecesse o que significa “perder potencial” e “ganhar mais carga elétrica”, no entanto, no âmbito do presente projeto isso não é possível.

[20:38, 15/1/2018] Entrevistador: OK!

[20:38, 15/1/2018] Entrevistador: Vamos para a última pergunta.

07 – 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  $L_4$ .

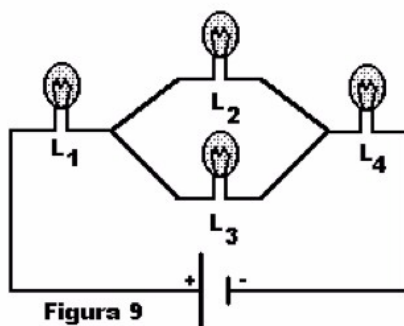


Figura 9

[20:38, 15/1/2018] Entrevistador: Resposta e justificativa?

[20:39, 15/1/2018] Aluna5: Não lembro desta questão.

[20:40, 15/1/2018] Entrevistador: Mas qual é a resposta?

[20:45, 15/1/2018] Aluna5: A. Igual a  $L_4$ , porque estão em série.

**Comentário:** Como outros alunos entrevistados, a Aluna5 não distingue ligações em série de ligações em paralelo.

[20:47, 15/1/2018] Entrevistador: Obrigado. Por favor não comente com seus colegas sobre a entrevista. Para nossa pesquisa ter validade, é importante que os entrevistados não troquem informações. Quando todos os 14 selecionados forem entrevistados, o prof. Cristiano vai conversar com vocês.

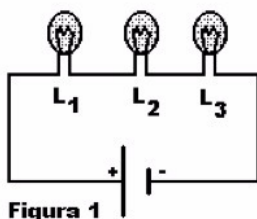
[20:49, 15/1/2018] Aluna5: Tá bom. Desculpe não saber muito das questões, porque faz tempo o teste.

[20:51, 15/1/2018] Entrevistador: Foi muito proveitosa a entrevista para a nossa pesquisa.

**Aluna6 (turma matutina, aluna com bom rendimento escolar)**

05 – No circuito da figura 1 pode-se afirmar que:

- a)  $L_1$  brilha mais que  $L_2$  e esta mais que  $L_3$
- b)  $L_3$  brilha mais que  $L_2$  e esta mais que  $L_1$
- c) As três lâmpadas tem o mesmo brilho



[17:02, 16/1/2018] Entrevistador: Qual a alternativa correta? E qual a sua justificativa?

[17:03, 16/1/2018] Aluna6: Bom, acredito que seja a alternativa C, por ser uma associação em série, e a corrente percorrer apenas um caminho.

[17:06, 16/1/2018] Entrevistador: E por que as lâmpadas brilham?

[17:08, 16/1/2018] Aluna6: Por que estão em um circuito, e são percorridas por corrente elétrica

[17:09, 16/1/2018] Entrevistador: OK, as lâmpadas brilham por causa da corrente elétrica, é isso?

[17:10, 16/1/2018] Aluna6: Sim, brilham por causa da corrente que passa pelos resistores.

[17:10, 16/1/2018] Aluna6: Gerada por uma bateria.

[17:11, 16/1/2018] Entrevistador: Perfeito!

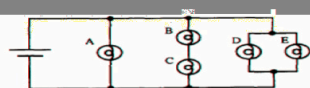
[17:11, 16/1/2018] Entrevistador: Neste circuito, qual é o sentido da corrente?

[17:12, 16/1/2018] Aluna6: A corrente vai começar a passar pela lâmpada de número 1.

[17:12, 16/1/2018] Entrevistador: OK, sai do polo positivo e entra no negativo, é isso?

[17:13, 16/1/2018] Aluna6: Isso.

02 – No circuito da figura abaixo ordene as lâmpadas de acordo com a luminosidade se a bateria for ideal.



- a)  $A=D>E>B=C$
- b)  $A=D=B=C=E$
- c)  $A>B=C>D=E$

[17:13, 16/1/2018] Entrevistador: Resposta e justificativa?

[17:14, 16/1/2018] Aluna6: Letra A

[17:14, 16/1/2018] Entrevistador: Justificativa?

[17:14, 16/1/2018] Aluna6: Porque as lâmpadas A, D e E estão em paralelo.

[17:14, 16/1/2018] Aluna6: A corrente não percorre um único caminho.

[17:15, 16/1/2018] Aluna6: Já no caso da B e C, estão em série.

[17:15, 16/1/2018] Aluna6: Por isso o brilho é menor.

[17:15, 16/1/2018] Entrevistador: Por que o fato de B e C estarem em série implica que o brilho é menor?

[17:16, 16/1/2018] Aluna6: Por que a corrente percorre apenas um caminho.

[17:17, 16/1/2018] Entrevistador: E por que o fato de percorrer apenas um caminho implica que a corrente seja menor?

[17:18, 16/1/2018] Aluna6: Porque a resistência em série é maior, e quanto maior a resistência, menor a intensidade da corrente.

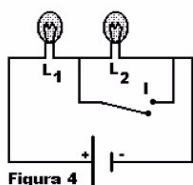
[17:19, 16/1/2018] Entrevistador: OK!

[17:20, 16/1/2018] Entrevistador: Vamos para a próxima questão.

[17:20, 16/1/2018] Aluna6: Ok

06 – No circuito da figura 4, I é um interruptor aberto. Ao fechá-lo:

- Aumenta o brilho de  $L_1$ .
- O brilho de  $L_1$  permanece o mesmo.
- Diminui o brilho de  $L_1$ .



[17:20, 16/1/2018] Entrevistador: Resposta e justificativa?

[17:21, 16/1/2018] Aluna6: Alternativa A.

[17:22, 16/1/2018] Entrevistador: Por quê?

[17:22, 16/1/2018] Aluna6: Porque ao fechar o interruptor, a corrente não percorrerá a lâmpada 2, ou seja, ela vai apagar e consequentemente aumentará o brilho da lâmpada 1.

[17:23, 16/1/2018] Entrevistador: Por que ao fechar o interruptor a corrente não passa por  $L_2$ ?

[17:26, 16/1/2018] Aluna6: Porque estão ligadas em série. Quando o interruptor está aberto, a corrente só tem um caminho à percorrer. Ao fechar, a corrente encontra esse outro caminho, que fica a frente do caminho que percorre  $L_2$ .

[17:27, 16/1/2018] Aluna6: E com ele aberto, ele vai impedir a circulação da corrente

[17:29, 16/1/2018] Entrevistador: Suponha que a corrente que passa por  $L_1$  seja  $i$ . Qual o valor da corrente que passa por  $L_2$  quando o interruptor estiver fechado?

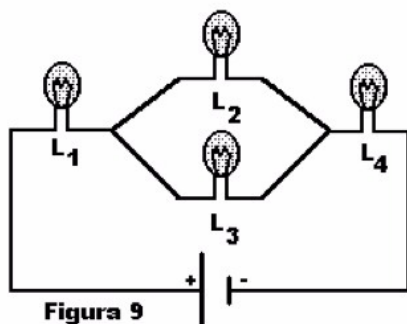
[17:31, 16/1/2018] Aluna6: Acredito que 0, porque quando o interruptor está fechado, não passa corrente por  $L_2$ .

[17:31, 16/1/2018] Entrevistador: OK! Vamos para a próxima.



07 – 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  $L_4$ .



[17:32, 16/1/2018] Entrevistador: Resposta e justificativa?

[17:34, 16/1/2018] Aluna6: Bom, acho que alternativa A, por estarem em paralelo, e a corrente não percorrer apenas um caminho.

**Comentário: A aluna confunde o papel das ligações em série e em paralelo em um circuito misto. Não raciocina com a conservação de corrente, ou de carga.**

[17:34, 16/1/2018] Entrevistador: Quem está em paralelo?

[17:35, 16/1/2018] Aluna6:  $L_2$  e  $L_3$ .

[17:36, 16/1/2018] Entrevistador: Por que o fato de  $L_2$  e  $L_3$  estarem em paralelo faz com que as correntes em  $L_1$  e  $L_4$  sejam iguais?

[17:38, 16/1/2018] Aluna6: A corrente vai passar por  $L_1$ , até  $L_4$ . E acredito que o brilho seja igual porque não vai haver uma certa resistência da corrente. Porém, se estivessem associados em série, o brilho de  $L_1$  seria maior, o de  $L_4$  menor, como se tem nas demais opções, devido à resistência.

**Comentário: A aluna exhibe o modelo do consumo de corrente.**

[17:40, 16/1/2018] Entrevistador: Ou seja, se  $L_3$  fosse retirada do circuito, o brilho de  $L_1$  seria maior do que o de  $L_4$ , é isso?

[17:43, 16/1/2018] Aluna6: Não, errei na minha resposta. Vendo por esse lado, se eu retirasse  $L_3$  ficaria uma associação em série e o brilho das mesmas ficariam iguais.

**Comentário: Aqui há um conflito entre o modelo do consumo de corrente, e o que a aluna presenciou nos experimentos em sala de aula.**

[17:43, 16/1/2018] Aluna6: Mas ainda sim, acho que o brilho delas são iguais devido o caminho que percorrem.

[17:45, 16/1/2018] Entrevistador: Explica melhor essa história do "devido o caminho que percorrem".

[17:45, 16/1/2018] Aluna6: Kkk tudo bem. Deixa eu tentar.

**Comentário: Em áudio (o entrevistador esqueceu de pedir que ela transcrevesse o áudio) a aluna disse que ao chegar no trecho  $L_2L_3$ , a corrente se dividirá e sairá com a mesma intensidade que entrou. Se  $L_3$  fosse retirada,  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_4$  estariam em série. A resistência seria maior e o brilho seria menor.  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_4$  teriam o mesmo brilho, mas menor do que antes.**

[17:49, 16/1/2018] Entrevistador: Perfeito.

[17:50, 16/1/2018] Aluna6: Desculpe por não saber explicar muito bem.

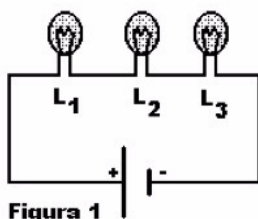
[17:51, 16/1/2018] Entrevistador: Depois da última entrevista o prof. Cristiano vai entrar em contato com vocês e discutir os resultados obtidos. Muito obrigado. Sua entrevista foi ótima. Não esqueça do que eu disse no início, para não discutir com teus colegas sobre o que falamos aqui.

[17:52, 16/1/2018] Aluna6: Tudo bem.

**Aluno7 (turma matutina, aluno com baixo rendimento escolar)**

05 – No circuito da figura 1 pode-se afirmar que:

- a)  $L_1$  brilha mais que  $L_2$  e esta mais que  $L_3$
- b)  $L_3$  brilha mais que  $L_2$  e esta mais que  $L_1$
- c) As três lâmpadas tem o mesmo brilho



[10:09, 18/1/2018] Entrevistador: Qual é a opção correta? E por quê?

[10:12, 18/1/2018] Aluno7: Letra C. Porque estão em série.

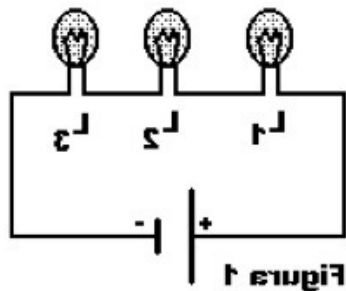
[10:12, 18/1/2018] Entrevistador: Por que as lâmpadas brilham?

[10:13, 18/1/2018] Aluno7: Por causa da corrente elétrica.

[10:14, 18/1/2018] Entrevistador: E em qual sentido a corrente elétrica circula nesse circuito?

[10:15, 18/1/2018] Aluno7: Sentido horário.

[10:20, 18/1/2018] Entrevistador: E se o circuito fosse assim, a corrente continuaria no sentido horário?



[10:20, 18/1/2018] Aluno7: Acho que não.

[10:21, 18/1/2018] Entrevistador: E qual seria o sentido?

[10:21, 18/1/2018] Aluno7: Anti-horário!

[10:23, 18/1/2018] Entrevistador: Então, dizer que o sentido da corrente é horário ou anti-horário não faz sentido, porque depende do formato do circuito.

[10:23, 18/1/2018] Entrevistador: Existe outra forma de indicar o sentido da corrente sem depender do formato do circuito?

[10:25, 18/1/2018] Aluno7: Não.

[10:25, 18/1/2018] Aluno7: Acho que eu errei acho que esse é no sentido horário não sei muito bem.

[10:26, 18/1/2018] Entrevistador: Mas dizer que é horário ou anti-horário não faz sentido porque depende do formato do circuito. E agora?

[10:26, 18/1/2018] Aluno7: Não sei lhe explicar.

[10:27, 18/1/2018] Entrevistador: No primeiro circuito, o sentido é horário, mas no mesmo circuito desenhado de outro modo o sentido é anti-horário.

[10:27, 18/1/2018] Entrevistador: Descreva o percurso da corrente no circuito original da questão.

[10:29, 18/1/2018] Aluno7: A corrente sai do ponto positivo passa por L1 depois passa por L2 depois passa por L3 e chega ao ponto negativo.

[10:30, 18/1/2018] Entrevistador: Então, preste atenção ao que você escreveu e responda: Qual é o sentido da corrente em um circuito elétrico?

[10:31, 18/1/2018] Aluno7: Sentido horário.

[10:32, 18/1/2018] Entrevistador: Mas você já sabe que essa resposta não faz sentido porque depende do formato do circuito. A resposta está na descrição do percurso que você fez acima.

[10:34, 18/1/2018] Aluno7: Sai do ponto positivo ao negativo.

[10:35, 18/1/2018] Entrevistador: IIIIIIIssso!

[10:35, 18/1/2018] Aluno7: Professor tinha como a gente tinha como apressar a coisinha? Às 11:15 eu vou ter que viajar.

[10:35, 18/1/2018] Entrevistador: Não dá para apressar. Podemos marcar outra hora.

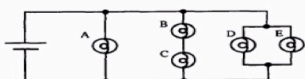
[10:36, 18/1/2018] Entrevistador: A entrevista dura em torno de duas horas.

[10:36, 18/1/2018] Aluno7: Vamos continuar então quando chegar perto aí a gente pára e marca outra hora.

[10:37, 18/1/2018] Entrevistador: Então, a resposta correta para o sentido da corrente, na verdade é: "corrente convencional", ou seja do POLO POSITIVO PARA O NEGATIVO.

[10:38, 18/1/2018] Aluno7: Isso.

02 - No circuito da figura abaixo ordene as lâmpadas de acordo com a luminosidade se a bateria for ideal.



- a)  $A=D=E>B=C$
- b)  $A=D=B=C=E$
- c)  $A>B=C>D=E$

[10:38, 18/1/2018] Entrevistador: Resposta e justificativa?

[10:44, 18/1/2018] Aluno7: Letra A, porque A, D e E estão em paralelo seu brilho será maior que B e C, que estão em série.

[10:45, 18/1/2018] Entrevistador: Se os brilhos são diferentes, significa que as correntes que passam por elas são diferentes, é isso?

[10:47, 18/1/2018] Aluno7: Não, é uma só.

[10:47, 18/1/2018] Entrevistador: A corrente que passa por A é a mesma que passa por B?

[10:48, 18/1/2018] Aluno7: Sim.

[10:49, 18/1/2018] Entrevistador: Mas na sua resposta você disse que a corrente em A é maior do que em B! E agora?

[10:50, 18/1/2018] Aluno7: Não apenas falei que A brilha mais que B.

[10:51, 18/1/2018] Aluno7: Porque lâmpadas ligadas em série brilham menos porque a resistência é maior.

[10:51, 18/1/2018] Entrevistador: Mas você disse no início que as lâmpadas brilham por causa da corrente, não foi?

[10:51, 18/1/2018] Entrevistador: O que acontece com o brilho de uma lâmpada se a corrente aumentar?

[10:52, 18/1/2018] Aluno7: Não sei.

[10:53, 18/1/2018] Entrevistador: Se é a corrente que faz a lâmpada brilhar, então o brilho da lâmpada tem que depender da intensidade da corrente, não?

[11:04, 18/1/2018] Aluno7: Isso.

[11:05, 18/1/2018] Entrevistador: Então, se a corrente aumenta, o que acontece com o brilho?

[11:05, 18/1/2018] Aluno7: Aumentará.

[11:07, 18/1/2018] Entrevistador: Então, se o brilho de A é maior do que o de B, então a corrente que passa em A é maior do que a que passa em B, não?

[11:07, 18/1/2018] Aluno7: Me desculpe mas não sei lhe responder.

[11:09, 18/1/2018] Entrevistador: Como você vai ter que viajar agora, podemos agendar a continuação da entrevista em outro dia e hora. Fora hoje à tarde, você pode escolher o dia e a hora.

[11:16, 18/1/2018] Aluno7: Mais não sei outro dia que terei tempo, porque tenho muitos trabalhos pra fazer e você sabe que na próxima semana já são provas e tenho que estudar se eu quiser passar.

[11:16, 18/1/2018] Aluno7: Qualquer coisa eu lhe aviso aqui no grupo.

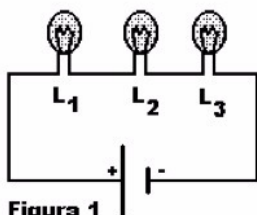
[11:18, 18/1/2018] Entrevistador: Ok!

**Comentário: o aluno não voltou a fazer contato, e não conseguimos mais falar com ele.**

#### **Aluno8 (turma matutina, aluno com rendimento escolar mediano)**

05 – No circuito da figura 1 pode-se afirmar que:

- a)  $L_1$  brilha mais que  $L_2$  e esta mais que  $L_3$
- b)  $L_3$  brilha mais que  $L_2$  e esta mais que  $L_1$
- c) As três lâmpadas tem o mesmo brilho



**Figura 1**

[15:39, 17/1/2018] Entrevistador: Qual a alternativa correta, e por quê?

[15:40, 17/1/2018] Aluno8: A certa é a C, porque as lâmpadas estão em série.

[15:41, 17/1/2018] Entrevistador: O que produz o brilho nas lâmpadas?

[15:41, 17/1/2018] Aluno8: Acho que a corrente elétrica que passa por elas.

[15:42, 17/1/2018] Entrevistador: E nesse circuito qual é o sentido que a corrente circula?

[15:43, 17/1/2018] Aluno8: Da esquerda pra direita. Começando no + em direção ao -

[15:43, 17/1/2018] Entrevistador: Perfeito!

[15:43, 17/1/2018] Entrevistador: O que acontece com o brilho se a corrente aumentar?

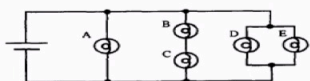
[15:44, 17/1/2018] Aluno8: Acho que o brilho de todas as lâmpadas também vai aumentar.

[15:46, 17/1/2018] Entrevistador: Eu não perguntei em relação ao circuito. Perguntei em geral, com apenas uma lâmpada ligada a uma bateria. O que acontece com o brilho da lâmpada se a corrente aumentar?

[15:46, 17/1/2018] Aluno8: Também aumenta.

[15:46, 17/1/2018] Entrevistador: OK!

02 – No circuito da figura abaixo ordene as lâmpadas de acordo com a luminosidade se a bateria for ideal.



- a)  $A=D=E>B=C$
- b)  $A=D=B=C=E$
- c)  $A>B=C>D=E$

[15:47, 17/1/2018] Entrevistador: Resposta e justificativa?

[15:49, 17/1/2018] Aluno8: A.  $A=D=E$  porque estão em paralelo, e  $B=C$  porque estão em série

[15:50, 17/1/2018] Entrevistador: Por que B e C que estão em série brilham menos?

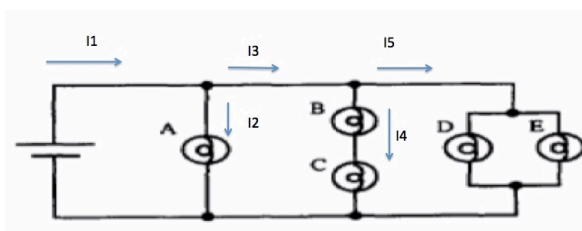
[15:51, 17/1/2018] Aluno8: Porque a corrente enfrenta uma resistência maior. Ela é dividida para as duas lâmpadas.

**Comentário: O aluno exhibe, de outro modo, o modelo do consumo de corrente.**

[15:53, 17/1/2018] Entrevistador: Você consegue descrever detalhadamente o percurso da corrente neste circuito? Assim: A corrente sai do polo positivo e quando chega no ponto que está ligado à lâmpada A , , , continue . . .

[15:53, 17/1/2018] Aluno8: Acho que não consigo.

[15:55, 17/1/2018] Entrevistador: Veja as correntes. Você consegue atribuir valores a elas? Digamos que  $I_1$  vale 10 Ampères. Quanto valem as outras?



[15:58, 17/1/2018] Aluno8: Pensei em dizer que  $I_2$ ,  $I_3$  e  $I_5$  também valem 10 e que  $I_4$  vale 5 Mas acho que tá errado.

[15:58, 17/1/2018] Aluno8: Quase certeza que tá errado.

[16:06, 17/1/2018] Entrevistador: Depois voltaremos a essa questão.

06 – No circuito da figura 4, I é um interruptor aberto. Ao fechá-lo:

- Aumenta o brilho de  $L_1$ .
- O brilho de  $L_1$  permanece o mesmo.
- Diminui o brilho de  $L_1$ .

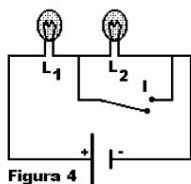


Figura 4

[16:07, 17/1/2018] Entrevistador: resposta e justificativa?

[16:08, 17/1/2018] Aluno8: A. porque a corrente sempre procura um caminho mais fácil, que não tem resistência. Dessa maneira  $L_2$  apaga e  $L_1$  brilha mais que antes, depois que o interruptor é fechado.

[16:09, 17/1/2018] Entrevistador: Perfeito!

07 – 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  $L_4$ .

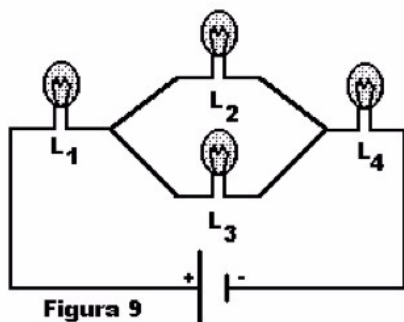


Figura 9

[16:09, 17/1/2018] Entrevistador: Resposta e justificativa?

[16:11, 17/1/2018] Aluno8: A, porque ao meu ver,  $L_1$  e  $L_4$  estão em série.

[16:13, 17/1/2018] Entrevistador: Suponha que  $L_2$  seja retirada do circuito. O que acontece com a corrente?

[16:15, 17/1/2018] Aluno8: Sei que as lâmpadas vão ficar em série. Então, acho que a corrente sofrerá uma maior resistência para passar em todas elas.

[16:16, 17/1/2018] Aluno8: Fiquei com dúvida nessa.

[16:16, 17/1/2018] Entrevistador: Nessa situação, a corrente é menor, igual ou maior do que no caso anterior?

[16:17, 17/1/2018] Aluno8: Igual?

[16:18, 17/1/2018] Entrevistador: Se a corrente é igual então  $L_2$  e  $L_3$  não têm qualquer influência?

[16:18, 17/1/2018] Aluno8: Digo que é maior então.

[16:19, 17/1/2018] Aluno8: Pensei que a corrente seria a mesma. Só o brilho das lâmpadas que mudaria.

[16:21, 17/1/2018] Entrevistador: Mas você disse acima que se a corrente aumenta o brilho também aumenta. Então a corrente não pode permanecer igual e o brilho mudar.

[16:21, 17/1/2018] Entrevistador: Você diz que a corrente aumenta. Por quê?

[16:22, 17/1/2018] Aluno8: Porque é menos uma resistência para ela enfrentar.

**Comentário: O aluno apresenta a ideia de que o que vale é o total de resistências, e não a forma como elas estão ligadas no circuito. Essa concepção foi apresentada por outros entrevistados.**

[16:23, 17/1/2018] Entrevistador: OK. Responda a questão original, supondo que a resistência de L4 é o dobro da resistência de L1.

[16:25, 17/1/2018] Aluno8: Não sei responder.

[16:26, 17/1/2018] Entrevistador: Não tem a menor ideia? Chute!!!!

[16:26, 17/1/2018] Aluno8: Fica igual.

[16:26, 17/1/2018] Entrevistador: Por quê fica igual?

[16:27, 17/1/2018] Aluno8: Por favor, refaça a pergunta, porque não entendi.

[16:28, 17/1/2018] Entrevistador: No circuito da questão, L4 é substituída por uma lâmpada que tem o dobro da resistência. Escolha a alternativa correta nesse caso.

[16:29, 17/1/2018] Entrevistador: Qual opção: a, b ou c?

[16:30, 17/1/2018] Aluno8: B, já que a resistência de L1 é menor que a de L4.

[16:30, 17/1/2018] Aluno8: Tá certo?

**Comentário: O aluno exhibe claramente o modelo do consumo de corrente.**

[16:31, 17/1/2018] Entrevistador: Depois o prof. Cristiano vai discutir com vocês as respostas.

[16:31, 17/1/2018] Aluno8: Tá bom.

[16:31, 17/1/2018] Entrevistador: Vocês estudaram associação de resistência?

[16:31, 17/1/2018] Entrevistador: Chegaram a calcular resistência equivalente de uma associação em série e em paralelo?

[16:32, 17/1/2018] Aluno8: Acho que sim.

[16:33, 17/1/2018] Entrevistador: Como acha que sim? Não lembra?

[16:34, 17/1/2018] Entrevistador: Se você lembrasse, eu ia continuar com a questão 2.

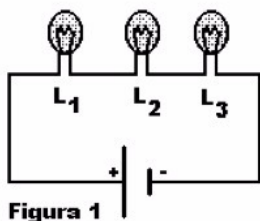
[16:35, 17/1/2018] Entrevistador: Obrigado pela entrevista, que foi ótima. Sucesso nos estudos.

[16:41, 17/1/2018] Aluno8: Obrigado pela oportunidade de participar da pesquisa.

#### **Aluno9 (turma vespertina, aluno com baixo rendimento escolar)**

05 – No circuito da figura 1 pode-se afirmar que:

- a) L<sub>1</sub> brilha mais que L<sub>2</sub> e esta mais que L<sub>3</sub>
- b) L<sub>3</sub> brilha mais que L<sub>2</sub> e esta mais que L<sub>1</sub>
- c) As três lâmpadas tem o mesmo brilho



**Figura 1**

[14:55, 15/1/2018] Entrevistador: Lembra qual a resposta e a justificativa?

[14:55, 15/1/2018] Aluno9: Alternativa C, pois elas estão em série.

[14:56, 15/1/2018] Entrevistador: E quem produz o brilho nas lâmpadas?

[14:59, 15/1/2018] Aluno9: Essa eu não estou lembrado.

[15:00, 15/1/2018] Entrevistador: Mas como você acha que a lâmpada brilha?

[15:02, 15/1/2018] Aluno9: Acho que por causa dos watts.

[15:02, 15/1/2018] Entrevistador: o que significa "watts"?

[15:05, 15/1/2018] Aluno9: É uma potência que diz respeito à energia.

[15:07, 15/1/2018] Entrevistador: Então, quem produz o brilho na lâmpada? Uma potência? Uma energia?

Como a potência ou a energia se manifestam fisicamente?

[15:09, 15/1/2018] Aluno9: A energia.

[15:10, 15/1/2018] Aluno9: Como elas se manifestam, eu não estou lembrado.

**Comentário: Parece que o aluno não tem uma estrutura cognitiva resultante da apropriação de conceitos. Ele emite as respostas mecanicamente, em função do que lembra das aulas.**

[15:14, 15/1/2018] Entrevistador: Como a energia chega até às lâmpadas?

[15:15, 15/1/2018] Aluno9: Através dos circuitos.

[15:16, 15/1/2018] Entrevistador: Quem leva a energia até às lâmpadas?

[15:18, 15/1/2018] Aluno9: Os geradores.

[15:19, 15/1/2018] Entrevistador: Exatamente como o gerador leva a energia até à lâmpada? Você vê o gerador levando? Onde está o gerador?

[15:20, 15/1/2018] Aluno9: Não, não se vê. Está nos resistores?

[15:21, 15/1/2018] Entrevistador: No resistor tem um gerador?

[15:22, 15/1/2018] Aluno9: Eu acho que sim.

[15:24, 15/1/2018] Entrevistador: Qualquer pedaço de fio é um resistor, estou certo?

[15:27, 15/1/2018] Aluno9: Sim.

[15:28, 15/1/2018] Entrevistador: Então, se você cortar um pedaço de fio ali tem um gerador?

[15:29, 15/1/2018] Aluno9: Acho que não.

[15:30, 15/1/2018] Entrevistador: Então vou repetir a pergunta: No resistor tem um gerador?

[15:32, 15/1/2018] Aluno9: Olhando agora, não.

[15:32, 15/1/2018] Entrevistador: Ok! Então quem leva a energia até à lâmpada?

[15:34, 15/1/2018] Aluno9: Corrente elétrica?

[15:34, 15/1/2018] Entrevistador: Iiiiiisso!

[15:34, 15/1/2018] Entrevistador: E qual o sentido da corrente elétrica nesse circuito?

[15:36, 15/1/2018] Aluno9: Sentindo convencional.

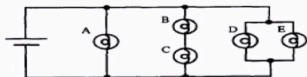
[15:36, 15/1/2018] Entrevistador: E qual é o sentido convencional?

[15:37, 15/1/2018] Aluno9: Ele corresponde ao sentido do campo elétrico no interior do condutor, que vai do polo positivo para o negativo.

[15:37, 15/1/2018] Entrevistador: Maravilha!



02 – No circuito da figura abaixo ordene as lâmpadas de acordo com a luminosidade se a bateria for ideal.



- a)  $A=D=E>B=C$   
 b)  $A=D=B=C=E$   
 c)  $A>B=C>D=E$

[15:38, 15/1/2018] Entrevistador: Resposta e justificativa?

[15:44, 15/1/2018] Aluno9: Alternativa A, porque B e C estão em série assim tendo o mesmo brilho, e A, D e E diferentes de B e C por serem paralelas (ADE).

[15:46, 15/1/2018] Entrevistador: E por que A, D e E brilham mais do que B e C?

[15:50, 15/1/2018] Aluno9: Por estarem em paralelo.

[16:00, 15/1/2018] Entrevistador: E o que tem a ver o fato de estarem em paralelo com a luminosidade maior ou menor?

[16:06, 15/1/2018] Aluno9: Eu não estou lembrado.

**Comentário: Como outros alunos, o Aluno9 não se reporta, mesmo inconscientemente, à sua estrutura cognitiva, formada com a apropriação de conceitos. Ele se reporta a eventos que memorizou, e eventualmente esqueceu. Esse é um aspecto evidenciado aqui e que merece um estudo detalhado.**

[16:12, 15/1/2018] Entrevistador: Você disse que é a corrente elétrica que leva a energia às lâmpadas.

[16:12, 15/1/2018] Entrevistador: A luminosidade depende dessa energia?

[16:19, 15/1/2018] Aluno9: Sim.

[16:26, 15/1/2018] Entrevistador: E a energia depende da intensidade da corrente?

[16:31, 15/1/2018] Aluno9: Eu acho que sim.

[16:33, 15/1/2018] Entrevistador: Então, se a corrente é mais intensa, a luminosidade é maior ou menor?

[16:43, 15/1/2018] Aluno9: Maior.

[16:44, 15/1/2018] Entrevistador: Concluindo: quanto maior a intensidade da corrente maior a luminosidade!

[16:44, 15/1/2018] Aluno9: Isso.

[16:45, 15/1/2018] Entrevistador: Então, por que A brilha mais do que B e C?

[16:46, 15/1/2018] Aluno9: Por conta da intensidade da corrente.

[16:52, 15/1/2018] Entrevistador: E por que a intensidade da corrente é maior em A do que em B e C?

[16:54, 15/1/2018] Aluno9: Porque tem uma lâmpada só.

**Comentário: Outro aluno que relaciona a intensidade da corrente de acordo com o número de resistências, e não à forma como elas estão conectadas no circuito.**

[16:58, 15/1/2018] Entrevistador: E o por que uma lâmpada só implica em luminosidade maior?

[17:05, 15/1/2018] Aluno9: Porque teria mais energia para ela.

**Comentário: Modelo do consumo de energia.**

[17:09, 15/1/2018] Entrevistador: Olhe o circuito da questão. As lâmpadas são todas iguais. Você está dizendo que tem mais energia para A do que para B e C, é isso?

[17:10, 15/1/2018] Entrevistador: Se a energia para A for X, quanto será a energia para B e C?

[17:12, 15/1/2018] Aluno9: Será maior?

[17:13, 15/1/2018] Entrevistador: Quanto maior? Eu dei o valor da energia de A, que é X. Quanto será a energia de B e C?

[17:14, 15/1/2018] Aluno9: 2x?

[17:16, 15/1/2018] Entrevistador: Mas você disse acima que brilha mais do que B e C por que tem mais energia em A. É o contrário do que você está dizendo agora.

**Comentário: O Aluno9 exibe enormes conflitos cognitivos em relação ao comportamento de circuitos elétricos simples.**

[17:16, 15/1/2018] Entrevistador: A brilha mais do que B e C.

[17:19, 15/1/2018] Aluno9: Então A vai brilhar mais que B e C?

[17:21, 15/1/2018] Entrevistador: Foi o que você disse no início. E no final mudou. A resposta que você deu à questão é que  $A=D>E>B=C$

[17:21, 15/1/2018] Entrevistador: Ou seja, A brilha mais do B e C. Eu quero saber por quê?

[17:22, 15/1/2018] Aluno9: Vou tentar explicar de novo, na minha linha raciocínio.

[17:25, 15/1/2018] Aluno9: A brilha mais do que B e C por que só tem uma lâmpada e em B e C a energia vai ser dividida para as duas igualmente, fazendo que A seja maior por ter mais energia.

**Comentário: O aluno exibe essa forma do modelo de consumo exibida por outros entrevistados.**

[17:26, 15/1/2018] Entrevistador: OK!

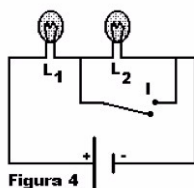
[17:27, 15/1/2018] Entrevistador: E por que D e E têm o mesmo brilho de A?

[17:30, 15/1/2018] Aluno9: Por que D e E estão em paralelo, assim não precisando dividir a energia, igualmente a A.

[17:32, 15/1/2018] Entrevistador: OK!

06 – No circuito da figura 4, I é um interruptor aberto. Ao fechá-lo:

- Aumenta o brilho de  $L_1$ .
- O brilho de  $L_1$  permanece o mesmo.
- Diminui o brilho de  $L_1$ .



[17:32, 15/1/2018] Entrevistador: Resposta e justificativa?

[17:35, 15/1/2018] Aluno9: Alternativa A, porque fechando essa chave fica impossibilitado de passar corrente para  $L_2$ , deixando assim uma corrente maior para  $L_1$  que conseqüentemente aumentará o brilho.

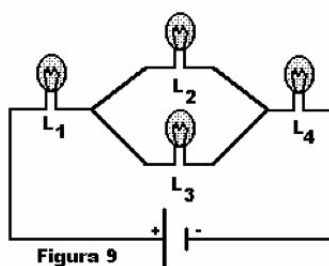
[17:36, 15/1/2018] Entrevistador: OK!

**Comentário: O modelo de consumo de corrente é persistente. O aluno não atribui o brilho maior à resistência menor no circuito, mas ao fato de haver menos lâmpada para consumir a corrente. Aqui também se manifesta o modelo da fonte de corrente constante.**

[17:37, 15/1/2018] Entrevistador: Vamos para a última questão.

07 – 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  $L_4$ .



[17:37, 15/1/2018] Entrevistador: Resposta e justificativa?

[17:44, 15/1/2018] Aluno9: Alternativa A, porque  $L_1$  e  $L_4$  meio que estão em série, e por conta de  $L_2$  e  $L_3$  estarem em paralelo e não alterarem os brilhos de  $L_1$  e  $L_4$ .

[17:46, 15/1/2018] Entrevistador: E se a lâmpada  $L_3$  fosse retirada do circuito, como ficariam os brilhos?

[17:48, 15/1/2018] Aluno9: Acho que  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_4$  ficariam com o mesmo brilho.

[17:49, 15/1/2018] Entrevistador: E mudaria o brilho em relação ao circuito anterior?

[17:53, 15/1/2018] Aluno9: Acho que mudaria apenas o de  $L_2$ , se igualando a  $L_1$  e  $L_4$ .

[17:54, 15/1/2018] Entrevistador: Os brilhos de  $L_1$  e  $L_4$  seriam os mesmos nos dois circuitos?

[17:56, 15/1/2018] Aluno9: Sim.

**Comentário: O que está implícito nessa resposta é que a fonte libera uma certa corrente, independente do circuito que a ela estiver ligado. Então, a corrente que sai de  $L_1$  é dividida entre  $L_2$  e  $L_3$ . Se  $L_3$  for retirada, o brilho de  $L_2$  aumentará para se igualar ao de  $L_1$  e  $L_4$ .**

[17:58, 15/1/2018] Entrevistador: Ou seja, tanto faz ter  $L_2$  ou  $L_3$  sozinhas ou as duas, que a corrente que passa por  $L_1$  e  $L_4$  é a mesma?

[17:59, 15/1/2018] Aluno9: Sim.

[18:01, 15/1/2018] Entrevistador: Então, se a corrente em  $L_1$  e  $L_4$  não muda, e se a corrente em  $L_2$  é igual à de  $L_1$  e  $L_4$  quando  $L_3$  é retirada, qual é a corrente em  $L_2$  e  $L_3$  em relação à corrente de  $L_1$  e  $L_4$  quando o circuito estiver completo?

[18:04, 15/1/2018] Aluno9: Acredito que  $L_2$  e  $L_3$  tenham o brilho mais forte.

[18:06, 15/1/2018] Entrevistador:  $L_2$  e  $L_3$  têm brilho mais forte do que  $L_1$  e  $L_4$ , é isso?

[18:06, 15/1/2018] Aluno9: Sim.

**Comentário: O aluno entra em conflito cognitivo com o suposto modelo mencionado no comentário anterior.**

[18:07, 15/1/2018] Entrevistador: Se  $L_2$  e  $L_3$  brilham mais, significa que passa mais corrente por elas, é isso?

[18:07, 15/1/2018] Aluno9: Isso.

[18:08, 15/1/2018] Entrevistador: Então, como é que a corrente que passa por  $L_1$  fica maior quando passar por  $L_2$  e  $L_3$ ?

[18:09, 15/1/2018] Aluno9: Eu não sei mais.

**Comentário: O conflito leva o aluno ao colapso.**

[18:11, 15/1/2018] Entrevistador: Mas você tem certeza que L2 e L3 brilham mais do que L1 e L4, é isso? E não saberia explicar o porquê, é isso? Não tem a menor ideia?

[18:12, 15/1/2018] Aluno9: Creio que seja por elas estarem em paralelo.

[18:16, 15/1/2018] Entrevistador: Vamos retomar a questão. Tem uma corrente que passa por L1, com uma certa intensidade, que é a mesma intensidade com a qual ela passa por L4.

[18:17, 15/1/2018] Entrevistador: E você diz que essa corrente cresce quando passa por L2 e L3, mas não sabe explicar.

[18:18, 15/1/2018] Entrevistador: Eu lhe pergunto, você não acha estranho que a intensidade da corrente de repente cresça?

[18:20, 15/1/2018] Aluno9: Sim.

[18:22, 15/1/2018] Entrevistador: Obrigado. Foi ótima a entrevista. Depois o prof. Cristiano vai conversar com vocês sobre isso, ou vai enviar um texto com os resultados da nossa pesquisa. Abraço

[18:23, 15/1/2018] Aluno9: Disponha, forte abraço.

### Aluno10 (turma vespertina, aluno com bom rendimento escolar)

05 – No circuito da figura 1 pode-se afirmar que:

- a) L<sub>1</sub> brilha mais que L<sub>2</sub> e esta mais que L<sub>3</sub>
- b) L<sub>3</sub> brilha mais que L<sub>2</sub> e esta mais que L<sub>1</sub>
- c) As três lâmpadas tem o mesmo brilho

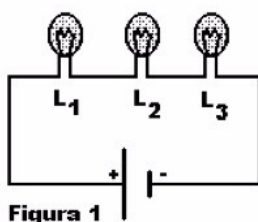


Figura 1

[14:36, 16/1/2018] Aluno10: Pode dizer a resposta e a justificativa?

[14:37, 16/1/2018] Aluno10: Alternativa C, pois acho que as lâmpadas estão em serie.

[14:38, 16/1/2018] Entrevistador: Quem produz o brilho nas lâmpadas?

[14:39, 16/1/2018] Aluno10: A energia.

[14:40, 16/1/2018] Entrevistador: E de onde vem essa energia?

[14:41, 16/1/2018] Aluno10: Dos fios do circuito.

[14:41, 16/1/2018] Entrevistador: Como os fios do circuito geram essa energia?

[14:43, 16/1/2018] Aluno10: Os fios não geram a energia a energia apenas percorre o fio. Quem gera a energia eu acho são os geradores.

[14:45, 16/1/2018] Entrevistador: E como a energia chega até à lâmpada? Ou, dito de outro modo, quem leva a energia até à lâmpada?

[14:45, 16/1/2018] Aluno10: Os fios.

[14:46, 16/1/2018] Entrevistador: Como os fios levam essa energia até à lâmpada?

[14:48, 16/1/2018] Aluno10: Eletromagnetismo.

[14:49, 16/1/2018] Entrevistador: Não entendi. Existe uma coisa que se chama eletromagnetismo, e essa coisa pega a energia no gerador e leva até à lâmpada?

[14:51, 16/1/2018] Aluno10: Não professor, desculpe-me eu me confundi. Eu acho que o que faz isso acontecer é que os elétrons são conduzidos às lâmpadas. Saindo dos geradores e chegando até às lâmpadas.

[14:52, 16/1/2018] Entrevistador: Ah, bom, agora sua conversa começa a fazer sentido.

[14:52, 16/1/2018] Entrevistador: São elétrons que levam a energia até à lâmpada?

[14:53, 16/1/2018] Aluno10: Sim.

[14:54, 16/1/2018] Entrevistador: E por que a lâmpada brilha e nos fornece luminosidade?

[14:56, 16/1/2018] Aluno10: Eu não lembro o nome agora, mas nosso prof. Cristiano falou várias vezes. É um pedacinho de fio dentro da lâmpada, que ao chegar energia na lâmpada ele brilha.

[14:59, 16/1/2018] Entrevistador: Ok, depois voltaremos a essa questão. Se são elétrons que levam energia até à lâmpada, em qual sentido esses elétrons circulam no circuito?

[15:02, 16/1/2018] Aluno10: Não sei professor.

[15:02, 16/1/2018] Entrevistador: Vocês estudaram a corrente elétrica, não?

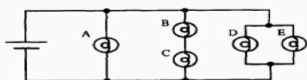
[15:03, 16/1/2018] Aluno10: Sim professor, estudamos muito.

[15:04, 16/1/2018] Entrevistador: E qual o sentido da corrente elétrica no circuito?

[15:05, 16/1/2018] Aluno10: Eu acho que é do positivo para o negativo

[15:05, 16/1/2018] Entrevistador: OK. Vamos para a próxima questão.

02 – No circuito da figura abaixo ordene as lâmpadas de acordo com a luminosidade se a bateria for ideal.



a)  $A=D=E>B=C$

b)  $A=D=B=C=E$

c)  $A>B=C>D=E$

[15:06, 16/1/2018] Entrevistador: Resposta e justificativa?

[15:10, 16/1/2018] Aluno10: Acho que é alternativa C.

[15:11, 16/1/2018] Entrevistador: Pode explicar?

[15:11, 16/1/2018] Aluno10: Pois A está sozinha, mas B e C estão em paralelo, e D e E estão em serie.

[15:18, 16/1/2018] Entrevistador: Então, A é a que brilha mais. Depois quem brilha mais são B e C. Finalmente D e E são as que brilham menos. É isso?

[15:19, 16/1/2018] Aluno10: Sim.

[15:20, 16/1/2018] Entrevistador: Pelo que você disse, B e C brilham menos que A por que estão paralelo. Pode explicar isso?

[15:24, 16/1/2018] Aluno10: Pois eu acho que a intensidade da corrente de A vai ser maior que a de B e C.

[15:25, 16/1/2018] Entrevistador: E por que a corrente em A vai ser maior do que em B e C?

[15:27, 16/1/2018] Aluno10: Porque A está sozinha e B e C estão em paralelo.

[15:29, 16/1/2018] Entrevistador: E por que a corrente em C e D é ainda menor do que em B e C?

[15:31, 16/1/2018] Aluno10: Agora, olhando melhor acho que A, D e E vão ter a mesma luminosidade.

[15:32, 16/1/2018] Entrevistador: Por quê?

[15:34, 16/1/2018] Aluno10: Porque a corrente de A vai ter a mesma intensidade de D e E, pois estão ligadas em serie e vão ser maior que B e C, que estão ligadas em paralelo.

[15:36, 16/1/2018] Entrevistador: Você está dizendo que A, D e E estão ligadas em série, é isso?

[15:38, 16/1/2018] Aluno10: Era assim foi só um erro na minha escrita. Pois a corrente de A vai ter a mesma intensidade de D e E. E D e E estão ligadas em serie e vão ser maior que B e C que estão ligadas em paralelo.

**Comentário: O aluno aparenta é incapaz de reconhecer ligação em série e em paralelo nesse tipo de circuito.**

[15:41, 16/1/2018] Entrevistador: OK. Vamos para a próxima questão.

06 – No circuito da figura 4, I é um interruptor aberto. Ao fechá-lo:

- Aumenta o brilho de  $L_1$ .
- O brilho de  $L_1$  permanece o mesmo.
- Diminui o brilho de  $L_1$ .

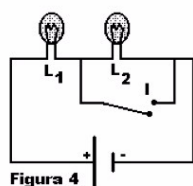


Figura 4

[15:42, 16/1/2018] Entrevistador: Resposta e justificativa?

[15:48, 16/1/2018] Aluno10: Alternativa A.

[15:49, 16/1/2018] Entrevistador: Por quê?

[15:50, 16/1/2018] Aluno10: Porque com o interruptor fechado vai ser um caminho mais fácil sem passar pela resistência da lâmpada.

[15:52, 16/1/2018] Entrevistador: E por que isso faz aumentar o brilho de  $L_1$ ?

[15:53, 16/1/2018] Aluno10: Porque a corrente não precisará mais passar pela resistência da lâmpada.

[15:54, 16/1/2018] Entrevistador: De qual lâmpada?

[15:55, 16/1/2018] Aluno10:  $L_2$ .

**Comentário: O aluno exibe o modelo da fonte constante de corrente e do consumo de corrente.**

[15:56, 16/1/2018] Entrevistador: OK

[15:56, 16/1/2018] Entrevistador: Vamos para a última pergunta.

07 – 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  $L_4$ .

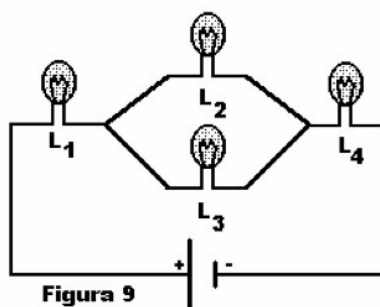


Figura 9

[15:56, 16/1/2018] Entrevistador: Resposta e justificativa?

[16:05, 16/1/2018] Aluno10: Alternativa A, porque tanto para L1 como para L4 a resistência é a mesma.

[16:15, 16/1/2018] Entrevistador: OK! Agora imagine que L3 seja retirada do circuito. O que aconteceria em termos dos brilhos em L1, L2 e L4?

[16:17, 16/1/2018] Aluno10: O brilho seria igual para L1, L2 e L4

[16:18, 16/1/2018] Entrevistador: OK, mas seria maior ou menor do que o brilho anterior?

[16:19, 16/1/2018] Aluno10: Seria menor.

[16:20, 16/1/2018] Entrevistador: Por quê?

[16:21, 16/1/2018] Aluno10: Me confundi eu acho que seria maior pois agora além de ter uma lâmpada a menos agora as lâmpadas estão em serie.

**Comentário: O aluno exibe a concepção de outros entrevistados, segundo a qual o que importa é o número de resistências e não a forma como estão conectadas. Neste caso, o aluno não se dá conta que retirando L2, aumenta a resistência total do circuito, portanto diminui a corrente e o brilho nas lâmpadas.**

[16:24, 16/1/2018] Entrevistador: Muito obrigado por participar da pesquisa. Por favor não esqueça o que falei no início, para não comentar com seus colegas o que discutimos aqui, senão vai atrapalhar nossa pesquisa. Boa sorte nos estudos.

[16:25, 16/1/2018] Aluno10: Obrigado professor. Não vou comentar nada não.

#### Aluno11 (turma noturna, aluno com bom rendimento escolar)

05 – No circuito da figura 1 pode-se afirmar que:

- a) L<sub>1</sub> brilha mais que L<sub>2</sub> e esta mais que L<sub>3</sub>
- b) L<sub>3</sub> brilha mais que L<sub>2</sub> e esta mais que L<sub>1</sub>
- c) As três lâmpadas tem o mesmo brilho

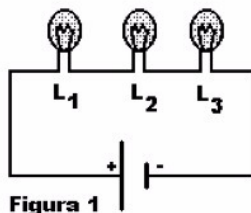


Figura 1

[18:04, 15/1/2018] Entrevistador: resposta e justificativa?

[18:05, 15/1/2018] Aluno11: Resposta C! Porque elas estão em série!

[18:06, 15/1/2018] Entrevistador: Ok. Por que as lâmpadas brilham?

[18:07, 15/1/2018] Aluno11: Por que está passando corrente elétrica por elas.

[18:09, 15/1/2018] Entrevistador: Perfeito. Você está dizendo que é a corrente que produz o brilho na lâmpada, é isso?

[18:09, 15/1/2018] Aluno11: Sim.

[18:12, 15/1/2018] Entrevistador: Se a corrente é mais intensa, o brilho é menor ou maior?

[18:12, 15/1/2018] Aluno11: Maior

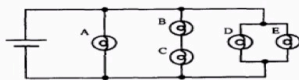
[18:18, 15/1/2018] Entrevistador: Perfeito. Agora me diga, qual é o sentido da corrente nesse circuito?

[18:21, 15/1/2018] Aluno11: Da esquerda para direita. Sentido horário.

[18:23, 15/1/2018] Entrevistador: Ou seja, sai do polo positivo e entra no negativo, é isso?

[18:23, 15/1/2018] Aluno11: É isso!

02 – No circuito da figura abaixo ordene as lâmpadas de acordo com a luminosidade se a bateria for ideal.



- a)  $A=D=E>B=C$
- b)  $A=D=B=C=E$
- c)  $A>B=C>D=E$

[18:23, 15/1/2018] Entrevistador: resposta e justificativa?

[18:25, 15/1/2018] Aluno11: Resposta A! Por que A, D e E estão em paralelo e B e C estão em série.

[18:26, 15/1/2018] Entrevistador: Por que a corrente em A é maior do que em B e C?

[18:32, 15/1/2018] Aluno11: Porque A está em paralelo e B e C estão em série. Quando é uma ligação em série, a corrente percorre um só caminho, e em paralelo a corrente se divide. Por a corrente em série percorrer somente por um caminho, faz com que esse brilho se torne mais fraco.

[18:37, 15/1/2018] Entrevistador: Por que ao percorrer somente um caminho faz com que o brilho se torne fraco?

[18:40, 15/1/2018] Aluno11: Nesse caso é porque tem duas lâmpadas, e a corrente que passa se divide para as duas fazendo com que se torne mais fraca.

**Comentário: Modelo do consumo de corrente.**

[18:43, 15/1/2018] Entrevistador: Tente fazer um relato do percurso da corrente nesse circuito. Comece assim: a corrente sai do polo positivo com um certo valor, depois . . .

[18:43, 15/1/2018] Entrevistador: o que acontece com ela?

[18:52, 15/1/2018] Aluno11: a corrente sai do polo positivo com um certo valor, depois transmite uma certa quantidade de corrente à lâmpada A e continua passando corrente para as demais lâmpadas chegando ao polo negativo. Não tenho certeza mas acho que funciona desse jeito.

[18:55, 15/1/2018] Entrevistador: Depois que passa de A, o que acontece com a intensidade da corrente?

[18:56, 15/1/2018] Aluno11: Vai diminuir.

[19:05, 15/1/2018] Entrevistador: E o que acontece quando ela chega naquele trecho onde encontra-se B e C?

[19:12, 15/1/2018] Aluno11: A corrente percorre um só caminho. Fazendo com que a lâmpada B e C tenha o mesmo brilho.

[19:17, 15/1/2018] Entrevistador: E depois que passa do trecho de B e C o que acontece?

[19:22, 15/1/2018] Aluno11: A corrente passa D e E fazendo com que ela se divida tornando o brilho de D e E maior que B e C.

[19:23, 15/1/2018] Entrevistador: Mas, se ela se divide a intensidade não deveria ser menor? Essa é a primeira vez que vejo algo se dividir e ficar maior. Não tem algo errado nessa história?

[19:32, 15/1/2018] Aluno11: Não é nesse sentido que quis dizer. O sentido que quis expressar é que somente irá passar uma certa quantidade de corrente para uma única lâmpada fazendo com que ela seja maior que B e C.



[19:36, 15/1/2018] Entrevistador: Tem uma corrente que passa por B e C e tem uma corrente que vai passar por D e E. Digamos que a corrente que passa por B e C tenha valor  $I_1$ . A corrente que passa por D e E tem que valor?

[19:40, 15/1/2018] Aluno11: Eu não sei te responder com certeza, pois já faz um certo tempo que não vejo esse conteúdo, mas acho que o valor seria  $I_2$ .

[19:42, 15/1/2018] Entrevistador: O que quero saber é a relação entre  $I_1$  e  $I_2$ . Ou se  $I_1$  é maior ou menor do que  $I_2$ .

[19:44, 15/1/2018] Aluno11:  $I_1$  é menor.

[19:46, 15/1/2018] Entrevistador: Por quê?

[19:47, 15/1/2018] Aluno11: Porque B e C estão em série.

[19:51, 15/1/2018] Entrevistador: Por que B e C estando em série faz com que a corrente seja menor?

[19:55, 15/1/2018] Aluno11: Porque a corrente em série vai percorrer somente por um caminho, fazendo com que essa corrente se torne menor.

**Comentário: O conflito cognitivo do aluno aparenta ser demasiadamente complexo para ser tratado nessa entrevista.**

[19:59, 15/1/2018] Entrevistador: OK. Vamos para a próxima questão.

06 – No circuito da figura 4, I é um interruptor aberto. Ao fechá-lo:

- Aumenta o brilho de  $L_1$ .
- O brilho de  $L_1$  permanece o mesmo.
- Diminui o brilho de  $L_1$ .

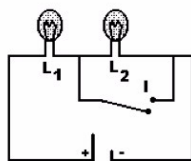


Figura 4

[19:59, 15/1/2018] Entrevistador: Resposta e justificativa?

[20:01, 15/1/2018] Aluno11: Resposta A, por que passa corrente somente por ela.

[20:03, 15/1/2018] Entrevistador: Por que passa corrente somente por  $L_1$ ?

[20:08, 15/1/2018] Aluno11:  $L_1$  somente aumenta o brilho ao fechar o interruptor, eu não tinha visualizado a imagem direito.

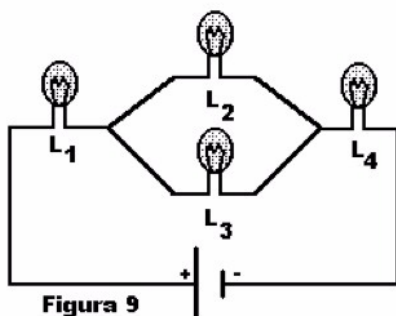
[20:09, 15/1/2018] Entrevistador: Ok, mas você não respondeu por que ao fechar o interruptor aumenta o brilho de  $L_1$ .

[20:12, 15/1/2018] Aluno11: Porque ao fechar o interruptor haverá outro caminho para a corrente percorrer que não tenha obstáculos, fazendo com que o brilho de  $L_1$  se torne mais forte.

[20:14, 15/1/2018] Entrevistador: Ok vamos para a última questão.

07 – 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  $L_4$ .



[20:14, 15/1/2018] Entrevistador: Resposta e justificativa?

[20:17, 15/1/2018] Aluno11: Resposta A! Porque a mesma quantidade de corrente que passa por  $L_1$  irá passar por  $L_4$ .

[20:19, 15/1/2018] Entrevistador: Perfeito!

[20:19, 15/1/2018] Entrevistador: E se  $L_3$  for retirada do circuito, o que acontecerá?

[20:21, 15/1/2018] Aluno11: O circuito irá se tornar em série, fazendo com que as três lâmpadas tenham o mesmo brilho.

[20:22, 15/1/2018] Entrevistador: E o brilho será maior ou menor do que o anterior?

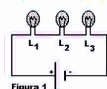
[20:24, 15/1/2018] Aluno11: O brilho irá se tornar menor.

[20:26, 15/1/2018] Entrevistador: Maravilha! Obrigado pela entrevista. Foi ótima. Peço que você não comente com seus colegas sobre a entrevista para não atrapalhar nossa pesquisa. Quando entrevistarmos os 14 selecionados, o prof. Cristiano vai conversar com vocês. Abraço

[20:27, 15/1/2018] Aluno11: Ok! Obrigado também.

### Aluna12 (turma vespertina, aluna com baixo rendimento escolar)

05 – No circuito da figura 1 pode-se afirmar que:  
 e esta mais que  $L_2$  a)  $L_1$  brilha mais que  $L_2$   
 e esta mais que  $L_1$  b)  $L_2$  brilha mais que  $L_1$   
 n o mesmo brilho c) As três lâmpadas ter



[14:25, 17/1/2018] Entrevistador: Qual a alternativa correta? E qual a justificativa?

[14:28, 17/1/2018] Aluna12: Alternativa C. Porque as lâmpadas estão associadas em série.

[14:29, 17/1/2018] Entrevistador: Quem produz o brilho nas lâmpadas?

[14:32, 17/1/2018] Aluna12: Não sei.

[14:32, 17/1/2018] Entrevistador: E por que as lâmpadas têm o mesmo brilho?

[14:33, 17/1/2018] Aluna12: Eu acho que e por conta da associação delas.

**Comentário: Aparentemente a aluna decorou o que viu durante a manipulação dos circuitos, sem se apropriar dos conceitos que estão por trás dos fenômenos observados.**

[14:35, 17/1/2018] Entrevistador: O que faz o fato de a associação ser em série implicar no mesmo brilho?

[14:39, 17/1/2018] Aluna12: Porque elas estão uma ao lado da outra, então a corrente percorre em sentido reto sem nenhum desvio.

[14:40, 17/1/2018] Entrevistador: Qual o sentido que a corrente percorre nesse circuito?

[14:41, 17/1/2018] Aluna12: Tenho dúvidas, mas acho que é convencional.

[14:42, 17/1/2018] Entrevistador: E qual é o sentido convencional?

[14:42, 17/1/2018] Entrevistador: Qual é a primeira lâmpada pela qual a corrente passa?

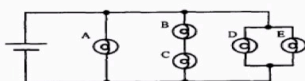
[14:43, 17/1/2018] Aluna12: L1.

[14:43, 17/1/2018] Entrevistador: Então a corrente sai de qual terminal da bateria?

[14:43, 17/1/2018] Aluna12: Do pólo positivo para o negativo.

[14:44, 17/1/2018] Entrevistador: OK.

02 - No circuito da figura abaixo ordene as lâmpadas de acordo com a luminosidade se a bateria for ideal.



- a)  $A=D=E>B=C$
- b)  $A=D=B=C=E$
- c)  $A>B=C>D=E$

[14:44, 17/1/2018] Entrevistador: Resposta e justificativa?

[14:48, 17/1/2018] Aluna12: Alternativa A. Porque a corrente passa direto e deixa B, C com pouco brilho!

**Comentário: A aluna sugere trabalhar com o modelo do consumo de corrente.**

[14:51, 17/1/2018] Entrevistador: Explica direito o que você quer dizer com "passa direto".

[14:54, 17/1/2018] Aluna12: Porque a corrente percorre com maior intensidade para a lâmpada A e para D e E!

[14:55, 17/1/2018] Entrevistador: Faça um relato do percurso inteiro da corrente. Assim: A corrente sai do polo positivo e quando chega no ponto que está ligado a A . . . continue a narração

[15:00, 17/1/2018] Aluna12: Ah, não sei explicar.

[15:01, 17/1/2018] Entrevistador: Como não sabe? Você já disse uma parte: "Porque a corrente percorre com maior intensidade para a lâmpada A e para D e E!" É só melhorar a narrativa, dizer com mais detalhe

[15:05, 17/1/2018] Aluna12: Enfim quando a corrente chega no ponto ligado a A vem com grande intensidade, chegando ao ponto B, C com intensidade menor e enfim chegando no D e E com a intensidade maior por elas estarem associada em paralelo.

**Comentário: A aluna viola a lei de conservação de corrente.**

[15:07, 17/1/2018] Entrevistador: Deixe-me ver se entendi o que você quer dizer. Quando chega no ponto ligado a A uma parte da corrente vai para A e outra parte menor vai para B e C. É isso?

[15:08, 17/1/2018] Aluna12: É

[15:09, 17/1/2018] Entrevistador: Quando essa parte menor que sai do ponto ligado a A, chega no ponto ligado a B e C, o que acontece?

[15:11, 17/1/2018] Aluna12: Fica com a intensidade menor por está associado em série, pois logo na frente vem uma associação em paralelo.

[15:14, 17/1/2018] Entrevistador: Não é exatamente isso que eu quero saber. Eu quero saber o que acontece com a corrente quando ela chega no ponto ligado a B e C. Vou explicar.

[15:15, 17/1/2018] Entrevistador: Pelo que você disse acima, quando a corrente chega no ponto ligado a A, ela se divide. Uma parte maior passa por A e uma parte menor segue em frente. É isso que você quis dizer logo no início?

[15:16, 17/1/2018] Aluna12: É.

[15:17, 17/1/2018] Entrevistador: OK. Então, essa corrente, que é menor do que a que passou por A, vai se dividir novamente quando chegar no ponto ligado a B e C. É isso?

[15:17, 17/1/2018] Aluna12: É.

[15:19, 17/1/2018] Entrevistador: E agora, exatamente quando ela chega nesse ponto ligado a B e C, o que acontece?

[15:19, 17/1/2018] Aluna12: Não sei explicar.

[15:20, 17/1/2018] Entrevistador: Como não sabe? É algo similar ao que aconteceu no ponto ligado a A.

[15:21, 17/1/2018] Aluna12: Para mim a corrente quando chega a B e C, ela se divide tornando-se ainda mais fraca.

[15:22, 17/1/2018] Entrevistador: Quer dizer, uma parte vai para B e C e outra vai para o ramo onde encontram-se D e E. É isso?

[15:23, 17/1/2018] Aluna12: Não ela se divide apenas entre B e C!

**Comentário: Essa afirmação define outra faceta do modelo do consumo de corrente.**

[15:28, 17/1/2018] Entrevistador: Como assim?

[15:28, 17/1/2018] Aluna12: Ah não sei distinguir!

[15:29, 17/1/2018] Entrevistador: Espera um instantinho. Vou te enviar outro desenho.

[15:34, 17/1/2018] Aluna12: Vou ter que sair, vou trabalhar!

[15:35, 17/1/2018] Entrevistador: Podemos continuar em outra hora?

[15:35, 17/1/2018] Aluna12: Sim

[15:35, 17/1/2018] Aluna12: Amanhã no mesmo horário.

[15:36, 17/1/2018] Entrevistador: ok! Até amanhã

[14:01, 18/1/2018] Entrevistador: Boa tarde!

**Comentário: A Aluna12 não atendeu mais ao nosso chamado.**

## **Apêndice E – Artigo para publicação**

Como o conteúdo do artigo foi completamente extraído da dissertação, não o repetiremos aqui. Vamos colocar apenas as duas páginas com o resumo e o abstract.

# Experimentos de baixo custo para abordar concepções alternativas sobre corrente elétrica em circuitos simples

## Low cost experiments to approach alternative conceptions about electric current in simple circuits

Francisco Cristiano Barbosa Lima<sup>\*</sup>, Geovani Ferreira Barbosa<sup>\*</sup>,  
Fernando Lang da Silveira<sup>\*\*</sup>, Carlos Alberto dos Santos<sup>\*9</sup>

<sup>\*</sup>Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, RN, Brasil.

<sup>\*\*</sup>Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.

### Resumo

Experimentos com materiais de baixo custo, inteiramente confeccionados por alunos do 3º. Ano do Ensino Médio de uma escola pública em Itaiçaba (Ce), foram utilizados para a investigação de concepções alternativas sobre circuitos elétricos simples. As entrevistas clínicas realizadas com 12 alunos selecionados de acordo com o padrão de suas respostas no teste de múltipla-escolha elaborado para investigar concepções alternativas e de seus rendimentos escolares na disciplina antes do experimento, mostraram a recorrência de concepções alternativas, bem como a falta de consistência nas respostas escritas, em conformidade com relatos na literatura. As entrevistas clínicas, realizadas aproximadamente um mês após a manipulação dos experimentos, mostraram que a simples realização dos experimentos não é capaz de superar as concepções alternativas mais persistentes. Não obstante, acredita-se que o uso concomitante de experimentos e entrevistas clínicas, pode ser potencialmente útil para proporcionar mudanças conceituais.

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

---

<sup>9</sup> Endereço para correspondência: cas.ufrgs@gmail.com. Endereço atual: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil.

**Abstract**

Experiments with low cost materials, entirely made by students of the 3rd. Year of High School of a public school in Itaiçaba (Ce), were used to investigate alternative conceptions about simple electric circuits. Clinical interviews with 12 students selected according to the pattern of their responses in the multiple-choice test designed to investigate alternative conceptions and their school performance in the discipline prior to the experiment showed the recurrence of alternative conceptions as well as the lack of consistency in written responses, according to reports in the literature. The clinical interviews, conducted approximately one month after the manipulation of the experiments, showed that the simple accomplishment of the experiments is not able to overcome the more persistent alternative conceptions. Nevertheless, it is believed that the concomitant use of experiments and clinical interviews may be potentially useful to provide conceptual changes.

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