

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA**

**PAULO ROBERTO FERREIRA DA SILVA**

**UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA EXPLICAR  
COMO OCORRE O FLUXO DE ELÉTRONS NO INTERIOR DE UM FIO  
CONDUTOR**

VITÓRIA  
2021

**PAULO ROBERTO FERREIRA DA SILVA**

**UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA EXPLICAR  
COMO OCORRE O FLUXO DE ELÉTRONS NO INTERIOR DE UM FIO  
CONDUTOR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física (PPGEnFis) do Centro de Ciências Exatas, da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Dias Pereira.

Vitória  
2021

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

---

S586p Silva, Paulo Roberto Ferreira da, 1983-  
Uma proposta de sequência didática para explicar como ocorre o fluxo de elétrons no interior de um fio condutor / Paulo Roberto Ferreira da Silva. - 2021.  
211 f. : il.

Orientador: Rodrigo Dias Pereira.  
Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Exatas.

1. Corrente elétrica. 2. Circuito elétrico simples. 3. Spiral Marble Machine. 4. Material instrucional. 5. Aprendizagem significativa. I. Pereira, Rodrigo Dias. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Exatas. III. Título.

CDU: 53

---



## " UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA EXPLICAR COMO OCORRE O FLUXO DE ELÉTRONS NO INTERIOR DE UM FIO CONDUTOR"

**Paulo Roberto Ferreira da Silva**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física - Mestrado Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em 31 de março de 2021.

### Banca Examinadora

Prof. Dr. Rodrigo Dias Pereira  
(Orientador: PPGEnFis/UFES)

Prof. Dr. Germano Amaral Monerat  
(Membro Externo: Universidade do Estado do Rio de Janeiro)

Prof. Dr. Flávio Gimenes Alvarenga  
(Membro Interno: PPGEnFis/UFES)

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, que com sua ilimitada sabedoria, foi um extraordinário guia na minha trajetória.

A minha mãe Maguidales, com toda sua simplicidade e com seus esforços contínuos foi o suporte para a base dos meus estudos.

A minha esposa Francieli que não mediu esforços para me ajudar alcançar esse objetivo, sempre me motivou com suas palavras de apoio, seu companheirismo em momentos em que eu precisei me ausentar do âmbito familiar para poder trabalhar na realização desse projeto.

A minha filha Alice Maria que nasceu durante o desenvolvimento desse trabalho e foi um incentivo e inspiração para chegar à conclusão dessa dissertação.

## **AGRADECIMENTOS**

A escola Hilda Miranda Nascimento de Porto Cano na Serra/ES que possibilitou a realização dessa pesquisa.

Aos queridos alunos do terceiro ano do ensino médio de 2019 Matutino/Vespertino que contribuíram com garra, carinho e dedicação para a evolução desse trabalho.

Aos colegas de curso 2018/1 que me ajudaram direto e indiretamente.

Aos professores do curso, que dispuseram de nos enriquecer com seus conhecimentos e ensinamentos, em especial o professor Laércio Ferracioli, sempre atencioso e carismático.

Ao orientador Rodrigo Dias Pereira, que me ajudou com suas precisas e incisivas pontuações, tornando esse trabalho real, e possibilitou a conclusão dessa trajetória formativa.

Ao professor Flávio Gimenes Alvarenga sempre muito gentil.

A Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) que ofereceu o Programa de Pós-graduação em Ensino de Física (PPGEnFis).

*“Ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua própria produção ou a sua construção”.*

Paulo Freire

## RESUMO

Este trabalho é uma pesquisa-ação por meio do qual foi investigada uma proposta de ensino a respeito do conceito de corrente elétrica e sua aplicação em circuitos elétricos simples. De acordo com a matriz de conhecimentos por trimestre para o Ensino Médio Regular da Rede Estadual de Ensino, estes conteúdos estão programados para serem ensinados no 2º trimestre do 3º ano do Ensino Médio. De forma geral, alunos e professores consideram tais assuntos difíceis, porém, necessários, pois eles são partes constituintes do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) e do Programa de Avaliação da Educação Básica do Espírito Santo (PAEBES). Além disso, observa-se que muitos dos termos utilizados para conceituar as grandezas Físicas nos “fenômenos” elétricos são conhecidos pelos alunos e utilizados na linguagem cotidiana do senso comum. Por outro lado, diversos trabalhos publicados na literatura, têm mostrado que os alunos apresentam dificuldade de abandonar suas concepções espontâneas com relação ao assunto. Propomos, neste trabalho, o desenvolvimento de uma sequência de aulas para o ensino de corrente elétrica, utilizando como instrumento central um aparato conhecido como *Spiral Marble Machine*. Como referencial teórico, utilizaremos a Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel. Na primeira etapa do trabalho, aplicamos um teste diagnóstico dividido em duas etapas e considerando a dificuldade e complexidade que envolve a elaboração de um teste diagnóstico, para as questões objetivas optamos por utilizar o teste desenvolvido por Silveira e colaboradores e que foi reaplicado por Andrade e colaboradores. A partir dos resultados obtidos no pré-teste elaboramos alguns materiais instrucionais e os aplicamos em duas turmas do 3º ano do Ensino Médio, totalizando 57 alunos participantes. Optamos por desenvolver uma série de aulas nas quais será possível corrigir dificuldades observadas e, ao mesmo tempo, introduzir os conceitos físicos relacionados com corrente elétrica. Utilizamos o aparato conhecido como *Spiral Marble Machine*, basicamente tal aparato é projetado para movimentar uma bola do fundo de um labirinto até o topo. Para pessoas que preferem interagir fisicamente com o aparato, podem funcionar manualmente, por meio de manivela, elástico, haste de tiro, ou outros métodos. Escolhemos o *Spiral Marble Machine* pois ele

possibilita uma analogia a respeito da passagem dos elétrons no interior de um fio condutor. De maneira conceitual, os alunos do Ensino Médio, nas aulas de Física, acreditam que os elétrons se movimentam na velocidade da luz, quando na verdade, esse movimento é descrito por um salto quântico, também chamado de transição eletrônica atômica. Na última etapa aplicamos um pós-teste, constituídos de questões semelhantes ao pré-teste, porém com um maior nível de aprofundamento. A comparação entre os resultados do pré e pós – teste indicou um aumento da média das turmas e através de um teste estatístico podemos verificar que tal diferença pode ser atribuída a sequência didática utilizada. De forma geral, podemos dizer que a sequência de aulas e os instrumentos utilizados apresentam indícios de serem potencialmente significativos.

**Palavras-chave:** Corrente elétrica; Circuito elétrico Simples, *Spiral Marble Machine*, Material instrucional, aprendizagem Significativa.

## **ABSTRACT**

This work is an action research through which a teaching proposal was investigated about the concept of electric current and its application in simple electrical circuits. According to the knowledge matrix per trimester for regular high school in the State Education Network, these contents are scheduled to be taught in the 2nd trimester of the 3rd year of high school. In general, students and teachers consider these subjects difficult, but necessary, because they are constituent parts of the National High School Exam (ENEM) and of the Evaluation Program of Basic Education of Espírito Santo (PAEBES). Moreover, it is observed that many of the terms used to conceptualize the physical quantities in electrical "phenomena" are known by students and used in everyday language of common sense. On the other hand, several papers published in the literature have shown that students have difficulty abandoning their spontaneous conceptions about the subject. In this paper, we propose the development of a sequence of lessons for teaching electric current, using as a central instrument an apparatus known as the Spiral Marble Machine. As a theoretical reference, we will use Ausubel's Theory of Meaningful Learning. In the first stage of the work, we applied a diagnostic test divided into two stages and, considering the difficulty and complexity involved in the elaboration of a diagnostic test, for the objective questions we chose to use the test developed by Silveira and collaborators and that was reapplied by Andrade and collaborators. Based on the results obtained in the pre-test, we prepared some instructional materials and applied them to two 3rd grade high school classes, totaling 57 students. We chose to develop a series of classes in which it will be possible to correct observed difficulties and, at the same time, introduce physical concepts related to electric current. We used the apparatus known as the Spiral Marble Machine, basically such apparatus is designed to move a ball from the bottom of a maze to the top. For people who prefer to physically interact with the apparatus, they can operate it manually, by means of a crank, rubber band, shooting rod, or other methods. We chose the Spiral Marble Machine because it allows an analogy regarding the passage of electrons inside a

conducting wire. Conceptually, high school students, in physics classes, believe that electrons move at the speed of light, when in fact this movement is described by a quantum jump, also called an electronic atomic transition. In the last stage we applied a post-test, consisting of questions similar to the pre-test, but with a greater level of depth. The comparison between the results of the pre and post test indicated an increase in the average of the classes, and through a statistical test we can verify that this difference can be attributed to the didactic sequence used. In general, we can say that the sequence of classes and the instruments used present indications of being potentially significant.

**Keywords:** Electric Current, Simple Electrical Circuits, Spiral Marble Machine, Instructional Materials, Meaningful Learning.

## **SIGLAS**

|                  |   |
|------------------|---|
| <b>BNCC</b>      | Base Nacional Comum Curricular                |
| <b>MI</b>        | Material Instrucional                         |
| <b>PCN'S</b>     | Parâmetros Curriculares Nacionais             |
| <b>PPGEEnFis</b> | Programa de Pós-graduação em Ensino de Física |
| <b>TAS</b>       | Teoria da Aprendizagem Significativa          |
| <b>TCLE</b>      | Termo de Consentimento Livre e Esclarecido    |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Evolução do número de publicações na Revista Brasileira de Ensino de Física.....  | 34 |
| Figura 2 - Evolução do número de publicações nas seções voltadas diretamente ao ensino.....  | 35 |
| Figura 3 – Evolução do número de artigos publicados relacionado a abordagem dos conceitos iniciais de eletrodinâmica no ensino médio ..... | 35 |
| Figura 4 - Modelos atômicos desenvolvidos ao longo da história. ....   | 54 |
| Figura 5 – Corpos eletrizados. ....  | 56 |
| Figura 6 – Representação do movimento caótico dos elétrons de condução em um fio de cobre.....   | 58 |
| Figura 7- Cargas em movimento através de uma área A de um fio condutor. ....   | 58 |
| Figura 8 - Deslocamento dos portadores de cargas elétricas através do plano “da” no tempo $\delta t$ .....                                 | 60 |
| Figura 9 - Associação de resistores em série.....  | 66 |
| Figura 10 – Associação de resistores em paralelo .....   | 66 |
| Figura 11 - Esquema da organização do desenvolvimento do trabalho. ....  | 70 |
| Figura 12 - Capa do filme: "Guerra das correntes".....   | 81 |
| Figura 13 - Montagem inicial do <i>Spiral Marble Machine</i> .....   | 82 |
| Figura 14 - Dispositivos utilizados durante a aula. ....   | 83 |
| Figura 15 - Experimento de acender uma lâmpada. ....   | 84 |
| Figura 16 – Aparato experimental do grupo Alpha .....  | 86 |
| Figura 17 - Parte do relato do grupo alpha.....  | 86 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 18 – Aparato experimental do grupo Física.....                         | 87  |
| Figura 19 - Parte do relato do grupo Física.....                              | 88  |
| Figura 20 – Aparato experimental do grupo Edison. ....                        | 89  |
| Figura 21 - Parte do relato do grupo Edison.....                              | 89  |
| Figura 22 - Aparato experimental do grupo elétron. ....                       | 90  |
| Figura 23 - Parte do relato do grupo elétron.....                             | 90  |
| Figura 24 - Associação em série de lâmpadas.....                              | 91  |
| Figura 25 - Associação em paralelo de lâmpadas.....                           | 92  |
| Figura 26 - Associação mista de lâmpadas.....                                 | 92  |
| Figura 27 - Resposta da questão discursiva 1, dada pelo aluno 39.....         | 98  |
| Figura 28 – Resposta da questão discursiva 1, dada pelo aluno 58. ....        | 99  |
| Figura 29 - Resposta da questão discursiva 1, dada pelo aluno 6.....          | 99  |
| Figura 30 – Resposta da questão discursiva 1, dada pelo aluno 42.....         | 99  |
| Figura 31 - Resposta da questão discursiva 1, dada pelo aluno 48.....         | 100 |
| Figura 32 – Resposta da questão discursiva 1, dada pelo aluno 46. ....        | 100 |
| Figura 33 – Resposta da questão discursiva 1, dada pelo aluno 14. ....        | 101 |
| Figura 34 – Resposta da questão discursiva 2, dada pelo aluno 42.....         | 102 |
| Figura 35 – Respostas da questão discursiva 2, dada pelos alunos 4 e 8.....   | 103 |
| Figura 36 – Respostas da questão discursiva 2, dada pelos alunos 12 e 31..... | 103 |
| Figura 37 - Resposta da questão discursiva 2, dada pelo aluno 26.....         | 103 |
| Figura 38 - Resposta da questão discursiva 2, dada pelo aluno 5.....          | 104 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 39 - Resposta da questão 3, dada pelo aluno 55.....  | 105 |
| Figura 40 – Respostas da questão 3, dada pelos alunos 12; 21; 38 e 41.....                                    | 105 |
| Figura 41 - Respostas da questão 3, dada pelos alunos 35; 35 e 46.....  | 105 |
| Figura 42 – Gabarito de quatro alunos, que exemplifica a falta o padrão diversificado das respostas. ....     | 107 |
| Figura 43 – Porcentagem de acertos referentes às questões do pré-teste – parte 2 da turma 3M5. ....           | 108 |
| Figura 44 - Porcentagem de acertos referentes às questões do pré-teste - parte 2 da turma 3V5.....            | 109 |
| Figura 45 - Questão 1 do pré-teste parte objetiva. ....   | 110 |
| Figura 46 – Questão 2 do pré-teste parte objetiva. ....   | 111 |
| Figura 47 - Questão 3 do pré-teste parte objetiva. ....   | 112 |
| Figura 48 – Questão 4 do pré-teste parte objetiva ....  | 112 |
| Figura 49 - Resposta da questão discursiva 1 do pós-teste, dada pelo aluno 4 ....                             | 114 |
| Figura 50 – Resposta da questão discursiva 1 do pós-teste dada pelo aluno 58....                              | 115 |
| Figura 51 – Resposta da questão discursiva 1 do pós-teste dada pelo aluno 34....                              | 115 |
| Figura 52 – Resposta da questão discursiva 1 do pós-teste dada pelo aluno 7. ....                             | 115 |
| Figura 53 - Resposta da questão discursiva 1 do pós-teste dada pelo aluno 2 .....                             | 116 |
| Figura 54 - Resposta da questão discursiva 2 do pós-teste dada pelo aluno 2.Fonte: Produzida pelo autor. .... | 116 |
| Figura 55 - Resposta da questão discursiva 1 do pós-teste dada pelo aluno 5.Fonte: Produzida pelo autor. .... | 116 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 56 – Resposta da questão discursiva 2 do pós-teste dada pelos alunos 30 e 7.<br>..... | 117 |
| Figura 57 - Resposta da questão discursiva 3 do pós-teste dada pelo aluno 48. ...            | 117 |
| Figura 58 - Distribuição normal das notas do pré e pós -- teste da turma 3M5. ....           | 119 |
| Figura 59 – Distribuição normal das notas do pré e pós-teste da turma 3V5. ....              | 119 |
| Figura 60 - Representação da interpretação dos valores de “t de student” .....               | 120 |
| Figura 61 - Questão 4 da parte objetiva do pós-teste. ....                                   | 121 |
| Figura 62 – Questão 7 da parte objetiva do pós-teste.....                                    | 121 |
| Figura 63 - Questão 5 da parte objetiva do pós-teste. ....                                   | 122 |
| Figura 64 - Imagem 1 – Questão 1 do pré-teste.....   | 134 |
| Figura 65 - Imagem 2 - Questão 2 do pré-teste. ....  | 135 |
| Figura 66 - Imagem 3 - Questão 3 do pré-teste. ....  | 135 |
| Figura 67- Imagem 4 - Questão 4 do pré-teste. ....   | 136 |
| Figura 68 - Imagem 5 - Questão 5 do pré-teste. ....  | 136 |
| Figura 69 - Imagem 6 - Questão 6 do pré-teste. ....  | 137 |
| Figura 70 - Imagem 7 - Questão 7 do pré-teste. ....  | 137 |
| Figura 71 - Imagem 8 - Questão 8 do pré-teste. ....  | 138 |
| Figura 72 - Imagem 9 - Questões 9 e 10 do pré-teste.....                                     | 138 |
| Figura 73 - Imagem 10 - Questão 11 do pré-teste.....   | 139 |
| Figura 74 - Imagem 11 - Questão 13 do pré-teste.....   | 139 |
| Figura 75 – Spiral Marble Machine - espiral rotativo .....                                   | 140 |
| Figura 76 – Spiral Marble Machine - espiral.....   | 140 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 77– Spiral Marble Machine - Obstáculos..... | 141 |
| Figura 78 - Spiral Marble Machine - Caminhos ..... | 141 |
| Figura 79 - Cabeçalho da Escola .....              | 142 |
| Figura 80 - Questão 5 - Pós teste .....            | 143 |
| Figura 81 - Questão 6 - Pós teste .....            | 143 |
| Figura 82 - Questão 7 - Pós teste .....            | 144 |
| Figura 83 - Questão 8 - Pós teste .....            | 144 |
| Figura 84 - Questão 9 - Pós teste .....            | 145 |
| Figura 85 - Questão 9 - Pós teste .....            | 145 |
| Figura 86 - Questão 10 - Pós teste .....           | 146 |
| Figura 87 - Questão 11 - Pós teste.....            | 146 |
| Figura 88 - Questão 11 - a) - Pós teste .....      | 146 |
| Figura 89 - Questão 11 - b) - Pós teste .....      | 147 |
| Figura 90 - Questão 11 - c) - Pós teste.....       | 147 |
| Figura 91 - Questão 12 - Pós teste .....           | 147 |
| Figura 92 - Gabarito - Pós-teste .....             | 148 |

## LISTA DE QUADROS

|  |     |
|--|-----|
| Quadro 1 - Competências gerais da educação básica.....   | 30  |
| Quadro 2 - Competências específicas da área de Ciências da Natureza e suas tecnologias.....                                  | 31  |
| Quadro 3 – Competências, habilidades e conteúdo de Física do 3º Ano do Ensino Médio, conforme a Base Curricular da SEDU..... | 32  |
| Quadro 4 - Mapeamento dos artigos.....   | 36  |
| Quadro 5 - Síntese das condições para que ocorra uma aprendizagem significativa.....   | 46  |
| Quadro 6 – Algumas propriedades dos prótons, nêutrons e elétrons.....  | 55  |
| Quadro 7 – Submúltiplos do Coulomb.....  | 57  |
| Quadro 8 - Resumo da aplicação das atividades e materiais instrucionais.....   | 93  |
| Quadro 9 - Valores de referência para o coeficiente Alfa de Cronbach.....  | 107 |
| Quadro 10 – Dados comparativos entre o resultado do teste 3 com o pré e pós-testes.....                                      | 123 |

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO .....   | 22 |
| 1.1 A DIFICULDADE DE LECIONAR FÍSICA E A IMPORTANCIA DA CONEXÃO DA FÍSICA DA SALA DE AULA COM A FÍSICA DO COTIDIANO ..... | 26 |
| 1.2 PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS, MATRIZ DE CONHECIMENTO DA SEDU E A BASE NACIONAL COMUM CURRICULAR .....            | 29 |
| 1.3 BREVE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE A TEMÁTICA CORRENTE ELÉTRICA .....  | 33 |
| 1.4 OBJETIVOS .....   | 41 |
| 1.4.1 OBJETIVO GERAL .....  | 41 |
| 1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....  | 41 |
| 1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....  | 41 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO .....  | 43 |
| 2.1 A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA (TAS) .....  | 43 |
| 2.1.1 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E APRENDIZAGEM MECÂNICA.....   | 45 |
| 2.1.2 CONDIÇÕES PARA OCORRÊNCIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA.....  | 45 |
| 2.1.3 DIFERENCIAÇÃO PROGRESSIVA E RECONCILIAÇÃO INTEGRADORA.....  | 46 |
| A) DIFERENCIAÇÃO PROGRESSIVA.....   | 46 |
| B) RECONCILIAÇÃO INTEGRADORA .....  | 47 |
| 2.1.4 ORGANIZADORES PRÉVIOS .....   | 48 |
| 2.2 UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVO .....   | 49 |
| 2.3 CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS SOBRE A CORRENTE ELÉTRICA.....  | 51 |

|  |    |
|--|----|
| 2.4 OS CONCEITOS FÍSICOS TRABALHADOS .....   | 54 |
| 2.4.1 CARGA ELÉTRICA.....  | 54 |
| 2.4.2 CORRENTE ELÉTRICA .....  | 57 |
| 2.4.3 LEI DE OHM E CONDUTIVIDADE .....   | 63 |
| 2.4.4 ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES .....   | 64 |
| 3. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO .....   | 68 |
| 3.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....   | 69 |
| 3.2 OS SUJEITOS DA PESQUISA .....  | 70 |
| 3.3 TIPO DE PESQUISA .....   | 71 |
| 3.4 ETAPAS DO TRABALHO.....  | 71 |
| 3.4.1 PRÉ – TESTE .....  | 72 |
| 3.4.2 MATERIAIS INSTRUCIONAIS (MI).....  | 73 |
| 3.4.3 PÓS TESTE .....  | 76 |
| 3.4.4. AULA 01: AULA INTRODUTÓRIA: APRESENTAÇÃO DA PESQUISA E PRÉ-<br>TESTE I..... | 77 |
| 3.4.5. AULA 02: TESTE DIAGNÓSTICO.....   | 78 |
| 3.4.6. AULA 03 - LEITURA DO CAPÍTULO DO LIVRO E ATIVIDADES PROPOSTAS<br>.....      | 79 |
| 3.4.7. AULA 04 E 05 - FILME “A GUERRA DAS CORRENTES” .....                         | 80 |
| 3.4.8. AULA 6 - SPIRAL MARBLE MACHINE .....  | 81 |
| 3.4.9. AULA 7: ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES, LEI DE OHM E CIRCUITOS<br>ELÉTRICOS.....  | 83 |

|  |     |
|--|-----|
| 3.4.11. AULA 09: APRESENTAÇÃO DO APARATO EXPERIMENTAL.....   | 85  |
| 3.4.12. AULA 10: EXPERIMENTO CAIXA DE LÂMPADAS.....          | 90  |
| 4.4.12. AULA 11 - APLICAÇÃO DO PÓS-TESTE.....                | 92  |
| 3.5 RESUMO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....                        | 93  |
| 4. RESULTADOS E ANÁLISE .....                                | 95  |
| 4.1 PRÉ-TESTE.....   | 95  |
| 4.1.1 PRÉ-TESTE - PARTE 1 .....                              | 96  |
| 4.1.2 PRÉ-TESTE I – PARTE 2 .....                            | 106 |
| 4.2 PÓS-TESTE .....  | 113 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS .....                                   | 124 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                             | 126 |
| APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO..... | 133 |
| APÊNDICE B – PRÉ - TESTE.....                                | 134 |
| APÊNDICE C – <i>SPIRAL MARBLE MACHINE</i> .....              | 140 |
| APÊNDICE D .....   | 142 |
| APÊNDICE E – PRODUTO EDUCACIONAL.....                        | 148 |

## 1. INTRODUÇÃO

Diversos acontecimentos que visualizamos em nosso cotidiano têm relação com os fenômenos elétricos e magnéticos. Procurar entender como a energia elétrica é “gerada” nas usinas para ser transportada por um grande sistema de transmissão, para então chegar em nossas casas e nos possibilitar a execução de uma série de atividades, fica a cargo dos estudos da Física. Desta forma, é um tanto estranho observar que, de forma geral, nossos alunos não demonstrem um grande interesse em aprender Física.

Desde a antiguidade os fatos elétricos, magnéticos e luminosos são bem conhecidos e para facilitar o seu estudo a Física, inicialmente, os separou por três ramificações: Eletricidade, Magnetismo e Óptica. A partir do século XIX essas três vertentes formaram um novo ramo, chamado Eletromagnetismo.

Ainda na antiguidade houve vários experimentos que ajudaram sobre as descobertas da atração e da repulsão dos corpos, teorias e hipóteses mal fundamentadas e outras que contribuíram muito para o desenvolvimento, surgimento e evolução das estruturas eletrônicas, semicondutores, circuitos e chips.

Aliado a este cenário de evolução científica, temos que uma das competências gerais da educação básica no Brasil, é:

Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas. (BRASIL, 2017).

e que na Educação Básica, a área de Ciências da Natureza na qual a Física está inserida, deve:

contribuir com a construção de uma base de conhecimentos contextualizada, que prepare os estudantes para fazer julgamentos, tomar iniciativas, elaborar argumentos e apresentar proposições alternativas, bem como fazer uso criterioso de diversas tecnologias. O desenvolvimento dessas práticas e a interação com as demais áreas do conhecimento favorecem discussões sobre as implicações éticas, socioculturais, políticas e econômicas de temas relacionados às Ciências da Natureza. (BRASIL, 2017, p. 537)

Diante de todo este cenário, desenvolvemos este trabalho, no qual apresentamos o conceito de corrente elétrica e suas primeiras aplicações, para os estudantes do ensino médio, através de experiências vivenciadas na escola e fora do meio escolar, sendo assim, buscando de uma maneira mais criteriosa de como despertar e desenvolver a curiosidade nos alunos, o texto apresenta não somente o tema proposto como base, mas também o papel que a Escola ocupa em torno da relação ao ensino-aprendizagem.

Ademais, temos na BNCC a apresentação de competências específicas e habilidades que devem ser desenvolvidas pelas disciplinas/ conteúdos que compõem a área de Ciências da Natureza. Dentre as 23 (vinte e três) habilidades gostaríamos de destacar 06 (seis) delas que tem relação direta com o conteúdo que abordamos neste trabalho.

Analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos, redes de informática e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas e avaliar seus impactos.

Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, na indústria e na geração de energia elétrica.

Avaliar tecnologias e possíveis soluções para as demandas que envolvem a geração, o transporte, a distribuição e o consumo de energia elétrica, considerando a disponibilidade de recursos, a eficiência energética, a relação custo/ benefício, as características geográficas e ambientais, a produção de resíduos e os impactos socioambientais.

Avaliar os riscos envolvidos em atividades cotidianas, aplicando conhecimentos das Ciências da Natureza, para justificar o uso de equipamentos e comportamentos de segurança, visando à integridade Física, individual e coletiva, e socioambiental.

Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.

Analisar e representar as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões em situações cotidianas e processos produtivos que priorizem o uso racional dos recursos naturais (BRASIL, 2017).

Além das previsões legais, eu como professor, que atua no ensino de Física para o Ensino Médio, busco estabelecer um quadro de ensino no qual procuro propor total compreensão ao assunto proposto, enfatizando um dos temas estruturadores do

ensino da Física: a eletricidade, destacando as funcionalidades dos equipamentos elétricos e de telecomunicações, chamando atenção para procedimentos no manuseio da rede elétrica dentro de casa, afinal praticamente todos os equipamentos da moderna tecnologia precisam de eletricidade para funcionar.

Mesmo diante um mundo repleto de aplicações da eletricidade e seus conceitos, tenho percebido ao longo dos anos que ensino Física, que grande parte dos estudantes quando ingressam no ensino médio, apresentam muitas dificuldades, em relação ao aprendizado dos conceitos relacionados com a Física.

Para Freire (2007):

Os alunos do ensino médio, frequentemente, apresentam dificuldades em disciplinas da área de ciências exatas, sobretudo, em conceitos relacionados à Física. Entre os componentes desse cenário, está o fato de uma significativa parcela de os alunos considerarem essa disciplina monótona e pouco estimuladora (FREIRE, 2007).

É tarefa bastante complexa tentarmos explicar com precisão a origem desta repulsa que os alunos têm pela disciplina, porém Costa (2015) cita alguns destes fatores, que para ele influenciam para a desmotivação pelas ciências:

“No país, especialmente na Escola pública, o ensino de ciências Físicas e naturais ainda é fortemente influenciado pela ausência do laboratório de ciências, pela formação docente descontextualizada, pela indisponibilidade de recursos tecnológicos e pela desvalorização da carreira docente. E isso, sem sombra de dúvidas, constitui-se em um obstáculo pedagógico à consecução do ensino e da aprendizagem da Física nos diferentes níveis e modalidades da Escolarização, com impacto negativo sobre o entendimento e o interesse por essa ciência” (COSTA, 2015).

A ausência de laboratórios, geralmente, é apontada como um dos grandes fatores de desmotivação do aluno com relação à Física, tal fato que é apontado por Costa (2015), já havia sido apontado anteriormente por diversos pesquisadores, tais como: Gobara, (2007).

O ensino das ciências Físicas e naturais no país está fortemente influenciado pela(o) ausência da prática experimental, dependência excessiva do livro didático, método expositivo, reduzido número de aulas, currículo desatualizado e descontextualizado e profissionalização insuficiente do professor (GOBARA, 2007).

Outro fator considerado por diversos autores é o modo de como a o assunto referente matéria é repassado para os alunos, pois isto têm influência na compreensão do conteúdo. A persistência de um ensino tradicional sem fatores inovadores, pautado em métodos de leitura apenas do livro didático, e a realização de atividades monótonas, principalmente com a realização de cálculos, sem abordagem conceitual que explore situações cotidianas, podem acarretar numa desvalorização do ensino da Física na visão do estudante. Segundo

“[...] é necessário que os conhecimentos relativos à Física sejam tratados e entendidos como instrumentos para a compreensão do mundo, de forma que os seus conteúdos possam ser trabalhados de modo a enfatizar os seus significados no sentido de transcender a sua dimensão pragmática, com o objetivo de preparar o estudante para lidar com as situações que vivencia ou mesmo que possa vir a vivenciar. E esse enfoque, inserido em um contexto mais amplo, pode viabilizar a formação do aluno enquanto indivíduo crítico e reflexivo” (BRASIL, 2000 apud Assis, 2018, p. 2, p. 3).

Com base na literatura e em minha vivência de sala de aula posso afirmar que existem uma gama enorme de fatores que ajudam a contribuir e/ou justificar tais dificuldades, dentre eles destaco os seguintes:

- (i) A quantidade excessiva de aulas tradicionais, que basicamente se restringe ao uso do quadro e giz e na resolução de exercícios.
- (ii) A inexistência de espaços e/ou momentos que despertem no aluno a vontade de descobrir onde os fenômenos ocorrem e porque eles ocorrem;
- (iii) O número reduzido de aulas em relação ao conteúdo previsto. Neste ponto é importante destacar que no estado do Espírito Santo, de forma geral, são destinadas 02 (duas) aulas semanais para a disciplina de Física. Tal fato causa uma preocupação nos professores, que optam por aplicar os conteúdos previstos no currículo e acabam por escolher a maneira mais fácil de abordar um tema, não levando à aprofundamentos teóricos, práticos e experimentais, ficando apenas na clássica matemática para a resolução de problemas, atropelando as abordagens teóricas que fortalecem a aprendizagem e a compreensão dos fenômenos.

## **1.1 A DIFICULDADE DE LECIONAR FÍSICA E A IMPORTANCIA DA CONEXÃO DA FÍSICA DA SALA DE AULA COM A FÍSICA DO COTIDIANO**

Todo processo de formação de um indivíduo está pautado na educação, os contratempos presenciados em sala de aula demonstram a dificuldade em ser professor de Física, um dos principais obstáculos que está relacionado é fazer com que o aluno entenda a importância de aprender os conceitos dessa disciplina.

De forma concomitante é necessário entender que um dos “porquês” que explica a rejeição desta disciplina e o conseqüente baixo rendimento Escolar, é o fato de que a Física sempre é vista como sendo uma disciplina difícil é que na maioria das vezes apresenta uma aplicabilidade no cotidiano. Para tentar mitigar este e outros problemas é necessário propor e desenvolver diferentes formas e/ou instrumentos de ensino, para que nossos alunos consigam a construir conhecimentos acerca dos fenômenos estudados.

Os antigos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's), que foram substituídos pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC), apontam algumas características no ensino de Física que geravam o desinteresse por parte do aluno.

O ensino de Física tem-se realizado frequentemente mediante a apresentação de conceitos, leis e fórmulas, de forma desarticulada, distanciados do mundo vivido pelos alunos e professores e não só, mas também por isso, vazios de significado. Privilegia a teoria e a abstração, desde o primeiro momento, em detrimento de um desenvolvimento gradual da abstração que, pelo menos, parta da prática e de exemplos concretos. (Brasil,2000, p.22).

Retirar a ideia de que a Física é algo de difícil compreensão não é uma tarefa fácil, segundo BONADIMAM E NOMENMACHER (2007), as possíveis causas que costumam ser apontadas para explicar as dificuldades na aprendizagem da Física, são muito diversificadas. Os autores destacam a total atenção no ensino da Física Clássica, esquecimento da Física Moderna, enfoque exagerado na matemática para resolução de problemas, perda na valorização de uma Física mais conceitual e o distanciamento entre os conceitos físicos ensinados com os utilizados pelos alunos no cotidiano.

Destacam também a falta da abordagem tecnológica contextualizando com os conteúdos desenvolvidos, a ausência de questões interdisciplinares sobre determinado assunto discutido e a fragmentação dos conteúdos aplicados como também a maneira descomprometida de aplicar os conceitos físicos, a desvalorização das atividades experimentais e dos saberes dos estudantes, ainda a própria visão da Física entendida e passada para o aluno como produto definitivo.

Os estudos das Ciências Naturais (Física, Química e Biologia) têm o compromisso de ajudar a desenvolver a curiosidade, o pensamento científico e crítico, além de ajudar os estudantes a enxergar melhor o mundo a sua volta. A Física sendo compreendida como uma área da Ciência desenvolvida sobre os pilares históricos da experimentação e seus aspectos matemáticos e teóricos, apresenta em sua abordagem nas Escolas um resumo básico sendo fortemente ligado aos aspectos matemáticos, deixando deficiente os aspectos teóricos e experimentais, fazendo com que muitos alunos perca o interesse na disciplina por entender que se trata de mais uma aula de cálculo.

Além dos tradicionais e conhecidos fatores dificultadores do processo de ensino da Física, não podemos deixar de lado que ser professor de Física é uma tarefa extremamente desafiadora, seja pelas dificuldades encontradas tanto na formação inicial como na permanente, ou por outras dificuldades que tenho encontrado e passo a citar: (i) didática; (ii) estrutura e (iii) a remuneração.

Com relação à didática, de forma geral somos ensinados e repetimos muitos de nossos professores e praticamos um ensino de Física baseado no modelo matemático que ignora a prática, os conceitos e a experimentação. Desta forma é necessário que os professores tenham acesso a outras formas de ensino que não abandone a matemática como ferramenta, mas que a faça funcionar em conjunto com todos os outros aspectos.

Com relação a infraestrutura é fundamental que cada unidade de ensino disponibilize um espaço para que tanto alunos quanto professores possam desenvolver a parte experimental das Ciências Naturais. Tal espaço não precisa ser um laboratório altamente equipado, mas precisa ser um espaço que possibilite a realização e armazenagem de experimentos.

Quando falamos de remuneração, o que temos em mente é que quanto menor for a remuneração de um professor, maior será o número de aulas que o profissional terá que ministrar, de modo a atingir um salário que esteja adequado as suas necessidades. O problema é que quanto maior o número de aulas e conseqüentemente alunos, o professor terá menos tempo para se dedicar adequadamente ao estudo e preparação das aulas.

Tais dificuldades encontradas no exercício da profissão e tantas outras, de forma geral, não é exclusividade dos professores de Física ou das ciências naturais, mas de toda uma categoria. Acreditamos ser importante discutir tais pontos, pois quando é possibilitado ao professor realizar um trabalho de forma prazerosa e harmônica, o processo de ensino – aprendizagem transcende os muros da Escola e transforma a vida do aluno como um todo.

Diante de cada um destes fatores que contribuem com o afastamento entre o aluno e o que se quer ensinar, acreditamos que é fundamental que ao abordar os conceitos físicos, o façamos de forma clara e objetiva, para que o aluno seja levado a perceber a Física como uma ciência em constante mudança em benefício da sociedade. A forma como a Física é ensinada/ apresentada aos alunos têm muito a ver com o gostar ou não da disciplina e por sua vez o processo de aprendizagem é facilitado quando se aprende o que se gosta.

Uma modalidade de uso da experimentação que pode despertar facilmente o interesse dos estudantes relaciona-se a ilustração e análise de fenômenos básicos presentes em situações típicas do cotidiano. Estas situações são consideradas como fundamentais para a formação das concepções espontâneas dos estudantes, uma vez que estas concepções se originariam a partir da interação do indivíduo com a realidade do mundo que os cerca (ARAÚJO, ABIB, 2003, p. 186).

Durante a execução de todo este trabalho priorizamos uma forma de ensino que mitigasse as dificuldades que os alunos apresentam no momento de aprender Física, para tal promovemos uma mediação que, a todo tempo, valorizasse os saberes dos alunos e que conectasse o que se aprende em sala de aula e o que é vivido no dia a dia, para isto, aplicamos diferentes estratégias de ensino.

## **1.2 PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS, MATRIZ DE CONHECIMENTO DA SEDU E A BASE NACIONAL COMUM CURRICULAR**

A LEI Nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996, conhecida como Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), estabelece as diretrizes e as bases da educação nacional e em seu artigo 21 e seus incisos, informa que:

Art. 21. A educação Escolar compõe-se de:

I - Educação básica, formada pela educação infantil, ensino fundamental e ensino médio;

II - Educação superior.

e em seu artigo 35-A:

Art. 35-A. A Base Nacional Comum Curricular definirá direitos e objetivos de aprendizagem do ensino médio, conforme diretrizes do Conselho Nacional de Educação, nas seguintes áreas do conhecimento:

I - Linguagens e suas tecnologias;

II - Matemática e suas tecnologias;

III - Ciências da Natureza e suas tecnologias;

IV - Ciências Humanas e sociais aplicadas.

Em outras palavras a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) é um documento de caráter normativo que define o conjunto de aprendizagens essenciais que todos os alunos devem desenvolver ao longo das etapas e modalidades da Educação Básica.

De acordo com a BNCC as aprendizagens essenciais, na Educação Básica como um todo, devem convergir para assegurar aos estudantes o desenvolvimento de 10 (dez) competências gerais, que consubstanciam, no âmbito pedagógico, os direitos de aprendizagem e desenvolvimento. No Quadro 1, apresentamos tais competências.

Quadro 1 - Competências gerais da educação básica.

| COMPETÊNCIAS GERAIS DA EDUCAÇÃO BÁSICA |  |
|--|--|
| 1                                      | Valorizar e utilizar os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, social, cultural e digital para entender e explicar a realidade, continuar aprendendo e colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva.  |
| 2                                      | Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas.                 |
| 3                                      | Valorizar e fruir as diversas manifestações artísticas e culturais, das locais às mundiais, e também participar de práticas diversificadas da produção artístico-cultural.   |
| 4                                      | Utilizar diferentes linguagens – verbal (oral ou visual-motora, como Libras, e escrita), corporal, visual, sonora e digital –, bem como conhecimentos das linguagens artística, matemática e científica, para se expressar e partilhar informações, experiências, ideias e sentimentos em diferentes contextos e produzir sentidos que levem ao entendimento mútuo.    |
| 5                                      | Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as Escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva.                  |
| 6                                      | Valorizar a diversidade de saberes e vivências culturais e apropriar-se de conhecimentos e experiências que lhe possibilitem entender as relações próprias do mundo do trabalho e fazer escolhas alinhadas ao exercício da cidadania e ao seu projeto de vida, com liberdade, autonomia, consciência crítica e responsabilidade.                                       |
| 7                                      | Argumentar com base em fatos, dados e informações confiáveis, para formular, negociar e defender ideias, pontos de vista e decisões comuns que respeitem e promovam os direitos humanos, a consciência socioambiental e o consumo responsável em âmbito local, regional e global, com posicionamento ético em relação ao cuidado de si mesmo, dos outros e do planeta. |
| 8                                      | Conhecer-se, apreciar-se e cuidar de sua saúde Física e emocional, compreendendo-se na diversidade humana e reconhecendo suas emoções e as dos outros, com autocrítica e capacidade para lidar com elas.   |
| 9                                      | Exercitar a empatia, o diálogo, a resolução de conflitos e a cooperação, fazendo-se respeitar e promovendo o respeito ao outro e aos direitos humanos, com acolhimento e valorização da diversidade de indivíduos e de grupos sociais, seus saberes, identidades, culturas e potencialidades, sem preconceitos de qualquer natureza.                                   |
| 10                                     | Agir pessoal e coletivamente com autonomia, responsabilidade, flexibilidade, resiliência e determinação, tomando decisões com base em princípios éticos, democráticos, inclusivos, sustentáveis e solidários.  |

Fonte: Brasil, 2018, p.9

A Física é categorizada como pertencente a área de Ciências da Natureza e suas tecnologias e de acordo com a BNCC, temos que:

A área de Ciências da Natureza, no Ensino Fundamental, possibilita aos estudantes compreender conceitos fundamentais e estruturas explicativas da área, analisar características, fenômenos e processos relativos ao mundo natural e tecnológico, além dos cuidados pessoais e o compromisso com a sustentabilidade e a defesa do ambiente. No Ensino Médio, a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias propõe que os estudantes possam construir e utilizar conhecimentos específicos da área para argumentar, propor soluções e enfrentar desafios locais e/ou globais, relativos às condições de vida e ao ambiente. (BRASIL, p.470, 2018).

No Quadro 2, apresentamos quais as competências específicas da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, segundo a BNCC.

Quadro 2 - Competências específicas da área de Ciências da Natureza e suas tecnologias.

| COMPETÊNCIAS ESPECÍFICAS DE CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS PARA O ENSINO MÉDIO   |
|---|
| 1. Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e/ou global.   |
| 2. Construir e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar decisões éticas e responsáveis.  |
| 3. Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC). |

Fonte: Brasil, p. 539, 2018

No âmbito estadual temos que a Base Curricular da Secretaria de Educação do Estado do Espírito Santo (SEDU) propõe para o ensino médio, a formação de um indivíduo com conhecimentos científicos suficientes para que possa participar, intervir e modificar o mundo ao seu redor, a sua cidade e sua comunidade, a sua família e por fim, a sua vida e a dos que o rodeiam e segundo seus objetivos de forma geral para o ensino de Física, destaca a importância de se reconhecer a disciplina de forma holística, despertando curiosidades, possibilitando ao aluno o reconhecimento entre as inter-relações com os vários campos da Física e dessa com outras áreas de conhecimento

*A metodologia utilizada no processo de ensino-aprendizagem de conceitos físicos tem por objetivo organizar as diferentes etapas de atividades de aprendizagem, a partir do conhecimento do contexto histórico e dos saberes trazidos pelos alunos. (ESPÍRITO SANTO, 2009 pg. 81).*

De acordo com a Base Curricular da SEDU os conteúdos relacionados com a eletricidade devem ser ensinados no 3º ano do Ensino Médio. No Quadro 3, apresentamos as competências, habilidades e conteúdos relativos aos conteúdos.

Quadro 3 – Competências, habilidades e conteúdo de Física do 3º Ano do Ensino Médio, conforme a Base Curricular da SEDU.

| COMPETÊNCIAS   | HABILIDADES   | CONTEÚDO   |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas à Física em diferentes contextos relevantes para sua vida pessoal.</li> <li>• Compreender o papel da Física e das tecnologias a ela associadas nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social contemporâneo.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interpretar e dimensionar circuitos elétricos domésticos ou em outros ambientes, considerando informações dadas sobre corrente, tensão, resistência e potência elétrica.</li> <li>• Relacionar informações para compreender manuais de instalação e utilização de aparelhos ou sistemas tecnológicos de uso comum.</li> <li>• Selecionar procedimentos, testes de controle ou outros parâmetros de qualidade de produtos, conforme determinados argumentos ou explicações, tendo em vista a defesa do consumidor.</li> <li>• Identificar diferentes ondas e radiações, relacionando-as aos seus usos cotidianos, hospitalares ou industriais.</li> <li>• Comparar diferentes instrumentos e processos tecnológicos para identificar e analisar seu impacto no trabalho e no consumo e sua relação com a qualidade de vida.</li> <li>• Analisar propostas de intervenção nos ambientes, considerando as dinâmicas das populações, associando garantia de estabilidade dos ambientes e da qualidade de vida humana a medidas de conservação, recuperação e utilização autossustentável da biodiversidade.</li> <li>• Analisar diversas possibilidades de geração e condução de energia elétrica para uso social, identificando e comparando as diferentes opções</li> <li>• em termos de seus impactos ambiental, social e econômico.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo atômico atual.</li> <li>• Radiação, suas interações e suas aplicações tecnológicas.</li> <li>• Princípios fundamentais da eletrostática.</li> <li>• Conceitos e aplicação de campo e potencial elétricos.</li> <li>• Diferença de potencial e corrente elétrica.</li> <li>• Elementos de circuito elétrico: resistor, gerador, receptor; condutor, elementos de controle e de segurança.</li> <li>• Associação de resistores e geradores.</li> <li>• Leis de Ohm.</li> <li>• Potência elétrica;</li> <li>• Circuito elétrico simples.</li> <li>• Introdução ao magnetismo: conceitos, ímãs naturais e artificiais e definição de campo magnético.</li> <li>• Força de Lorentz.</li> <li>• Lei de Ampère;</li> <li>• Lei de Faraday e indução eletromagnética.</li> </ul> |

Fonte: SEDU, p. 85, 2009.

Desta forma, articulamos todo trabalho desta pesquisa de forma que o protagonismo dos estudantes, o envolvimento no processo de aprendizagem, nos desafios propostos e o estímulo da curiosidade, estivesse inserido durante todo o processo e atendesse ao que é proposto na legislação vigente.

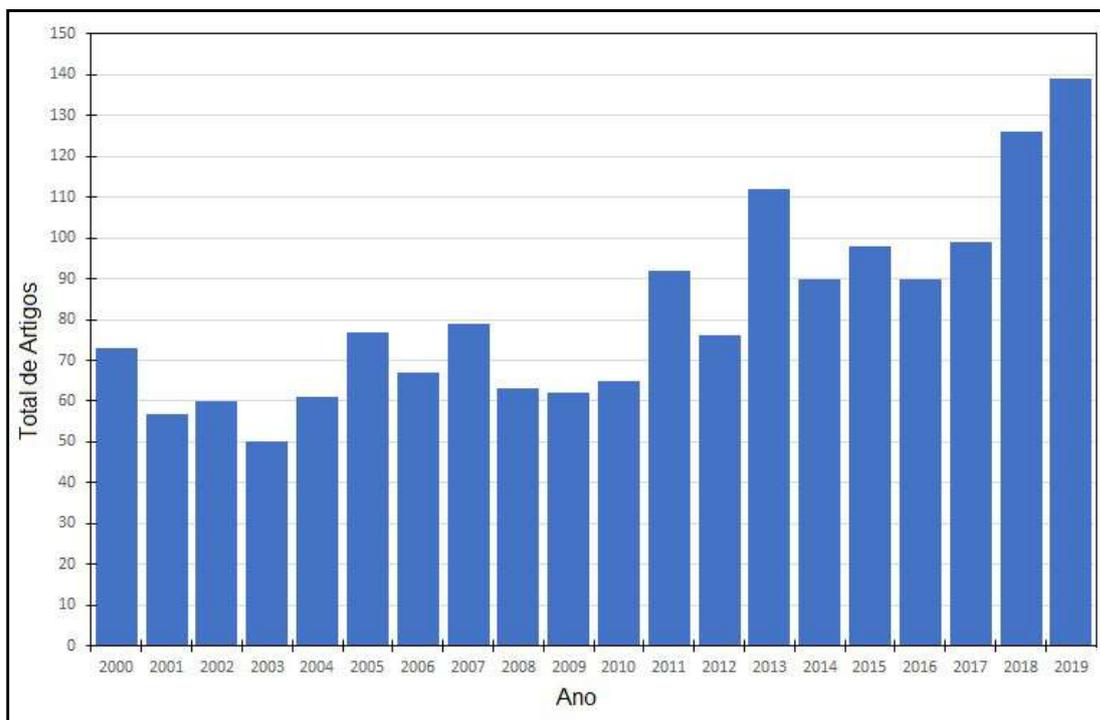
### **1.3 BREVE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE A TEMÁTICA CORRENTE ELÉTRICA**

Apesar dos conceitos básicos de eletrodinâmica serem tradicionalmente abordados em todas as salas de aula do ensino médio e nos maiores exames nacionais, verificamos após uma breve revisão bibliográfica, que a quantidade de artigos científicos que tratam, especificamente, do ensino dos conceitos iniciais de eletrodinâmica no ensino médio é muito pequena, quando comparada ao número total de publicações.

Embora existam muitas revistas/ periódicos que publicam artigos/ trabalhos com a temática do Ensino de Física, nossa revisão bibliográfica foi realizada somente através da análise dos artigos publicados na Revista Brasileira de Ensino de Física, entre os anos de 2000 a 2019. Ressaltamos que até a presente data os artigos referentes ao ano de 2020 não estavam disponíveis para consulta.

No período consultado contabilizamos 1636 (hum mil e seiscentos e trinta e seis) artigos. Na Figura 1, mostramos a distribuição do número de artigos publicados por cada ano, ao longo do período analisado. Através da observação do gráfico podemos verificar que nos últimos anos existe uma tendência de aumento do número de publicações. Outra questão importante é que dentro da revista existem algumas seções voltadas diretamente ao ensino, tais como: (i) pesquisa em ensino de Física; (ii) desenvolvimento em ensino de Física; (iii) recursos didáticos e (iv) produtos e materiais didáticos. O número de artigos publicados nestas seções entre os anos de 2010 a 2019 foi de 406 (quatrocentos e seis) artigos, o que representa 25 % do total de artigos publicados.

Figura 1 - Evolução do número de publicações na Revista Brasileira de Ensino de Física.

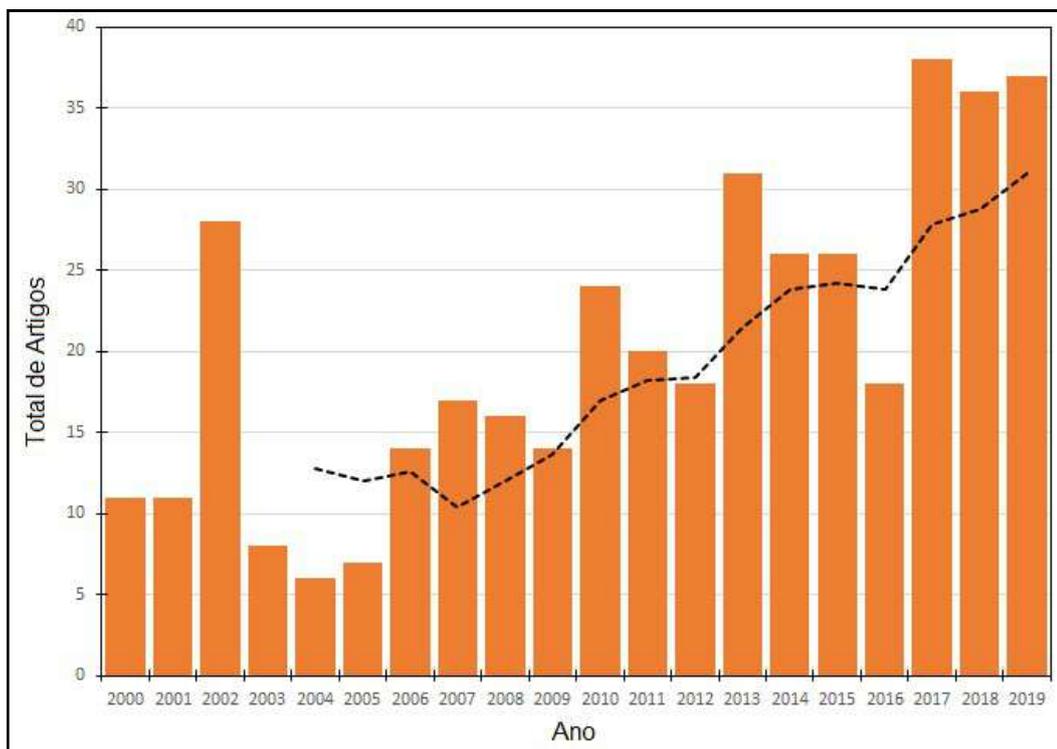


Fonte: Produzido pelo autor.

Na Figura 2, mostramos a distribuição destes artigos ao longo do período analisado. A linha tracejada na Figura 2, representa a média móvel por um período de 5 anos e neste caso indica uma tendência de aumento do número de artigos publicados nestas seções. É importante registrar que no ano de 2019, o volume 2 foi uma edição especial sobre a informática no ensino de Física, por este motivo temos um número acentuado de publicações naquele ano.

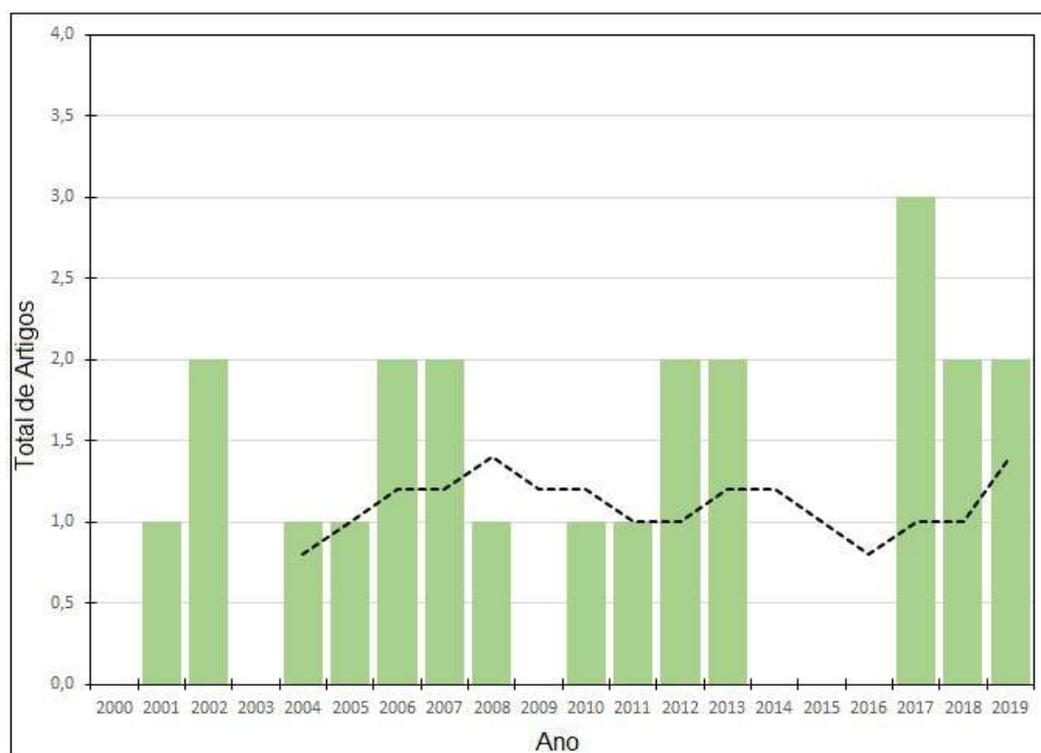
Embora tenhamos observado tendência de aumento nas publicações, registramos que do total de 1636 artigos contabilizados, apenas 22 (vinte e dois) abordam algum aspecto relacionado a abordagem dos conceitos iniciais de eletrodinâmica no ensino médio. Na Figura 3, apresentamos a distribuição destes artigos no período pesquisado.

Figura 2 - Evolução do número de publicações nas seções voltadas diretamente ao ensino.



Fonte: Produzida pelo autor.

Figura 3 – Evolução do número de artigos publicados relacionado a abordagem dos conceitos iniciais de eletrodinâmica no ensino médio



Fonte: Produzido pelo autor.

Os números apresentados na Figura 3 representam aproximadamente 1,3 % do total de artigos publicados, além disso, a média móvel por um período de 5 anos não indica qualquer tendência de crescimento deste tipo de publicação. No Quadro 4, resumimos os títulos, autores e ano destas 22 publicações.

Quadro 4 - Mapeamento dos artigos.

| <b>Título do Artigo</b>   | <b>Autores</b>  | <b>Ano</b> |
|---|---|------------|
| Persistência de Pré concepções sobre os Circuitos Elétricos de Correntes Contínua   | Solano, F.; Gil, J.; Perez, A.L.; Suero, M.I.               | 2002       |
| Uma Proposta para Ensinar os Conceitos de Campo Elétrico e Magnético: uma Aplicação da História da Física                     | Magalhães, M.F.; Santos, W.M.S; Dias, P.M.C.                |            |
| Nota sobre os potenciais de uma carga em movimento  | Ferreira, G.L.F.  | 2004       |
| Dimensionamento simplificado de uma linha de distribuição elétrica em corrente contínua                                       | Vieira, A.  | 2005       |
| Uma interpretação para dificuldades enfrentadas pelos estudantes em um laboratório didático de Física                         | Marineli, F.; Pacca, J.L.A.                                 | 2006       |
| Construção e caracterização de uma célula fotoelétrica para fins didáticos.   | Filho, V.B.R.; Salami, M.A.; Hillebrand, V.                 |            |
| Demonstração didática da interação entre correntes elétricas  | Filho, M.P.S.; Chaib, J.P.M.C.; Caluzi, J.J.; Assis, A.K.T. | 2007       |
| Os conceitos de eletricidade vítrea e eletricidade resinosa segundo Du Fay  | Boss, S.L.B.; Caluzi, J.J.                                  |            |
| Estudando campos elétricos de linhas trifásicas pelo método da cuba eletrolítica  | Ludke, E.; Graça, C.O.                                      | 2011       |
| An analysis of grade six textbook on electricity through content analysis and student writing responses                       | Qadeer, A.  | 2013       |
| Construção de conceitos de eletricidade nos anos iniciais do Ensino Fundamental com uso de experimentação virtual             | Lima, S.C.;Takahashi, E.K.                                  |            |
| Caracterização experimental da permissividade dielétrica de materiais através da técnica de refletometria no domínio do tempo | Dartora, C.A.; Heilmann, A.; Thomazi, F.; Burkarter, E.     | 2015       |
| Determinação experimental da constante de Boltzmann a partir da curva característica corrente-voltagem de um diodo            | Cruz, V.S.; Soares, V.                                      |            |
| Entropic considerations in the two-capacitor problem  | Lara, V.O.M.; Lima, A.P.; Costa, A.                         |            |

|  |  |      |
|--|--|------|
| Atividade experimental “hands-on” para o estudo das características de um gerador (pilha voltaica) e de um receptor (voltâmetro) com material simples, de fácil acesso e baixo custo | Oliveira, F.; Paixão, J.A.                                   | 2017 |
| Uma associação do método Peer Instruction com circuitos elétricos em contextos de aprendizagem ativa   | Araújo, V.R.; Silva, E.S.; Jesus, V.L.B.; Oliveira, A.L.     |      |
| Visualização da forma de onda e conteúdo harmônico da corrente elétrica alternada em eletrodomésticos  | Dionisio, G.; Spalding, L.E.S.                               |      |
| Recorrência de concepções alternativas sobre corrente elétrica em circuitos simples  | Andrade, F.A.L.; Barbosa, G.F.; Silveira, F.L.; Santos, C.A. | 2018 |
| Práticas científicas e difusão do conhecimento sobre eletricidade no século XVIII e início do XIX: possibilidades para uma abordagem histórica da pilha de volta na educação básica  | Jardim, W.T.; Guerra, A.                                     |      |
| Experimentos reais e virtuais: proposta para o ensino de eletricidade no nível médio   | Santos, J.C.; Dickman, A.G.                                  | 2019 |
| Um Novo Método para o Cálculo do Propagador da Eletrodinâmica  | Cruz, F.P.; Santos, J.A.; Otoyá, V.J.V.                      |      |

Fonte: Produzido pelo autor.

De todos os trabalhos citados no Quadro 1 destacamos 6 (seis), que possuem mais aspectos que se aproximam da nossa temática da pesquisa, a saber:

No ano de 2002, Solano e cols. (SOLANO, F., e cols., 2002) desenvolveram um trabalho em diversas Escolas espanholas, cujo principal objetivo era estudar a evolução conceitual que os alunos possuem a respeito de circuitos elétricos de corrente contínua após vários anos de instrução formal. Para tal, inicialmente os autores pretendiam aplicar testes escritos e práticos, mas devido à falta de laboratórios adequados em todos os locais estudados, os autores optaram por aplicar somente testes escritos e objetivos.

Os autores aplicaram a versão final do teste em 3300 alunos, cujas idades variavam de 11 até 18 anos. Além disso, aproximadamente metade dos alunos estavam vinculados ao sistema tradicional de ensino e a outra metade a um sistema “novo” de ensino.

Na conclusão do trabalho os autores fazem três grandes apontamentos: (i) Após mais de 8 anos de instrução formal a respeito do assunto, os alunos continuam respondendo a questões simples a partir de ideias prévias ao processo de instrução formal, (ii) Os alunos que estudam em Escola que passaram pela reforma educativa, realizada naquele país e que era baseada na Teoria Construtivista da Aprendizagem apresentavam desempenho semelhante aos alunos que ainda estudavam nas Escolas que adotavam o sistema “antigo” de ensino, (iii) Que os professores dos diferentes níveis de ensino, devem conhecer os principais conhecimentos prévios dos seus alunos e devem considerá-los quando for abordar o assunto através da instrução formal.

Neste ponto, ressaltamos que mesmo tais apontamentos tenham sido feito no início dos anos 2000, até os dias de hoje, vemos que a mesma problemática apontada pelos autores continua sem uma solução robusta.

Após mais de uma década da publicação do trabalho de Solano e cols., Lima e Takahashi (LIMA, S.C.; TAKAHASHI, E., 2013) publicaram um trabalho, bastante inovador, pois se propuseram a ensinar alguns conceitos de eletricidade a aluno do 4º ano do Ensino Fundamental de uma Escola pública situada na periferia do município de Uberlândia-MG. Para os autores, as dificuldades exibidas pela maioria dos alunos do Ensino Médio, em relação à Física, poderiam ser minimizadas pela introdução de conceitos de Física nos primeiros anos do Ensino Fundamental.

Os autores optaram pela utilização de experimentos virtuais qualitativos pois, tais recursos, ao mesmo tempo despertam a atenção do estudante para a matéria de ensino, ainda potencializa a aprendizagem por descoberta orientada, favorecendo o estabelecimento de habilidades e competências cognitivas.

No final do trabalho os autores relataram que foi possível identificar uma progressão do desenvolvimento dos estudantes em cada conceito trabalhado, especialmente em relação a circuito elétrico, condutor elétrico, isolante elétrico e energia elétrica. Por fim, destacamos que o conceito no qual houve menos assimilação foi “corrente elétrica”.

Em 2017, Oliveira e Paixão (OLIVEIRA, F.; PAIXÃO, J.A., 2017) realizaram um estudo a respeito das principais causas dos problemas apresentados por alunos portugueses na parte experimental da Física. A proposta dos autores é desenvolver um conjunto de *kits* experimentais com vários graus de complexidade como ação mitigadora de tais problemas. Especificamente, os autores apresentam os resultados da aplicação de um *kit* intitulado “Estudo das características de um gerador e de um receptor”.

Oliveira e Paixão, utilizaram o aparato experimental em turmas do 12º ano de Escolaridade, o que seria equivalente ao 3º ano do Ensino Médio. As turmas foram divididas em duas partes, sendo uma delas o grupo controle. Além disso, todas as turmas foram trabalhadas pelo mesmo professor.

Em sua conclusão os autores, relataram que os professores que participaram da proposta destacaram diversos aspectos positivos da abordagem, tais como: o aumento do interesse e o empenho dos alunos no desenvolvimento da atividade e a possibilidade de realizar o trabalho experimental em grupos de apenas dois alunos, uma vez que tal situação, permite descobrir as dificuldades individuais de cada aluno, o que é mais difícil com grupos numerosos.

Neste mesmo ano, Araújo e cols. (Araújo, V.R.; Silva, E.S.; Jesus, V.L.B.; Oliveira, A.L., 2017) publicaram os resultados de uma sequência didática baseada no método de Instrução por Pares para o ensino de circuitos elétricos, aplicada em sete turmas de Ensino Médio integrado a cursos técnicos de agropecuária, meio ambiente e informática, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, campus Pinheiral. No total 155 estudantes participaram da pesquisa.

A sequência didática proposta pelos autores é composta de 7 (sete) aulas, nas quais, foram realizadas várias atividades em cada turma, envolvendo aspectos teóricos e experimentais relacionados ao estudo de circuitos elétricos compostos por geradores e resistores, sendo que a primeira e a última aulas foram dedicadas às aplicações do pré e pós-teste.

Os resultados mostram que o rendimento das turmas no pré-teste ficou entre 25% e 34%. O pré-teste é composto de questões objetivas com três alternativas. No pós-

teste o rendimento médio das turmas ficou entre 38% a 58%. Os resultados indicaram que a aplicação do método de Instrução por Pares, associado a atividades desenvolvidas com base nos conhecimentos prévios dos alunos, contribuiu para um ganho no processo de aprendizagem.

No ano de 2019, Santos e Dickman (SANTOS, J.C.; DICKMAN, A.G., 2019) apresentaram um relato a respeito da elaboração e aplicação de um roteiro de atividades para professores do Ensino Médio consistindo em estratégias para o ensino de tópicos de eletricidade utilizando laboratórios reais e virtuais.

A pergunta que os autores se propuseram a responder foi a seguinte: “Atividades experimentais, realizadas em laboratório com equipamentos reais ou virtualmente, feitas através de simulações computacionais, trazem, de fato, vantagens ao aprendizado dos alunos, quando comparadas com as aulas expositivas tradicionais?”.

Os temas trabalhados pelos autores foram: Circuitos elétricos e Lei de Ohm. Tais temas foram escolhidos, pois estão previstos nos programas da disciplina de Física no 3º ano do Ensino Médio. Os autores aplicaram sua proposta em 4 (quatro) turmas do 3º ano do Ensino Médio e Técnico em uma Escola da rede estadual de São Paulo.

Os autores ressaltaram que além da comparação do uso de equipamentos virtuais e reais em sala de aula para ensinar tópicos de circuitos elétricos para alunos do Ensino médio. Entretanto, a investigação abrange também o estudo da melhor combinação de abordagens envolvendo aulas teóricas expositivas, permeadas pela manipulação de equipamentos reais e virtuais.

Através dos resultados obtidos pelos alunos tanto no pré quanto no pós-teste, os autores puderam concluir que a utilização de atividades experimentais juntamente com as aulas meramente expositivas traz vantagens ao aprendizado do aluno quando comparada com a utilização de somente as aulas expositivas. Os autores verificaram que a melhor abordagem é a combinação de atividades reais e virtuais.

Diante deste cenário, percebemos que os alunos ainda apresentam conhecimentos prévios muito arraigados e que é necessário o desenvolvimento de atividades diversificadas para que o professor possa auxiliar o aluno na transposição destes

conhecimentos. Neste sentido reforçamos o fato de que todos estes trabalhos serviram de arcabouço teórico no desenvolvimento desta pesquisa. Além disso, não iremos abordar o trabalho desenvolvido por Andrade e cols. (ANDRADE, F.A.L.; BARBOSA, G.F.; SILVEIRA, F.L.; SANTOS, C.A., 2018) pois o mesmo foi utilizado como material base para a aplicação do pré-teste e desta forma será abordado posteriormente.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo Geral**

Avaliar os impactos da utilização de um aparato experimental em uma sequência de aulas sobre os conceitos iniciais de eletrodinâmica, fundamentada nas premissas da aprendizagem significativa.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

1. Mapear através de um teste diagnóstico as principais concepções espontâneas dos alunos a respeito da corrente elétrica;
2. Avaliar a proposta de ensino e o material instrucional utilizado durante a intervenção para a abordagem dos conceitos iniciais de eletrodinâmica;
3. Investigar indícios que permitam inferir um possível aumento do interesse dos estudantes em aprender através de atividades desenvolvidas;
4. Verificar a ocorrência de aprendizagem significativa durante e após a sequência de aulas.

## **1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO**

No **Capítulo 2**, apresentamos uma síntese a respeito da Teoria da Aprendizagem Significativa desenvolvida por David Ausubel, pois este foi o referencial teórico que deu suporte e balizou este trabalho. Neste mesmo capítulo, fazemos uma pequena

revisão dos conteúdos físicos trabalhados durante toda esta proposta. No **Capítulo 3**, descrevemos os procedimentos metodológicos utilizados no projeto, incluindo nossa proposta de sequência didática, para que o aluno tenha condição de compreender e explicar o assunto abordado, relacionado à eletricidade, estabelecendo diferenças entre o conhecimento científico e as concepções que antes estavam presentes acerca do tema estudado. No **Capítulo 4**, apresentamos os resultados obtidos nos testes diagnósticos e as análises de seus resultados. Por fim, no **último capítulo**, fazemos as considerações finais buscando evidenciar se os objetivos propostos foram atingidos.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Desenvolvemos a pesquisa tendo como referencial teórico a Teoria da Aprendizagem Significativa desenvolvida por David Ausubel (AUSUBEL, 2003) e as contribuições de Moreira (MOREIRA, 2011) para organização de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS). Ausubel considera que a aprendizagem é significativa, quando uma nova informação adquire significado para o estudante através de uma espécie de "ancoragem" em conhecimentos relevantes preexistentes na estrutura cognitiva do indivíduo. Para Ausubel, o fator relevante é aquilo que o aprendiz já sabe.

No desenvolver de todas as atividades da pesquisa, consideramos os princípios da diferenciação progressiva, da reconciliação integradora e da consolidação do conhecimento. Tendo considerações sobre conhecimentos prévios, organização sequencial, materiais potencialmente significativos, fator motivacional, diferenciação progressiva e reconciliação integradora, consolidação e verificação de aprendizagem.

### **2.1 A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA (TAS)**

Emergiu na década de 60 sendo divulgada através do livro "*The Psychology of Meaningful Learning*" e pode ser entendida como aquela resultante do armazenamento organizado na mente do ser que aprende, envolve a interação de uma nova informação com uma estrutura de conhecimento específica, a qual Ausubel define como conceito subsunçor.

Sendo o conceito central da sua teoria, o conhecimento prévio que serve de matriz ideacional e organizacional para a incorporação, compreensão e fixação de novos conhecimentos quando estes "se ancoram" em conhecimentos especificamente relevantes preexistentes na estrutura cognitivo do ser que aprende (MOREIRA, 2011).

Levando sempre em consideração os conhecimentos prévios dos alunos. Mesmo Imperfeitos ou inacabados. Esse conhecimento precedente que os estudantes possuem deve ser movimentado durante toda a metodologia de ensino e aprendizagem, pois com base neles o sujeito explana o mundo.

Segundo Ausubel, quanto mais sabemos, mais aprendemos, o fator isolado mais importante que influencia o aprendizado é aquilo que o aprendiz já conhece. Ensinar sem levar em conta o que a criança já sabe, é um esforço vão, pois o novo conhecimento não tem onde se ancorar, de nada adianta desenvolver uma aula divertida se ela for encaminhada de forma automática, sem possibilitar a reflexão e a negociação de significados (MOREIRA, 2008).

Sendo um processo através do qual uma nova informação (um novo conhecimento) se relaciona de maneira não arbitrária e substantiva (não-literal) à estrutura cognitiva de quem aprende. Para Ausubel (1963, p. 58).

Uma ótima situação de aprendizagem está ligada àquela em que o estudante deva pensar sobre o conteúdo, resolvendo problemas e tomando decisões, o docente precisa garantir que haja uma grande circulação de informações possíveis, no mais o assunto a ser trabalhado deve manter características sócio culturais reais, sem transformar a Escola em um local vazio de significado social. Para considerar que uma aprendizagem seja significativa, é necessário investir em ações que potencializem a disponibilidade do aluno para a aprendizagem (MOREIRA, 2010).

Antes de aplicarmos qualquer tipo de teste, esperamos que na estrutura cognitiva dos alunos, que irão participar de todas as etapas deste trabalho, existam subsunçores que possam ser usados como ancoras para a compreensão dos conceitos relativos à corrente elétrica, inicialmente, desejamos que o estudante, através de suas percepções prévias, seja capaz, de entender o funcionamento de uma lâmpada, identificar os elementos que constituem um átomo e descrever como os elétrons se movimentam em um metal, mesmo que os conhecimentos não sejam demonstrados de forma científica e satisfatória. Após a verificação da existência ou não desses subsunçores, será possível desenvolver as etapas seguintes do trabalho.

### 2.1.1 Aprendizagem Significativa e Aprendizagem Mecânica

Para Ausubel existem dois tipos de aprendizagem: A Mecânica e a Significativa (AUSUBEL, 2003). A aprendizagem mecânica está ligada a uma estrutural mental, são memorizados, os conteúdos ficam soltos, são frases prontas encontradas em livros didáticos ou ditas pelo professor em sala de aula.

De acordo com Moreira,

*A aprendizagem mecânica, aquela praticamente sem significado, puramente memorística, que serve para as provas e é esquecida, apagada, logo após. Em linguagem coloquial, a aprendizagem mecânica é a conhecida *decoreba*, tão utilizada pelos alunos e tão incentivada na Escola (MOREIRA, 2012).*

Ao analisar a interação entre as duas definições de aprendizagem, pressupõe que a Escola deve ter como alvo a aprendizagem significativa, mas não desconsiderar a mecânica, as duas formas de conhecimento não são contrárias, as duas fazem parte de um procedimento contínuo.

Ainda de acordo com Moreira:

*A passagem da aprendizagem mecânica para a aprendizagem significativa não é natural, ou automática; é uma ilusão pensar que o aluno pode inicialmente aprender de forma mecânica pois ao final do processo a aprendizagem acabará sendo significativa; isto pode ocorrer, mas depende da existência de subsunçores adequados, da predisposição do aluno para ZONA CINZA Incorporação substantiva, não arbitrária, com significado; implica compreensão, transferência, capacidade de explicar, descrever, enfrentar situações novas. aprender, de materiais potencialmente significativos e da mediação do professor; na prática, tais condições muitas vezes não são satisfeitas e o que predomina é a aprendizagem mecânica (MOREIRA, 2012).*

Ao final não basta possuir a informação, leva tempo para ocorrer o aprendizado. É preciso estratégias facilitadoras por parte do professor para que ocorra a transição da aprendizagem mecânica para a significativa. (MOREIRA, 2008, 2010).

### 2.1.2 Condições Para Ocorrência Da Aprendizagem Significativa

Ausubel (2003) traz dois tipos de condições que influenciam no processo de aprendizagem, relacionando aspectos relevantes da estrutura cognitiva do aprendiz, levando em conta primeiramente o material de apoio que o aluno usa para estudar, o material didático, diz que: Deve se relacionar com o aprendiz de forma não arbitrária e não literal.

A segunda condição está estritamente estabelecida que na estrutura cognitiva dele exista conhecimentos prévios (subsunçores) isso é um fato relevante para que ele possa relacionar o seu conhecimento pré-existente com o novo conhecimento que irá adquirir. Em relação às duas condições estabelecidas, Moreira acrescenta que:

Além do material ser potencialmente significativa, que o estudante deva apresentar uma pré-disposição em aprender, isso implica em relacionar os conhecimentos do aprendiz de forma não arbitrária e não literal (MOREIRA, 2016).

No Quadro 5, apresentamos uma breve síntese para qual haja uma possível condição de ocorrer uma aprendizagem significativa:

Quadro 5 - Síntese das condições para que ocorra uma aprendizagem significativa.

| Passo | DESCRIÇÃO  |
|-------|--|
| 1°    | Partir do que o principiante conhece, para isso é necessário identificar quais são as cognições já adquiridas e construídas pelo aprendiz;   |
| 2°    | Buscar organizar o material partindo de conceitos mais amplos para os mais específicos;  |
| 3°    | Utilizar uma linguagem que propicie a conversação com o estudante,   |
| 4°    | Utilizar recursos facilitadores da aprendizagem significativa: substantiva e programaticamente e os princípios da diferenciação progressiva e reconciliação integrativa;   |
| 5°    | Fazer uso de organizadores para superar o limite entre o que o aluno já sabe e o que ele precisa saber;  |
| 6°    | Promover uma interação professor-aprendiz com autonomia no processo de aprendizagem no meio social e cultural;   |
| 7°    | Considerar as inter-relações e análise dos recursos humanos e materiais que propiciam ao aluno possibilidade de compreender e refletir e o que impede que isso ocorra – as lacunas que comprometem o processo de aprendizagem. |

Fonte: Produzido pelo autor.

### 2.1.3 Diferenciação Progressiva E Reconciliação Integradora

#### a) Diferenciação Progressiva

Ausubel faz apontamentos que orientam a ocorrência da aprendizagem significativa, sendo a diferenciação progressiva, reconciliação integradora e a organização hierárquica.

De acordo com Massini e Moreira (2008) as ideias iniciais, os conceitos mais gerais e incluso do conteúdo proposto o tornando mais enriquecedor e explícito, consiste no princípio da diferenciação progressiva.

Segundo Moreira (2011), partindo daquilo que o aprendiz já sabe sempre com uma interação não literal e não arbitrária, a interação de um novo conhecimento agregado ao conhecimento pré-existente caracteriza uma aprendizagem significativa, não arbitrária significa que não ocorre com qualquer tipo de ideia já existente, mas com um conhecimento relevante já consolidado e não literal porque não é considerada de maneira estritamente denotativa. Sempre que uma nova informação é adicionada dentro de uma opinião ou hipótese dada, aquela se aprende e a opinião ou a hipótese se modificam. Este processo de adicionar uma informação, ocorrendo uma ou mais vezes, acarreta a diferenciação progressiva do conceito ou proposição incluídos.

Além disso, para Moreira:

[..] através de sucessivas interações, um dado subsunçor vai, de forma progressiva, adquirindo novos significados, esse faz capaz de servir de ancoradouro para nova aprendizagem significativa (MOREIRA, p.20, 2012).

Para que isso ocorra, deve ser considerado a maneira como o conhecimento é apresentado e organizado na estrutura cognitiva do aprendiz.

## **b) Reconciliação Integradora**

Segundo Ausubel (2003), as aprendizagens futuras devem ter relação com o primeiro material de ensino, programar a sequência dos tópicos do conteúdo de maneira coerente, fica compreendido como a organização hierárquica.

Muitos dos livros didáticos não agenciam a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora. Sua organização é unidimensional, começando com o mais simples e terminado com o mais complicado. É uma organização coerente, mas não psicológica. Do ponto cognitivo, a aprendizagem significativa será facilitada se o aprendiz teve uma visão inicial de todo, para então diferenciar e reconciliar significados.

Na maioria das vezes, o estudante tem conhecimentos prévios, mas não percebe a racionalidade e o discernimento entre esses conhecimentos novos que lhe estão sendo oferecidos nas aulas e os materiais educacionais. Nesse caso, é indispensável que se use soluções instrucionais que mostrem essa como os novos conhecimentos se relacionando com os anteriores e como se distinguem como deles.

Ausubel (2003) recomendava também o uso de mais dois princípios facilitadores a organizadores sequencial e a consolidação para facilitar a aprendizagem significativa.

#### **2.1.4 Organizadores Prévios**

São sugeridos como recursos instrucionais que facilitam a aprendizagem significativa, servem como objetos de ligação entre o conhecimento existente na estrutura cognitiva do aprendiz e o novo conhecimento adquirido. Para Moreira e Masini:

Organizador é: Material introdutório apresentado antes do material a ser aprendido, porém em nível mais alto de generalidade, inclusividade e abstração do que o material em si e, explicitamente, relacionado às ideias relevantes existentes na estrutura cognitiva e à tarefa de aprendizagem. Destina-se a facilitar a aprendizagem significativa, servindo de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele precisa saber para que possa aprender o novo material de maneira significativa. É uma espécie de ponte cognitiva. (Moreira e Masini, 1982, p. 103).

e para Ausubel,

A principal função do organizador está em preencher o hiato entre aquilo que o aprendiz já conhece e o que precisa conhecer antes de poder aprender significativamente a tarefa com que se defronta. (Ausubel e cols., 1980, p. 144).

Além disso, para Moreira (2011) os organizadores prévios podem ser apresentados como uma pergunta, um experimento, um texto, uma situação problema, uma simulação ou um filme, vai depender do que o docente terá disponível.

Ainda destaca que: Organizadores prévios não são simples comparações introdutórias, pois, diferentemente destas, organizadores, devem:

- 1 - Identificar o conteúdo relevante na estrutura cognitiva e explicar a relevância desse conteúdo para a aprendizagem do novo material;
- 2 - Dar uma visão geral do material em um nível mais alto de abstração, salientando as relações importantes;
- 3 - Prover elementos organizacionais inclusivos que levem em consideração, mais eficientemente, e ponham em melhor destaque o conteúdo específico do novo material, ou seja, prover um contexto ideacional que possa ser usado para assimilar significativamente novos conhecimentos.

No entanto sendo o material totalmente novo, ou que não seja familiar para o aluno, então a estratégia é usar subsunçores relevantes para promover ou aproximar uma maneira ordenada de informações que será introduzido ao utilizar o novo material.

## **2.2 UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVO**

A Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) baseiam-se em uma sequência de ensino direcionado para o contexto Escolar em sala de aula, sendo teoricamente fundamentada, tendo como prioridade a aprendizagem significativa, com a possibilidade de estimular a pesquisa aplicada em ensino. Essa sequência auxilia o aluno a relacionar e organizar os novos conceitos. Tendo base nesse princípio. Moreira (2011) aconselha seguir os aspectos sequenciais, ou seja, os passos para construção de uma UEPS:

- 1° Definir o tópico a ser abordado e identificar seus aspectos declarativos e procedimentais.
- 2° Propor uma situação, usando uma ferramenta que seja capaz de coletar os conhecimentos prévios dos alunos, um questionário, um mapa conceitual, uma situação problema, entre outros.
- 3° Propor uma situação problema, como introdução, levando em conta o conhecimento prévio do aluno relacionado ao que se pretende ensinar, mas não para o início do ensino e sim como um organizador prévio, e nem como exercício

rotineiro, são situações que o aluno deve perceber como problemas e deve ser capaz de modelar mentalmente; estas situações-problema iniciais podem ser propostas através de simulações computacionais, vídeos, problemas do cotidiano, representações veiculadas pela mídia, problemas clássicos da matéria de ensino, etc., mas sempre de modo acessível e problemático.

4° Uma vez trabalhadas as situações iniciais, apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido, levando em conta a diferenciação progressiva, começando com aspectos mais gerais, para os mais específicos explanando uma visão inicial do todo; a estratégia de ensino pode ser, uma breve exposição oral seguida de atividade colaborativa em pequenos grupos, seguindo para atividades de apresentação ou discussão em grande grupo;

5° Retomar os aspectos mais gerais, daquilo que efetivamente se pretende ensinar, porém as propostas situações-problema devem ser apresentados em níveis crescentes de complexidade, dando novos exemplos, destacando semelhanças e diferenças relativamente às situações e exemplos já trabalhados, promovendo a reconciliação integradora, esta atividade pode ser a resolução de problemas, que leve os alunos a interagir socialmente, negociando significados, tendo o professor como mediador: a construção de uma mapa conceitual ou um diagrama V, um experimento de laboratório, um pequeno projeto, etc.;

6° Para dar seguimento ao processo de diferenciação progressiva, porém buscando a reconciliação integrativa; isso deve ser feito através de nova apresentação dos significados que pode ser, outra vez, uma breve exposição oral, a leitura de um texto, o uso de um recurso computacional, um áudio visual, etc.; essas situações devem ser resolvidas em atividades colaborativas e depois apresentadas e/ou discutidas em grande grupo, sempre com a mediação do docente;

7° A avaliação da aprendizagem deve ser feita ao longo da sua prática sendo registrado pelo professor, buscando evidências de aprendizagem significativa, além de haver uma avaliação somativa individual com propostas de questões/situações, que evidência a captação de significados, também uma avaliação formativa que implique na compreensão e oportuniza os alunos no reconhecimento do seu erro e possa corrigi-los, sendo previamente validadas pelo professo;

8° Será considerado êxito na UEPS se a avaliação dos desempenhos fornecerem evidências de uma aprendizagem significativa (captação de significados, compreensão, capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema). A aprendizagem significativa é progressiva, o domínio de um campo conceitual é progressivo; por isso, a ênfase em evidências, não em comportamentos finais.

Mais três aspectos são acrescentados por Moreira (2011)

1° em todos os passos, os materiais e as estratégias de ensino devem ser diversificados, o questionamento deve ser privilegiado em relação às respostas prontas e o diálogo e a crítica devem ser estimulados, sendo assim deve estimular o estudante a encontrar soluções para as situações/problemas apresentadas;

2° Pedir aos alunos que proponham, situações-problema relativas ao tema em questão;

3° embora a UEPS deva privilegiar as atividades em grupos, ela pode também prever momentos de atividades individuais.

Para uma perspectiva de aprendizagem significativa, em nosso trabalho e levamos em conta as estratégias de ensino que foram utilizadas, buscando a melhor forma que fosse viável para os estudantes, foi imprescindível nesse aspecto levar em consideração os questionamentos e as contribuições deles.

### **2.3 CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS SOBRE A CORRENTE ELÉTRICA**

Concepções alternativas são ideias que os estudantes apresentam e que não coincidem com os saberes científicos. Moreira (1989) aponta que alguns resultados de pesquisas realizadas no estudo da Física desde a mecânica até a eletricidade, os alunos apresentam significados contextualmente errôneos, que não são compartilhados pela comunidade científica.

Apesar de tais conceitos não serem considerados científicos, o professor no momento de apresentar um novo conteúdo, não importando qual tema será estudado na Física, deve considerá-los e trabalhá-los de modo a integrá-los com os novos conceitos.

Não se deve tratar a concepção alternativa como um erro, os erros podem ser cometidos e concertados. A concepção alternativa é conceito errôneo sobre algum tema, é forte, persistente, generalizada, de caráter implícito, com concepções históricas, mas coerente, que funciona como uma barreira ao aprendizado.

Em um trabalho de validação de um teste aplicado para verificar se os alunos possuem ou não concepções científicas a respeito do comportamento da corrente elétrica em um circuito simples Silveira e cols. (SILVEIRA, MOREIRA, AXT, 1989) constataram que os alunos têm a tendência de considerar a corrente elétrica como uma noção primária de energia ou substância, que pode ser consumida e apresenta propriedades de um fluido material. Muitos estudantes consideram que um gerador fornece sempre a mesma intensidade de corrente elétrica e essa é compartilhada por todos os elementos presentes em um circuito, fluindo sempre em uma mesma direção e enfraquecendo gradualmente.

Os autores também observaram que alguns estudantes utilizam a linguagem do senso comum construídas na vivência do cotidiano, associados ao átomo e a corrente elétrica. Os termos são e fatos utilizados para conceituar os elementos que constitui os fenômenos elétricos.

Conforme, Moreira (2011) em alguns casos a tais concepções, que são uma variável importante no processo de aprendizagem, podem ser um bloqueador que impede a aprendizagem significativa.

Tento em vista o cenário, optamos por aplicar um pré-teste a fim de mapear a presença de concepções espontâneas. Inicialmente realizamos uma aula dialógica na qual lançamos uma pergunta para que todos os alunos pudessem se posicionar quanto a resposta correta. Na sequência aplicamos um teste escrito que foi composto por três perguntas.

A primeira sendo um diálogo aberto acerca de uma situação problema do seguinte questionamento: a) “Como que duas pilhas conseguem acender a lâmpada de uma lanterna”? a segunda pergunta foi: b) “Desenhe o modelo de átomo da forma que você imagina e indique os principais elementos que o constituem”; e a terceira foi: c) “Desenhe em uma folha e explique demonstrando como a corrente elétrica percorre ao longo do fio, sob o ponto de vista atômico”.

Todas as respostas escritas foram recolhidas e seu conteúdo se constituiu-se em uma fonte de dados que foram analisados, procurando compreender e dar sentido às explicações dos estudantes, servindo como resultado para o desenvolvimento de pesquisa desse trabalho.

Para a primeira pergunta obtivemos respostas como:

*- A energia que entra é positiva e a que sai é negativa, a positiva tem moléculas e a negativa não.*

*-Um polo contém energia positiva e o outro negativa, as diferentes forças quando se unem faz uma luz.*

*-A cargas positivas se movimento ao encontro da carga negativa pelo fio e faz a lâmpada acender.*

*-A passagem de elétrons é liberada quando o circuito é aberto e isso faz a luz na lâmpada, causando um curto-circuito.*

É importante pontuar que no início da conversa eles se mostraram muito tímidos, mas logo se revelaram, porém as respostas seguiam um ritmo de cópia mudando um ou outro termo que eles estavam familiarizados.

Na segunda questão os desenhos foram mais sugestivos nas representações dos detalhes, a expressão foi individual, as características reveladas de um modo único de pensar na microestrutura do átomo, no comportamento dos elétrons no interior de um fio, cada desenho dava diferentes atributos à forma como concebiam as respostas, cada desenho foi separado por categorias de acordo com suas características, que puderam ser analisadas em uma concepção global e foi possível estabelecer as concepções prévias presentes nesses estudantes.

Para o professor preocupado com a aprendizagem efetiva é importante saber que o aluno pensa a respeito de determinado conceito e o que faz cometer tais erros. De fato, de posse dessa informação, o professor poderá organizar o conteúdo da sua disciplina procurando reelaborar os conceitos que os alunos têm, em vez de ignorá-los tentando introduzir modelos coerentes já organizados da disciplina em questão. (PACCA; VILLANI E HOUSOME, 1983, P.3).

Por fim, ressaltamos que a identificação de como os alunos entendem os fenômenos físicos a partir das suas concepções, isso foi fundamental para uma melhor reelaboração e organização didática do conteúdo, dando continuidade ao processo

de aprendizagem, pensado a melhor forma de trabalhar a partir das concepções coletadas.

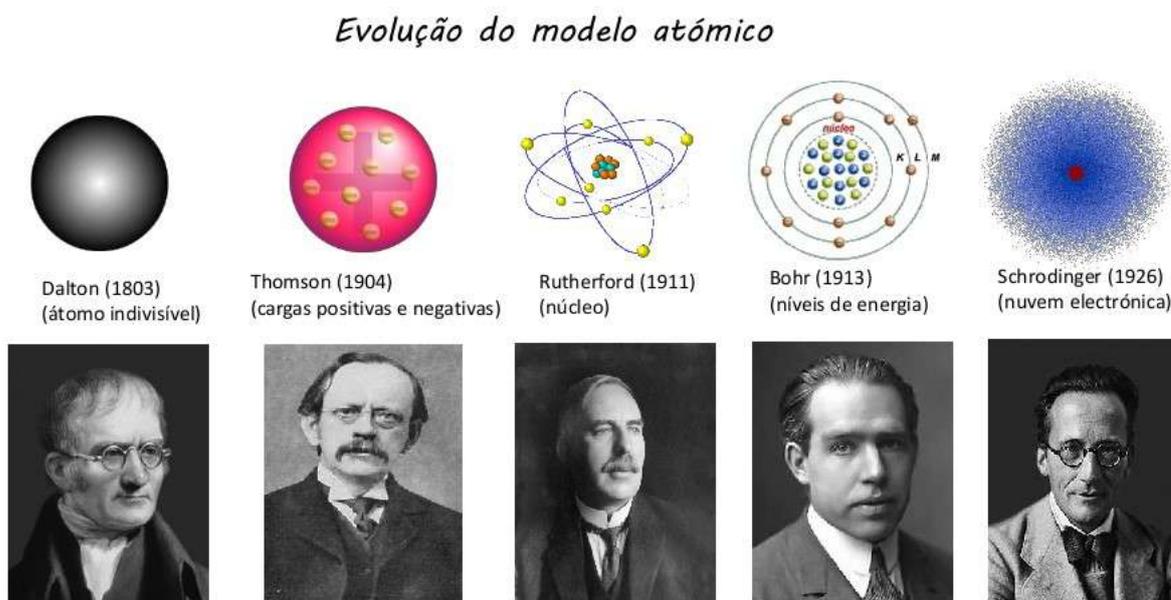
## 2.4 OS CONCEITOS FÍSICOS TRABALHADOS

Nesta seção apresentaremos, brevemente, os conceitos físicos trabalhados ao longo de todas as aulas.

### 2.4.1 carga elétrica

Atualmente sabemos que toda matéria é composta por átomos e, de acordo com o modelo atômico vigente, os átomos são constituídos por um núcleo onde se localiza toda massa e encontram-se as partículas elementares denominadas prótons e nêutrons. Na região entorno ao núcleo chamado de eletrosfera são encontrados os elétrons. Na Figura 4, apresentamos um resumo dos modelos atômicos desenvolvidos ao longo da história.

Figura 4 - Modelos atômicos desenvolvidos ao longo da história.



Fonte: Produzido pelo autor

Podemos dizer que a carga elétrica é uma propriedade da matéria/ corpo, da mesma forma que a massa. Estas duas propriedades geram dois dos quatro tipos de forças fundamentais da Física: a força gravitacional (associada a massa), e a eletromagnética, associada à carga elétrica. As cargas elétricas elementares são formadas em nível atômico, pelos elétrons e pelos prótons que formam os átomos<sup>1</sup>.

#### A) QUANTIZAÇÃO DA CARGA ELÉTRICA

Como dito anteriormente, cada pedaço de matéria é composto por átomos, que são constituídos por partículas neutras, positivas e negativas, as partículas neutras são os nêutrons, as positivamente carregadas são prótons, e as partículas negativamente carregadas são elétrons, no Quadro 6 apresentamos algumas características destas partículas.

Quadro 6 – Algumas propriedades dos prótons, nêutrons e elétrons.

| Partícula | Massa (Kg)           | Quantidade de carga elétrica (C)      |
|-----------|----------------------|---------------------------------------|
| Elétron   | $9,1 \cdot 10^{-31}$ | $e^- = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ |
| Próton    | $1,7 \cdot 10^{-27}$ | $e^+ = +1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ |
| Nêutron   | $1,7 \cdot 10^{-27}$ | 0                                     |

Fonte: Produzido pelo autor.

Além do fato de que a carga elétrica dos prótons e dos elétrons possuir o mesmo valor, porém com sinais diferentes. Em uma primeira análise tais partículas são responsáveis pela explicação dos fenômenos de atração e a repulsão elétrica dos corpos.

#### B) PROCESSOS DE ELETRIZAÇÃO

Experiências realizadas por importantes cientistas comprovaram que durante o processo de eletrização por atrito o número de cargas elétricas cedidas por um corpo é igual ao recebidas pelo outro corpo, podendo enunciar o princípio da conservação da carga elétrica quando algo é eletrizado, como sendo:

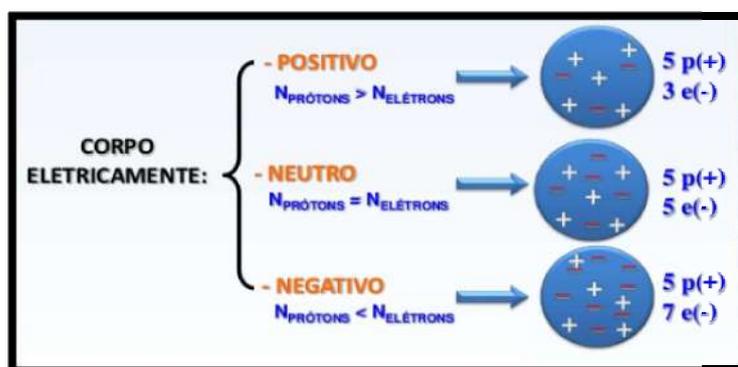
<sup>1</sup> OS ÁTOMOS TAMBÉM SÃO CONSTITUÍDOS PELOS NÊUTRONS, PORÉM ELES NÃO POSSUEM CARGA ELÉTRICA.

$$\sum i_{antes} = \sum i_{depois}$$

A ideia básica do processo de eletrização é que um átomo em equilíbrio elétrico apresenta o mesmo número de elétrons e de prótons, ou seja, o somatório das cargas positivas e negativas é igual a zero. Caso dele seja removido um elétron, terá uma carga positiva (um próton) a mais em relação às negativas (os elétrons), neste caso dizemos então que o átomo está positivamente carregado ou eletrizado (Figura 5).

- Se  $n_e = n_p$ , o corpo é eletricamente neutro
- Se  $n_e < n_p$ , o corpo é eletricamente positivo (cedeu elétrons)
- Se  $n_e > n_p$ , o corpo é eletricamente negativo (recebeu elétrons)

Figura 5 – Corpos eletrizados.



Fonte: Produzido pelo autor

Considerando,  $Q$  como a quantidade de carga elétrica de um corpo e  $n$  um número inteiro que determina a quantidade de elétrons que o corpo possui em excesso ou em falta, é possível escrever que, para obtermos a carga o valor da carga elétrica de um corpo, temos que multiplicar  $n$  pelo valor da carga de um elétron.

$$Q = n \cdot e \quad (\text{equação 01})$$

onde:  $n$  é o número de elétrons em falta ou excesso e “e” é o valor da carga do elétron ( $1,6 \cdot 10^{-19}$  C).

Quando os fenômenos estudados em Eletrostática, envolverem cargas elétricas inferiores a 1C, utilizamos os submúltiplos do Coulomb (Quadro7):

Quadro 7 – Submúltiplos do Coulomb.

| Submúltiplos | Símbolo | Valor (C)  |
|--------------|---------|------------|
| Milicoulomb  | mC      | $10^{-3}$  |
| Microcoulomb | $\mu$ C | $10^{-6}$  |
| Nanocoulomb  | nC      | $10^{-9}$  |
| Picocoulomb  | pC      | $10^{-12}$ |

Fonte: Produzido pelo autor.

Um Coulomb (C) é a quantidade de carga elétrica que atravessa, em um segundo (s), a secção transversal de um condutor percorrido por uma corrente contínua de intensidade igual a um ampère (A).

#### 2.4.2 Corrente elétrica

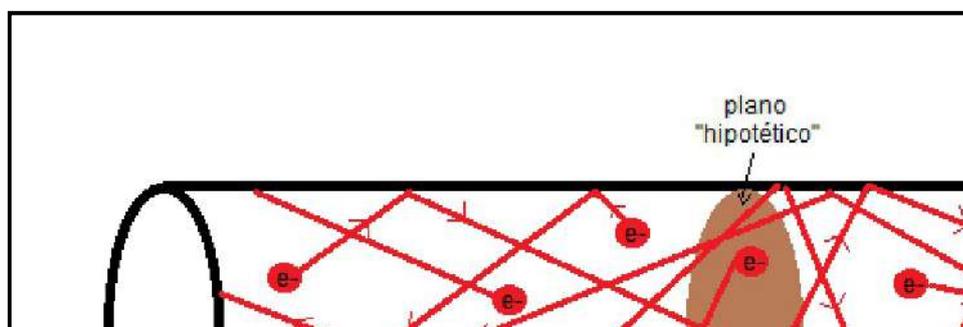
Consideremos agora as situações que envolvem cargas elétricas em movimento. O termo corrente elétrica, ou simplesmente corrente, é utilizado para descrever o fluxo de carga em alguma região do espaço. Existem diversos exemplos de corrente elétrica, tais como: as que constituem os relâmpagos, as nervosas, que regulam nossa atividade muscular, os presentes na fiação elétrica das casas, as que fluem através das lâmpadas elétricas (de bulbo) e nos aparelhos elétricos.

É importante ressaltarmos, que embora uma corrente elétrica seja um fluxo de cargas em movimento, nem todas as cargas em movimento constituem uma corrente elétrica. Quando dizemos que uma corrente elétrica passa através de uma determinada superfície, é porque deve existir um fluxo líquido de cargas através daquela superfície. Segue uma situação que nos auxiliam a entender esta situação (HALLIDAY, e cols., 1996).

(i) Os elétrons de condução no interior de um pedaço de fio de cobre isolado estão em movimento. Apesar da velocidade destes elétrons ser da ordem de  $10^6$  m/s, o movimento é caótico (Figura 6). Tal movimento faz com que se passarmos um plano hipotético através do fio, os elétrons de condução passarão através dele em todos

os sentidos, fazendo com que o transporte líquido de carga seja igual a zero, ou seja, não haverá corrente elétrica.

Figura 6 – Representação do movimento caótico dos elétrons de condução em um fio de cobre.



Fonte: Produzido pelo autor.

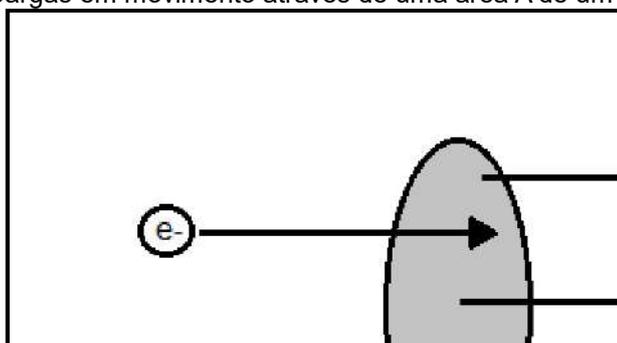
#### A) INTENSIDADE DA CORRENTE ELÉTRICA

Para definirmos matematicamente a corrente elétrica, suponhamos que as partículas carregadas estão se deslocando perpendicularmente em relação a uma superfície de área  $A$ , que representa a seção transversal de um fio condutor, tudo conforme Figura 7. A corrente elétrica é definida como **a taxa a que a carga elétrica flui através dessa superfície**.

$$I_{\text{média}} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \text{ (equação 02)}$$

onde,  $\Delta Q$  é a quantidade de carga que atravessa a área  $A$  no intervalo de tempo  $\Delta t$ , e  $I_{\text{média}}$  é a corrente elétrica média no mesmo intervalo de tempo.

Figura 7- Cargas em movimento através de uma área  $A$  de um fio condutor.



Fonte: Produzida pelo autor.

É importante frisar, que neste trabalho iremos nos limitar ao estudo das correntes constantes de elétrons de condução que se movem dentro de um condutor e que todas as nossas análises serão feitas dentro da estrutura da física clássica. Apesar disso, é importante pontuar que se a taxa a que a carga elétrica flui com o tempo seja variável, definimos a corrente elétrica instantânea, como sendo:

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt} \text{(equação 03)}$$

onde  $Q = Q(t)$  é a carga líquida transportada em um tempo  $t$ . A unidade de Corrente elétrica no S.I. é o Ampère (A):

$$1A = 1C/s,$$

Isto significa que 1A de corrente elétrica é equivalente a 1C de carga elétrica atravessando uma superfície no intervalo de 1 s.

Um fato que não podemos esquecer é que além da corrente eletrônica, podem existir correntes de outras naturezas, tais como a corrente iônica, que é constituída pelo deslocamento de íons positivos e negativos que se movem ao mesmo tempo em sentido opostos. Tal situação pode ser vista em soluções aquosas de sais, ácidos e bases. Neste caso, a intensidade da corrente elétrica é dada pela soma absoluta das duas contribuições (positiva e negativa).

## B) O SENTIDO CONVENCIONAL DA CORRENTE ELÉTRICA

Como visto, as partículas que fluem através da superfície  $A$ , podem ser estar carregadas positivamente ou negativamente, ou podemos ter até os dois tipos. Convencionalmente, definimos a direção<sup>2</sup> da corrente elétrica como a direção do fluxo de carga positiva, independente do sinal das partículas de estão de fato em movimento (SERWAY, JEWETT, 2004).

---

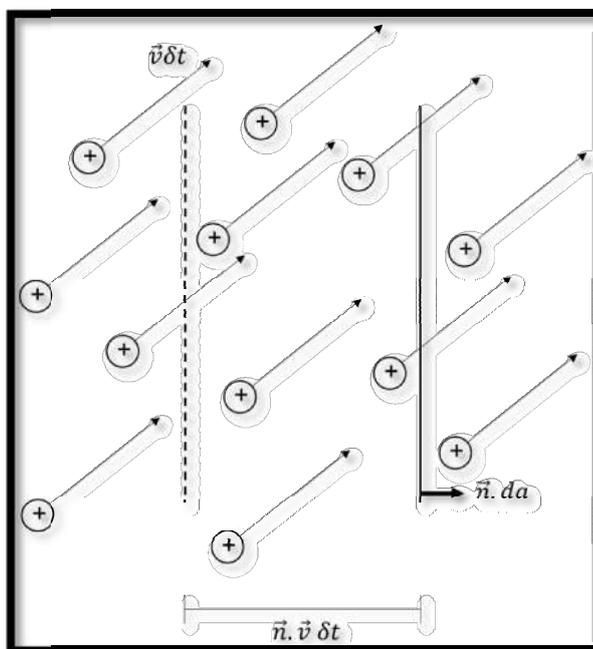
<sup>2</sup> APESAR DE ESTARMOS TRATANDO DA DIREÇÃO DA CORRENTE ELÉTRICA, ESTA NÃO É UMA GRANDEZA VETORIAL.

Nos condutores metálicos, a corrente elétrica é formada pelo fluxo de elétrons livres que se deslocam do menor para o maior potencial, mas o sentido desta corrente é oposto a direção do movimento destes elétrons.

### C) DENSIDADE DE CORRENTE E EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE

Nesta seção iremos considerar um meio condutor que possui somente um tipo de portador de carga  $q$ . O número destes portadores por unidade de volume representaremos por “ $N$ ” e ignorando o movimento aleatório destes portadores iremos associar a cada um a mesma velocidade de deslocamento “ $v$ ” a cada portador. Para calcularmos a corrente elétrica através de um elemento de área “ $da$ ” (Figura 8), consideramos que durante um intervalo de tempo  $\delta t$  cada portador de carga elétrica percorre uma distância “ $v \cdot \delta t$ ” e a carga elétrica  $\delta Q$  que atravessa “ $da$ ” durante o tempo “ $\delta t$ ” é  $q$  vezes a soma de todos os portadores de carga no volume  $\vec{v} \cdot \vec{n} \delta t da$ , onde  $\vec{n}$  é um vetor unitário normal a área “ $da$ ” (REITZ, MILFORD E CHRISTY, 1982).

Figura 8 - Deslocamento dos portadores de cargas elétricas através do plano “ $da$ ” no tempo  $\delta t$ .



Fonte: Produzido pelo autor.

Utilizando a equação 3, temos:

$$dI = \frac{\delta Q}{\delta t} = \frac{qN\vec{v}\cdot\vec{n}\delta t da}{\delta t} = N\vec{v}\cdot\vec{n} da(\text{equação 04})$$

Se considerarmos a presença de mais de um tipo de portador de carga, haverá uma contribuição e a corrente elétrica através da área “da” é dada por:

$$dI = [\sum_i N_i \cdot q_i \cdot \vec{v}_i] \cdot \vec{n} da(\text{equação 05})$$

A soma incide sobre os diferentes tipos de portadores de carga e a quantidade entre colchetes é um vetor que tem dimensões de corrente elétrica por unidade de área, esta quantidade é chamada de densidade de corrente elétrica e é representada pelo símbolo  $\vec{J}$ .

$$\vec{J} = \sum_i N_i \cdot q_i \cdot \vec{v}_i(\text{equação 06})$$

A densidade de corrente por ser definida em cada ponto de um meio condutor e é, por esta razão, uma função vetorial pontual (REITZ, MILFORD E CHRISTY, 1982). A unidade da densidade de corrente elétrica no S.I. é o Ampère por metro quadrado ( $A/m^2$ ).

Utilizando a equação 6, podemos reescrever a equação 5 da seguinte forma:

$$dI = \vec{J} \cdot \vec{n} da$$

e a corrente elétrica através da superfície S, uma superfície de forma arbitrária e de dimensões macroscópicas, é dada pela integral:

$$I = \int_S \vec{J} \cdot \vec{n} da(\text{equação 07})$$

A densidade de corrente elétrica  $\vec{J}$  e a densidade de carga elétrica  $\rho$  não são quantidades independentes, mas estão relacionadas, em cada ponto, por uma equação diferencial chamada de equação da continuidade. Esta relação tem sua origem no fato de a carga elétrica não poder ser criada, nem destruída (REITZ,

MILFORD E CHRISTY, 1982). Por uma questão de facilidade podemos deduzir a equação da continuidade aplicando a equação 7 e uma superfície fechada S. A corrente elétrica que penetra em V, que é o volume delimitado por S, é dada por:

$$I = - \oint_S \vec{J} \cdot \vec{n} da = - \int_V \vec{\nabla} \cdot \vec{J} dv \text{(equação 08)}$$

O sinal de negativo na equação ocorre porque  $\vec{n}$  é a normal para fora e desejamos considerar I positivo quando o fluxo líquido de carga é do exterior de V para o seu interior. Da equação 3, temos que a taxa que a carga elétrica é transportada para dentro de V, é:

$$I = \frac{dQ}{dt} = \frac{d}{dt} \int_V \rho dv$$

como estamos trabalhando em um volume fixo v, a derivada em relação ao tempo atua somente sobre a função  $\rho$ , que é uma função tanto da posição quanto do tempo, de forma que a derivada temporal se torne a derivada parcial em relação ao tempo quando colocada dentro da integral, logo:

$$I = \int_V \frac{\delta \rho}{\delta t} dv \text{(equação 09)}$$

combinando as equações 8 e 9, temos:

$$I = \int_V \left( \frac{\delta \rho}{\delta t} + \vec{\nabla} \cdot \vec{J} \right) dv = 0 \text{(equação 10)}$$

A única forma da equação 10 ser válida para um segmento de volume arbitrário do meio consiste na anulação do integrando em cada ponto, logo a equação da continuidade será:

$$\frac{\delta \rho}{\delta t} + \vec{\nabla} \cdot \vec{J} = 0 \text{(equação 11)}$$

### 2.4.3 Lei de ohm e condutividade

Podemos verificar de forma experimental que a densidade de corrente elétrica  $\vec{J}$  em um metal, à temperatura constante, é linearmente proporcional ao campo elétrico (Lei de Ohm), assim:

$$\vec{J} = g \cdot \vec{E} \text{ (equação 12)}$$

A constante de proporcionalidade  $g$  é denominada condutividade. Os materiais para os quais esta equação é válida são chamados meios lineares ou ôhmicos. Para casos mais gerais devemos substituir “ $g$ ” por “ $g(\vec{E})$ ”. O recíproco da condutividade é a resistividade “ $\eta$ ” ou “ $\rho$ ”, para o caso linear temos:

$$\eta = \frac{1}{g} \text{ (equação 13)}$$

a unidade de  $\eta$  no S.I. é o volt-metro por Ampère, ou ohm-metro, onde o ohm ( $\Omega$ ) é definido por

$$1 \text{ ohm} = \frac{1 \text{ volt}}{1 \text{ Ampère}}$$

Consideremos, a partir de agora, uma amostra condutora que obedece a Lei de Ohm, na forma de um fio reto uniforme cujas extremidades são mantidas a uma diferença de potencial constante  $\Delta V$ . Além disso, supomos também que tal fio seja homogêneo e caracterizado pela constante de condutividade “ $g$ ”. Nestas condições, existirá um campo elétrico no fio, relacionado com  $\Delta V$  através da seguinte relação:

$$\Delta V = \int \vec{E} \cdot d\vec{l} \text{ (equação 14)}$$

Sabemos que não pode haver componente em estado estacionário do campo elétrico, perpendicular ao eixo do fio já que, pela equação 12, isto produziria uma carga contínua da superfície do fio. Dessa forma, o campo elétrico é puramente longitudinal. Além disso, por causa da geometria, o campo elétrico deve ser o mesmo em todos os pontos ao longo do fio (REITZ, MILFORD E CHRISTY, 1982) e conseqüentemente a equação 14, pode ser escrita da seguinte forma:

$$\Delta V = E.l \text{ (equação 15)}$$

onde  $l$  é o comprimento do fio. Entretanto, um campo elétrico implica em uma corrente de densidade ( $\vec{J} = g\vec{E}$ ) e a corrente elétrica através de qualquer seção reta do fio é dada por:

$$I = \int_A \vec{J} \cdot \hat{n} da = J.A \text{ (equação 16)}$$

Substituindo as equações 12, 15 e 16, temos:

$$I = \frac{g.A}{L} \Delta V \text{ (equação 17)}$$

A quantidade  $\frac{g.A}{L}$  é chamada de resistência elétrica do fio; a resistência será representada pelo símbolo "R", desta forma podemos reescrever a equação no seguinte formato:

$$\Delta V = R.l \text{ (equação 18)}$$

A equação 18 é conhecida como Lei de Ohm. O trabalho realizado pelo campo elétrico quando uma carga  $dQ$  se move através da diferença de potencial elétrico  $\Delta V$  é dado por:

$$dW = dQ \cdot \Delta V$$

a potência correspondente é:

$$P = I \cdot \Delta V = I^2 \cdot R = \frac{(\Delta V)^2}{R}$$

#### 2.4.4 Associação de resistores

Em diversas situações do nosso cotidiano é necessária uma resistência elétrica maior ou menor do que os valores fornecidos por um único resistor. Em outras situações um resistor pode não suportar a intensidade da corrente elétrica fornecida

pelo gerador do circuito. Para resolver estas e outras situações utilizamos vários resistores associados entre si. Basicamente, existe a associação de resistores em série ou em paralelo. Também existem casos que é necessário ou indicado fazer uma combinação destes dois tipos de associação, que chamamos de associação mista de resistores.

### A) ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES EM SÉRIE

Quando dois ou mais resistores estão conectados de extremidade a extremidade, conforme mostramos na Figura 9, dizemos que eles estão em série. É importante observarmos que a corrente elétrica que atravessa cada um dos resistores é a mesma, por outro lado, temos que a diferença de potencial existente entre as extremidades da bateria é igual a soma das diferenças de potencial em cada um dos resistores, logo:

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n \text{ (equação 19)}$$

substituindo a Equação 18 em cada termo da Equação 19, temos:

$$R_{eq} \cdot i = R_1 \cdot i + R_2 \cdot i + \dots + R_n \cdot i$$

onde,  $R_{eq}$  é a resistência elétrica equivalente e tem o mesmo efeito sobre o circuito do que todas as resistências ligadas em série.

$$R_{eq} \cdot i = (R_1 + R_2 + \dots + R_n) \cdot i$$

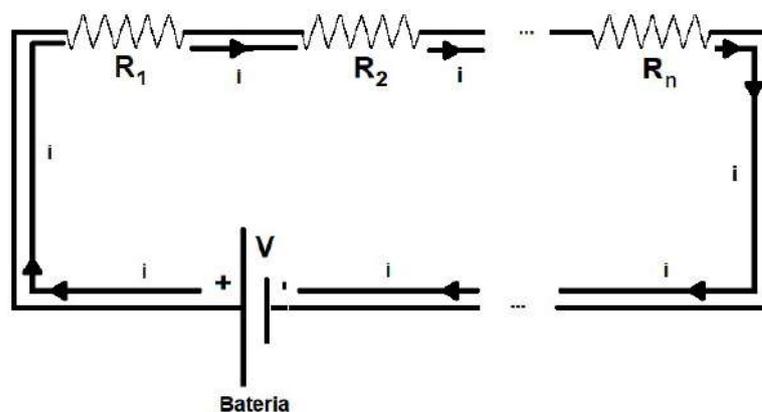
$$R_{eq} = (R_1 + R_2 + \dots + R_n)$$

consequentemente a resistência equivalente de dois ou mais resistores elétricos conectados em série é dada por:

$$R_{eq} = \sum_1^n R_n \text{ (equação 20)}$$

A resistência elétrica equivalente de uma associação de resistores em série é a soma algébrica das resistências individuais e é sempre maior do que qualquer resistência individual.

Figura 9 - Associação de resistores em série.

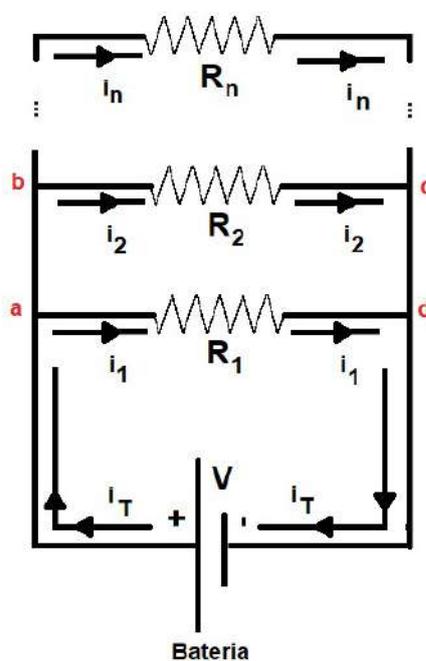


Fonte: Produzido pelo autor.

## B) ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES EM PARALELO

Quando os resistores estão conectados de tal forma, que as diferenças de potenciais em cada é igual a diferença de potencial da bateria, dizemos que estes resistores estão ligados em paralelo (Figura 10).

Figura 10 – Associação de resistores em paralelo



Fonte: Produzido pelo autor

Quando as cargas elétricas atingem os pontos “a” e “b” (chamado nó) no diagrama de circuito exibido na Figura 14, corrente elétrica se divide em duas partes (em cada nó). Como a carga elétrica total deve ser conservada, podemos relacionar todas as correntes elétricas da seguinte forma:

$$i_T = i_1 + i_2 + \dots + i_n \text{ (equação 21)}$$

substituindo a Equação 18 em cada termo da Equação 14, temos:

$$\frac{V}{R_{eq}} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \dots + \frac{V}{R_n}$$

onde,  $R_{eq}$  é a resistência elétrica equivalente e tem o mesmo efeito sobre o circuito do que todas as resistências ligadas em paralelo.

$$\frac{V}{R_{eq}} = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \right) \cdot V$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \right)$$

conseqüentemente a resistência equivalente de dois ou mais resistores elétricos conectados em paralelo é dada por:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_1^n \frac{1}{R_n} \text{ (equação 22)}$$

Em um circuito complexo onde exista muitas resistências elétricas pode ser frequentemente reduzido a um circuito simples. Para fazermos isso, temos que examinar o circuito inicial e substituir todos os resistores em série ou em paralelo pelas resistências equivalente usando as equações 20 e 22. Na sequência redesenhamos os circuitos, e novamente iremos substituir todas as “novas” associações em série e paralelo pelas resistências equivalente, desta forma iremos repetindo este processo até obtermos uma única resistência equivalente ou chegarmos em um ponto de interesse. Em nosso cotidiano, os circuitos elétricos estão sempre ligados em paralelo de modo que os diversos aparelhos que temos em nossas casas estejam ligados em paralelo. Desta maneira, todo aparelho funciona

de forma independente dos outros, de forma que, se um aparelho for desligado, todos os outros permanecem funcionando.

### **3. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO**

Elaboramos as aulas a partir de um planejamento que favorecesse todo o avanço do conteúdo, para que dessa forma a evolução do conhecimento pudesse ocorrer de maneira gradativa na sua ordem e eficiência, considerando os diversos aspectos envolvidos no processo da diferenciação progressiva e a reconciliação integradora, como possíveis instrumentos que orientassem essa aprendizagem, ocorrendo de forma simultânea e progressiva, aplicando os conceitos mais gerais e inclusivos do conteúdo proposto, apresentando os novos conhecimentos com uma abordagem através de diferentes modelos instrucionais.

A expectativa era de que os alunos estabelecessem uma relação de semelhança ao tema proposto, utilizando-se de múltiplas representações para descrever a mesma situação sugerida, os modelos apresentados pelos diferentes grupos de alunos e os projetos construídos por eles foi possível proporcionar a ancoragem na sua estrutura cognitiva.

Analizamos os dados obtidos de forma qualitativa e quantitativa, para isso utilizamos os resultados coletados nos pré-testes, envolvendo o levantamento de concepções espontâneas dos alunos acerca do tema proposto, observando que não existia uma conformidade com relação ao determinado conhecimento, foi preciso esclarecer o processo de ensino, recorrendo ao uso de diferentes instrumentos capaz de ensinar como os elétrons se locomovem no interior de um fio condutor.

Privilegiamos em nossas aulas, uma abordagem conceitual visando a realidade com exemplos contextualizados no cotidiano dos alunos, valorizando seus saberes, dessa forma foi possível intercalar métodos que proporcionaram o desenvolvimento de competências e habilidades em conjunto com as atividades práticas.

Planejamos uma sequência de 11 (onze) aulas com cinquenta e cinco minutos cada uma, sendo uma aula introdutória para determinar o conhecimento dos alunos acerca da locomoção dos elétrons, duas aulas para coleta dos conhecimentos prévios (pré-teste) e uma para avaliação da aprendizagem (pós-teste), quatro aulas

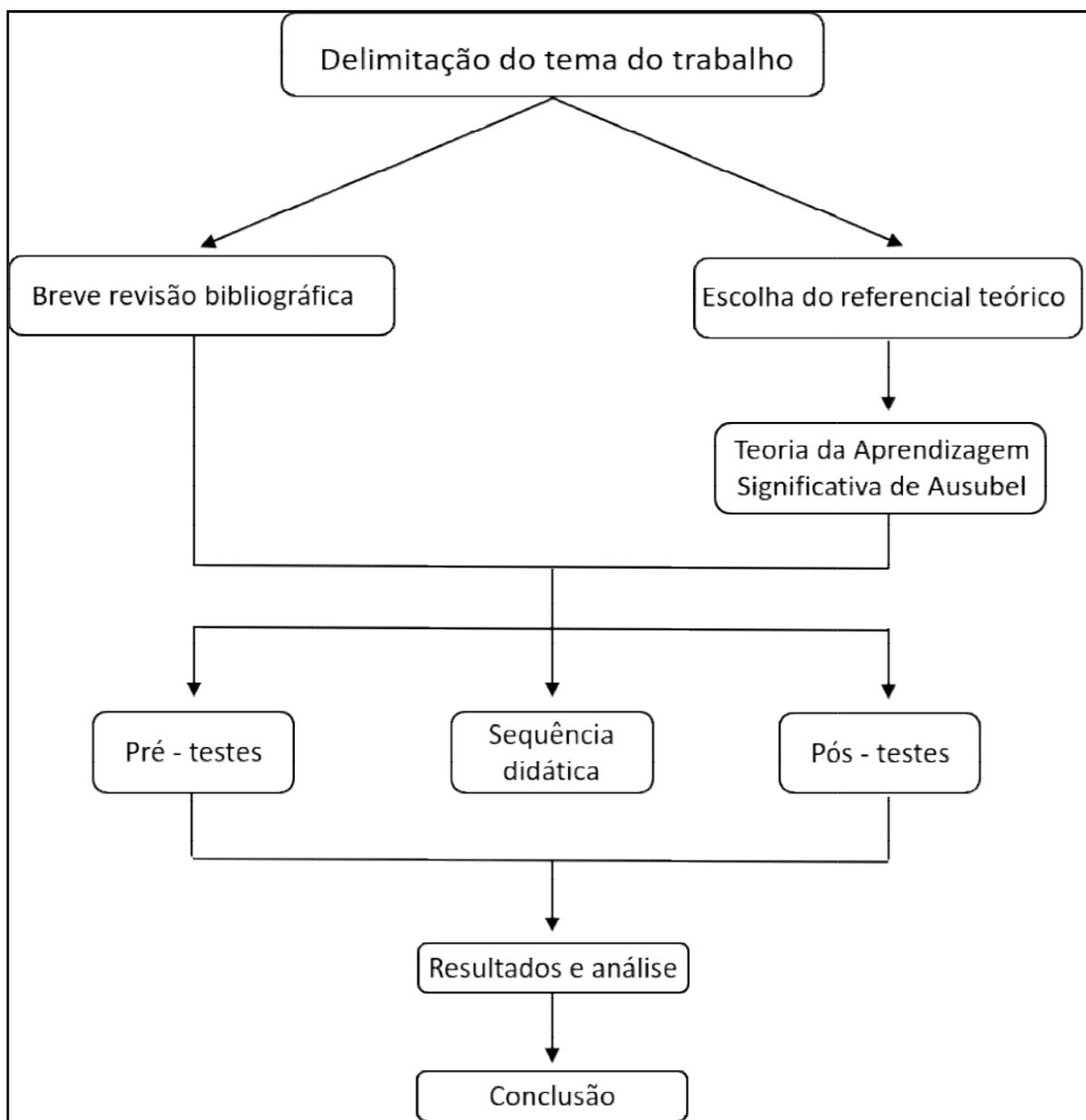
para leitura dos capítulos destinados e resolução das atividades relacionados com a eletrodinâmica, uma aula para mostrar trechos do filme a Guerra da Correntes, uma aula para um experimento prático com fios, pilhas e lâmpadas, uma aula para apresentar o aparato desenvolvido para a aula prática, uma aula para revisão do conteúdo e apresentação experimental do brilho das lâmpadas, todas as aulas foram destinadas para aplicação do material instrucional que eles desenvolveram, de forma que o avanço do conteúdo pudesse ocorrer gradativamente na sua especificidade e complexidade, para que a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora ocorressem de forma simultânea e progressiva à medida que novos conhecimentos foram oferecidos aos alunos.

Os espaços utilizados pelos alunos foram a sala de aula e o laboratório de ciências, para uma melhor uma aplicação teórica e prática, com a intenção de modificar a rotina dos alunos, o laboratório foi usado como base nas apresentações dos projetos.

### **3.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Na Figura 11, apresentamos uma síntese organizacional do trabalho, para que os leitores possam acompanhar sua estruturação.

Figura 11 - Esquema da organização do desenvolvimento do trabalho.



Fonte: Produzido pelo autor.

### 3.2 OS SUJEITOS DA PESQUISA

Realizamos toda pesquisa na Escola Estadual de Ensino Médio Hilda Miranda Nascimento, localizada no município de Serra no Espírito Santo, em duas turmas da terceira série do ensino médio, sendo uma do turno matutino e outra do vespertino. O total de alunos que participaram de todos os momentos do trabalho foram 57 (cinquenta e sete) alunos.

Com relação à infraestrutura, a Escola possui ambientes climatizados que permitem atividades extraclasse como laboratório de informática, laboratório de Ciências (Física, Química e Biologia), auditório com função multiuso e biblioteca. Para análise qualitativa da pesquisa, consideramos apenas as respostas dos alunos que participaram de todas as etapas, incluindo o pré e pós-testes.

### **3.3 TIPO DE PESQUISA**

Com base nas definições de Malheiros (MALHEIROS, 2011) caracterizamos este trabalho como uma pesquisa-ação de caráter qualitativo por meio do qual se desenvolveu uma proposta de ensino sobre os conceitos iniciais de corrente elétrica, de tal forma que promova a aprendizagem significativa dos alunos da terceira série do ensino médio.

De acordo com Moreira:

De maneira geral, pode-se dizer que a pesquisa-ação sempre implica um plano de ação baseado em objetivos de mudança (melhora), a implementação e controle desse plano através de fases de ação, assim como a descrição concomitante do processo cíclico resultante (MOREIRA, 2011 p.93).

Além disso, neste trabalho evidenciamos uma pesquisa ação através da intervenção na forma de pré-testes viabilizando um diagnóstico para a compreensão da essência do problema, servindo também como subsídio às futuras hipóteses de intervenção a partir de adequações nos métodos de ensino focados no conteúdo.

### **3.4 ETAPAS DO TRABALHO**

Dividimos todo o trabalho, basicamente em três etapas que são interligadas de modo que seja possível promover uma aprendizagem significativa.

Na primeira etapa, realizamos uma espécie de mapeamento das concepções espontâneas dos alunos, através de uma aula dialógica e da aplicação de um pré-teste. Durante o desenvolvimento destas atividades iniciais, buscamos, através da

observação e dos resultados adquiridos, obtemos os subsunçores acerca dos conceitos físicos envolvidos na resolução de problemas que envolvem a corrente elétrica em circuito simples, para que a sequência didática a ser organizada fosse adequada às necessidades observadas. Ressaltamos que por circuitos elétricos simples estamos fazendo referência a associações em série e paralelo de resistores ôhmicos ou lâmpadas alimentadas por fonte de tensão.

Na sequência, iniciamos a segunda etapa, onde aplicamos os materiais instrucionais e realizamos uma atividade motivadora. Nesta etapa utilizamos aulas teóricas e experimentais, que serão mais bem descritas posteriormente, entretanto frisamos que em toda a proposta, privilegamos um ensino conceitual, contextualizado, com inserção do concreto e cotidiano, sem o uso do formalismo matemático.

Por fim, na terceira etapa aplicamos um pós-teste para coleta de dados e verificação da aprendizagem. A partir da comparação dos resultados dos pré e pós-testes, analisamos o efeito da aplicação do material da segunda etapa. Nos capítulos subsequentes apresentaremos uma análise mais ampla dos resultados obtidos.

Ademais, considerando o fato de que muito dos alunos que participaram da pesquisa, não continuaram a estudar na mesma Escola. Aplicamos no ano seguinte, através de formulário eletrônico, um outro teste de modo que pudéssemos avaliar o efeito do nosso material após um período relativamente grande, quando comparado com o tempo decorrido entre a aplicação do material e do pós-teste.

### **3.4.1 PRÉ – TESTE**

Ausubel em sua teoria da Aprendizagem Significativa, faz um destaque a respeito da importância de conhecermos o que o aluno já sabe a respeito do tema estudado e de acordo com Moreira:

O conhecimento prévio é, na visão de Ausubel, a variável isolada mais importante para a aprendizagem significativa de novos conhecimentos. Isto é, se fosse possível isolar uma única variável como sendo a que mais influência novas aprendizagens, esta variável seria o conhecimento prévio, os subsunçores já existentes na estrutura cognitiva do sujeito que aprende. (Moreira, 2012)

Diante disto, no início de todo o trabalho, tivemos uma conversa em aberto com as turmas, onde propusemos a realização de um projeto de ensino chamado “*Spiral Marble Machine*” e explicamos que seria necessário realizar uma série aulas preparatórias para o desenvolvimento do projeto.

Após a apresentação do projeto, informamos aos alunos que as aulas preparatórias teriam início naquele instante. Então pedimos aos alunos que ficassem de pé no fundo da sala de aula, e dividimos os espaços restantes em quatro quadrantes. Sendo que cada quadrante representava uma das alternativas de resposta, de uma questão objetiva escrita no quadro. Após o comando do professor, os alunos se deslocaram para o quadrante na qual eles consideravam representar a resposta correta.

Na sequência ouvimos algumas explicações a respeito do motivo pelo qual eles haviam feito aquelas escolhas e aplicamos um questionário com 3 (três) perguntas discursivas. Todo o procedimento realizado nesta aula tipificaremos como pré-teste I. A realização desta aula nos possibilitou na identificação de alguns subsunçores que serviram como base para a aplicação da continuação do pré-teste, com questões de múltipla escolha.

O principal objetivo do pré-teste foi de mapear os conceitos que os alunos possuem a respeito do tema a ser estudado, que serviram de subsídios no desenvolvimento do material.

### **3.4.2 MATERIAIS INSTRUCIONAIS (MI)**

De acordo com Moreira (MOREIRA, 2012) para Ausubel, o ser humano tem a grande capacidade de aprender sem ter que descobrir. Exceto em crianças pequenas, aprender por recepção é o mecanismo humano por excelência para aprender. As novas informações, ou os novos significados, podem ser dados diretamente, em sua forma final, ao aprendiz. É a existência de uma estrutura cognitiva prévia adequada (subsunçores especificamente relevantes) que vai permitir a aprendizagem significativa (relacionamento não arbitrário e substantivo ao conhecimento prévio). Mas a aprendizagem por recepção não é instantânea, requer intercâmbio de significados.

Seguindo as orientações de Ausubel, os instrumentos de ensino foram aplicados em um nível crescente de complexidade, levando em consideração os subsunçores do aluno, preparando-o para receber as novas informações. Os instrumentos de ensino foram divididos em nove etapas, abrangendo os reais problemas que pudessem provocar e possibilitar as reflexões que abordam os conceitos estudados.

No desenvolvimento de todo o trabalho usamos como materiais instrucionais (MI): 2 (dois) livros texto utilizados pela Escola, 1 (uma) Apostila do terceiro ano com foco no ENEM, confeccionada pelo professor/mestre Júlio Cesar Souza Almeida, 1 (um) Filme intitulado “Guerra das Correntes”, 2 (dois) experimentos, e o desenvolvimento de um projeto de ensino realizado pelo e com os alunos.

Destacamos que durante todo o processo de aplicação de cada atividade, os conceitos apresentados eram retomados com um nível mais alto de complexidade em relação ao anterior, com a mediação do professor, avaliando como os alunos se apropriam do conhecimento em todo os seus graus de envolvimento.

Para que ocorra a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora de modo gradativo, os MI necessariamente precisam dar suporte, para ocorrer a ancoragem dos conceitos na estrutura cognitiva dos estudantes, sendo assim é possível apresentar semelhanças e diferenças entre as situações para que os alunos possam compreender situações não familiares.

A construção do conhecimento pode ser mais natural para os alunos caso exista uma organização sequencial, para que a aprendizagem evolua é necessário que o MI cumpra o seu papel como estrutura de apoio, fazendo cumprir todo princípio que Ausubel chama de consolidação, se os conceitos aplicados forem retomados a todo momento, o tópico antecessor será a base para o futuro aprendido, insistindo sempre no domínio apresentado antes de prosseguir para o seguinte.

Os MI tiveram uma adaptação para a aplicação da nossa realidade, essa proposta teve o privilégio de apresentar um ensino conceitual, motivador, contextualizado, sem o uso do formalismo matemático, com a inserção de elementos concretos que fazem uso no cotidiano dos estudantes, com o anseio que outros profissionais da educação pudessem utilizá-lo como o mesmo fim educacional ou até mesmo melhorá-lo para o

ensino desse conteúdo, podendo também optarem em fazer o uso do formalismo matemático.

Para que o aluno estude com maiores possibilidades de aprendizagem, torna-se necessário priorizar e estimular o ensino com diversidade, oferecendo grandes possibilidades de negociação de significados.

Segundo (Moreira 2011) se eventualmente o estudante não apresentar os significados de acordo com o contexto analisado, sem uma compreensão adequada, o professor deve novamente realizar uma nova apresentação dos conceitos, mas de outra maneira, isso pode ocorrer várias vezes, até que o aprendiz venha compartilhar os significados aceitos dentro do contexto da matéria estudada.

As técnicas utilizadas pelo professor para favorecer e ajudar os alunos são denominadas estratégias de ensino-aprendizagem, elas são essenciais para extrair o melhor aproveitamento do estudante, isso pode ajudar a adquirir e fixar todo o conceito que foi aplicado.

A necessidade de definir diferentes critérios avaliativos, está relacionado com a importância de construir diferentes instrumentos de avaliação, possíveis instrumentos de avaliação da aprendizagem: debates regrados, produção de vídeos, realização de experimentos, produção eventos, encenações, exposições, portfólio, painéis, linha do tempo, revistas, cadernos temáticos e livros. A ampliação dessas possibilidades permite aos alunos exteriorizar significados adquiridos durante os estudos, voltando ao professor com resultados melhores e mais promissores.

Neste ponto é importante ressaltar que de acordo com Moreira (MOREIRA, 2016, p.24) para que haja uma aprendizagem significativa, o pressuposto é que o aluno tenha pré-disposição em aprender, independente do quão potencialmente significativo seja o material a ser estudado, se a intenção for simplesmente memorizar, tanto o produto quanto a aprendizagem serão mecânicas e sem significado. Para promoção da aprendizagem significativa, conhecendo esse pressuposto, foi necessário inserir atividades motivadoras que gerassem condições para acontecer uma aprendizagem significativa.

Dentre todos os materiais instrucionais utilizados, gostaríamos de destacar o desenvolvimento do projeto de ensino, que foi intitulado “*Spiral Marble Machine*”, pois em meio tantos recursos disponíveis e mais atrativos daqueles que são oferecidos em sala de aula, esperar do aluno que ele tenha pré-disposição em aprender não é uma tarefa muito fácil, entre aquilo que é obrigatório e o que gera prazer é uma competição muito injusta, torna-se praticamente impossível, mas no desenvolvimento do projeto os alunos demonstraram muita disposição e interesse.

De acordo com o comportamento dos alunos no desenvolvimento do projeto, podemos dizer que tal atividade cumpriu com o objetivo de oferecer uma melhor interação entre os estudantes, estimulando a participação e demonstrando a importância do trabalho em grupo, de forma espontânea a atividade colaborativa caracteriza a inclusão e a interação dos alunos no processo de aprendizagem, além de propiciar ao professor uma análise colaborativa do ensino.

Por fim, destacamos o fato de que quando o aluno se sente atraído a participar efetivamente do processo de construção da aprendizagem, ele pode observar o valor do ensino, mesmo quando ele acompanha o progresso do evento de forma indireta. Mostrar aos estudantes o valor da aprendizagem é uma estratégia motivacional, existem outras que podem ser abordadas, a proposta aqui é um trabalho complementar em grupo, com um produto elaborado e explicado por eles, mas acompanhado pelo professor.

### **3.4.3 PÓS TESTE**

Para a terceira e última etapa deste trabalho, aplicamos um pós-teste, composto de questões objetivas, que em sua maioria eram similares às utilizadas no pré-teste. Os únicos conteúdos abordados no pós-teste que não estavam presentes no pré-teste são aqueles relacionados com o “*Spiral Marble Machine*”.

Com a aplicação do pós-teste objetivamos “avaliar” a evolução dos conhecimentos dos alunos, principalmente, a respeito da movimentação dos elétrons em um fio condutor. A comparação dos resultados (pré e pós-teste) têm como proposta verificar a presença de indícios de aprendizagem significativa.

#### **3.4.4. AULA 01: AULA INTRODUTÓRIA: APRESENTAÇÃO DA PESQUISA E PRÉ-TESTE I**

Neste primeiro momento, realizamos uma aula dialógica, que consistiu em um momento inicial, onde: (i) comunicamos aos alunos a realização de um projeto de ensino; (ii), informamos aos alunos que todas as atividades a partir daquele momento até a finalização do projeto de ensino fazia parte de uma pesquisa; (iii) esclarecemos sobre o valor da participação dos alunos nas atividades; (iv) entregamos o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) para que os responsáveis tivessem ciência da participação do aluno na pesquisa e autorizassem ou não possíveis exposições em fotos, vídeos no trabalho (APÊNDICE A).

Ademais, esclarecemos que a participação deles nas atividades indicadas não seria contado como nota trimestral, lembrando que todos os alunos envolvidos entregaram os TCLE preenchidos devidamente e assinado pelos responsáveis legais.

Após esta fala introdutória, realizamos uma espécie de jogo com o intuito de gerar discussões e confrontar ideias entre os estudantes. Para isto foram colocadas quatro afirmações acerca da corrente elétrica no quadro, antes de realizar qualquer explicação sobre a corrente elétrica, foi solicitado aos alunos que identificassem quais estavam corretas, ressaltamos que as sentenças foram retiradas de uma questão do vestibular da Universidade Estadual de Londrina no estado do Paraná. As quatro sentenças utilizadas foram às seguintes:

- I- A corrente elétrica é uma grandeza escalar, definida como a razão entre a variação da quantidade da carga elétrica que flui em um meio em um intervalo de tempo.
- II- A corrente elétrica convencional descreve o fluxo de cargas elétricas positivas.
- III- Os elétrons fluem no interior dos metais com a velocidade da luz.

- IV- O campo elétrico é o responsável por fazer as cargas elétricas se movimentarem em um circuito elétrico.

Como a pergunta foi lançada em uma conversa aberta, a sala foi dividida em quatro setores, cada setor referente a uma sentença. Na sequência foi pedido que cada aluno se deslocasse para o setor referente à sentença que ele acreditava estar correta, ou seja, cada aluno pode escolher somente uma resposta.

A sentença que foi escolhida pelo maior número de alunos foi a III - “Os elétrons fluem no interior dos metais com a velocidade da luz”. Após este momento, foi entregue para cada alunos 03 (três) perguntas discursivas. Diante do resultado obtido percebemos a necessidade de desenvolver uma estratégia para trabalhar com os alunos a questão da movimentação dos elétrons dentro de um material condutor a partir dos conceitos iniciais mais básicos, tais como: o que é um átomo e quais são os seus constituintes.

### **3.4.5. AULA 02: TESTE DIAGNÓSTICO**

Dedicamos a segunda aula desta proposta para a realização da segunda parte do pré-teste, que também iremos chamar de teste diagnóstico. Sabemos que nas últimas décadas, muitos trabalhos têm feito referência à aplicação de deste tipo de teste a estudantes de todos os níveis de ensino. De forma geral, as concepções espontâneas observadas pouco variam com relação ao grau de instrução anterior à aplicação dos testes.

No ano de 2018, Andrade e colaboradores (ANDRADE e cols., 2018) em seu trabalho intitulado “Recorrência de concepções alternativas sobre corrente elétrica em circuito simples”, enumera os seguintes modelos mentais baseados em concepções espontâneas mais recorrentes e que podem ocorrer de forma concomitante:

Modelo I – A corrente elétrica é emitida pela fonte (bateria, pilha ou 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.

Assim como, Andrade (ANDRADE e cols., 2018) optamos por utilizar um teste diagnóstico conhecido como Teste SMA (Anexo I), para mapear as concepções espontâneas apresentadas pelos alunos participantes. (ANDRADE e cols., 2018).

O teste diagnóstico utilizado por Andrade foi o “teste SMA”, que foi desenvolvido por Silveira, Moreira e Atx no ano de 1988 (SILVEIRA, MOREIRA & ATX, 1989). Este teste é constituído por 14 questões objetivas, relacionado com o brilho das lâmpadas em uma associação, em série, paralela e mista, (APÊNDICE B), cada questão possui três alternativas, sendo uma correta e duas erradas. Ressalta-se o fato de que nas alternativas erradas os autores colocaram diversas concepções alternativas, tais como: a corrente elétrica é consumida, a corrente elétrica é uma propriedade da fonte, a fonte armazena carga, a carga elétrica pode ser gasta.

### **3.4.6. AULA 03 - LEITURA DO CAPÍTULO DO LIVRO E ATIVIDADES PROPOSTAS**

Iniciamos a aula seguinte com a aplicação dos pré-testes, abordando uma breve contextualização histórica a respeito da “descoberta” da eletricidade. Após este momento inicial, utilizamos o material didático disponibilizados para os alunos, mais precisamente o capítulo 4 do livro texto (GUALTER, NEWTON, HELOU, 2016).

No livro texto o conteúdo relativo à corrente elétrica está distribuído das páginas 91 a 113. Neste primeiro momento pedimos aos alunos que fizessem uma breve leitura do texto e que à medida que fossem avançando na leitura fossem anotando as informações destacadas nas caixas amarelas, pois nestas caixas foram colocados resumos a respeito dos conceitos da corrente elétrica. Na sequência fizemos uma breve discussão a respeito do texto.

Com base nos resultados dos pré-testes e com o desenvolvimento da aula, ao final deste encontro selecionamos alguns exercícios de uma apostila (ALMEIDA, 2018). A apostila que tem como foco o ENEM está disponível no seguinte sítio eletrônico: <https://jcfisicaa.wixsite.com/fisica/livros-e-apostilas>.

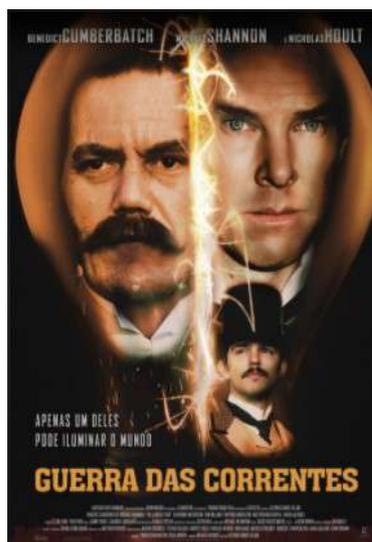
#### **3.4.7. AULA 04 E 05 - FILME “A GUERRA DAS CORRENTES”**

Iniciamos a quarta aula informando aos alunos que os exercícios que eles haviam feito em casa, seriam corrigidos em um momento posterior, pois naquela aula e na seguinte, toda a turma iria assistir ao filme: “A Guerra das Correntes” (Figura 12), que relata uma disputa entre George Westinghouse em parceria com Nikola Tesla contra Thomas Edison, que aconteceu no final do século XIX, na corrida sobre o desenvolvimento e distribuição da eletricidade, Edison pela utilização da corrente contínua e Westinghouse e Tesla pela corrente alternada.

Neste ponto é importante ressaltar que para que não houvesse descontinuidade no desenvolvimento desta atividade, fizemos uma troca de aulas entre professores de modo que o filme foi exibido de maneira ininterrupta.

A ideia de envolver os alunos nessa trama foi de mostrar que houve momentos e pessoas fundamentais no “desenvolvimento” e posterior aplicação dos conceitos de corrente elétrica. Além disso, no filme é tratado, mesmo de forma simplificada, a diferenciação entre corrente elétrica contínua e alternada.

Figura 12 - Capa do filme: "Guerra das correntes"



Fonte: Produzido pelo autor

No decorrer do filme é mostrado que a corrente elétrica contínua desenvolvida e defendida pelo inventor Thomas Edison funcionava muito bem com lâmpadas incandescentes, podendo ser armazenada em baterias, promovendo reserva de energia quando existir a falha nos geradores de corrente contínua, sendo que estes podiam ser associados em paralelos permitindo uma economia no consumo diário de energia. Edison também havia inventado um medidor para permitir que a energia elétrica utilizada fosse cobrada de forma proporcional ao consumo, mas o medidor só funcionava com a corrente contínua.

Do outro lado da “guerra” estava George Westinghouse que foi um engenheiro, empresário e pioneiro nas indústrias da distribuição de corrente elétrica alternada, que mais tarde em parceria com Nikola Tesla, que a partir de trabalhos desenvolvidos com campos magnéticos rotacionais, criou um sistema para geração de energia, proveniente de corrente alternada, revolucionando o mercado da eletricidade para o mundo moderno.

#### **3.4.8. AULA 6 - SPIRAL MARBLE MACHINE**

Esta foi uma aula muito aguardada pelos alunos, pois na semana anterior, dividimos a sala em dois grandes grupos de alunos e pedimos que eles fizessem a montagem

de um aparato conhecido como *Spiral Marble Machine* (Figura 13), mas dissemos que somente no momento da aula eles saberiam o propósito do aparato. Para facilitar a montagem, além das instruções escritas, sugerimos que eles assistissem a um tutorial disponível no *youtube*.

O *Spiral Marble Machine* (APÊNDICE C) é um brinquedo normalmente, usado para realizar uma corrida de bolinhas de gude e pode ser confeccionado com a utilização de materiais de baixo custo, como por exemplo: papelão e cola. Para utilizarmos o “brinquedo” como ferramenta auxiliar na introdução do conceito de corrente elétrica, associamos as espiras com as camadas covalentes de um átomo, o movimento de giro com a diferença de potencial e as bolinhas de gude ao movimento dos elétrons.

Figura 13 - Montagem inicial do *Spiral Marble Machine*.



Fonte: Produzido pelo autor.

É importante ressaltar, que utilizamos este aparato em diversos momentos da nossa sequência didática, entretanto a cada nova utilização um novo componente foi acrescentado, de modo que novos conceitos fossem abordados, tais como: associações em série e paralelo, resistores e capacitores. Ao final de toda a sequência, foi possível utilizar o aparato para discutir o funcionamento completo de um circuito simples

Considerando todos as concepções espontâneas observadas anteriormente, partimos do modelo atômico de Rutherford, feito com bolinhas de isopor e com a

utilização de um rolo de papel alumínio, dois pêndulos eletrostático, um com haste de plástico e um com haste de metal, um eletroscópio, um cano de PVC, uma gaiola (Figura 14) e os dois *Spiral Marble Machine* confeccionados pelos alunos, abordamos/ simulação de forma mais “palpável” a movimentação dos elétrons em torno do núcleo atômico, descrevendo o salto quântico e o movimentando pela estrutura cristalina de um fio condutor de eletricidade.

Durante o desenvolvimento da aula, percebemos que os alunos que acreditavam que a corrente elétrica existe devido ao movimento dos átomos, porém foram gradualmente compreendendo que na realidade a corrente elétrica está associada ao movimento dos elétrons no interior do condutor.

Figura 14 - Dispositivos utilizados durante a aula.



Fonte: Produzido pelo autor.

### 3.4.9. AULA 7: ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES, LEI DE OHM E CIRCUITOS ELÉTRICOS

Nesta aula trabalhamos os conceitos referentes a associação de resistores e medidas elétricas, Lei de Ohm e potência elétrica. Tais conceitos foram trabalhados de uma forma dialógica a partir do livro didático (GUALTER, GUALTER, NEWTON, HELOU, 2016). A parte final da aula foi dedicada a resolução de exercícios.

Nesta aula, a intenção foi de fazer com que o aluno tenha contato com o material didático, como um recurso/ ferramenta a ser explorado em sala de aula e em casa.

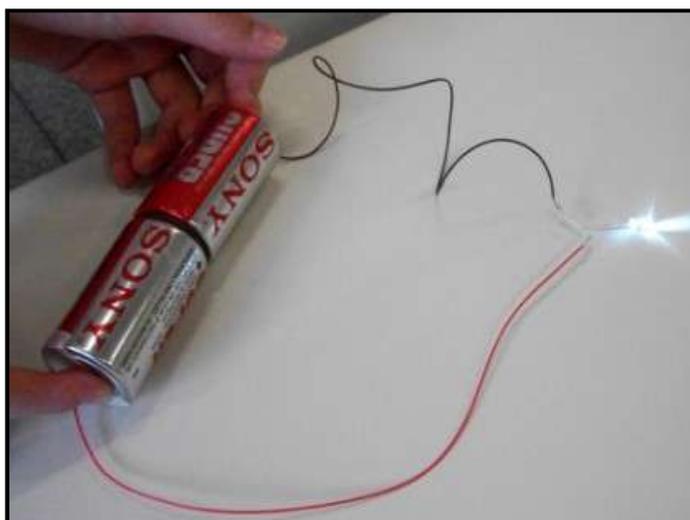
Trabalhamos também a escrita de pequenos resumos que podem facilitar no momento de responder os questionários disponíveis no livro. Durante a resolução de exercícios trabalhamos a capacidade de solucionar problemas por meio de estratégias autônomas e a participação coletiva.

### 3.4.10. AULA 8: EXPERIMENTO “ACENDER A LÂMPADA”

A medida em que realizávamos as aulas, incorporamos alguns experimentos bem simples, como forma de organizar os conceitos estudados durante a etapa de aprendizagem. Lembrando que isto foi possível uma vez que a Escola possui um laboratório de ciências, para dar suporte à realização da montagem dos experimentos.

O experimento desenvolvido nesta aula foi sugerido à construção de um circuito elétrico. Com este experimento pretendíamos fazer uma análise qualitativa da passagem dos elétrons no interior de um fio condutor. Para esta montagem foram necessários dois pedaços de fios de 1mm de diâmetro, pilhas, lâmpadas de lanterna de baixa tensão com filamento, e um multímetro (Figura 15).

Figura 15 - Experimento de acender uma lâmpada.



Fonte: Produzido pelo autor.

Iniciamos mostrando os materiais para os alunos e informando que o objetivo principal da prática era conseguir acender uma lâmpada, usando somente aqueles materiais.

O que parecia simples, gerou um pequeno tumulto, pois, alguns alunos trouxeram leds que queimavam quando as polaridades eram invertidas, outros trouxeram uma micro lâmpada de lanterna com filamento que teria necessidade de maiores práticas para ser corretamente acessa. Diante deste cenário foi necessário gastar um pequeno tempo dessa aula para explicar sobre as polaridades das lâmpadas e forma correta de fazer a ligação.

É importante pontuar que todos os procedimentos foram acompanhados de perto pelo professor, que informou a todos os alunos quais eram os cuidados que eles deveriam observar dentro do laboratório e que ensinou a forma correta de utilizar o multímetro para algumas coletas de dados.

Nesta aula abordamos os seguintes conceitos: diferença de potencial, intensidade de corrente elétrica, a passagem da corrente elétrica no sentido real e convencional, resistência elétrica e potência elétrica.

#### **3.4.11. AULA 09: APRESENTAÇÃO DO APARATO EXPERIMENTAL**

Ao final da aula anterior pedimos aos alunos que a partir dos conceitos estudados até aquele momento, utilizassem o *Spiral Marble Machine* que eles haviam construído para simular o movimento dos elétrons no interior de um fio condutor, cada grupo poderia fazer a alteração/ adaptação que achasse pertinente no seu *Spiral Marble Machine*.

Na Figura 16, mostramos um aparato de um grupo (grupo alpha) que decidiu fazer um modelo usando a espira motorizada para simular o salto quântico e a diferença de potencial, ainda usando dois tipos de canaletas, uma para representar uma associação em série e outra para uma associação em paralelo.

Figura 16–Aparato experimental do grupo Alpha



Fonte: Produzida pelo autor.

Figura 17 - Parte do relato do grupo alpha

O trabalho/experimento tinha como objetivo a demonstração de como os elétrons se locomovem em um fio (um condutor).

As bolinhas de quide representavam os elétrons e o caminho total percorrido por elas, o circuito elétrico e a área onde podia-se observar a passagem das bolinhas, a seção transversal do fio.

A área "inicial" do caminho, que é onde as bolinhas começam o percurso, representa o polo negativo e a parte "final", que é onde as bolinhas ingressam na roda, representa o polo positivo.

Fonte: Produzida pelo autor

Na Figura 18, temos um aparato no qual os alunos (grupo Física) decidiram abusar um pouco mais da criatividade e utilizaram uma escada motorizada para representar a diferença de potencial criada por um gerador no circuito, um funil onde a esfera circulava após cair descrevendo uma "resistência", uma espira fixa destacando o salto quântico e uma bifurcação, onde representaram uma associação em série,

usando um sensor de contato quando a esfera passava pela canaleta de cima um conjunto de três leds brilhavam, e simulando uma associação em paralelo, usando um sensor de contato quando a esfera passava pela canaleta de baixo um conjunto de seis leds brilhavam.

É importante observar que com este tipo de montagem, foi possível discutir e reforçar o fato de que a bolinha/elétron que acende o led, primeiramente é levada a uma determinada posição pela diferença de potencial, atravessa o fio que oferece resistência a esta passagem e que quando a bolinha/elétron passa pelo Led, ela já havia deixado o “gerador” há algum tempo. Este fato é importante para desconstruir a ideia de que o elétron possui uma velocidade de deriva dentro do condutor próxima à da luz.

Figura 18– Aparato experimental do grupo Física.



Fonte: Produzida pelo autor.

Figura 19 - Parte do relato do grupo Física

A estrutura representa um salto quântico, onde as bolinhas de gude representam os elétrons. Os elétrons são partículas componentes do átomo, que é a unidade básica de toda matéria. O salto quântico ocorre quando um elétron é acelerado e passa de uma camada de valência para a outra, se tornando um elétron livre. O tempo que um elétron demora para sair de uma camada de valência e chegar com outra, é de nano segundos. Mas dentro desse intervalo o elétron não se encontra no espaço entre as duas camadas, ele desaparece. Hoje não se sabe ao certo onde esse elétron vai parar, se ele vai para uma dimensão paralela a nossa ou se ele simplesmente deixa de existir por um período de tempo, mas isso acontecimento abre uma discussão sobre a possibilidade da existência de multiversos.

Fonte: Produzida pelo autor

Na figura 20, mostramos um aparato no qual os alunos (grupo Edison) optaram em não utilizar um modelo motorizado, mas utilizando garrafinhas descartáveis, representando a diferença de potencial, no qual lançavam as esferas demonstrando os elétrons em movimentação no circuito. Em um determinado ponto da trajetória da bolinha os alunos colocaram uma bifurcação que representada uma associação em paralelo.

Em cada caminho após a bifurcação os alunos colocaram dois sensores de contato com leds para identificar quando as esferas transitavam por uma associação em série e uma em paralelo. Com esta montagem os alunos puderam visualizar que em uma associação em série é a mesma bolinha que acende o Led e que em uma associação em paralelo o número de bolinhas que passa em cada ramo do circuito é uma "divisão" do número total de bolinhas. Também foi possível observar que após associação em paralelo o número de bolinhas volta a ser o mesmo, ou seja, as bolinhas/ os elétrons não são consumidos pelos elementos do circuito

Figura 20 – Aparato experimental do grupo Edison.



Fonte: Produzida pelo autor.

Figura 21 - Parte do relato do grupo Edison

A bolinha de gude representa o eletrão, que significa: partículas que constituem o átomo → localizados na atmosfera do átomo. O circuito elétrico → geradores, receptores, e capacitores, realizadas por meio de fios condutores, permitindo a circulação da corrente elétrica, que significa: fluxo ordenado de partículas portadoras de carga elétrica ou deslocamento de cargas dentro de um condutor. A bolinha (eletrão) passa pelo gerador, e quando os eletrões se aceleram, afastando-se do núcleo e partindo para órbita diferente da anterior, ganha uma quantidade extrema de energia, ela salta para um nível mais alto, que é o Salto quântico. Logo após isso, os eletrões passa para o circuito elétrico dividindo-se em série: Duas ou mais cargas que estão

Fonte: Produzida pelo autor

Na Figura 22, temos a imagem da montagem experimental do grupo “elétron”. Nesse aparato os alunos ousaram em usar bastante a criatividade em apresentar a movimentação dos elétrons pelo circuito, desenvolveram uma espira motorizada que utilizaram para representar a diferença de potencial e o salto quântico. As canaletas foram fixadas em uma espécie de quadro. Da mesma forma que o grupo “Edison”, eles colocaram sensores de contatos que detectavam o trajeto em série e paralelo, sendo determinado por um tipo de interruptor móvel.

Figura 22 - Aparato experimental do grupo elétron.



Fonte: Produzida pelo autor.

Figura 23 - Parte do relato do grupo elétron

⇒ Marble Run Machine

Utilizando-se do marble machine, o objetivo do trabalho é simplificar e descobrir o funcionamento das associações em série e em paralelo.

Na associação em série temos a divisão de tensão e o requerimento de uma corrente de igual valor, onde todos os componentes acordam juntos.

Já na associação em paralelo, temos o oposto. Nela ocorre a divisão de corrente ao invés da tensão. Nesta associação cada componente acende separadamente.

Fonte: Produzida pelo autor

### 3.4.12. AULA 10: EXPERIMENTO CAIXA DE LÂMPADAS

Nesta aula optamos por realizar uma prática experimental demonstrativa para reforçar os aspectos físicos em uma associação de resistores e como podemos obter o valor numérico de algumas grandezas Física através da utilização de um multímetro.

Na parte inicial da demonstração utilizamos novamente o *Spiral Marble Machine*. Desta vez demos um pouco mais de ênfase ao fato de que cada vez que a bolinha/elétron passa por um sensor ela perde velocidade (energia cinética). Neste ponto alguns alunos associaram a perda de velocidade com a intensidade que o Led acendia.

Na segunda parte da demonstração utilizamos um dispositivo conhecido como “caixa de Lâmpadas” para fazer uma análise quantitativa nas associações em série e paralelo.

Após as montagens da associação das lâmpadas, fizemos alguns comentários necessários para cada ligação, mostrando vantagens e desvantagens das ligações nessas associações.

Na ligação em série (Figura 24) as lâmpadas apresentam um brilho mais “fraco”, pelo fato haver uma divisão na tensão elétrica, porém sendo a mesma corrente para todas as lâmpadas, nessa associação quando ocorre um problema com uma das lâmpadas, todas as outras se apagam por estarem conectadas em uma única ligação.

Figura 24 - Associação em série de lâmpadas.



Fonte: Produzida pelo autor.

Na associação de resistores em paralelo (Figura 25), as lâmpadas apresentam um brilho forte comparada à ao circuito em série, isso acontece porque não existe uma divisão na tensão elétrica sendo a mesma para todas as lâmpadas, mas sim existe uma divisão na corrente elétrica distribuída pelo circuito, quando ocorre um

problema com uma das lâmpadas, todas as outras continuam acesas. Esse tipo de associação é usado para uma instalação elétrica residencial ou predial.

Figura 25 - Associação em paralelo de lâmpadas.



Fonte: Produzida pelo autor.

Na associação mista (Figura 26) existe uma ligação tanto em série, quanto em paralelo o que ocorre é que a lâmpada que está ligada em paralelo, apresenta uma luminosidade mais forte, enquanto as lâmpadas que estão associadas em série apresentam luminosidade mais fraca, tendo para cada associação um comportamento de acordo com a sua ligação no circuito, dada na explicação acima.

Figura 26 - Associação mista de lâmpadas.



Fonte: Produzida pelo autor.

#### 4.4.12. AULA 11 - APLICAÇÃO DO PÓS-TESTE

Na última aula desta proposta, aplicamos um pós-teste (APÊNDICE D) que tinha como objetivo verificar a presença de indícios de evolução de conhecimentos a

respeito do conceito de corrente elétrica. Tal teste foi composto por 3 (três) questões discursivas e 9 (nove) questões objetivas.

As questões que compõem o teste são similares as questões do teste diagnóstico, porém com um grau maior de dificuldade.

### 3.5 RESUMO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

No Quadro 8, apresentamos um resumo da aplicação das atividades, dos materiais instrucionais e dos princípios adotados na perspectiva de se alcançar a aprendizagem significativa.

Quadro 8 - Resumo da aplicação das atividades e materiais instrucionais.

| AULA          | ATIVIDADES  | OBJETIVOS   | DESCRIÇÃO   |
|---------------|---|---|---|
| Aula 01       | Apresentação do trabalho e Pré-teste                        | Identificar concepções espontâneas.   | Aula dialógica e atividade discursiva   |
| Aula 02       | Pré-teste II (teste diagnóstico)                            | Identificar concepções espontâneas.   | Teste com questões objetivas  |
| Aula 03       | Leitura do livro texto e resolução de exercícios            | Apresentar os conceitos de forma introdutória, com aplicação das primeiras situações-problema. Levantar as primeiras questões sobre o conteúdo. | Leitura e registro de textos sobre o conceito de corrente elétrica.                     |
| Aulas 04 e 05 | Exibição de filme   | Apresentar novos conceitos sobre corrente elétrica, consolidar e aprofundar os conceitos já apresentados, com aplicação ao cotidiano.           | Nestas aulas os alunos assistiram o filme "Guerra das correntes" e anotaram as dúvidas. |
| Aula 06       | Apresentação e utilização do <i>Spiral Marble Machine</i> . | Discutir e sistematizar o conteúdo; motivar a participação dos alunos; consolidar os conceitos ensinados e verificar a aprendizagem.            | Apresentação do aparato experimental construído por cada grupo.                         |
| Aula 07       | Leitura do livro texto e resolução de exercícios            | Apresentar os conceitos de forma introdutória, com aplicação das primeiras situações-problema. Levantar as primeiras questões sobre o conteúdo. | Leitura e registro de textos sobre a corrente elétrica em um circuito simples.          |

|         |  |  |   |
|---------|--|--|---|
| Aula 08 | Experimento de acender lâmpada                                       | Consolidar e aprofundar os conhecimentos dando seguimento à diferenciação progressiva, buscando a reconciliação integrativa. | Atividade experimental.   |
| Aula 09 | Apresentação e utilização do <i>Spiral Marble Machine</i> – versão 2 | Consolidar e aprofundar os conhecimentos dando seguimento à diferenciação progressiva, buscando a reconciliação integrativa. | Apresentação do aparato experimental construído por cada grupo. |
| Aula 10 | Experimento da Caixa de Lâmpadas.                                    | Consolidar e aprofundar os conhecimentos.  | Atividade experimental demonstrativa                            |
| Aula 11 | Pós-teste  | Verificar a aprendizagem e indícios de aprendizagem significativa.   | Teste com questões objetivas.                                   |

Fonte: Produzido pelo autor.

## **4. RESULTADOS E ANÁLISE**

Nesta etapa do trabalho apresentamos os resultados obtidos através da aplicação do pré e pós-testes. Ressalto que os resultados e análise do pré-teste é de fundamental importância, pois através destas análises, fizemos um levantamento das principais concepções presentes nos alunos. Outro fator importante é que no pré-teste utilizamos questões discursivas e objetivas.

É importante destacar que, para o teste com questões objetivas fez-se uma verificação da consistência estatística dos resultados, para isso usou-se o método conhecido como Alfa de Cronbach (VIEIRA, 2015).

Lembrando que na primeira etapa da aplicação do pré-teste, realizamos em sala de aula, um diálogo com os estudantes, no qual foram levantadas três questões discursivas conceituais a respeito da eletrodinâmica, para eles desenvolverem as respostas da forma que eles entendiam ou acreditavam ser o pensamento correto. Na etapa posterior, aplicamos um teste diagnóstico constituído de 13 (treze) questões objetivas, desenvolvido por Silveira e colaboradores (SILVEIRA, MOREIRA E AXT, 1989) e que foi reaplicado por Andrade e colaboradores (ANDRADE *et al*, 2018).

Considerando a importância de comparação dos resultados obtidos na parte inicial e final deste trabalho, analisamos somente as respostas dos alunos que participaram de todas as etapas, totalizando desta forma um total de 57 alunos.

### **4.1 PRÉ-TESTE**

As análises das respostas dos alunos no pré-teste são apresentadas nessa seção. Lembramos que, partindo do princípio de que os conhecimentos empíricos dos alunos já formados, devido às interações cotidianas, podem ser responsáveis por obstáculos na aprendizagem, temos que é fundamental que sejam feitos estudos diagnósticos que mostrem a forma como o aluno pensa a respeito de determinados conceitos para que influências formadas pelo senso comum, não interfiram prejudicando o aprendizado dos novos conhecimentos.

#### 4.1.1 PRÉ-TESTE - PARTE 1

Nesta primeira atividade buscamos identificar as concepções espontâneas que estão mais arraigadas nos alunos, quando o assunto é o movimento dos elétrons e a corrente elétrica. Para tal, escrevemos no quadro 04 (quatro) sentenças que retiramos de uma questão de vestibular, as sentenças foram as seguintes:

- I- A corrente elétrica é uma grandeza escalar, definida como a razão entre a variação da quantidade da carga elétrica que flui em um meio em um intervalo de tempo.
- II- A corrente elétrica convencional descreve o fluxo de cargas elétricas positivas.
- III- Os elétrons fluem no interior dos metais com a velocidade da luz.
- IV- O campo elétrico é o responsável por fazer as cargas elétricas se movimentarem em um circuito elétrico.

Após ter escrito tais sentenças a sala de aula foi dividida em 4 partes ou setores, sendo que cada setor representava uma das sentenças. Então pedimos aos alunos que após o comando do professor se deslocassem imediatamente para o setor que considerassem corresponder a sentença correta.

Das 04 (quatro) sentenças, mais de 80 % dos alunos optaram pela sentença III – “Os elétrons fluem no interior dos metais com a velocidade da luz”. Tal resultado já era de certa forma esperado, pois tanto na literatura quando no cotidiano está é a sentença mais observada. Através do diálogo com os alunos, percebemos que para chegar em tal resposta o raciocínio é o seguinte: Quando apertamos o interruptor automaticamente a lâmpada acende. Sabemos que os elétrons/ energia deve se deslocar de forma muito rápida, pois as vezes os interruptores estão muito longe das lâmpadas, além disso, a maior velocidade conhecida é a da luz. Portanto, quando apertamos o interruptor os elétrons/ energia viaja com a velocidade da luz até a lâmpada que acende quase instantaneamente.

Desta forma, a sentença III é a que mais se aproxima desta forma de pensar. As alternativas I, II e IV além de estarem muito distante deste raciocínio exigem um

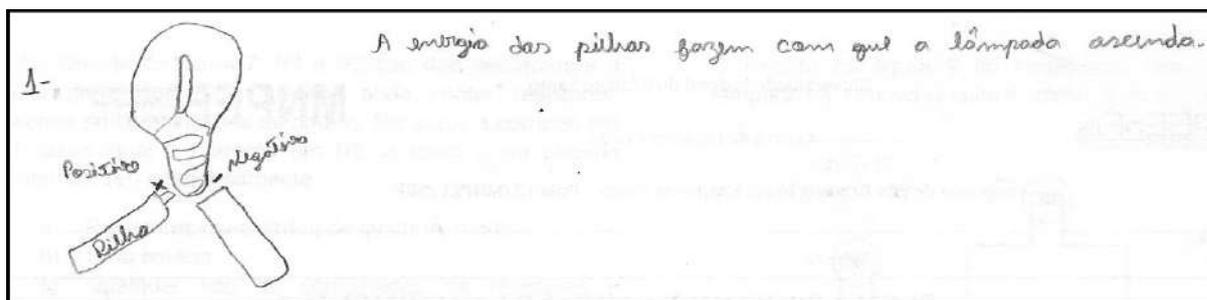
conhecimento de alguns conceitos físicos. Basicamente, percebemos que ao responderem a atividade proposta a grande parte dos alunos abandonou por completo a Física e utilizou somente o senso comum, com isso percebemos a necessidade definirmos muito bem o conceito físico de corrente elétrica, mas para isto ainda é necessário mapear quais são os “pilares” sobre os quais podemos nos apoiar para a construção deste conceito.

Na sequência do diagnóstico fizemos 03 (três) perguntas aos alunos e pedimos que eles, individualmente, as respondessem de forma discursiva. A primeira pergunta foi: “Como que duas pilhas conseguem acender a lâmpada de uma lanterna”?

A resposta para essa questão não foi algo tão comum, sem construir um modelo físico que lhes permitiam tal explicação, a percepção deles não foi muito além do que é relacionado com a ciência, de imediato os alunos não percebem algumas características necessárias para que exista a luz em uma lâmpada, conhecem palavras como: caminho da eletricidade, circuito, corrente aberta e fechada, polo ou lado da pilha.

Na maioria das respostas desta pergunta os alunos comumente citaram algo em termos de energia ou de eletricidade, como por exemplo: “a energia que sai pelos dois polos da pilha”, ou que “existem dois tipos de energia que saem da pilha e se encontram na lâmpada”, alguns alunos citam que a “energia circula nos fios volta para a pilha depois de passar pela lâmpada”, porém, nesse caso, não sabem como se dá o descarregamento da pilha. Na Figura 27, apresentamos a resposta dada pelo aluno 39 que exemplifica e resume este tipo de resposta.

Figura 27 - Resposta da questão discursiva 1, dada pelo aluno 39.



Fonte: Produzida pelo autor.

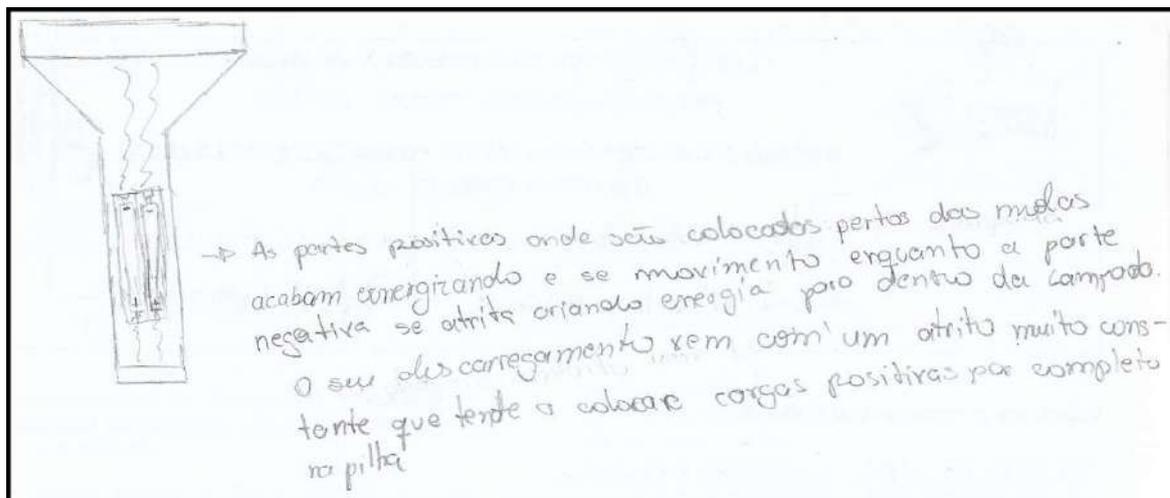
Este tipo de resposta já havia sido observado por Borges (1998), que identificou 4 (quatro) modelos mentais que explicam a eletricidade. No modelo mental que o autor chamou de eletricidade como fluxo, temos que:

Representa corrente elétrica como "eletricidade" fluindo através dos fios de um circuito. Termos como "energia", "corrente" ou "voltagem" são pouco diferenciados e são usados como equivalentes. A bateria é um recipiente passivo cuja função é apenas armazenar a 'substância' que se move através do circuito e é consumida nas lâmpadas ao produzir luz. A ideia de que existe algo, de natureza indefinida, movimentando-se pelo circuito é usada em maior ou menor grau por praticamente todos os sujeitos. Isso parece vir da necessidade que as pessoas têm de postular a existência de uma ligação material entre a fonte das ações e os objetos sobre os quais ela atua (BORGES, 1998, P.13).

Uma menor parte dos alunos tentou utilizar responder esta questão utilizando a ideia de carga elétrica. Nas Figura 28- 31, mostramos alguns exemplos destas respostas. A estes "tipos" e resposta Borges (1998) associou um modelo mental intitulado "Eletricidade como correntes opostas", segundo o autor neste modelo o aluno:

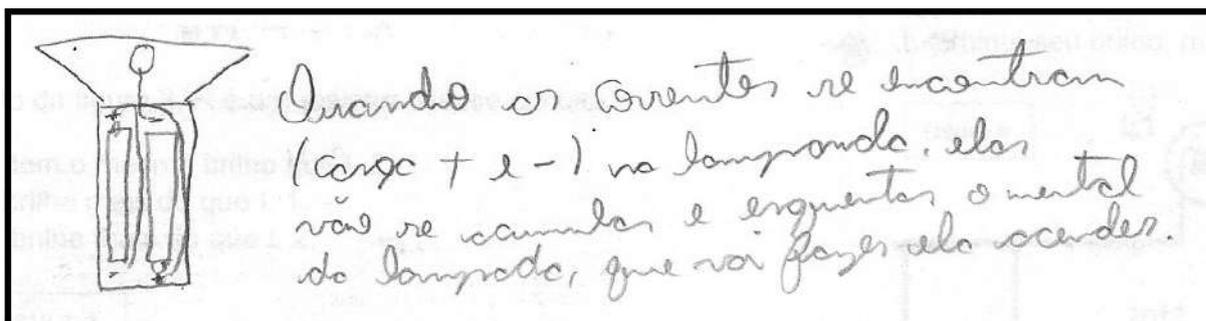
Assume a existência de dois tipos diferentes de eletricidade - positiva e negativa - e reconhece que pilhas e lâmpadas são componentes bipolares. Cada corrente sai por um terminal da pilha e percorre o circuito em alta velocidade, encontrando-se na lâmpada, onde produzem luz e cancelam-se. Um circuito fechado é necessário para que a lâmpada acenda. A pilha ainda é vista como um reservatório de eletricidade/energia, que se desgasta com o tempo. Corrente e energia não são conceitos diferenciados e são usados indistintamente. Implicitamente, o modelo supõe que a corrente é formada de outras partes menores. Alguns sujeitos mencionam prótons e elétrons (BORGES, 1998, p.13)

Figura 28 – Resposta da questão discursiva 1, dada pelo aluno 58.



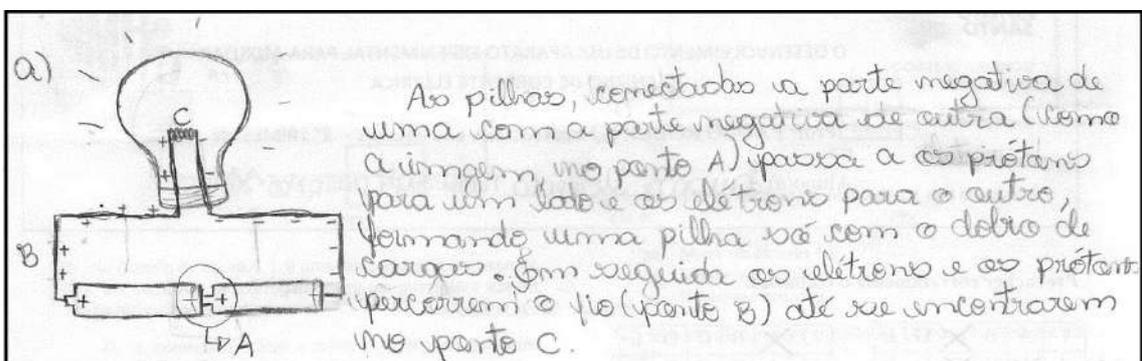
Fonte: Produzida pelo autor.

Figura 29 - Resposta da questão discursiva 1, dada pelo aluno 6.



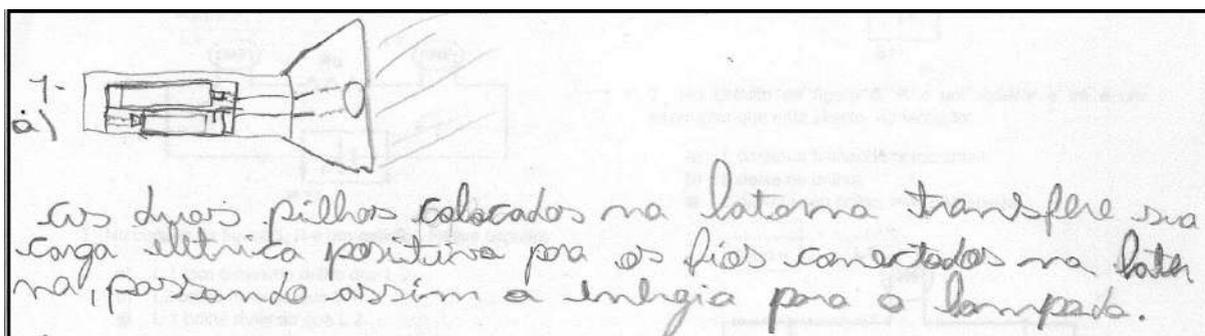
Fonte: Produzida pelo autor.

Figura 30 – Resposta da questão discursiva 1, dada pelo aluno 42.



Fonte: Produzida pelo autor.

Figura 31 - Resposta da questão discursiva 1, dada pelo aluno 48.

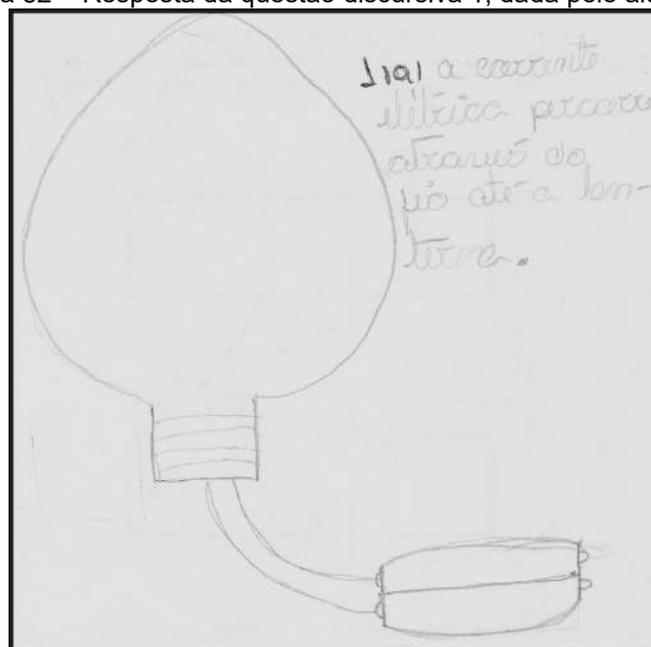


Fonte: Produzida pelo autor.

Percebemos com tais respostas que estes alunos misturaram alguns termos que vemos nas ciências, tais como carga elétrica, prótons, elétrons, com ideias do senso comum. É interessante que para estes alunos é possível o movimento dos prótons no interior dos fios. Outro fato que chama a atenção foi o fato de alguns alunos, como por exemplo os alunos 6 e 48, descreverem a existência do movimento simultâneo dos prótons e elétrons.

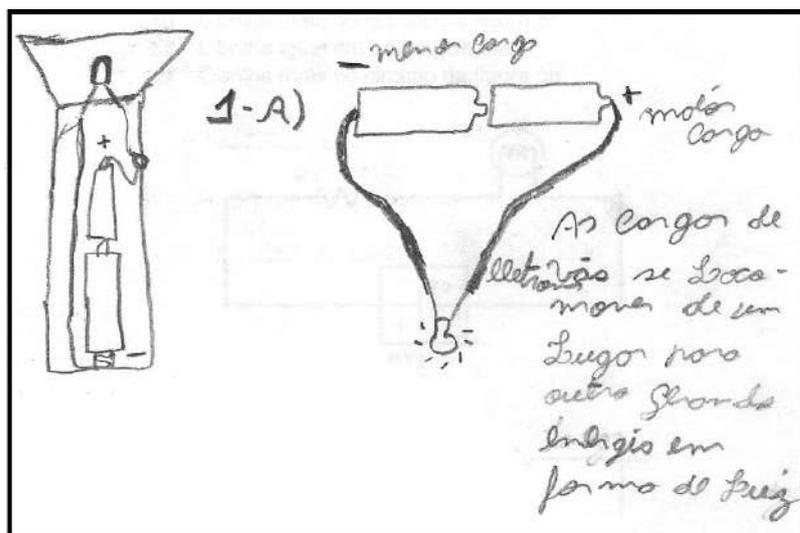
Por outro lado, tivemos alunos poucos que se aproximaram muito de uma resposta fisicamente adequada. Tais alunos utilizaram termos como: “a corrente elétrica percorre” (Figura 32) ou “as cargas de elétron vão se locomover” (Figura 33).

Figura 32 – Resposta da questão discursiva 1, dada pelo aluno 46.



Fonte: Produzida pelo autor.

Figura 33 – Resposta da questão discursiva 1, dada pelo aluno 14.



Fonte: Produzida pelo autor.

Na segunda “pergunta” pedimos aos alunos que desenhassem o modelo atômico que eles imaginam ser o correto e explicassem os elementos constituintes. Desta vez, optamos por pedir um desenho uma vez que tal recurso didático permite criar uma alternativa às respostas puramente discursivas. Tal recurso, permite que todos os alunos respondam à questão proposta e ainda valoriza a expressão e criatividade do aluno.

Uma das razões de estudar o modelo atômico ou relacionar ele com o conceito de eletricidade se dá pelo fato de o átomo não ter sido descoberto, mas sim estruturado conforme uma teoria, quando se diz que existe uma abordagem inadequada do termo modelo, é dito que a associação da figura atômica com o conceito de modelo faz com que o aluno o aceite como real e não como uma construção científica e social sujeita a alterações, o que evidencia um caráter dinâmico da ciência, essa abordagem pode reforçar os modelos trazidos pelos alunos para a sala de aula.

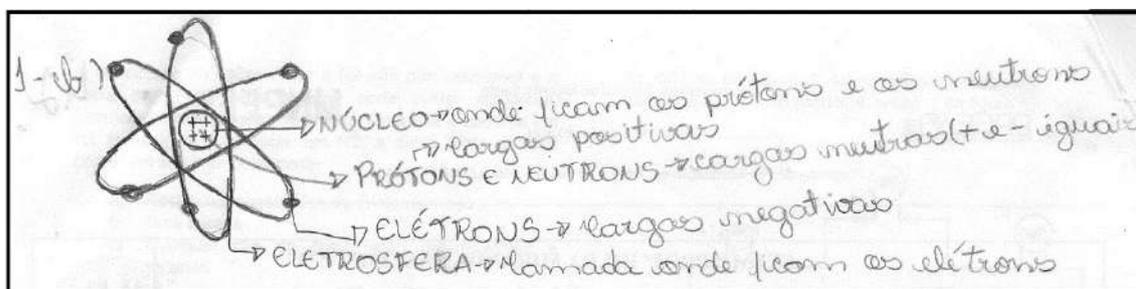
Os modelos atômicos foram construídos dentro de uma abordagem histórica e trazida pelos livros didáticos, o que também geram incompreensões, não somente pelo conceito como também seguindo uma ordem cronológica não problematizada de algumas representações, nesse caso existe a necessidade de deixar muito claro como serão abordadas ligações químicas e interações eletrostáticas, para que se possa avaliar o modelo mais adequado a ser adotado em um determinado estudo.

Um fato de que pode dificultar a compreensão, como um exemplo comum é o uso da analogia do pudim de passas para aproximar o aluno do modelo atômico de Thomson, ou modelo planetário do Rutherford. Há ainda analogias que comparam o comportamento do elétron ao das pessoas, onde existe a divisão de quadrados onde cada casa representa o número quântico principal ou nível de energia; cada andar representa o número quântico secundário ou subnível; e cada cômodo representa o número quântico terciário ou orbital.

Mesmo diante destas questões, era esperado que todos os alunos soubessem responder tal questão de forma satisfatória, afinal os alunos do terceiro ano já foram apresentados aos modelos atômicos na disciplina Química e posteriormente em Física nas aulas de eletrostática.

Do total de alunos que responderam ao teste 58 % dos alunos responderam à questão fazendo uso do modelo atômico de Rutherford e indicaram os elementos constituintes (Figura 34).

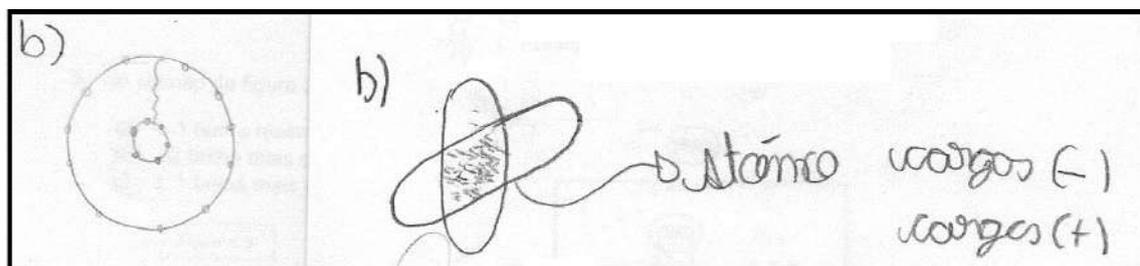
Figura 34 – Resposta da questão discursiva 2, dada pelo aluno 42.



Fonte: Produzida pelo autor.

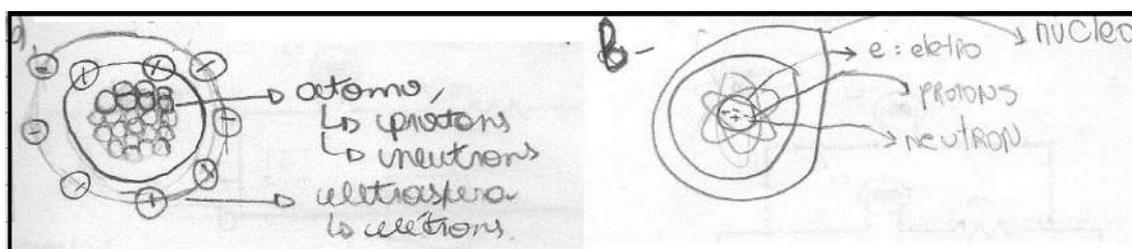
Dos alunos restantes, 30 % responderam sem fazer uso de um modelo conhecido (Figura 35), 5 % utilizaram o modelo de Bohr, 5 (Figura 36) % utilizaram o modelo de Thomson (Figura 37) e 2 % usaram um modelo que misturava Rutherford e Bohr (Figura 38). A variedade de respostas nos indicou a necessidade de revisar o modelo atômico de Rutherford antes de discutirmos as questões referentes à corrente elétrica.

Figura 35 – Resposta da questão discursiva 2, dada pelos alunos 4 e 8.



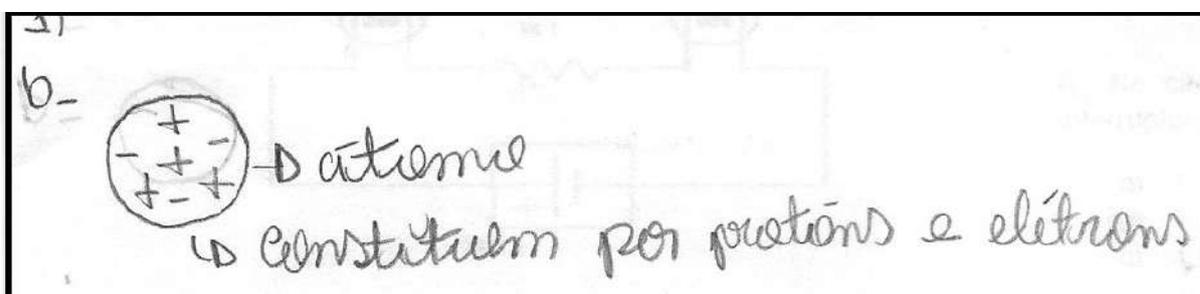
Fonte: Produzida pelo autor.

Figura 36 – Respostas da questão discursiva 2, dada pelos alunos 12 e 31.



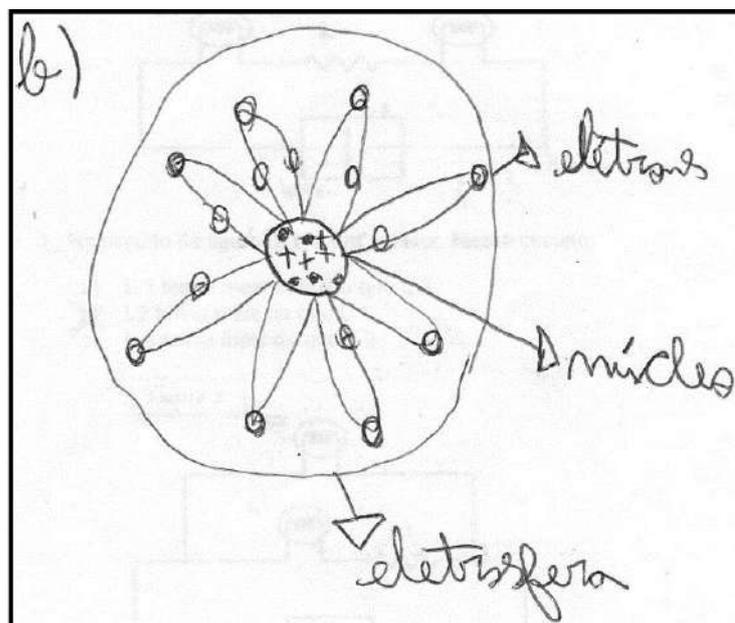
Fonte: Produzida pelo autor.

Figura 37 - Resposta da questão discursiva 2, dada pelo aluno 26.



Fonte: Produzida pelo autor.

Figura 38 - Resposta da questão discursiva 2, dada pelo aluno 5.

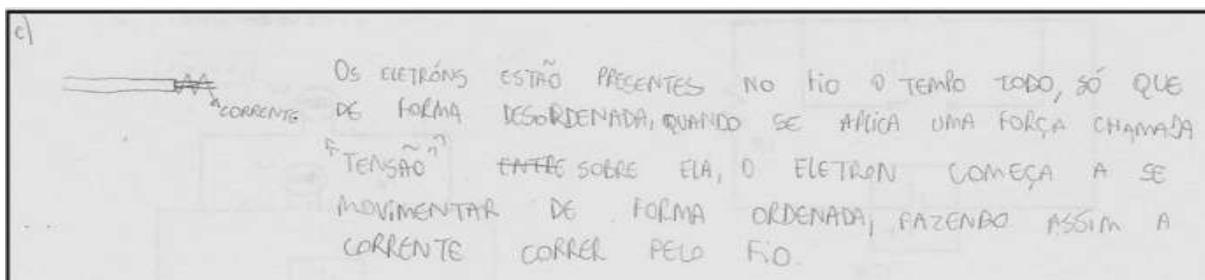


Fonte: Produzida pelo autor.

Na pergunta anterior foi identificado a incoerência dos alunos em representar um modelo atômico. Na terceira pergunta, pedimos: “Desenhe em uma folha e explique demonstrando como a corrente elétrica percorre ao longo do fio, sob o ponto de vista atômico”. Nesta pergunta a dificuldade apresentada pelos alunos já era esperada, afinal nada foi dito a respeito desse assunto.

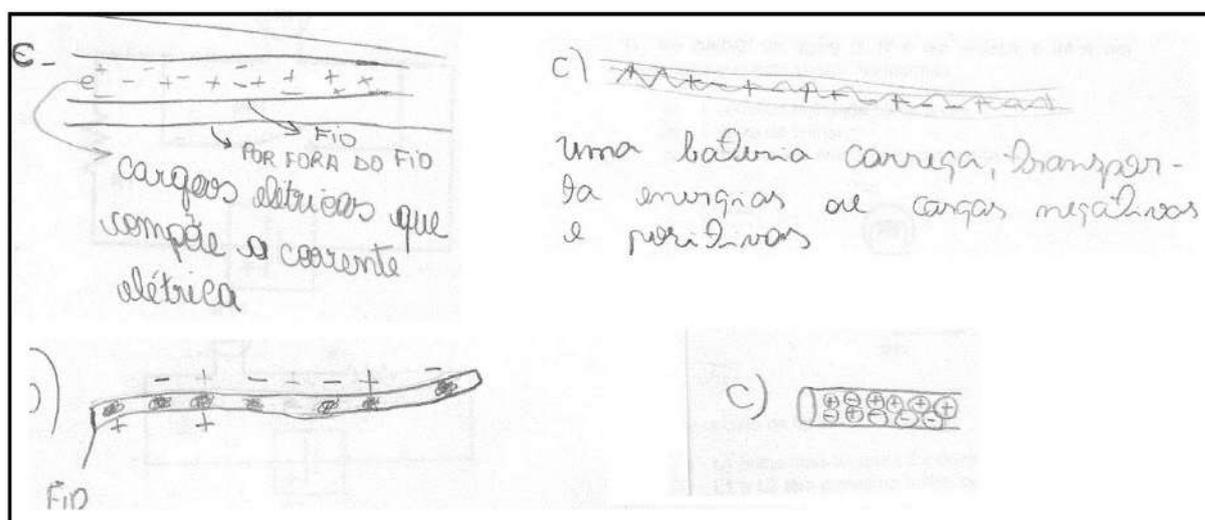
Após verificarmos todas as respostas constatamos somente dois alunos responderam de forma satisfatória (Figura 39). Todos os outros alunos apresentaram respostas que agrupamos em dois “modelos”, a saber: (i) prótons e elétrons no interior do fio, sem indicação de movimento (Figura 40) e (ii) um pedaço de um fio com muitos pontinhos no interior (Figura 41).

Figura 39 - Resposta da questão 3, dada pelo aluno 55.



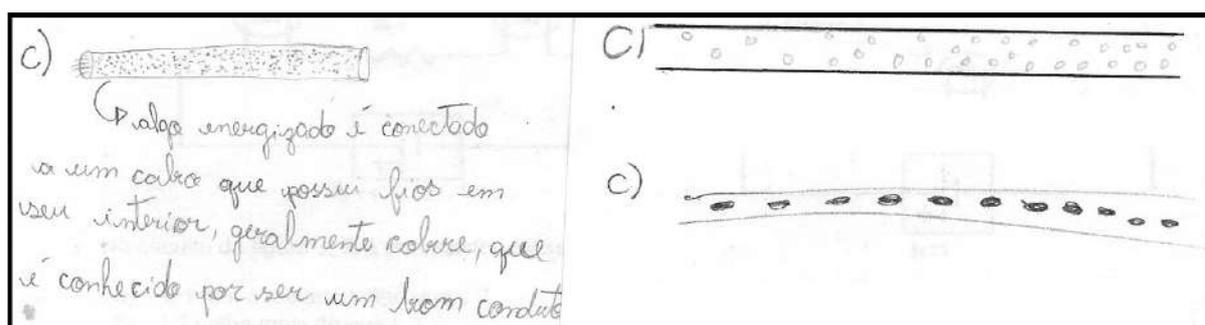
Fonte: Produzida pelo autor.

Figura 40 – Respostas da questão 3, dada pelos alunos 12; 21; 38 e 41.



Fonte: Produzida pelo autor.

Figura 41 - Respostas da questão 3, dada pelos alunos 35; 35 e 46.



Fonte: Produzida pelo autor.

Diante dos resultados apresentados, decidimos que antes de abordarmos os conceitos físicos relacionados diretamente com corrente elétrica, é necessário fazer uma abordagem a respeito dos constituintes da matéria. Tal observação já havia sido feita por Fukui e Pacca (1999).

O ensino de eletricidade deveria, ao nosso ver, integrar as ideias de estrutura da matéria como entendida na Física Moderna às explicações dos fenômenos que tratam da eletricidade. Assim, consideramos que em vez de calcular circuitos elétricos através de conceitos mal compreendidos de corrente, resistência e diferença de potencial seria importante que no ensino médio se focalizasse a aprendizagem dos conceitos de modo rigoroso com fundamento na teoria moderna do átomo e dos constituintes da matéria. Estaríamos trabalhando assim com a Física Moderna sem considerá-la mais um assunto estanque. Ao contrário, ela representa o aprofundamento do conteúdo que é geralmente descrito nos aspectos macroscópicos, reduzindo o fenômeno e limitando a compreensão da natureza integralmente (FUKUI e PACCA, 1999, p.9).

#### 4.1.2 PRÉ-TESTE I – PARTE 2

Conforme relatamos anteriormente, nesta segunda parte do pré-teste aplicamos o teste diagnóstico desenvolvido por Silveira, Moreira e Atx no ano de 1988 (SILVEIRA, MOREIRA & ATX, 1988). Este teste é constituído por 14 questões objetivas (**APÊNDICE B**), cada questão possui três alternativas, sendo uma correta e duas erradas.

Antes de iniciarmos a apresentação dos dados e suas respectivas análises, é importante salientar que a fim de verificar a consistências das respostas dos alunos, utilizamos o método estatístico Alfa de Cronbach (AC). Através da utilização deste método, obtém-se um coeficiente que mede o índice de confiança do resultado do teste. De posse do valor deste índice, verificamos a existência ou não de homogeneidade nas respostas dos alunos em relação ao que se quer perguntar, permitindo assim verificarmos se existe um padrão de respostas. É importante lembrar que o teste utilizado já passou por diversos estágios de validação e que nosso interesse é saber se existe um padrão ou não de respostas.

O coeficiente do Alfa de Cronbach varia entre 0 e 1, sendo o primeiro valor não representante de nenhuma confiança e o segundo total confiança. Para valores intermediários existem algumas formas de classificação. Tomou-se como referência, os intervalos apresentados na Quadro 9, para classificar o grau de confiabilidade.

Quadro 9 - Valores de referência para o coeficiente Alfa de Cronbach.

| Valor de Alfa     | Consistência interna |
|-------------------|----------------------|
| Maior do que 0,80 | Quase perfeito       |
| De 0,08 a 0,61    | Substancial          |
| De 0,60 a 0,41    | Moderado             |
| De 0,40 a 0,21    | Razoável             |
| Menor do que 0,2  | Pequeno              |

Fonte: Disponível em: <<http://soniavieira.blogspot.com/2015/10/alfa-de-cronbach.html>>. Acesso em: 26 dez. 2018.

O valor médio para o coeficiente Alfa de Cronbach foi igual a 0,49, o que indica inicialmente que a aplicação do teste não atingiu o seu objetivo e que os seus resultados não podem ser utilizados. Entretanto, observamos nas tabelas de resultados que o padrão de respostas por alunos é bastante diversificado (Figura 42). Para alunos com a mesma pontuação final verificamos que os acertos ocorrem em questões distintas e que muitas vezes avaliam habilidades diferentes.

Figura 42 – Gabarito de quatro alunos, que exemplifica a falta o padrão diversificado das respostas.

|    | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 | Q6 | Q7 | Q8 | Q9 | Q10 | Q11 | Q12 | Q13 | Total |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 4  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 1   | 0   | 0   | 1   | 6     |
| 16 | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1   | 0   | 0   | 0   | 6     |
| 19 | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 1  | 1  | 1   | 1   | 0   | 0   | 6     |
| 20 | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 1  | 1   | 0   | 0   | 0   | 6     |

Fonte: Produzido pelo autor.

A Figura 42, está apresentando o gabarito de quatro alunos que obtiverem 6 acertos cada. Entretanto é possível observar não existe dois gabaritos iguais, ou seja, alunos com a mesma pontuação acertaram diferentes questões. Este fato implica em baixos valores para o índice AC e que os alunos possuem diferentes concepções a respeito do tema abordado no teste diagnóstico.

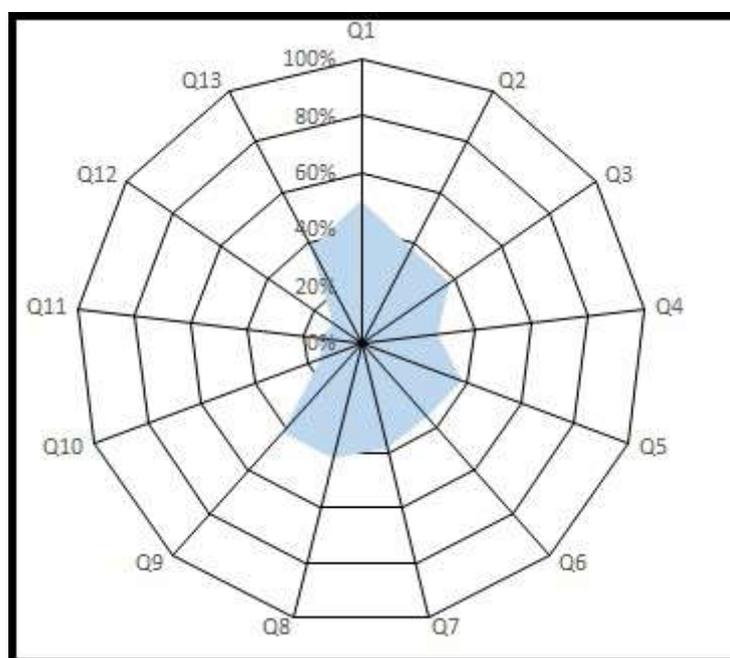
Desta forma, concluímos que a heterogeneidade do padrão das respostas foi a grande responsável pelo baixo valor do índice. Além disso, tal diversidade aponta para o fato de que cada gabarito reflete um conjunto de dificuldades quase únicas.

Com a ocorrência de tantas especificidades é necessária a utilização de diferentes instrumentos de ensino, inclusive este um dos fortes motivos que nos influenciaram na escolha dos materiais instrucionais.

Nas Figuras 43 e 44 apresentamos no gráfico tipo radar o percentual de acerto em cada questão de cada uma das duas turmas que participaram do trabalho. Ao analisarmos os gráficos, a primeira situação de se destaca é que o desempenho geral da turma 3V5 foi superior ao da turma 3M5. Entretanto observando mais cuidadosamente é possível notar que excetuando a questão de número 10, o formato dos gráficos é bastante semelhante.

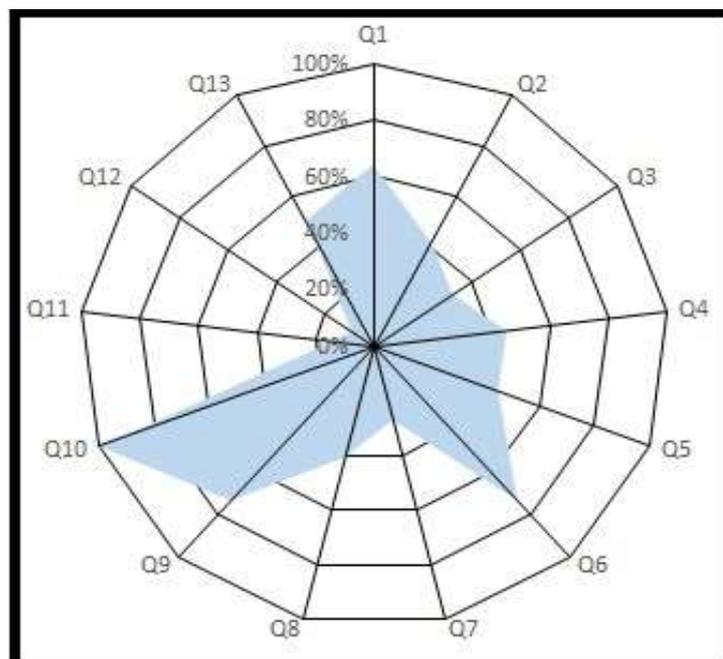
Analisando somente o resultado obtido nas 5 primeiras questões, percebemos que as duas turmas obtiveram melhor resultado na questão de número 1. Além disso, as duas turmas tiveram desempenho ruim nas questões de número 11 e 12 e voltaram a ter um bom desempenho na questão 13.

Figura 43 – Porcentagem de acertos referentes às questões do pré-teste – parte 2 da turma 3M5.



Fonte: Produzida pelo autor.

Figura 44 - Porcentagem de acertos referentes às questões do pré-teste - parte 2 da turma 3V5



Fonte: Produzida pelo autor.

Fazer a análise dos resultados de um teste diagnóstico e depois extrair as concepções espontâneas dos alunos não é uma tarefa fácil e simples, por este motivo ao analisar os índices de acertos e erros de cada aluno em cada questão, procuramos verificar a ocorrência das concepções espontâneas/ alternativas encontradas na literatura.

De acordo com Andrade e cols. (2018), os resultados da aplicação de testes diagnósticos para avaliar os alunos a respeito de alguns aspectos dos circuitos simples 3 indicam resultados muito semelhantes em termos de concepções alternativas e pouco dependentes do grau de instrução anterior ao teste. Os autores sintetizaram os modelos mais recorrente da seguinte forma:

Modelo I – A corrente elétrica é emitida pela fonte (bateria, pilha ou 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.

3 O QUE ESTÁ SENDO CHAMADO DE CIRCUITO ELÉTRICOS SIMPLES SÃO ASSOCIAÇÕES EM SÉRIE E PARALELO DE RESISTORES OU LÂMPADAS ALIMENTADAS POR FONTES DE TENSÃO.

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.

Assim como, Andrade (ANDRADE e cols., 2018) optamos por utilizar um teste diagnóstico conhecido como Teste SMA (Anexo I), para mapear as concepções espontâneas apresentadas pelos alunos participantes. (ANDRADE e cols., 2018).

Na questão 1 (Figura 45), o índice de acerto médio foi de 56 %, porém 37% dos alunos assinalaram a alternativa A e de acordo com Andrade e cols. (2018), os alunos que assinalaram esta alternativa apresenta a concepção espontânea descrita pelo modelo I, ou seja, um terço dos alunos acreditam que a corrente elétrica é consumida à medida que vai atravessando os dispositivos que estão ao longo do circuito.

Figura 45 - Questão 1 do pré-teste parte objetiva.

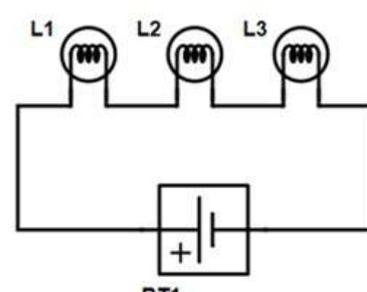
1) No circuito da Figura 1, pode-se afirmar que:

a) L 1 brilha mais do que L 2, e está mais do que L 3.

b) L 3 brilha mais do que L 2, e está mais do que L 1.

c) As três lâmpadas têm o mesmo brilho.

Figura 1 – Questão 1 do pré-teste.



Fonte: Silveira, Moreira e Axt, 1989.

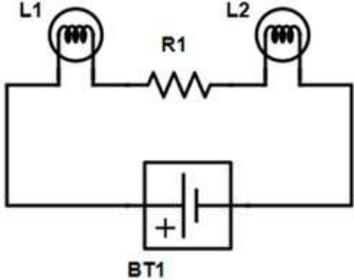
Considerando este resultado, utilizamos o *Marble Spiral Machine* e associamos as bolinhas de gude aos elétrons, desta forma mostramos aos alunos que o mesmo número de bolinhas que “entram” no circuito “saem” do circuito, logo a corrente elétrica não é consumida ao fluir no circuito, mas ao mesmo tempo mostramos que ao passar por cada elemento do circuito as bolinhas “perdiam” velocidade o que associamos ao processo de “transferência” de energia para o elemento do circuito.

As questões 2 (Figura 46) e 5 tem objetivos similares, que é verificar a presença da concepção descrita no modelo I. O índice de acerto médio para essas duas questões foi de 41 %. Para a questão 2, 44 % dos alunos assinalaram a alternativa B, indicando a presença do modelo I e evidenciando que para eles a corrente elétrica tem como ponto de partida o polo positivo da fonte. A alternativa análoga a letra B da questão 2 é a alternativa C da questão 5, que foi assinalada por 39 %, tal índice reforça o que foi observado na questão 2.

Figura 46 – Questão 2 do pré-teste parte objetiva.

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

- a) L 1 e L 2 têm o mesmo brilho.
- b) L 1 brilha mais do que L 2.
- c) L 2 brilha mais do que L 1.



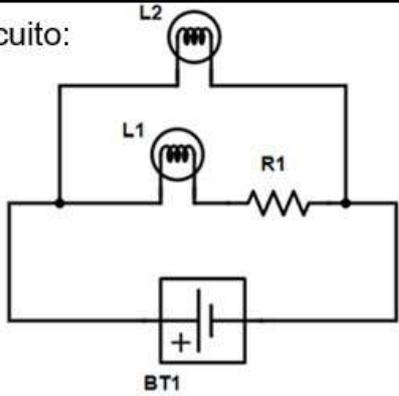
Fonte: Silveira, Moreira e Axt, 1989.

A questão 3 (Figura 47), também tem objetivo semelhante as questões 2 e 5, a única diferença é que neste caso o aluno precisa considerar a associação em paralelo. O índice de acerto desta questão foi de 46 %, é importante observar que este índice de acerto é próximo do encontrado para as questões 2 e 5. O fato que mais chamou atenção nesta questão foi que 41 % dos alunos assinalaram a alternativa C, que a princípio não se enquadra em nenhum dos modelos utilizados neste trabalho.

Figura 47 - Questão 3 do pré-teste parte objetiva.

3) No circuito da Figura 5, R é um resistor. Nesse circuito:

a) L 1 tem o mesmo brilho que L 2.  
 b) L2 brilha mais do que L 1.  
 c) L 1 brilha mais do que L 2.



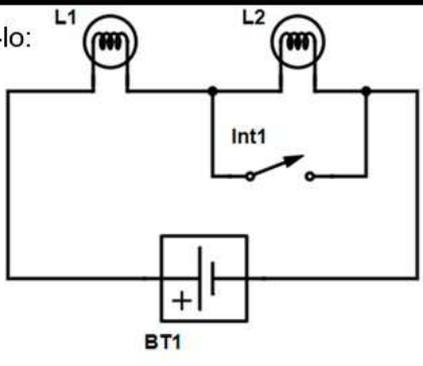
Fonte: Silveira, Moreira e Axt, 1989.

Na questão 4 (Figura 48), 37 % dos alunos optaram pela alternativa B, para estes alunos a corrente parte do polo positivo da fonte, e é consumida quando passa pela lâmpada L1, desta forma os elementos que estão após a L1 não afetam o comportamento dela. Estes alunos refletem a concepção espontânea descrita no Modelo III. Outros 25 % optaram pela alternativa C, indicando que tais alunos não compreendem a situação de curto-circuito.

Figura 48 – Questão 4 do pré-teste parte objetiva

4) 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.



Fonte: Silveira, Moreira e Axt, 1989.

O índice de alunos que acertaram a questão 6 foi de 49 %, resultado superior ao encontrado para a questão 4, que trata da identificação de uma situação de curto-circuito no esquema apresentado. O percentual de alunos que optaram pela alternativa A foi de 12 %, em primeira análise podemos dizer que tais alunos não sabem o que é uma situação de curto-circuito, já os 39 % que assinalaram a

alternativa C parecem associar uma resistência ao interruptor, que “ficará” com parte do “brilho” da lâmpada.

Outro grupo de questões semelhantes é formado pelas questões 9, 10 e 11. Para estas questões o índice de acerto médio foi de 57 %, e novamente verificamos que as concepções espontâneas descritas no modelo I são bastantes presentes nos alunos. O baixo índice de acerto nas últimas questões, 9, 10, 11 e 12 pode estar relacionado com o fato destas questões apresentarem um circuito com uma associação em paralelo.

As questões 7 e 8 apresentaram um índice de acerto médio de 37 %, este baixo aproveitamento pode estar relacionado com a presença do capacitor e de um elemento desconhecido nos circuitos.

De forma geral, podemos afirmar que o resultado que mais saltou os olhos foi a confirmação da repetição das concepções alternativas relatadas na literatura.

## **4.2 PÓS-TESTE**

Com a aplicação do pós-teste (**APENDICE D**), última etapa deste trabalho, objetivamos procurar indícios que mostrem qual a influência dos materiais instrucionais na evolução conceitual dos alunos a respeito da corrente elétrica em circuitos elétricos simples. Na composição do pós-teste utilizamos 3 (três) questões discursivas e 09 (nove) questões objetivas, cada um com 3 (três) alternativas.

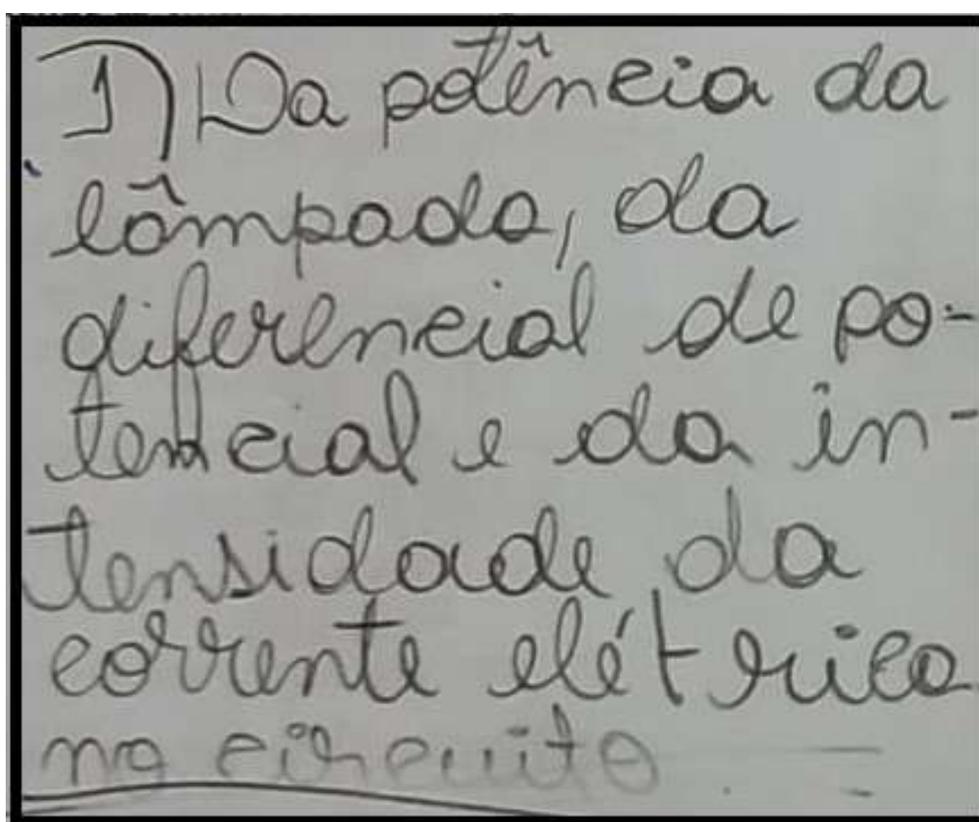
Apesar de termos no pós-teste questões objetivas que são similares às questões objetivas do pré-teste (parte objetiva), é importante observarmos que todas as questões do pós-teste apresentam um grau maior de aprofundamento e sintetizavam todo o conteúdo discutido em sala de aula. Através dos resultados do pós-teste avaliamos a possível ocorrência de aprendizagem significativa, assim como a apropriação e evolução dos conteúdos trabalhados.

Inicialmente explicamos aos alunos que as 3 (três) primeiras perguntas faziam referência a lâmpadas ligadas em um circuito elétrico simples, pois foram estas as

situações trabalhadas em sala de aula. A primeira pergunta da parte discursiva foi: “Do que depende o brilho de uma lâmpada?”

Ao analisarmos as respostas, verificamos aproximadamente 60 % dos alunos responderam à questão utilizando os termos: diferença de potencial, corrente elétrica e potência. Dentre estes alunos houve aqueles que responderam através de uma “sentença” (Figuras 49 e 50) e outros escreveram somente o nome da grandeza (Figura 51).

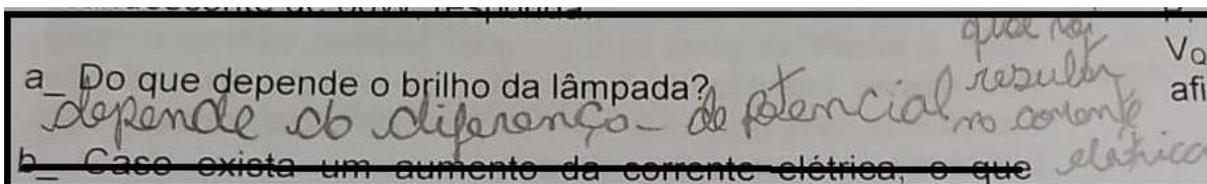
Figura 49 - Resposta da questão discursiva 1 do pós-teste, dada pelo aluno 4



1) Do potência da lâmpada, da diferença de potencial e da intensidade da corrente elétrica no circuito.

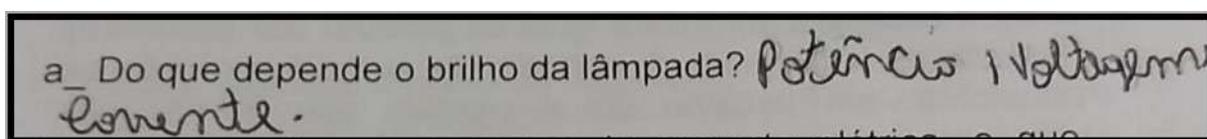
Fonte: Produzida pelo autor.

Figura 50 – Resposta da questão discursiva 1 do pós-teste dada pelo aluno 58.



Fonte: Produzida pelo autor.

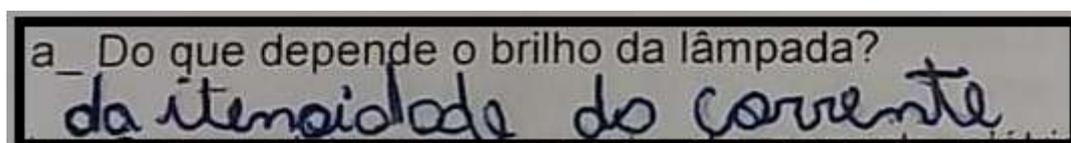
Figura 51 – Resposta da questão discursiva 1 do pós-teste dada pelo aluno 34.



Fonte: Produzida pelo autor.

É importante pontuar que nenhum aluno citou a palavra “energia” em suas respostas. Entre os alunos que tiveram a sua resposta considerada errada ou incompleta houve aqueles que citaram somente uma grandeza Física como responsável pelo brilho da lâmpada (Figura 52) e outros que responderam com palavras genéricas e/ou desconexas (Figura 53). De qualquer forma, percebemos que além dos alunos mostrarem que conseguem determinar a(s) grandeza(s) Física envolvida(s) em determinado problema, eles também conseguiram se expressar através de uma linguagem e/ou expressões muito mais próxima da linguagem científica quando comparados com as respostas do pré-teste.

Figura 52 – Resposta da questão discursiva 1 do pós-teste dada pelo aluno 7.



Fonte: Produzida pelo autor.

Figura 53 - Resposta da questão discursiva 1 do pós-teste dada pelo aluno 2

a\_ Do que depende o brilho da lâmpada?  
Da ELETRICIDADE.

Fonte: Produzida pelo autor.

A segunda pergunta foi a seguinte: “Caso exista um aumento da corrente elétrica, o que acontece com o brilho da lâmpada?”. Do total de alunos que responderam ao teste 67 % utilizaram as seguintes expressões: “Ficará mais forte”; “o brilho aumentará”; “brilhará mais forte” (Figuras 54 e 55).

Figura 54 - Resposta da questão discursiva 2 do pós-teste dada pelo aluno 2.

b\_ Caso exista um aumento da corrente elétrica, o que acontece com o brilho da lâmpada?  
AUMENTA SEU BRILHO.

Fonte: Produzida pelo autor.

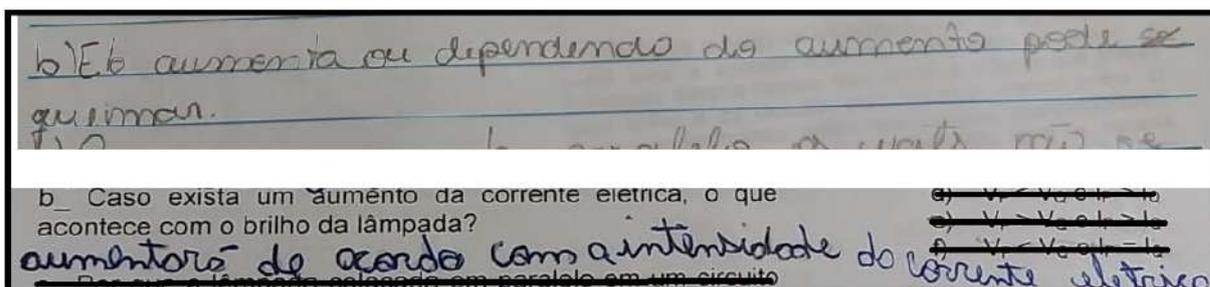
Figura 55 - Resposta da questão discursiva 1 do pós-teste dada pelo aluno 5.

b\_ Caso exista um aumento da corrente elétrica, o que acontece com o brilho da lâmpada?  
Brilhará mais forte

Fonte: Produzida pelo autor.

Consideramos estas respostas como razoáveis. Do restante 20 % deram respostas do tipo. “se manterá” ou “diminuirá”, estas consideramos erradas e 13 % deram respostas mais elaboradas, tais como: “aumentará de acordo com a intensidade da corrente elétrica” ou “aumento ou dependendo do aumento pode se queimar” (Figura 56).

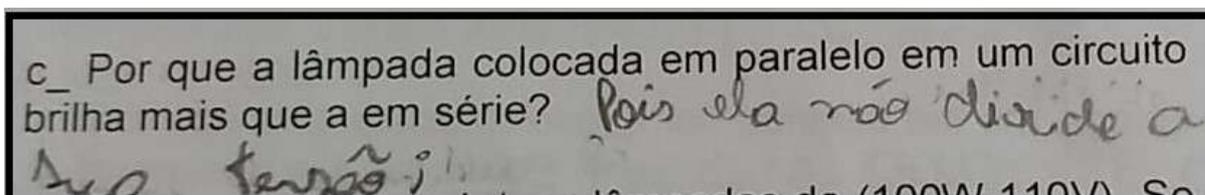
Figura 56 – Resposta da questão discursiva 2 do pós-teste dada pelos alunos 30 e 7.



Fonte: Produzida pelo autor.

A terceira pergunta foi: “Por que uma lâmpada colocada em paralelo em um circuito brilha mais que uma em série?”. Consideramos tal pergunta difícil, afinal na parte objetiva do pré-teste os alunos apresentaram muita dificuldade em responder as questões que tratavam da associação em paralelo de resistores. Após analisarmos as respostas verificamos que a maioria dos alunos ainda apresenta grandes dificuldades em responder tal questão. Porém, muitos responderam que tal fenômeno pode ser observado pois na associação em “paralelo a tensão não é dividida” (Figura 57).

Figura 57 - Resposta da questão discursiva 3 do pós-teste dada pelo aluno 48.



Fonte: Produzida pelo autor.

Apesar da utilização de diferentes instrumentos e abordagem ao trabalharmos o conceito de corrente elétrica e sua aplicação em circuitos elétricos simples, observamos que alguns alunos responderam de forma insatisfatória as questões propostas, por outro lado, todos os alunos tentaram fazer uso de uma linguagem um pouco mais científica.

Como dito anteriormente, na parte objetiva utilizamos questões similares às utilizadas no pré-teste, porém em um nível de aprofundamento maior. Apesar disto, inicialmente observamos que as duas turmas apresentaram um aumento na média da turma. A turma 3M5 obteve no pré-teste uma média de 3,3 em 10,0 e no pós-

teste a média da turma foi de 4,5 em 10,0, já a turma 3V5 obteve no pré-teste uma média igual a 3,9 em 10,0 e no pós-teste a média da turma foi igual a 4,60 em 10,0.

Quando observamos este aumento na média das duas turmas, um importante pergunta surge: “O aumento na média das turmas é devido a utilização da sequência didática ou não?”. Para responder tal pergunta iremos recorrer a estatística de comparações entre múltiplas amostras.

De acordo com Moreira,

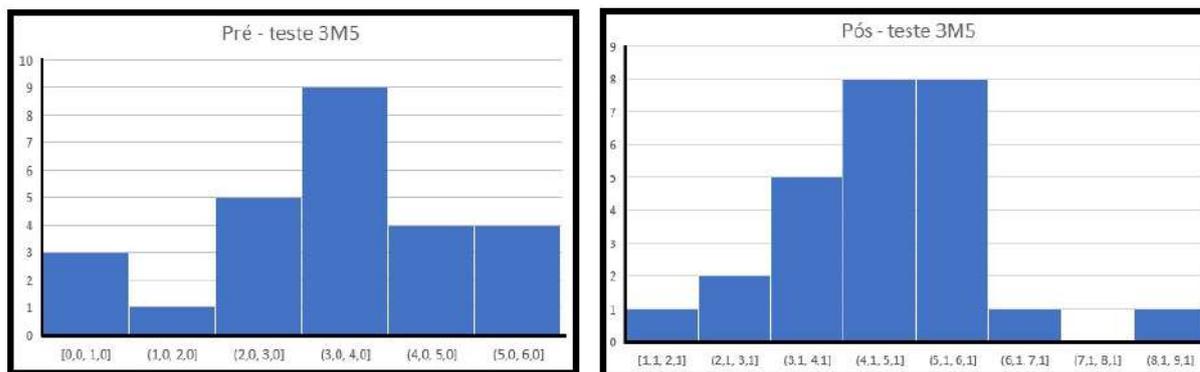
Em situações de pesquisa, usualmente deseja-se comparar duas ou mais amostras. Por exemplo, pode-se querer determinar se existe uma diferença em aquisição de conhecimentos entre estudantes que são ensinados por um método A e aqueles que são ensinados por um método B. A questão é: qual é a probabilidade de que diferenças entre as duas médias das amostras seja devido simplesmente a erro de amostragem? Em outras palavras, pode a diferença de médias entre as duas amostras ser atribuída ao erro aleatório nas amostras, ou os alunos ensinados por um método realmente aprendem mais que aquelas ensinadas pelo outro método? Temos de fato duas amostras pertencentes a populações diferentes, representadas por duas distribuições normais de escores? Ao testar a hipótese nula se está assumindo que a diferença entre duas amostras é devida simplesmente ao erro de amostragem (MOREIRA, 2011, p. 148).

De forma geral, na escolha da análise estatística a ser usada o tamanho da amostra é uma variável importante. Como uma das turmas tem menos do que 30 (alunos) e a outra mais de 30 (alunos), consideramos a seguinte observação feita por Moreira:

As propriedades da distribuição normalmente são válidas para grandes amostras, mas não quando há um número pequeno de sujeitos em cada amostra. A distribuição tende a ficar achatada quando, em cada amostra, o número de sujeitos é pequeno. Para fins estatísticos isso significa que, para dados onde as amostras são pequenas, não é possível usar-se as propriedades da curva normal para decidir a favor ou contra a aceitação da hipótese nula. Ao invés disso, deve-se usar valores que reflitam esse achatamento da curva normal. Esses valores são chamados de valores t. (MOREIRA, 2011, P.150).

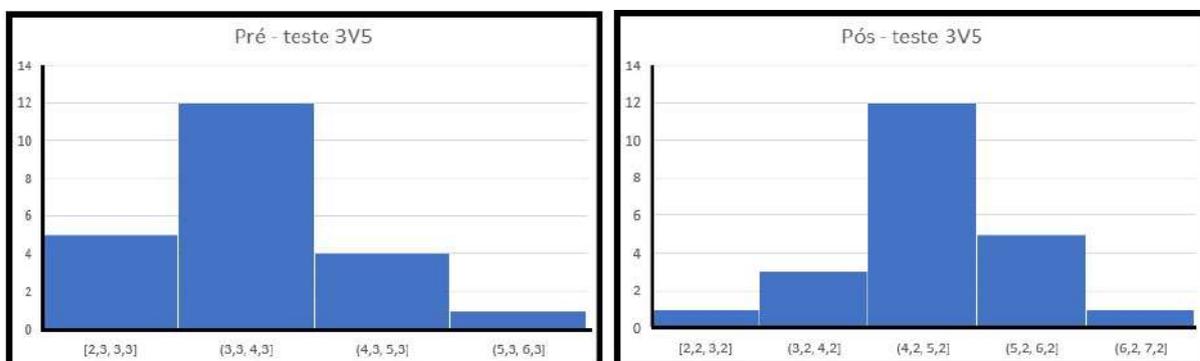
Nas Figuras 58 e 59 mostramos as curvas de distribuição normal para o pré e pós-teste de cada uma das duas turmas. Diante disto, para avaliar se a diferença entre as médias de cada turma tem ou não significância estatística optamos por utilizar o teste **t de student**.

Figura 58 - Distribuição normal das notas do pré e pós -- teste da turma 3M5.



Fonte: Produzida pelo autor.

Figura 59 – Distribuição normal das notas do pré e pós-teste da turma 3V5.



Fonte: Produzida pelo autor.

Em geral, este teste é utilizado quando temos um número pequeno de amostras e serve para comparar a média de resultados com um valor de referência ou com outra série e exprimir o nível de confiança associado ao resultado da comparação. Para fins de cálculo entre duas amostras, com  $N_1$  e  $N_2$  sujeitos, de médias e desvios padrão dados por  $\bar{X}_1$ ,  $dp_1$ ,  $\bar{X}_2$  e  $dp_2$  respectivamente, o valor de  $t$  é dado por:

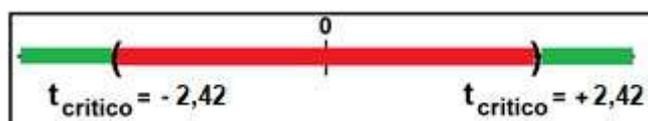
$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sigma \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}} \text{ Equação 16}$$

onde,

$$\sigma = \sqrt{\frac{N_1 dp_1^2 + N_2 dp_2^2}{N_1 + N_2 - 2}} \text{ Equação 17}$$

Para a turma 3M5 o valor de  $t_{\text{crítico}}$  4 para uma significância de 95 % é de aproximadamente 2,042 e o  $t_{\text{calculado}}$  foi igual a 2,9. Isto significa que para a turma 3M5 a diferença observada na média possui significância estatística, ou seja, podemos inferir que a diferença observada na média tem influência da sequência didática. Para podermos visualizar melhor este resultado, mostramos a Figura 58 uma “linha” com o valor central sendo igual a zero e um intervalo onde os valores extremos são os valores de  $t_{\text{crítico}}$ . Se o  $t_{\text{calculado}}$  estiver dentro do intervalo, podemos dizer que a diferença observada nas médias do pré e pós teste não tem diferença significativa, caso contrário dizemos que existe uma diferença significativa. Para a turma 3M5 o valor de  $t_{\text{crítico}}$  para uma significância de 95 % é de 2,056 e o  $t_{\text{calculado}}$  foi igual a 2,8, ou seja, tal qual observado para a turma 3M5, podemos inferir que a diferença observada na média possui significância estatística.

Figura 60 - Representação da interpretação dos valores de “t de student”.



Fonte: Produzida pelo autor.

Na questão 4 (Figura 61) o aluno deveria conhecer o comportamento da corrente elétrica e da diferença de potencial em uma associação em série além disso, para responder corretamente ele deve a partir do resultado tomar uma decisão. Esta questão é semelhante a questão discursiva 2, porém com um maior aprofundamento. O índice médio de acerto das turmas foi de 53 %, que é inferior ao da discursiva 2 (67%), mas pelo aumento do grau de dificuldade considerando o resultado satisfatório. Outro dado importante é que 40 % dos alunos marcaram a alternativa “a”, o que provavelmente indica uma confusão entre as associações em série e paralelo, porém evidencia uma tomada de decisão correta, que partiu de uma premissa errada. Isto indica que diferentemente do pré-teste os alunos começam a exibir traços de aprendizagem dos conceitos científicos.

4 OS VALORES DE  $T_{\text{CRÍTICO}}$  SÃO TABELADOS E DEPENDEM O NÚMERO DE PARTICIPANTES DAS AMOSTRAS.

Figura 61 - Questão 4 da parte objetiva do pós-teste.

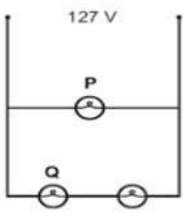
- 4\_ Um electricista possui duas lâmpadas de (100W-110V). Se ele ligar as duas em série em uma tomada de 220V, o que irá acontecer?
- As lâmpadas irão queimar
  - As lâmpadas irão brilhar normalmente
  - As lâmpadas irão brilhar menos que o normal

Fonte: Produzida pelo autor.

As questões 7 e 11 são semelhantes a questão 3 da parte discursiva, porém com um maior de aprofundamento. Em tais questões é trabalhada a associação em paralelo.

Figura 62 – Questão 7 da parte objetiva do pós-teste.

7\_ Aninha ligou três lâmpadas idênticas à rede elétrica de sua casa, como mostrado nesta figura:



Seja  $V_P$  a diferença de potencial e  $I_P$  a corrente na lâmpada P. Na lâmpada Q, essas grandezas são, respectivamente,  $V_Q$  e  $I_Q$ . Considerando-se essas informações, é correto afirmar que:

- $V_P < V_Q$  e  $I_P > I_Q$
- $V_P > V_Q$  e  $I_P > I_Q$
- $V_P < V_Q$  e  $I_P = I_Q$

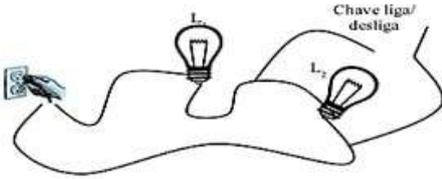
Fonte: Produzida pelo autor.

O aproveitamento das turmas nestas questões foi de 60 % e 77 %, respectivamente. Tal rendimento foi muito superior ao observado para a parte discursiva. Esta diferença pode estar relacionada com a dificuldade dos alunos em se expressarem de forma escrita, pois exige um maior domínio dos termos científicos.

A questão 5 é igual a questão 4 do pré-teste. No pré-teste o índice de acerto foi de 38 % e no pós-teste foi de 33 %. Este resultado indica não sanamos a dúvida dos alunos com relação a situações que envolvem curto-circuito. Neste ponto, admitimos que o assunto curto-circuito não foi explorado quando utilizamos o *Spiral Marble Machine*, talvez isto tenha contribuído com tal resultado.

Figura 63 - Questão 5 da parte objetiva do pós-teste.

5\_ Abaixo está ilustrado um circuito formado por duas lâmpadas, fios de conexão, chave liga/desliga e tomada, a fonte de energia. Após ligar a chave, com as lâmpadas acesas, é correto afirmar que:



a) L2 se apaga e L1 aumenta o seu brilho.  
 b) L2 se apaga e L1 mantém o seu brilho.  
 c) L2 não se apaga e L1 aumenta o seu brilho.

Fonte: Produzida pelo autor.

Da parte objetiva consideramos as Questões 9 e 12 como sendo difíceis, sendo que a 9 é uma questão retirada do ENEM. Entretanto tais situações foram simuladas no *Spiral Marble Machine*, o que levou a um índice médio de acertos igual a 53 %. Já as questões 6 e 8, foram consideradas muito difíceis e tiveram um índice de acerto médio igual a 19 %. Em comparação com os resultados do pré-teste, afirmamos que os alunos exibem indícios de evolução conceitual.

Sabemos que para afirmarmos a ocorrência de aprendizagem significativa deve haver um tempo maior entre a finalização da sequência didática e a aplicação do pós-teste, pois isso diminuiria o efeito da aprendizagem mecânica. Tendo isso em vista e o contato que como professor eu mantinha com os alunos (através de mídias sociais) optamos por selecionar 5 questões do pré-teste e 5 do pós-teste para montar o chamamos de 3° teste. Do total de alunos que participaram (57), 21 (vinte e um) alunos se colocaram à disposição para responder tal teste, que foi aplicado de forma virtual (através de formulário eletrônico). Pedimos para os alunos não consultarem qualquer tipo de material no momento da resolução. No Quadro 10, sumarizamos os resultados obtidos na aplicação do 3° teste, que foi realizada 10 meses após o encerramento do trabalho. Das 10 questões, em somente 2 os alunos apresentaram rendimento inferior quando comparado com o resultado “original”, tal fato reforça nossa conclusão de que houve aprendizagem significativa.

Quadro 10 – Dados comparativos entre o resultado do teste 3 com o pré e pós-testes.

| Número da questão no 3° teste | Questão original | Índice de acertos em 2019 (%) | Índice de acertos em 2020 (%) |
|-------------------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 01                            | 1 do pré-teste   | 56                            | 95                            |
| 02                            | 3 do pré-teste   | 46                            | 48                            |
| 03                            | 4 do pré-teste   | 38                            | 57                            |
| 04                            | 9 do pré-teste   | 52                            | 76                            |
| 05                            | 12 do pré-teste  | 10                            | 67                            |
| 06                            | 4 do pós-teste   | 53                            | 67                            |
| 07                            | 12 do pós-teste  | 69                            | 62                            |
| 08                            | 11 do pós-teste  | 77                            | 52                            |
| 09                            | 8 do pós-teste   | 31                            | 52                            |
| 10                            | 10 do pós-teste  | 44                            | 71                            |

Fonte: Produzido pelo autor.

Não podemos deixar de salientar a importância do desenvolvimento do *Spiral Marble Machine*, que promoveu a interação aluno/ aluno e aluno/ professor propiciando um ambiente de aprendizado prazeroso. De forma geral, constatamos que os resultados indicam a contribuição do material desenvolvido foi essencial para despertar no aluno a vontade de aprender e querer participar do processo de ensino – aprendizagem. Através da comparação dos resultados analisamos o “efeito” da 2° etapa do trabalho, comprovando o sucesso alcançado ao final desta pesquisa.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Realizamos neste trabalho uma investigação para verificar os impactos da utilização de um aparato experimental em uma sequência de aulas sobre os conceitos iniciais de eletrodinâmica, fundamentada nas premissas da aprendizagem significativa.

A partir dos resultados e análises do pré-teste, constatamos a presença de fortes concepções alternativas sobre o conceito de corrente elétrica e qual é o mecanismo físico que descreve o movimento dos portadores de carga em um circuito simples. Dentre as concepções observadas, destacam-se: (i) a corrente elétrica é emitida pela fonte 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 e (ii) a intensidade da corrente é determinada pelo elemento através do qual ela está passando, 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 (ANDRADE, 2018).

Na primeira etapa da análise do pré-teste, utilizamos o método estatístico Alfa de Cronbach para verificar a consistência interna das questões objetivas. O resultado obtido (0,49) indicou que o pré-teste não apresentava consistência interna, ou seja, qualquer conclusão baseada nos resultados médios é no mínimo imprudente. Ao analisar mais detalhadamente todos os gabaritos observamos que os alunos não apresentam uniformidade em suas respostas – alunos com a mesma pontuação acertaram questões completamente diferentes. Esta falta de uniformidade é provavelmente a principal causa a inconsistência estatística observada. Outro fato associado a não uniformidade das respostas é a diversidade nas concepções espontâneas apresentadas pelos alunos participantes.

A partir dos resultados de todas as etapas do pré-teste, buscamos construir uma série de atividades utilizando diferentes instrumentos de ensino (filme, livro, experimento, projeto) de forma que fosse oportunizado a todos os alunos as ferramentas necessárias para a reformulação de seus conceitos. Além disso, com base nas questões discursivas do pré-teste optamos por iniciar nossa sequência de aulas, com um reforço a respeito dos modelos atômicos.

Durante o desenvolvimento das atividades observamos nos alunos uma maior disposição em aprender, principalmente nas aulas que envolviam a apresentação e manipulação do *Spiral Marble Machine*. Neste ponto, ressaltamos que a utilização de um aparato que não se parece com os tradicionais experimentos despertou muito interesse por parte dos alunos. Além disso, com a mediação do professor os alunos foram ganhando autonomia e a cada momento queriam adicionar mais funcionalidades ao aparato.

A interação promovida nas diversas atividades propostas aliada a utilização de aparatos não tradicionais, foi muito importante pois, de acordo com Hülsenderger e cols. (2006), as construções pessoais do indivíduo, que neste trabalho chamamos de concepções espontâneas ou alternativas são geralmente estáveis e resistentes às mudanças.

Em conclusão, podemos afirmar que não basta o desenvolvimento e/ou adoção de um material potencialmente significativo ou uma infraestrutura de ponto, mas é necessário que no dia a dia em sala de aula as estratégias empregadas pelo professor despertem no aluno o interesse em participar do processo, a predisposição para aprender e a sensação de pertencimento com relação ao processo de ensino aprendizagem.

Inicialmente os resultados do pós-teste indicou um incremento médio de 20 % na média geral das turmas e através da análise estatística de t de Student verificamos que este incremento possui significância estatística (95 %), isso nos permite dizer com mais assertividade que o nosso material contribuiu de forma significativa para a melhoria de desempenho dos alunos. Por fim, a aplicação do 3º teste (que não estava programado), corroborou com os resultados observados inicialmente.

Diante do exposto a respeito de todo o material desenvolvido, em especial a utilização do *Spiral Marble Machine*, estamos convencidos da aplicabilidade deste em outras salas de aula e por outros profissionais da área de ensino.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, F. A. L., Recorrência de concepções alternativas sobre corrente elétrica em circuitos simples. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 40, nº 3, e3406, 2018.

ARAÚJO, V.R.; SILVA, E.S.; JESUS, V.L.B.; OLIVEIRA, A.L. **Uma associação do método Peer Instruction com circuitos elétricos em contextos de aprendizagem ativa**, Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 39, n 2, e2401, 2017.

ASSIS, A. E PACUBI, O.B.T. **Dinâmica Discursiva E O Ensino De Física: Análise De Um Episódio De Ensino Envolvendo O Uso De Um Texto Alternativo**. Rev. Ensaio | Belo Horizonte | v.09 | n.02 | p.205-221 | jul-dez | 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/epec/v9n2/1983-2117-epec-9-02-00205.pdf>> Acesso em: 09 de novembro de 2019.

AUSUBEL, D. P. **A aprendizagem significativa: A teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção do conhecimento: uma perspectiva cognitiva**. Tradução Lígia Teopisto. Lisboa: Plátano. 2003. MASINI, E. F. S.;

BOSS, S.L.B.; CALUZI, J.J., **Os conceitos de eletricidade vítrea e eletricidade resinosa segundo Du Fay**, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 4, p. 635-644, 2007.

BONADIMAN, H. NONENMACHER, S. E. B. **O gostar e o aprender no ensino de Física: uma proposta metodológica**. Cad. Bras. Ens. Fís., v. 24, n. 2: p. 194-223, ago. 2007.

BONJORNO, R. J., e cols. **Física: Eletromagnetismo – Física Moderna**. 3ª Edição. São Paulo: FTD, 2016.

BORGES, A.T., **Modelos mentais de eletromagnetismo**, Caderno Catarinense de Ensino de Física, vol. 15, n. 1, p. 7 – 31, abr. 1998.

BRASIL, **CURRÍCULO BÁSICO ESCOLA ESTADUAL** Ensino Médio Volume 02 - Área de Ciências da Natureza Espírito Santo (Estado). Secretaria da Educação Ensino médio: área de Ciências da Natureza / Secretaria da Educação. – Vitória: SEDU, 2009. 128 p.; 26 cm. – (Currículo Básico EscolaEstadual; v. 02). Disponível em:

<https://sedu.es.gov.br/Media/sedu/pdf%20e%20Arquivos/Ensino%20M%C3%A9dio%20-%20Volume%2002%20%20Ci%C3%A7ncias%20da%20Natureza.pdf>. Acesso em 19 jan. 2021.

BRASIL, **A Base Nacional Comum Curricular (BNCC)** a. Brasília: MEC; SEB; DICEI, 2017. Disponível em: [http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC\\_EI\\_EF\\_110518\\_versaofinal\\_site.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf). Acesso em 19 jan. 2021.

BRASIL, **Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio**. Brasília: MEC, 2000 <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/pcn/blegais.pdf>. Acesso em 19 jan. 2021.

BRASIL, **Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC, 2000 <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/pcn/ciencian.pdf>. Acesso em 19 jan. 2021.

COSTA, Luciano Gonsalves & BARROS, Marcelo Alves. **O ensino da Física no Brasil: Problemas e desafios**. PUC – PR, 2015. Disponível em: < [http://educere.bruc.com.br/arquivo/pdf2015/21042\\_8347.pdf](http://educere.bruc.com.br/arquivo/pdf2015/21042_8347.pdf)> Acesso em: 29 de março de 2019.

CRUZ, V.S.; SOARES, V., **Determinação experimental da constante de Boltzmann a partir da curva característica corrente-voltagem de um diodo**, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 37, n. 1, 1311, 2015.

CRUZ, F.P.; SANTOS, J.A.; OTOYA, V.J.V., **Um Novo Método para o Cálculo do Propagador da Eletrodinâmica**, Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 41, n 3, e20180217, 2019.

DARTORA, C.A.; HEILMANN, A., THOMAZI, F.; BURKARTER, E., **Caracterização experimental da permissividade dielétrica de materiais através da técnica de refletometria no domínio do tempo**, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 37, n. 1, 1315, 2015.

DIONISIO, G.; SPALDING, L.E.S., **Visualização da forma de onda e conteúdo harmônico da corrente elétrica alternada em eletrodomésticos**, Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 39, n 1, e1501, 2017.

DIOGO, R.C.; GOBARA, S.T. **Sociedade, educação e ensino de Física no Brasil: do Brasil Colônia ao fim da Era Vargas**. In: Simpósio Nacional de Ensino de Física, 17., 2007, São Luís. Anais... São Luís: Sociedade Brasileira de Física, 2007.

FERNANDES. E, **David Ausubel e a aprendizagem significativa, 2011. Disponível em:**[https://novaEscola.org.br/conteudo/262/david-ausubel-e-a-aprendizagem-significativa#\\_=\\_](https://novaEscola.org.br/conteudo/262/david-ausubel-e-a-aprendizagem-significativa#_=_), Acesso em 08/01/2021.

FERREIRA, G.L.F. **Nota sobre os potenciais de uma carga em movimento**, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 26, n. 3, p. 287 - 289, 2004.

FILHO, V.B.R.; SALAMI, M.A., HILLEBRAND, V., **Construção e caracterização de uma célula fotoelétrica para fins didáticos**, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 28, n. 4, p. 555-561, 2006.

FILHO, M.P.S.; CHAIB, J.P.M.C.; CALUZI, J.J.; ASSIS, A.K.T., **Demonstração didática da interação entre correntes elétricas**, Revista Brasileira de Ensino de Física, Vv. 29, n. 4, p. 605-612, 2007.

FUKUI, A., PACCA, J.L.A., **Modelo atômico e corrente elétrica na concepção dos estudantes**. In: II Encontro nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Valinhos – SP, Anais ... Valinhos: ABRAPEC, 1999.

GUALTER, J.B.; NEWTON, V.B.; HELOU, R.D. **Física, 3:eletricidade:Física moderna**. 3. ed. -- São Paulo: Saraiva, 2016.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J., **Fundamentos de Física – 3: Eletromagnetismo**. 4ª edição, Rio de Janeiro: LTC, 1996.

HÜLSENDEGER, M. J. V. C; COSTA, D. K.; CURY, H. N. **Identificação de concepções de alunos de ensino médio sobre calor e temperatura**. **ACTA SCIENTIAE** – v.8 – n.1 – jan./jun. 2006. Disponível em: <http://www.periodicos.ulbra.br/index.php/acta/article/viewFile/106/99> Acesso em:09 de set. 2017

JARDIM, W.T.; GUERRA, A., **Práticas científicas e difusão do conhecimento sobre eletricidade no século XVIII e início do XIX: possibilidades para uma abordagem histórica da pilha de volta na educação básica**, Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 40, n 3, e3603, 2018.

JESUS. M. A. S.; SILVA. R. C. O. **A teoria de David Ausubel – o uso dos organizadores prévios no ensino contextualizado de funções**, 2004. Disponível em: <http://www.sbembrasil.org.br/files/viii/pdf/03/MC05002402801.pdf>, Acesso em 08/01/2021.

LARA, V.O.M.; LIMA, A.P., COSTA, A., **Entropic considerations in the two-capacitor problem**, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 37, n. 1, 1306, 2015.

LIMA, V.M.R. E GRILLO, M.C. in: **Aprender em Rede na Educação em Ciências**, editado por M.C. Galiazzi, M. Auth, R. Moraes e R. Mancuso (Unijuí, Ijuí, 2008).

LIMA, S.C.; TAKAHASHI, E.K., **Construção de conceitos de eletricidade nos anos iniciais do Ensino Fundamental com uso de experimentação virtual**, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 35, n. 2, 3501, 2013.

LUDKE, E.; GRAÇA, C.O., **Estudando campos elétricos de linhas trifásicas pelo método da cuba eletrolítica**, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33, n. 1, 1703, 2011.

MACHADO, K.D., **Teoria do Eletromagnetismo**, Ponta Grossa – PR: Editora UEPG, 2000.

MAGALHÃES, M.F.; SANTOS, W.M.S; DIAS, P.M.C., **Uma Proposta para Ensinar os Conceitos de Campo Elétrico e Magnético: uma Aplicação da História da Física**, Revista Brasileira de Ensino de Física, V. 24, n. 4. p. 489 – 496, 2002.

MALHEIROS, B.T. **Metodologia da Pesquisa em Educação**. São Paulo: LTC, 2011.

MARINELI, F.; PACCA, J.L.A., **Uma interpretação para dificuldades enfrentadas pelos estudantes em um laboratório didático de Física**, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 28, n. 4, p. 497-505, 2006.

MASINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa: condições para ocorrência e lacunas que levam a comprometimentos**, 2011. Disponível em: [http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo\\_ID2/v1\\_n1\\_a2011.pdf](http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID2/v1_n1_a2011.pdf), Acesso em 08/01/2021.

MELO, M.R.; NETO, E.G.L. **Dificuldades de Ensino e Aprendizagem dos Modelos Atômicos em Química** Disponível em: < [http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc35\\_2/08-PE-81-10.pdf](http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc35_2/08-PE-81-10.pdf)> Acesso em: 02 de janeiro de 2021

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa: Um Conceito Subjacente**, Aprendizagem Significativa em Revista/Meaningful Learning Review – V1(3), pp. 25-46, 2011.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa. Condições para a ocorrência e lacunas que levam ao comprometimento.** São Paulo: Vetor. 2008.

MOREIRA, M. A. **Metodologia de pesquisa em Ensino.** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

MOREIRA, M. A. **O Que É Afinal Aprendizagem Significativa?** Aula Inaugural do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais, Instituto de Física, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, MT, 23 de abril de 2010. Aceito para publicação, *Qurriculum, La Laguna, Espanha*, 2012. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/oqueeafinal.pdf> acesso 10 de novembro de 2020.

MOREIRA, M. A. **organizadores prévios e aprendizagem significativa**, 2012. Disponível em <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/ORGANIZADORESport.pdf> Acesso 08/01/2021.

OLIVEIRA, F.; PAIXÃO, J.A., **Atividade experimental “hands-on” para o estudo das características de um gerador (pilha voltaica) e de um receptor (voltômetro) com material simples, de fácil acesso e baixo custo**, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 39, n 1, e1402, 2017.

QADEER, A., **An analysis of grade six textbook on electricity through content analysis and student writing responses**, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 35, n. 1, 1501, 2013.

RICARDO, Elio Carlos; FREIRE, Janaína Cardoso Araújo. **A concepção dos alunos sobre a Física do ensino médio: um estudo exploratório.** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 2, p. 251–266, 2007.

SAMPAIO, J.L.; CALÇADA, C.S. **Universo da Física, 3: ondulatória, eletromagnetismo, Física moderna.** 2. Ed. – São Paulo: Atual, 2005.

SANTOS, J.C.; DICKMAN, A.G. **Experimentos reais e virtuais: proposta para o ensino de eletricidade no nível médio**, Revista Brasileira de Ensino de Física, Vvol. 41, no 1, e20180161, 2019.

SERWAY, R.A.; JEWETT, J.W., **Princípios de Física– Eletromagnetismo**, Vol. 3, São Paulo: Cengage Learning, 2004.

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, 44 (11), 1129 – 1133, novembro, 1989.

SOLANO, F.; GIL, J.; PEREZ, A.L.; SUERO, M.I., **Persistência de Pré concepções sobre os Circuitos Elétricos de Correntes Continua**, Revista Brasileira de Ensino de Física, V. 24, n. 4. p. 460 – 470, 2002.

SOUZA, J.C.A. **Curso De Física- Volume 3: Foco No Enem- Eletromagnetismo- Apostila**. | Espírito Santo | v.01 | n.01 | p.03-87 | jan. Dez | 2017. Disponível em: <<https://jcfisicaa.wixsite.com/fisica/livros-e-apostilas>> Acesso em: 29 de março de 2019.

VILLANI, A.; PACCA, J.L.A; HOSOUME, Y. **Conceitos intuitivos e conteúdos formais de Física: Considerações**, Publicações | FUSP, 1983.

VIEIRA, A., **Dimensionamento simplificado de uma linha de distribuição elétrica em corrente contínua**, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 27, n. 4, p. 625 - 627, 2005.

VIEIRA, S. **Alpha de Cronbach**: Campinas, 2015. Disponível em: <http://soniavieira.blogspot.com/2015/10/alfa-de-cronbach.html> Acesso em: 15 março de 2019.

## APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

### Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Eu, ....., RG....., responsável pelo(a) aluno(a).....

dou meu consentimento livre e esclarecido para o aluno participar como voluntário (a) do projeto de pesquisa que tem como objetivo avaliar as O desenvolvimento de um aparato experimental para auxiliar o ensino de corrente elétrica. Esta pesquisa é de responsabilidade do Prof. Dr. Rodrigo Dias e da discente Paulo Roberto Ferreira da Silva, do Programa de Mestrado Nacional em Ensino de Física, na UFES. Assinando este termo estou ciente de que:

- Este estudo tem como principal objetivo avaliar qualitativamente as dificuldades conceituais em Física, referente ao conteúdo de Termodinâmica, dos alunos da EEEFM “Prof.<sup>a</sup>. Hilda Miranda Nascimento”.
- Durante este estudo serão aplicados testes. Esses testes não irão interferir nas notas trimestrais dos alunos, serão apenas testes diagnósticos e não serão identificados.
- Obtive todas as informações necessárias para poder decidir conscientemente sobre a minha participação no referido estudo.
- Estou livre para interromper, a qualquer momento, minha participação na pesquisa sem sofrer qualquer forma de retaliação.
- Meus dados pessoais serão mantidos em sigilo.
- Autorizo divulgação da imagem do (a) aluno (a) em fotos e vídeos exclusivamente para fins acadêmicos. Sim  Não
- Os resultados gerais obtidos nesta pesquisa serão utilizados apenas para alcançar os objetivos propostos, incluída sua publicação em congresso, em revista científica especializada ou trabalho de conclusão de curso.

### Informações complementares

Orientador do Projeto:

Prof. Dr. Rodrigo Dias Pereira

Telefone: +55 (27) 3312-1655

e-mail: rodrigo.pereira@ufes.br

*Pesquisador responsável: Paulo Roberto Ferreira da Silva*

*e-mail: paulomestreufes@gmail.com*

Serra, ..... de maio de 2019. \_\_\_\_\_

Assinatura do responsável

## APÊNDICE B – PRÉ - TESTE

### Atividade 1

- a) Conversa em aberto com os estudantes sobre: Como que duas pilhas conseguem acender a lâmpada de uma lanterna?
- b) “Desenhe o modelo de átomo da forma que você imagina e indique os principais elementos que o constituem.”
- c) Desenhe em uma folha e explique demonstrando como a corrente elétrica percorre ao longo do fio, sob o ponto de vista atômico.

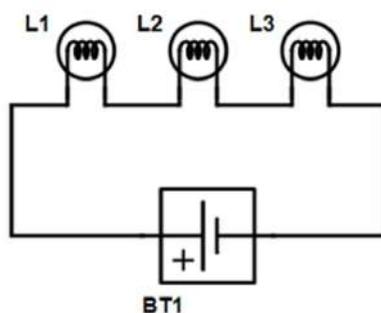
### Atividade 2 (SILVEIRA, MOREIRA E AXT, 1989)

Em todas as questões deste teste, admite-se que as lâmpadas representadas sejam iguais. Os brilhos das lâmpadas crescem quando a intensidade da corrente aumenta. A bateria representada tem resistência elétrica desprezível.

1) No circuito da imagem 1, pode-se afirmar que:

- a) L 1 brilha mais do que L 2, e está mais do que L 3.
- b) L 3 brilha mais do que L 2, e está mais do que L 1.
- c) As três lâmpadas têm o mesmo brilho.

Figura 64 - Imagem 1 – Questão 1 do pré-teste.

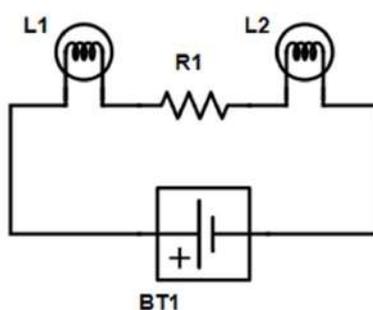


Fonte: Silveira, Moreira e Axt, 1989.

**2)** No circuito da imagem 2, R é um resistor. Nesse circuito:

- a) L 1 e L 2 têm o mesmo brilho.
- b) L 1 brilha mais do que L 2.
- c) L 2 brilha mais do que L 1.

Figura 65 - Imagem 2 - Questão 2 do pré-teste.

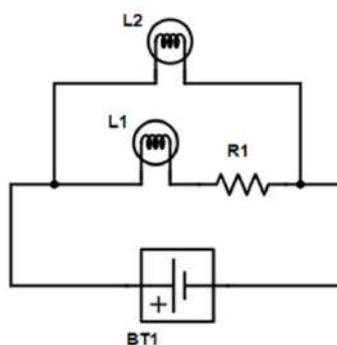


Fonte: SILVEIRA, MOREIRA E AXT, 1989.

**3)** No circuito da imagem 3, R é um resistor. Nesse circuito:

- a) L 1 tem o mesmo brilho que L 2.
- b) L2 brilha mais do que L 1.
- c) L 1 brilha mais do que L 2.

Figura 66- Imagem 3 - Questão 3 do pré-teste.

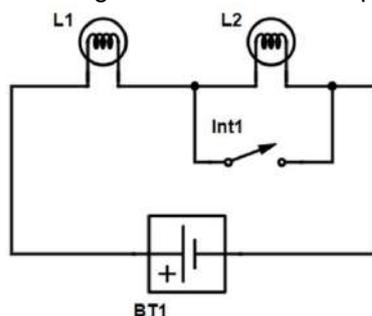


Fonte: SILVEIRA, MOREIRA E AXT, 1989.

4) No circuito da imagem 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 67- Imagem 4 - Questão 4 do pré-teste.

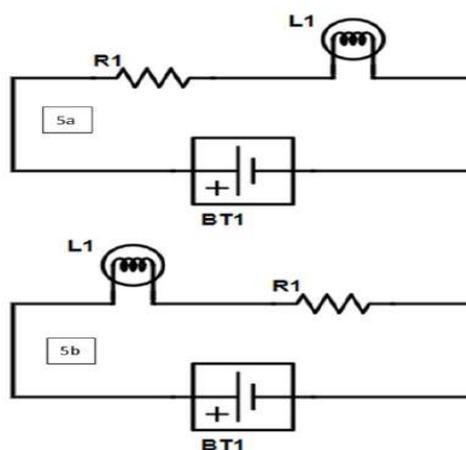


Fonte: SILVEIRA, MOREIRA E AXT, 1989.

5) Nos circuitos da imagem 5 a e b, a lâmpada L, o resistor R e a bateria são exatamente os mesmos. Nessas condições:

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

Figura 68 - Imagem 5 -Questão 5 do pré-teste.



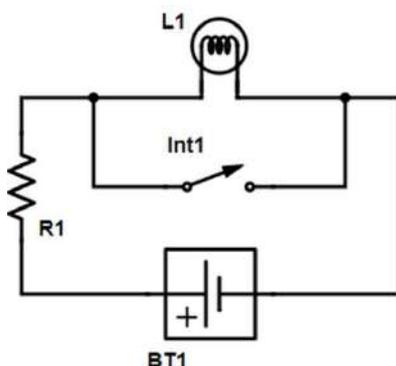
Fonte: SILVEIRA, MOREIRA E AXT, 1989.

6) No circuito da imagem 6, R é um resistor e Int é um interruptor que está aberto. Ao fechá-lo:

- L continua brilhando como antes.

- b) L deixa de brilhar.  
 c) L diminui seu brilho, mas não apaga.

Figura 69 - Imagem 6 - Questão 6 do pré-teste.

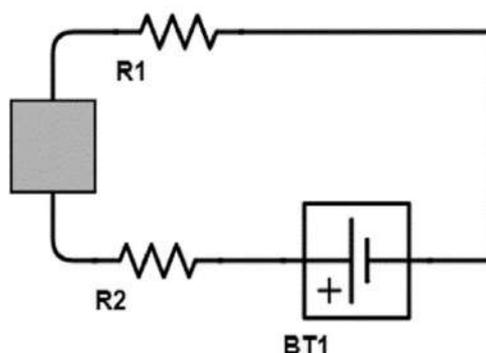


Fonte: SILVEIRA, MOREIRA E AXT, 1989.

7) No circuito da imagem 7, R1 e R2 são dois resistores e a caixa preta que nele aparece pode conter resistores, baterias ou combinações de ambos. Para que a corrente em R1 fosse igual à corrente em R2, a caixa preta poderia conter em seu interior somente:

- a) Resistores conectados de qualquer modo.  
 b) Uma bateria.  
 c) Qualquer tipo de combinação de resistores e baterias.

Figura 70- Imagem 7 - Questão 7 do pré-teste.



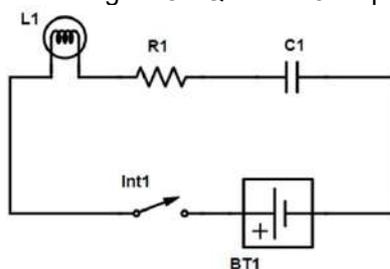
Fonte: SILVEIRA, MOREIRA E AXT, 1989.

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

- a) L começa a brilhar e continua brilhando enquanto estiver fechado o interruptor.  
 b) L não brilhará enquanto o capacitor não estiver totalmente carregado.

c) L brilhará durante parte do processo de carga do capacitor.

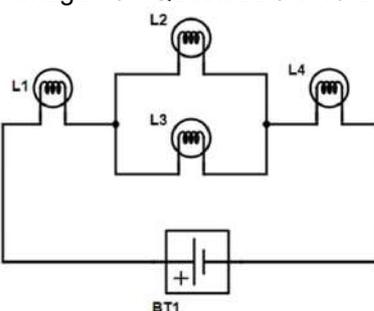
Figura 71 -Imagem 8 - Questão 8 do pré-teste.



Fonte: SILVEIRA, MOREIRA E AXT, 1989.

As questões 9 e 10 referem-se ao circuito de Imagem 9.

Figura 72 - Imagem9 - Questões 9 e 10 do pré-teste.



Fonte: SILVEIRA, MOREIRA E AXT, 1989.

**9)** No circuito da imagem 9, o brilho de L1 é:

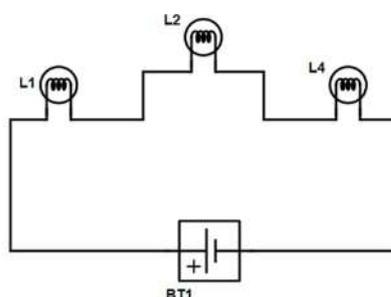
- a) Igual ao de L4.
- b) Maior do que o de L4.
- c) Menor do que o de L4.

**10)** No circuito da imagem 9, o brilho de L2 é:

- a) Igual ao de L4.
- b) Maior do que o de L4.
- c) Menor do que o de L4.

O circuito da Figura 9 foi modificado, pois se retirou a lâmpada L3. O novo circuito é, então, o da Figura 10.

Figura 73 - Imagem10 - Questão 11 do pré-teste.



Fonte: SILVEIRA, MOREIRA E AXT, 1989.

**11)** Quando se compara o brilho de L1 nos circuitos 9 e 10, ele é:

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

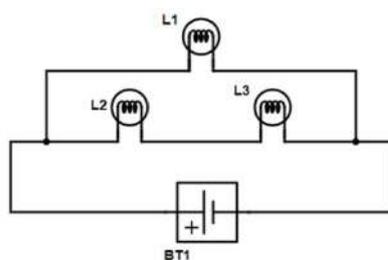
**12)** Quando se compara o brilho de L4 nos circuitos 9 e 10, ele é:

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

**13)** No circuito da imagem 11:

- a) L1 brilha mais do que L2 e do que L3.
- b) L1 e L2 têm o mesmo brilho, que é maior do que o de L3.
- c) L1, L2 e L3 brilham igualmente.

Figura 74 - Imagem11 - Questão 13 do pré-teste.

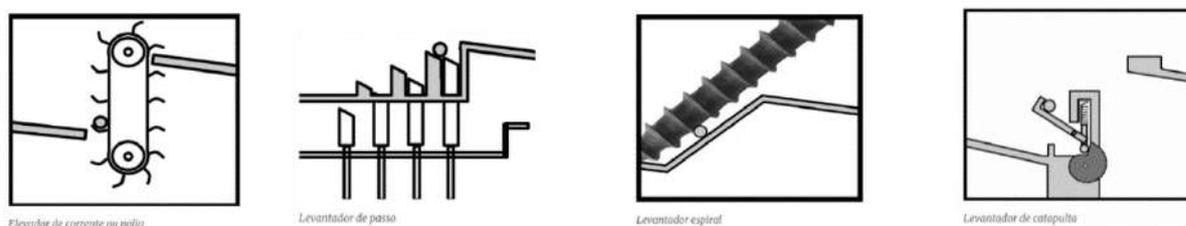


Fonte: SILVEIRA, MOREIRA E AXT, 1989.

## APÊNDICE C – SPIRAL MARBLE MACHINE

O Spiral Marble Machine, é projetado para movimentar uma bola do fundo de um labirinto até o topo, para pessoas que preferem interagir fisicamente com o aparato podem ser manuais movido a manivela, elástico, haste de tiro, ou outros métodos, até automático para os que preferem ver a máquina funcionando sozinha, nesse caso usa-se motores conectados baterias, painéis solares ou ligados à tomada de energia elétrica, em outros casos existem projetos dessa máquina movidas a vento.

Figura 75 – Spiral Marble Machine - espiral rotativo



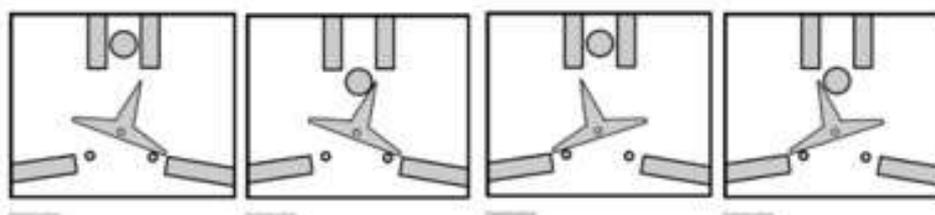
O projeto que vou apresentar é um disco espiral rotativo, pode ser fabricado com qualquer tipo de material sólido, composto por um prato circular, uma espira, um trilho e um pequeno motor movimentado por energia elétrica, tendo como função o transporte de bolinhas de gude ao longo de um espiral, essa espiral compõe um disco giratório posicionado na direção vertical, para fazer a bolinha ser elevada para cima, com um único giro essa bolinha é elevada até metade do caminho, ao final de alguns giros ela ganha movimento cinético e passam por um trilho ao longo de um perímetro que possui uma angulação descaída, as diferenças desses ângulos no descaimento do trilho fazem com que a bolinha se movimente e retornam ao seu ponto inicial para mais uma vez fazer o mesmo trajeto.

Figura 76 – Spiral Marble Machine - espiral



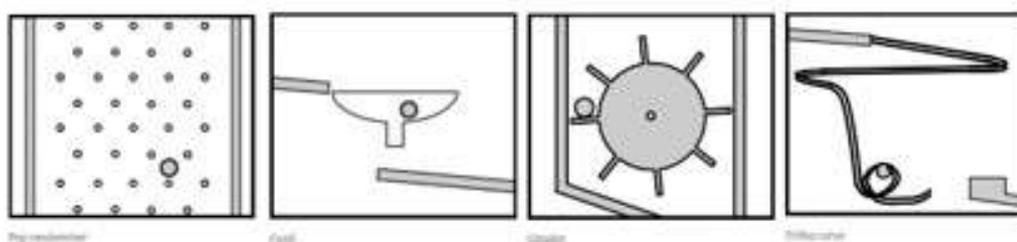
É um brinquedo, observe-se pela simplicidade e função, popularmente chamado de corrida de mármore, os projetos priorizam velocidade, aleatoriedade, controle e som é possível executar a corrida com uma bolinha de cada vez ou várias bolinhas ao mesmo tempo. Já existem empresas especializadas a vender uma máquina pronta, assim como também várias peças para incrementar e criar obstáculos para interagir com a passagem da bolinha.

Figura 77– Spiral Marble Machine - Obstáculos



Esse é o exemplo de um interruptor bidimensional, é utilizado para mudar o percurso dentro do circuito que a bolinha irá fazer, mas existem outros modelos, de três vias ou rotativos para abrir vários caminhos, além de outros obstáculos.

Figura 78 - Spiral Marble Machine - Caminhos



Os kits labirintos de mármore com elevador podem ser comprados, mas também podem ser construídos com madeiras, MDF, papelão, blocos de lego ou outros materiais, sendo analógico ou automático, e claro, para construir do zero é necessário ter um Design, prototipagem, experimentação de engrenagens, motores, escolha de materiais, corte, montagem e paciência. Neste trabalho o material necessário: 1-Compasso; 1\_Régua; 1\_Cola quente; 1\_Pistola de cola quente; 1\_Estilete; 1\_Solda; 1\_Ferro de solda; 1\_Alicate; 1\_Lápis; 1\_Palito de picolé; 1\_Palito de churrasco; 1\_Suporte para duas pilhas AA; 1\_Duas pilhas AA; 1\_Motor

elétrico; 1\_Fio vermelho fino; 1\_Fio preto fino; 1\_Interruptor pequeno; 1\_Caixa de papelão; 5\_Bolinhas de gude.

## APÊNDICE D

Figura 79 - Cabeçalho da Escola

|   |   |   |
|---|---|---|
|  <p>SECRETARIA DE ESTADO<br/>DA EDUCAÇÃO</p> | <p><b>EEM “ PROF” HILDA MIRANDA NASCIMENTO”</b></p> <p>Porto Canoa - Serra/ES – Telefone – 3341-1068</p>  |  |
|   | <p><b>PÓS TESTE SOBRE CORRENTE ELÉTRICA</b></p> <p>Prof: PAULO ROBERTO FERREIRA DA SILVA</p> <p>Aluno(a): _____ Turma: _____ Data: ____ / ____ / 2018</p> |   |

1\_ Considerando o funcionamento de uma única lâmpada de incandescente de 60W, responda:

a\_ Do que depende o brilho de uma lâmpada?

b\_ caso exista um aumento da corrente elétrica, o que acontece com o brilho da lâmpada?

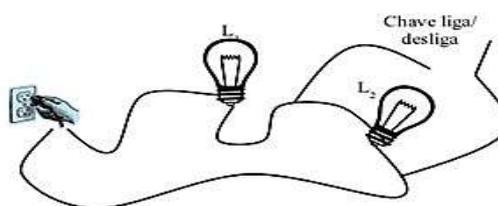
c\_ por que uma lâmpada colocada em paralelo em um circuito brilha mais que uma em série?

4\_ Um eletricista possui duas lâmpadas de (100W-110V). Se ele ligar as duas em série em uma tomada de 220V, o que irá acontecer?

- a) As lâmpadas irão queimar
- b) As lâmpadas irão brilhar normalmente
- c) As lâmpadas irão brilhar menos que o normal

5\_ Abaixo está ilustrado um circuito formado por duas lâmpadas, fios de conexão, chave liga/desliga e tomada, a fonte de energia. Após ligar a chave, com as lâmpadas acesas, é correto afirmar que:

Figura 80 - Questão 5 - Pós teste

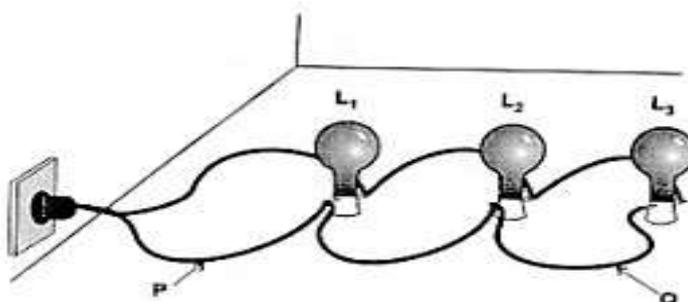


- a) L2 se apaga e L1 aumenta o seu brilho.
- b) L2 se apaga e L1 mantém o seu brilho.
- c) L2 não se apaga e L1 aumenta o seu brilho.

6\_ A figura ilustra a forma como três lâmpadas estão ligadas a uma tomada. A corrente elétrica no ponto P do fio é  $i_P$  e no ponto Q é  $i_Q$ .

Em um determinado instante, a lâmpada L2 se queima. Pode-se afirmar que:

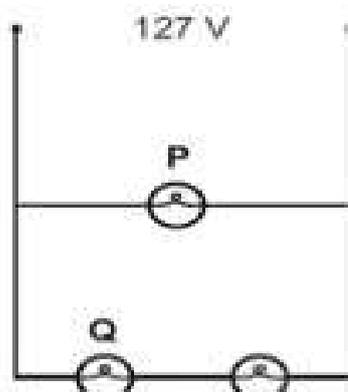
Figura 81- Questão 6 - Pós teste



- a) A corrente  $i_P$  se altera e  $i_Q$  não se altera.
- b) A corrente  $i_P$  não se altera e  $i_Q$  se altera.
- c) As duas correntes se alteram.

7\_ Aninha ligou três lâmpadas idênticas à rede elétrica de sua casa, como mostrado nesta figura:

Figura 82- Questão 7 - Pós teste

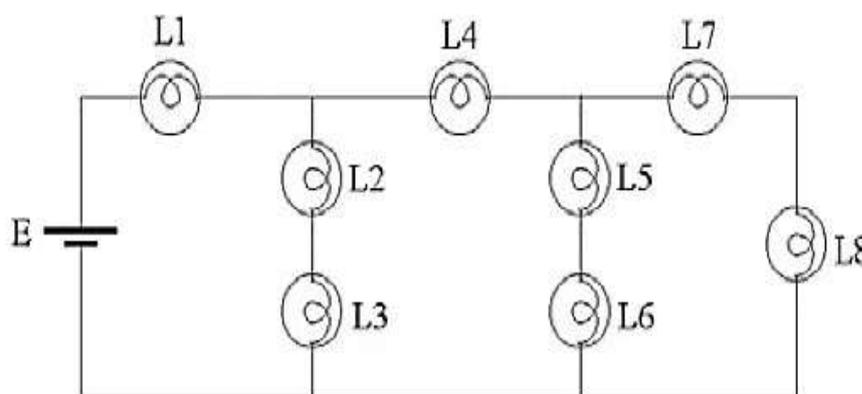


Seja  $V_P$  a diferença de potencial e  $I_P$  a corrente na lâmpada P. Na lâmpada  $Q_1$  essas grandezas são, respectivamente,  $V_Q$  e  $I_Q$ . Considerando-se essas informações, é correto afirmar que:

- d)  $V_P < V_Q$  e  $I_P > I_Q$
- e)  $V_P > V_Q$  e  $I_P > I_Q$
- f)  $V_P < V_Q$  e  $I_P = I_Q$

8\_ Considere a seguinte situação hipotética: ao preparar o palco para a apresentação de uma peça de teatro, o iluminador deveria colocar três atores sob luzes que tinham igual brilho e os demais, sob luzes de menor brilho. O iluminador determinou, então, aos técnicos, que instalassem no palco oito lâmpadas incandescentes com a mesma especificação (L1 a L8), interligadas em um circuito com uma bateria, conforme mostra a figura.

Figura 83- Questão 8 - Pós teste



Nessa situação, quais são as três lâmpadas que acendem com o mesmo brilho por apresentarem igual valor de corrente fluindo nelas, sob as quais devem se posicionar os três atores?

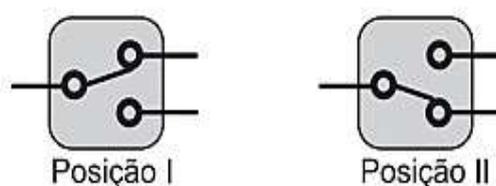
- a) L1, L2, L3

b) L2, L3, L4

c) L4, L7, L8

9\_ Para ligar ou desligar uma mesma lâmpada a partir de dois interruptores, conectam-se os interruptores para que a mudança de posição de um deles faça ligar ou desligar a lâmpada, não importando qual a posição do outro. Esta ligação é conhecida como interruptores paralelos. Este interruptor é uma chave de duas posições constituída por um polo e dois terminais, 149 conforme mostrado nas figuras de um mesmo interruptor. Na Posição I a chave conecta o polo ao terminal superior, e na Posição II a chave o conecta ao terminal inferior.

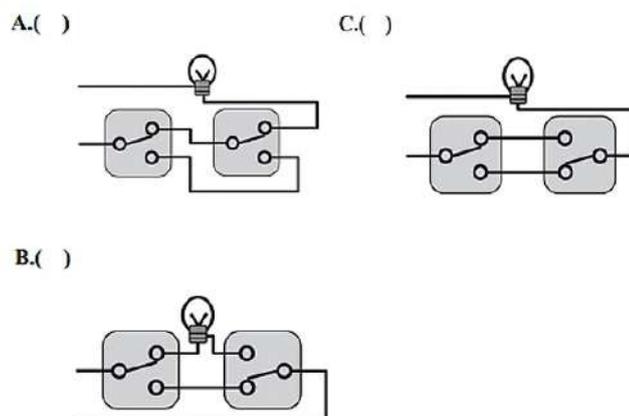
Figura 84- Questão 9 - Pós teste



(Questão 73 do Enem 2012 - Foto: Reprodução Enem)

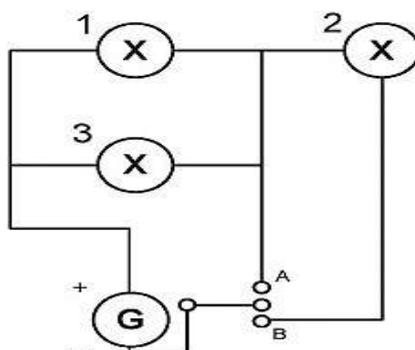
O circuito que cumpre a finalidade de funcionamento descrita no texto é:

Figura 85- Questão 9 - Pós teste



10\_ Um sistema de iluminação foi construído com um circuito de três lâmpadas iguais conectadas a um gerador (G) de tensão constante. Esse gerador possui uma chave que pode ser ligada nas posições A ou B.

Figura 86- Questão 10 - Pós teste



Considerando o funcionamento do circuito dado, a lâmpada 1 brilhará mais quando a chave estiver na posição

- A, pois a resistência equivalente será menor nesse caso.
- A, pois a potência dissipada pelo gerador será menor nesse caso.
- B, pois o gerador fornecerá uma maior tensão nesse caso.

11\_ Um estudante, precisando instalar um computador, um monitor e uma lâmpada em seu quarto, verificou que precisaria fazer a instalação de duas tomadas e um interruptor na rede elétrica. Decidiu esboçar com antecedência o esquema elétrico. “O circuito deve ser tal que as tomadas e a lâmpada devem estar submetidas à tensão nominal da rede elétrica e a lâmpada deve poder ser ligada ou desligada por um interruptor sem afetar os outros dispositivos” — pensou.

Figura 87- Questão 11 - Pós teste

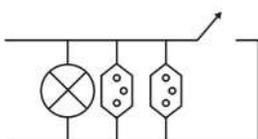
Símbolos adotados:

Lâmpada:  Tomada:  Interruptor: 

Qual dos circuitos esboçados atende às exigências?

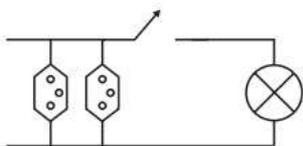
a)

Figura 88- Questão 11 - a) - Pós teste



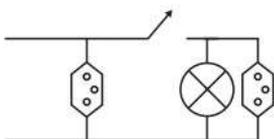
b)

Figura 89- Questão 11 - b) - Pós teste



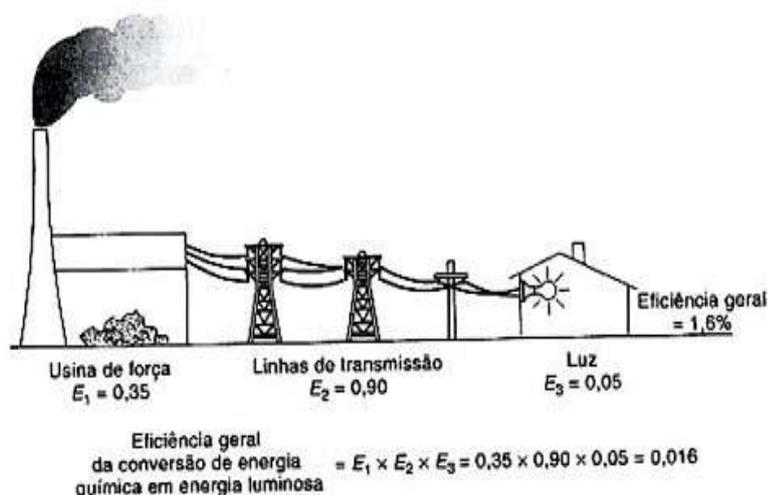
c)

Figura 90- Questão 11 - c) - Pós teste



12\_ A eficiência de um processo de conversão de energia é definida como a razão entre a produção de energia ou trabalho útil e o total de entrada de energia no processo. A figura mostra um processo com diversas etapas. Nesse caso, a eficiência geral será igual ao produto das eficiências das etapas individuais. A entrada de energia que não se transforma em trabalho útil é perdida sob formas não utilizáveis (como resíduos de calor).

Figura 91- Questão 12 - Pós teste



(HINRICH, R. A. Energia e Meio Ambiente. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003 (adaptado). (Foto:

Reprodução/Enem)

Aumentar a eficiência dos processos de conversão de energia implica economizar recursos e combustíveis. Das propostas seguintes, qual resultará em maior aumento da eficiência geral do processo?

- Utilizar lâmpadas incandescentes, que geram pouco calor e muita luminosidade.
- Aumentar a quantidade de combustível para queima na usina de força.
- Utilizar materiais com melhores propriedades condutoras nas linhas de transmissão e lâmpadas fluorescentes nas moradias.

**Preencher corretamente o Gabarito:**

Figura 92 - Gabarito - Pós-teste

|   |          |   |   |
|---|----------|---|---|
| 1 | Resposta |   |   |
| 2 | Resposta |   |   |
| 3 | Resposta |   |   |
| 4 | A        | B | C |
| 5 | A        | B | C |
| 6 | A        | B | C |
| 7 | A        | B | C |
| 8 | A        | B | C |
| 9 | A        | B | C |
| 1 | A        | B | C |
| 1 | A        | B | C |
| 1 | A        | B | C |

## **APÊNDICE E – PRODUTO EDUCACIONAL**



**UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA  
PARA EXPLICAR COMO OCORRE O FLUXO DE  
ELÉTRONS NO INTERIOR DE UM FIO  
CONDUTOR**



**PAULO ROBERTO FERREIRA DA SILVA  
RODRIGO DIAS PEREIRA**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**PAULO ROBERTO FERREIRA DA SILVA**  
**RODRIGO DIAS PEREIRA**

**UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA EXPLICAR  
COMO OCORRE O FLUXO DE ELÉTRONS NO INTERIOR DE UM  
FIO CONDUTOR**

Vitória – ES  
Março – 2021

## LISTA DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| Figura 1- Vista noturna da cidade da Terceira Ponte - Vitória/Vila Velha - ES. Março de 2019. ....          | 157 |
| Figura 2 - Modelos atômicos desenvolvidos ao longo da história. ....  | 159 |
| Figura 3 – Corpos eletrizados. ....   | 162 |
| Figura 4 – Representação do movimento caótico dos elétrons de condução em um fio de cobre.....              | 164 |
| Figura 5- Cargas em movimento através de uma área A de um fio condutor. ....                                | 165 |
| Figura 6 - Deslocamento dos portadores de cargas elétricas através do plano “da” no tempo $\delta t$ . .... | 167 |
| Figura 7 – Representação de um resistor em um circuito elétrico.....  | 172 |
| Figura 8 - Associação de resistores em série.....   | 173 |
| Figura 9 – Associação de resistores em paralelo.....  | 174 |
| Figura 10 – Capa e sumário do livro didático utilizado pelos alunos. ....                                   | 184 |
| Figura 11 - Capa do filme: "Guerra das correntes".....  | 185 |
| Figura 12 - Montagem inicial do <i>Spiral Marble Machine</i> .....  | 186 |
| Figura 13 - Dispositivos utilizados durante a aula. ....  | 187 |
| Figura 14 - Experimento "acender a lâmpada".....  | 188 |
| Figura 15 – Aparato experimental do grupo Alpha .....   | 191 |
| Figura 16 – Aparato experimental do grupo Física.....   | 192 |
| Figura 17 – Aparato experimental do grupo Edison. ....  | 193 |
| Figura 18 - Aparato experimental do grupo elétron. ....   | 194 |
| Figura 19 - Associação em série de lâmpadas.....  | 195 |
| Figura 20 - Associação em paralelo de lâmpadas.....   | 196 |
| Figura 21 - Associação mista de lâmpadas.....   | 196 |

## Sumário

|  |            |
|--|------------|
| <b>1.APRESENTAÇÃO.....</b>   | <b>154</b> |
| 1.1 Justificativa .....  | 155        |
| 1.2 OBJETIVOS DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA .....                                      | 156        |
| <b>2. SABERES ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS .....</b>                                 | <b>156</b> |
| <b>3. OS CONCEITOS FÍSICOS.....</b>  | <b>157</b> |
| 3.1 CARGA ELÉTRICA.....  | 157        |
| 3.2 CORRENTE ELÉTRICA .....  | 163        |
| 3.2.1 LEI DE OHM E CONDUTIVIDADE.....  | 169        |
| 3.2 ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES .....   | 171        |
| <b>4. ATIVIDADES .....</b>   | <b>176</b> |
| 4.1 atividade diagnóstica .....  | 176        |
| 4.2 atividade 2 .....  | 183        |
| 4.3 – atividade 3 - filme “a guerra das correntes” .....                       | 185        |
| 4.4 – atividade 4 – aparato experimental “ <i>spiral marble machine</i> ”..... | 186        |
| 4.5 atividade 6 .....  | 188        |
| 4.6 atividade 7 – O experimento “acender a lâmpada” .....                      | 188        |
| 4.7 atividade 8 – “ <i>spiral marble machine</i> ” modificado.....             | 190        |
| 4.8 atividade 9 – caixa de lâmpadas.....                                       | 194        |
| 4.9 Atividade 10 – pós-teste.....  | 197        |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>   | <b>205</b> |
| <b>APÊNDICE A – TUTORAIL DO <i>SPIRAL MARBLE MACHINE</i> .....</b>             | <b>206</b> |

## **1. APRESENTAÇÃO**

Caro(a) professor(a), neste Produto Educacional, você encontrará orientações e sugestões que poderão auxiliá-lo na introdução e desenvolvimento dos conceitos iniciais de eletrodinâmica, mais especificamente, corrente elétrica e suas aplicações em circuitos elétricos simples, em uma perspectiva predominantemente conceitual. Este material instrucional consiste em uma sequência didática referente à conclusão do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (PPGEnFis) ofertado pela Sociedade Brasileira de Física (SBF), em parceria com a Universidade Federal do Espírito Santo – MNPEF – Polo 12 – UFES.

A metodologia adotada segue os pressupostos da teoria da educação de David Ausubel (2003), cujo conceito central é a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS). Sugerindo uma explicação teórica do processo de aprendizagem, que apresenta a ideia de que aprender significativamente é ampliar e reconfigurar ideias já existentes na estrutura mental do aprendiz e com isso, torna-se possível a capacidade do indivíduo relacionar e acessar novos conteúdos.

A pesquisa é desenvolvida considerando três etapas que se entrelaçam, se complementam e que convergem para a promoção da aprendizagem significativa. Essas etapas estão divididas em pré-testes, emprego dos materiais instrucionais (MI) e pós-testes.

No pré-teste, primeira etapa da pesquisa, objetiva-se principalmente a coleta de dados a respeito das concepções espontâneas dos alunos a partir do tema que será proposto. Em seguida aplica-se os MI e implementa-se as atividades motivadoras, cuja ideia é verificar se as propostas com essas características podem promover as contribuições na apropriação de conhecimentos e na interação entre os alunos. Na etapa final aplica-se o pós-teste.

## **1.1 JUSTIFICATIVA**

Existe uma imensa gama de equipamentos/ instrumentos que se utiliza no cotidiano que funcionam ligados a uma tomada de energia elétrica, porém na grande maioria das vezes não se imagina quais conceitos físicos podem explicar seu funcionamento. Para conhecer o funcionamento destes equipamentos é necessário saber caracterizá-los e identificar as principais grandezas Físicas envolvidas no processo. Neste sentido, este material elaborado é constituído de atividades diversificadas e multi-instrumento para o ensino do tema proposto.

A pretensão não é substituir o livro didático, mas propor um material auxiliar e complementar para ajudar o professor no ensino dos conceitos iniciais de eletrodinâmica. Para que o MI cumpra seu papel de facilitador da aprendizagem, é necessário que exista uma organização sequencial dos conteúdos e que se faça cumprir a todo momento o princípio que Ausubel chama de consolidação.

## **1.2 OBJETIVOS DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA**

O objetivo desta proposta de proposta é, oferecer diferentes estratégias e instrumentos de ensino por meios e metodologias que motivem e facilitem a Aprendizagem Significativa. Após a utilização deste material o objetivo é que os alunos sejam capazes de:

- a) Apropriar-se do conceito de corrente elétrica;
- b) Descrever as principais características e diferenciar as associações em série e paralelo em circuitos elétricos simples;
- c) Identificar esses fenômenos em situações do cotidiano.

## **2. SABERES ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS**

O que possibilita o ser humano a utilizar, produzir e armazenar energia elétrica, é a compreensão dos fenômenos elétricos.

Alguns acontecimentos que visualizamos no dia a dia tem relação com os fenômenos elétricos e magnéticos. Procurar entender qual a relação que a luz do sol ou mesmo das lâmpadas possuem com os raios X ou as ondas de rádio, fica a cargo dos estudos da Física. É estranho observar o mundo e não ter curiosidade para entender os fenômenos eletromagnéticos que nele ocorre.

Desde a antiguidade os fatos elétricos, magnéticos e luminosos são bem conhecidos, na Física de forma didática são separados por três ramificações, Eletricidade, Magnetismo e Óptica. A partir do século XIX essas três vertentes formaram um novo ramo, chamado Eletromagnetismo.

Figura 93- Vista noturna da cidade da Terceira Ponte - Vitória/Vila Velha - ES. Março de 2019.



### **3. OS CONCEITOS FÍSICOS**

Nesta seção apresentaremos, brevemente, os conceitos físicos trabalhados ao longo de todas as aulas.

#### **3.1 CARGA ELÉTRICA**

Podemos dizer que a carga elétrica é uma propriedade da matéria/corpo, da mesma forma que a massa. Estas duas propriedades geram dois dos quatro tipos de forças fundamentais da Física: a força gravitacional (associada a massa), e a força eletromagnética, associada à carga elétrica. As cargas

elétricas elementares são formadas em nível atômico, pelos elétrons e pelos prótons que formam os átomos<sup>5</sup>.

ao próton e ao elétron associa-se uma propriedade denominada carga elétrica, convencionou-se estabelecer que a carga elétrica associada ao próton é positiva, enquanto a carga elétrica associada ao elétron é negativa. O equilíbrio entre o número total de prótons no núcleo (número atômico do elemento químico) e o número total de elétrons na eletrosfera que torna o átomo eletricamente neutro. Quando esse equilíbrio é rompido, caso em que o átomo perde ou ganha elétrons, ele se transforma em íon, sendo uma partícula carregada positiva ou negativamente.

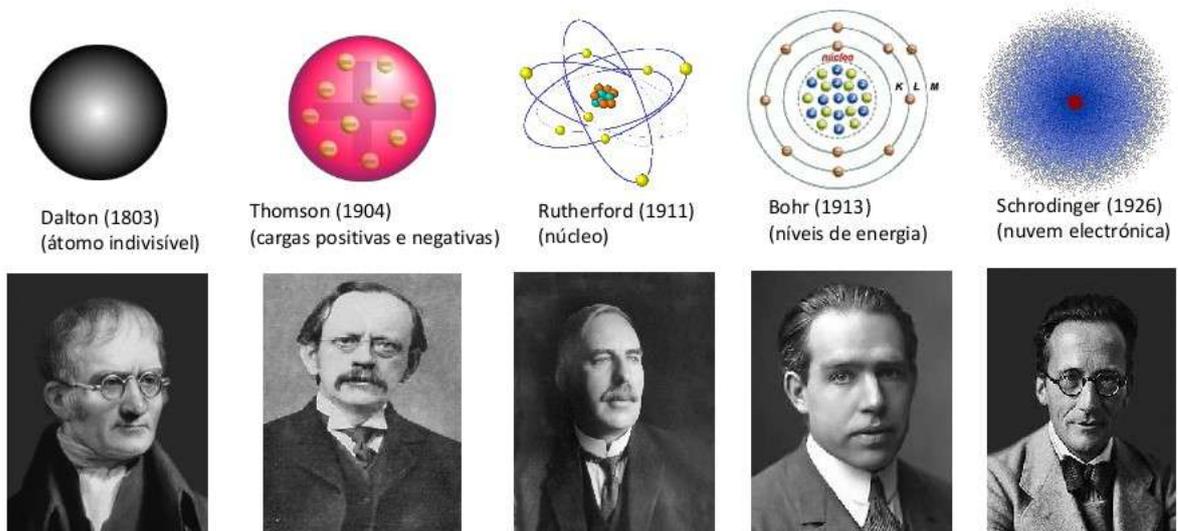
Atualmente sabemos que toda matéria é composta por átomos e, de acordo com o modelo atômico vigente, os átomos são constituídos por um núcleo onde se localiza toda massa e encontram-se as partículas elementares denominadas prótons e nêutrons. Na região entorno ao núcleo chamado de eletrosfera são encontrados os elétrons. Na Figura 2, apresentamos um resumo dos modelos atômicos desenvolvidos ao longo da história.

---

<sup>5</sup> OS ÁTOMOS TAMBÉM SÃO CONSTITUÍDOS PELOS NÊUTRONS, PORÉM ELES NÃO POSSUEM CARGA ELÉTRICA.

Figura 94 - Modelos atômicos desenvolvidos ao longo da história.

*Evolução do modelo atômico*



Fonte: Produzido pelo autor

Nos materiais ditos isolantes, as cargas elétricas não se movem facilmente, ao contrário do que ocorre nos materiais condutores, em que as cargas elétricas têm uma grande mobilidade. Devido a este tipo de comportamento é fácil transferir cargas para corpos isolantes através do processo conhecido como eletrização por atrito ou tribo eletrização, mas é difícil transferir cargas se o corpo for condutor, pois a carga transferida acaba por retornar ao corpo de onde saiu (MACHADO, 2000).

Os materiais condutores se caracterizam pelo fato de possuírem elétrons que são fracamente ligados a seus átomos e por essa razão são chamados de elétrons livres, se esse condutor não estiver submetido a uma DDP, podemos observar que esses elétrons estão em um movimento desordenado, de tal maneira que não existe um fluxo contínuo de elétrons em uma determinada direção, esses elétrons podem saltar de um átomo a outro sem seguir um fluxo determinado, se fecharmos o circuito iremos submeter o condutor a uma DDP, os elétrons tendem a se deslocar do menor para o maior potencial(Hallyday).

## A) QUANTIZAÇÃO DA CARGA ELÉTRICA

Cada pedaço de matéria é composto por átomos, que são formadas por partículas neutras, positivas e negativas, as partículas neutras são os nêutrons, as positivamente carregadas são prótons, e as partículas negativamente carregadas são elétrons, no Quadro 1 apresentamos algumas características destas partículas.

Quadro 11 – Algumas propriedades dos prótons, nêutrons e elétrons.

| Partícula | Massa (Kg)     | Quantidade de carga elétrica (C) |
|-----------|----------------|----------------------------------|
| Elétron   | $9,1.10^{-31}$ | $e^- = -1,6.10^{-19} \text{ C}$  |
| Próton    | $1,7.10^{-27}$ | $e^+ = +1,6.10^{-19} \text{ C}$  |
| Nêutron   | $1,7.10^{-27}$ | 0                                |

Fonte: Produzido pelo autor.

A quantidade de carga elétrica, de um próton ou um elétron, conhecidas como partículas elementares, determinada pelo físico Robert Andrews Millikan (1868 – 1953) é igual a  $1,6.10^{-19} \text{ C}$  (Quadro 1), sua unidade de medida no Sistema Internacional de Unidades (S.I.) é o Coulomb (C), em homenagem a Charles de Coulomb (1736 – 1806). Por definição, temos:

Um Coulomb (C) é a quantidade de carga elétrica que atravessa, em um segundo (s), a seção transversal de um condutor percorrido por uma corrente contínua de intensidade igual a um ampère (A).

Além do fato de que a carga elétrica dos prótons e dos elétrons possuir o mesmo valor, porém com sinais diferentes. Em uma primeira análise tais partículas são responsáveis pela explicação dos fenômenos de atração e a repulsão elétrica dos corpos.

## B) PROCESSOS DE ELETRIZAÇÃO

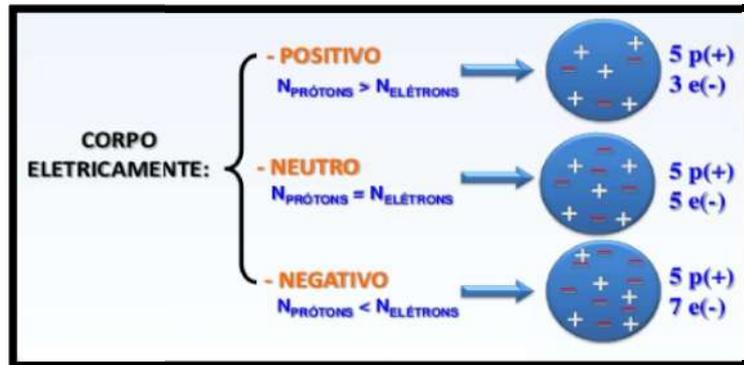
Experiências de importantes cientistas comprovam que durante o processo de eletrização por atrito o número de cargas elétricas cedidas por um corpo é igual ao recebidas pelo outro corpo, podendo enunciar o princípio da conservação da carga elétrica quando algo é eletrizado, como sendo:

$$\sum i_{antes} = \sum i_{depois}$$

A ideia básica do processo de eletrização é que um átomo em equilíbrio elétrico apresenta o mesmo número de elétrons e de prótons, ou seja, o somatório das cargas positivas e negativas é igual a zero. Caso dele seja removido um elétron, terá uma carga positiva (um próton) a mais em relação às negativas (os elétrons), neste caso dizemos então que o átomo está positivamente carregado ou eletrizado (Figura 3). Caso no átomo em equilíbrio elétrico seja adicionado um uma carga negativa (um elétron), então terá um uma carga negativa a mais em relação à positiva (um próton), neste caso dizemos que ele está negativamente carregado ou eletrizado (Figura 3). Assim temos:

- Se  $n_e = n_p$ , o corpo é eletricamente neutro
- Se  $n_e < n_p$ , o corpo é eletricamente positivo (cedeu elétrons)
- Se  $n_e > n_p$ , o corpo é eletricamente negativo (recebeu elétrons)

Figura 95 – Corpos eletrizados.



Fonte: Produzido pelo autor

É importante pontuar que a carga elétrica que pode ser adicionada ou retirada de um corpo é sempre o elétron, nenhum elétron é criado ou destruído, eles são transferidos de um material para o outro.

Um átomo carregado é chamado de íon. Um íon é positivo quando apresenta elétrons em falta em relação à quantidade de prótons. Um íon é negativo, quando a quantidade de elétrons sobrepõe à quantidade de prótons. Ademais, os elétrons não podem ser divididos em fragmentos, a carga elétrica sempre apresenta o múltiplo de um número inteiro ou feita de unidades elementares que chamamos de quanta, por isso dizemos que a carga elétrica de um corpo é quantizada.

Considerando,  $Q$  como a quantidade de carga elétrica de um corpo e  $n$  um número inteiro que determina a quantidade de elétrons que o corpo possui em excesso ou em falta, é possível escrever que, para obtermos a carga o valor da carga elétrica de um corpo, temos que multiplicar  $n$  pelo valor da carga de um elétron.

$$Q = n \cdot e \quad (\text{equação 1})$$

onde,  $n$  é o número de elétrons em falta ou excesso e “ $e$ ” é o valor da carga do elétron ( $1,6 \cdot 10^{-19}$  C).

Sabendo que os fenômenos estudados em Eletrostática, em geral, podem envolver cargas elétricas inferiores a 1C, utilizamos os submúltiplos do Coulomb (Quadro 2):

Quadro 12 – Submúltiplos do Coulomb.

| Submúltiplos | Símbolo | Valor (C)  |
|--------------|---------|------------|
| Milicoulomb  | mC      | $10^{-3}$  |
| Microcoulomb | $\mu$ C | $10^{-6}$  |
| Nanocoulomb  | nC      | $10^{-9}$  |
| Picocoulomb  | pC      | $10^{-12}$ |

Fonte: Produzido pelo autor.

### 3.2 CORRENTE ELÉTRICA

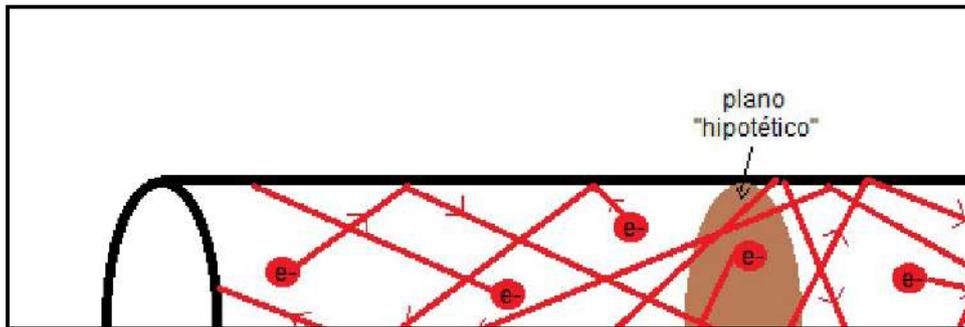
Consideremos agora as situações que envolvem cargas elétricas em movimento. O termo corrente elétrica, ou simplesmente corrente, é utilizado para descrever o fluxo de carga em alguma região do espaço. Existem diversos exemplos de corrente elétrica, tais como: as que constituem os relâmpagos, as nervosas, que regulam nossa atividade muscular, os presentes na fiação elétrica das casas, as que fluem através das lâmpadas elétricas (de bulbo) e nos aparelhos elétricos.

É importante ressaltarmos, que embora uma corrente elétrica seja um fluxo de cargas em movimento, nem todas as cargas em movimento constituem uma corrente elétrica. Quando dizemos que uma corrente elétrica passa através de uma determinada superfície, é porque deve existir um fluxo líquido de cargas através daquela superfície. Segue uma situação que nos auxiliam a entender esta situação (HALLIDAY, e cols., 1996).

(i) Os elétrons de condução no interior de um pedaço de fio de cobre isolado estão em movimento. Apesar da velocidade destes elétrons ser da ordem de  $10^6$  m/s, o movimento é caótico (Figura 4). Tal movimento faz com que se

passarmos um plano hipotético através do fio, os elétrons de condução passarão através dele em todos os sentidos, fazendo com que o transporte líquido de carga seja igual a zero, ou seja, não haverá corrente elétrica.

Figura 96 – Representação do movimento caótico dos elétrons de condução em um fio de cobre.



Fonte: Produzido pelo autor.

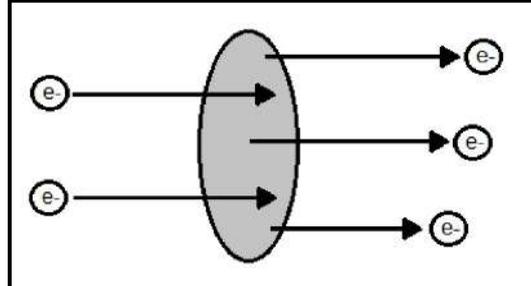
#### A) INTENSIDADE DA CORRENTE ELÉTRICA

Para definirmos matematicamente a corrente elétrica, suponhamos que as partículas carregadas estão se deslocando perpendicularmente em relação a uma superfície de área  $A$ , que representa a seção transversal de um fio condutor, tudo conforme Figura 5. A corrente elétrica é definida como **a taxa a que a carga elétrica flui através dessa superfície.**

$$I_{m\acute{e}dia} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \text{(equação 02)}$$

onde,  $\Delta Q$  é a quantidade de carga que atravessa a área  $A$  no intervalo de tempo  $\Delta t$ , e  $I_{m\acute{e}dia}$  é a corrente elétrica média no mesmo intervalo de tempo.

Figura 97- Cargas em movimento através de uma área A de um fio condutor.



Fonte: Produzida pelo autor.

É importante frisar, que neste trabalho iremos nos limitar ao estudo das correntes constantes de elétrons de condução que se movem dentro de um condutor e que todas as nossas análises serão feitas dentro da estrutura da física clássica. Apesar disso, é importante pontuar que se a taxa a que a carga elétrica flui com o tempo seja variável, definimos a corrente elétrica instantânea, como sendo:

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt} \text{(equação 03)}$$

onde  $Q = Q(t)$  é a carga líquida transportada em um tempo  $t$ . A unidade de Corrente elétrica no S.I. é o Ampère (A):

$$1A = 1C/s,$$

Isto significa que 1A de corrente elétrica é equivalente a 1C de carga elétrica atravessando uma superfície no intervalo de 1 s.

Um fato que não podemos esquecer é que além da corrente eletrônica, podem existir correntes de outras naturezas, tais como a corrente iônica, que é constituída pelo deslocamento de íons positivos e negativos que se movem ao mesmo tempo em sentido opostos. Tal situação pode ser vista em soluções aquosas de sais, ácidos e bases. Neste caso, a intensidade da corrente elétrica é dada pela soma absoluta das duas contribuições (positiva e negativa).

## B) O SENTIDO CONVENCIONAL DA CORRENTE ELÉTRICA

Como visto, as partículas que fluem através da superfície A, podem ser estar carregadas positivamente ou negativamente, ou podemos ter até os dois tipos. Convencionalmente, definimos a direção da corrente elétrica como a direção do fluxo de carga positiva, independente do sinal das partículas de estão de fato em movimento (SERWAY, JEWETT, 2004).

Nos condutores metálicos, a corrente elétrica é formada pelo fluxo de elétrons livres que se deslocam do menor para o maior potencial, mas o sentido desta corrente é oposto a direção do movimento destes elétrons.

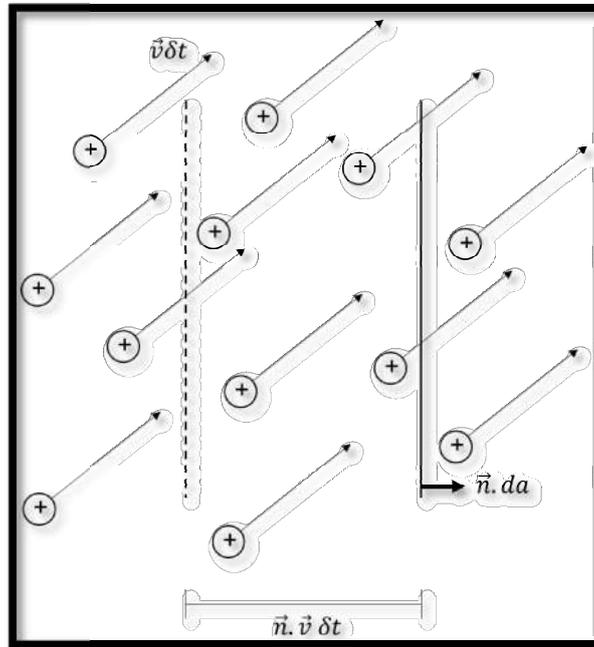
## C) DENSIDADE DE CORRENTE E EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE

Nesta seção iremos considerar um meio condutor que possui somente um tipo de portador de carga  $q$ . O número destes portadores por unidade de volume representaremos por “N” e ignorando o movimento aleatório destes portadores iremos associar a cada um a mesma velocidade de deslocamento “v” a cada portador. Para calcularmos a corrente elétrica através de um elemento de área “da” (Figura 6), consideramos que durante um intervalo de tempo  $\delta t$  cada portador de carga elétrica percorre uma distância “v. $\delta t$ ” e a carga elétrica  $\delta Q$  que atravessa “da” durante o tempo “ $\delta t$ ” é q vezes a soma de todos os portadores de carga no volume  $\vec{v} \cdot \vec{n} \delta t da$ , onde  $\vec{n}$  é um vetor unitário normal a área “da” (REITZ, MILFORD E CHRISTY, 1982).

---

6 APESAR DE ESTARMOS TRATANDO DA DIREÇÃO DA CORRENTE ELÉTRICA, ESTA NÃO É UMA GRANDEZA VETORIAL.

Figura 98 - Deslocamento dos portadores de cargas elétricas através do plano “da” no tempo  $\delta t$ .



Fonte: Produzido pelo autor.

Utilizando a equação 3, temos:

$$dI = \frac{\delta Q}{\delta t} = \frac{qN\vec{v}\cdot\vec{n}\delta t da}{\delta t} = N\vec{v}\cdot\vec{n} da \quad (\text{equação 04})$$

Se considerarmos a presença de mais de um tipo de portador de carga, haverá uma contribuição e a corrente elétrica através da área “da” é dada por:

$$dI = [\sum_i N_i \cdot q_i \cdot \vec{v}_i] \cdot \vec{n} da \quad (\text{equação 05})$$

A soma incide sobre os diferentes tipos de portadores de carga e a quantidade entre colchetes é um vetor que tem dimensões de corrente elétrica por unidade de área, esta quantidade é chamada de densidade de corrente elétrica e é representada pelo símbolo  $\vec{J}$ .

$$\vec{J} = \sum_i N_i \cdot q_i \cdot \vec{v}_i (\text{equação 06})$$

A densidade de corrente por ser definida em cada ponto de um meio condutor e é, por esta razão, uma função vetorial pontual (REITZ, MILFORD E CHRISTY, 1982). A unidade da densidade de corrente elétrica no S.I. é o Ampère por metro quadrado ( $A/m^2$ ).

Utilizando a equação 6, podemos reescrever a equação 5 da seguinte forma:

$$dI = \vec{j} \cdot \vec{n} da$$

e a corrente elétrica através da superfície S, uma superfície de forma arbitrária e de dimensões macroscópicas, é dada pela integral:

$$I = \int_S \vec{j} \cdot \vec{n} da \text{ (equação 07)}$$

A densidade de corrente elétrica  $\vec{j}$  e a densidade de carga elétrica  $\rho$  não são quantidades independentes, mas estão relacionadas, em cada ponto, por uma equação diferencial chamada de equação da continuidade. Esta relação tem sua origem no fato de a carga elétrica não poder ser criada, nem destruída (REITZ, MILFORD E CHRISTY, 1982). Por uma questão de facilidade podemos deduzir a equação da continuidade aplicando a equação 7 e uma superfície fechada S. A corrente elétrica que penetra em V, que é o volume delimitado por S, é dada por:

$$I = - \oint_S \vec{j} \cdot \vec{n} da = - \int_V \vec{\nabla} \cdot \vec{j} dv \text{ (equação 08)}$$

O sinal de negativo na equação ocorre porque  $\vec{n}$  é a normal para fora e desejamos considerar I positivo quando o fluxo líquido de carga é do exterior de V para o seu interior. Da equação 3, temos que a taxa que a carga elétrica é transportada para dentro de V, é:

$$I = \frac{dQ}{dt} = \frac{d}{dt} \int_V \rho dv$$

como estamos trabalhando em um volume fixo  $v$ , a derivada em relação ao tempo atua somente sobre a função  $\rho$ , que é uma função tanto da posição quanto do tempo, de forma que a derivada temporal se torne a derivada parcial em relação ao tempo quando colocada dentro da integral, logo:

$$I = \int_V \frac{\delta\rho}{\delta t} dv \text{ (equação 09)}$$

combinando as equações 8 e 9, temos:

$$I = \int_V \left( \frac{\delta\rho}{\delta t} + \vec{\nabla} \cdot \vec{J} \right) dv = 0 \text{ (equação 10)}$$

A única forma da equação 10 ser válida para um segmento de volume arbitrário do meio consiste na anulação do integrando em cada ponto, logo a equação da continuidade será:

$$\frac{\delta\rho}{\delta t} + \vec{\nabla} \cdot \vec{J} = 0 \text{ (equação 11)}$$

### 3.2.1 lei de ohm e condutividade

Podemos verificar de forma experimental que a densidade de corrente elétrica  $\vec{J}$  em um metal, à temperatura constante, é linearmente proporcional ao campo elétrico (Lei de Ohm), assim:

$$\vec{J} = g \cdot \vec{E} \quad \text{(equação 12)}$$

A constante de proporcionalidade  $g$  é denominada condutividade. Os materiais para os quais esta equação é válida são chamados meios lineares ou ôhmicos. Para casos mais gerais devemos substituir “ $g$ ” por “ $g(\vec{E})$ ”. O recíproco da condutividade é a resistividade “ $\eta$ ” ou “ $\rho$ ”, para o caso linear temos:

$$\eta = \frac{1}{g} \text{(equação 13)}$$

a unidade de  $\eta$  no S.I. é o volt-metro por Ampère, ou ohm-metro, onde o ohm ( $\Omega$ ) é definido por

$$1 \text{ ohm} = \frac{1 \text{ volt}}{1 \text{ Ampère}}$$

Consideremos, a partir de agora, uma amostra condutora que obedece a Lei de Ohm, na forma de um fio reto uniforme cujas extremidades são mantidas a uma diferença de potencial constante  $\Delta V$ . Além disso, supomos também que tal fio seja homogêneo e caracterizado pela constante de condutividade “g”. Nestas condições, existirá um campo elétrico no fio, relacionado com  $\Delta V$  através da seguinte relação:

$$\Delta V = \int \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad \text{(equação 14)}$$

Sabemos que não pode haver componente em estado estacionário do campo elétrico, perpendicular ao eixo do fio já que, pela equação 12, isto produziria uma carga contínua da superfície do fio. Dessa forma, o campo elétrico é puramente longitudinal. Além disso, por causa da geometria, o campo elétrico deve ser o mesmo em todos os pontos ao longo do fio (REITZ, MILFORD E CHRISTY, 1982) e conseqüentemente a equação 14, pode ser escrita da seguinte forma:

$$\Delta V = E \cdot l \quad \text{(equação 15)}$$

onde  $l$  é o comprimento do fio. Entretanto, um campo elétrico implica em uma corrente de densidade ( $\vec{J} = g\vec{E}$ ) e a corrente elétrica através de qualquer seção reta do fio é dada por:

$$I = \int_A \vec{J} \cdot \hat{n} da = J \cdot A \quad \text{(equação 16)}$$

Substituindo as equações 12, 15 e 16, temos:

$$I = \frac{g \cdot A}{L} \Delta V \quad (\text{equação 17})$$

A quantidade  $\frac{g \cdot A}{L}$  é chamada de resistência elétrica do fio; a resistência será representada pelo símbolo “R”, desta forma podemos reescrever a equação no seguinte formato:

$$\Delta V = R \cdot I \quad (\text{equação 18})$$

A equação 18 é conhecida como Lei de Ohm. O trabalho realizado pelo campo elétrico quando uma carga  $dQ$  se move através da diferença de potencial elétrico  $\Delta V$  é dado por:

$$dW = dQ \cdot \Delta V$$

a potência correspondente é:

$$P = I \cdot \Delta V = I^2 \cdot R = \frac{(\Delta V)^2}{R}$$

### 3.2 ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES

Um resistor é um elemento simples do circuito que fornece uma resistência especificada em um circuito elétrico. A forma de se representar um resistor em um diagrama de circuito é uma linha em ziguezague (Figura 7).

Figura 99 – Representação de um resistor em um circuito elétrico



Fonte: Produzido pelo autor.

Em suas atividades experimentais Ohm também observa que a resistência elétrica depende do material que a constitui, do comprimento, da área da seção transversal e da temperatura. Em casos em que a temperatura é mantida constante Ohm verifica que a resistência elétrica é diretamente proporcional ao comprimento e inversamente proporcional à área da seção transversal, estes resultados podem ser expressos pela 2ª Lei de Ohm

Em diversas situações do nosso cotidiano é necessária uma resistência elétrica maior ou menor do que os valores fornecidos por um único resistor. Em outras situações um resistor pode não suportar a intensidade da corrente elétrica fornecida pelo gerador do circuito. Para resolver estas e outras situações utilizamos vários resistores associados entre si. Basicamente, existe a associação de resistores em série ou em paralelo. Também existem casos que é necessário ou indicado fazer uma combinação destes dois tipos de associação, que chamamos de associação mista de resistores.

#### A) ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES EM SÉRIE

Quando dois ou mais resistores estão conectados de extremidade a extremidade, conforme mostramos na Figura 8, dizemos que eles estão em série. É importante observarmos que a corrente elétrica que atravessa cada um dos resistores é a mesma, por outro lado, temos que a diferença de potencial existente entre as extremidades da bateria é igual a soma das diferenças de potencial em cada um dos resistores, logo:

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n \text{ (equação 19)}$$

substituindo a Equação 18 em cada termo da Equação 19, temos:

$$R_{eq} \cdot i = R_1 \cdot i + R_2 \cdot i + \dots + R_n \cdot i$$

onde,  $R_{eq}$  é a resistência elétrica equivalente e tem o mesmo efeito sobre o circuito do que todas as resistências ligadas em série.

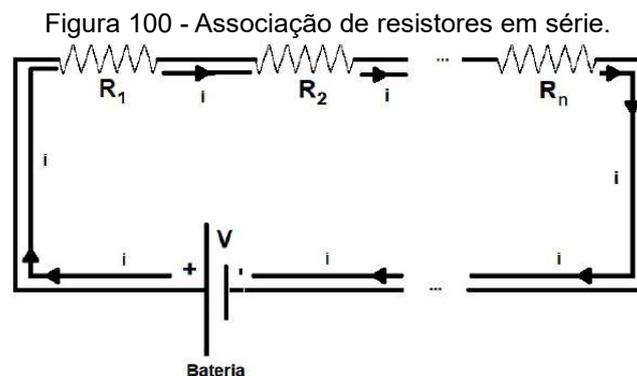
$$R_{eq} \cdot i = (R_1 + R_2 + \dots + R_n) \cdot i$$

$$R_{eq} = (R_1 + R_2 + \dots + R_n)$$

consequentemente a resistência equivalente de dois ou mais resistores elétricos conectados em série é dada por:

$$R_{eq} = \sum_1^n R_n \text{ (equação 20)}$$

A resistência elétrica equivalente de uma associação de resistores em série é a soma algébrica das resistências individuais e é sempre maior do que qualquer resistência individual.

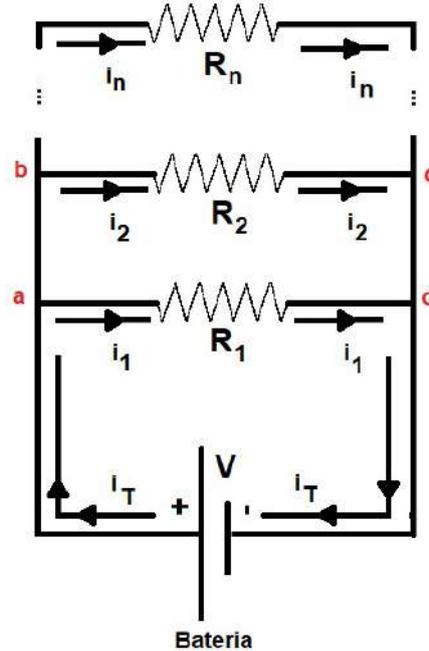


Fonte: Produzido pelo autor.

## B) ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES EM PARALELO

Quando os resistores estão conectados de tal forma, que as diferenças de potenciais em cada é igual a diferença de potencial da bateria, dizemos que estes resistores estão ligados em paralelo (Figura 9).

Figura 101 – Associação de resistores em paralelo



Fonte: Produzido pelo autor

Quando as cargas elétricas atingem os pontos “a” e “b” (chamado nó) no diagrama de circuito exibido na Figura 9, corrente elétrica se divide em duas partes (em cada nó). Como a carga elétrica total deve ser conservada, podemos relacionar todas as correntes elétricas da seguinte forma:

$$i_T = i_1 + i_2 + \dots + i_n \text{ (equação 21)}$$

substituindo a Equação 18 em cada termo da Equação 21, temos:

$$\frac{V}{R_{eq}} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \dots + \frac{V}{R_n}$$

onde,  $R_{eq}$  é a resistência elétrica equivalente e tem o mesmo efeito sobre o circuito do que todas as resistências ligadas em paralelo.

$$\frac{V}{R_{eq}} = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \right) \cdot V$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \right)$$

consequentemente a resistência equivalente de dois ou mais resistores elétricos conectados em paralelo é dada por:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_1^n \frac{1}{R_n} \quad (\text{equação 22})$$

Em um circuito complexo onde exista muitas resistências elétricas pode ser frequentemente reduzido a um circuito simples. Para fazermos isso, temos que examinar o circuito inicial e substituir todos os resistores em série ou em paralelo pelas resistências equivalente usando as Equações 13 e 15. Na sequência redesenhamos os circuitos, e novamente iremos substituir todas as “novas” associações em série e paralelo pelas resistências equivalente, desta forma iremos repetindo este processo até obtermos uma única resistência equivalente ou chegarmos em um ponto de interesse.

Em nosso cotidiano, os circuitos elétricos estão sempre ligados em paralelo de modo que os diversos aparelhos que temos em nossas casas estejam ligados em paralelo. Desta maneira, todo aparelho funciona de forma independente dos outros, de forma que, se um aparelho for desligado, todos os outros permanecem funcionando.

## 4. ATIVIDADES

### 4.1 ATIVIDADE DIAGNÓSTICA

A aplicação destas atividades é opcional e fica como uma sugestão para o professor que deseja confirmar as concepções espontâneas dos seus alunos a respeito do tema estudado. Esta atividade foi dividida em dois momentos. No primeiro pedimos aos alunos que ficassem de pé no fundo da sala de aula, e dividimos os espaços restantes em quatro quadrantes. Sendo que cada quadrante representava uma das alternativas de resposta, da seguinte:

Qual das sentenças abaixo está fisicamente correta?

- V- A corrente elétrica é uma grandeza escalar, definida como a razão entre a variação da quantidade da carga elétrica que flui em um meio em um intervalo de tempo.
- VI- A corrente elétrica convencional descreve o fluxo de cargas elétricas positivas.
- VII- Os elétrons fluem no interior dos metais com a velocidade da luz.
- VIII- O campo elétrico é o responsável por fazer as cargas elétricas se movimentarem em um circuito elétrico.

Após o comando do professor, os alunos irão se deslocar para o quadrante na qual eles consideram representar a resposta correta. Na sequência pede a eles para fazer algumas explicações a respeito do motivo pelo qual eles escolheram

aquela sentença, na sequência aplica o seguinte questionário e peça aos alunos para responder em uma folha separada e entregar.:

- a) Como que duas pilhas conseguem acender a lâmpada de uma lanterna?
- b) “Desenhe o modelo de átomo da forma que você imagina e indique os principais elementos que o constituem.”
- c) Desenhe em uma folha e explique demonstrando como a corrente elétrica percorre ao longo do fio, sob o ponto de vista atômico.

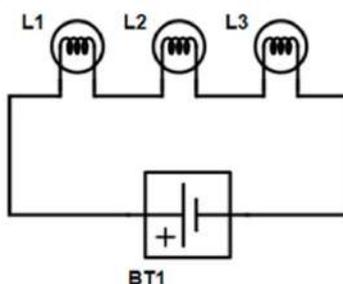
No segundo momento aplica um teste diagnóstico composto de 12 (doze) questões objetivas. O teste diagnóstico “teste SMA”, utilizado por Silveira, Moreira e Atx no ano de 1988 (SILVEIRA, MOREIRA & ATX, 1989). É importante observar que o teste original possui 14 questões, porém nos utilizamos 12.

Em todas as questões deste teste, admite-se que as lâmpadas representadas sejam iguais. Os brilhos das lâmpadas crescem quando a intensidade da corrente aumenta. A bateria representada tem resistência elétrica desprezível.

1) No circuito da Figura 1, pode-se afirmar que:

- a) L 1 brilha mais do que L 2, e está mais do que L 3.
- b) L 3 brilha mais do que L 2, e está mais do que L 1.
- c) As três lâmpadas têm o mesmo brilho.

Figura 1 – Questão 1 do pré-teste.

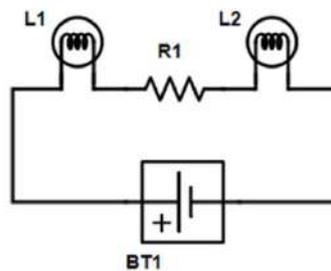


Fonte: Silveira, Moreira e Axt, 1989.

**2)** No circuito da Figura 2, R é um resistor. Nesse circuito:

- a) L 1 e L 2 têm o mesmo brilho.
- b) L 1 brilha mais do que L 2.
- c) L 2 brilha mais do que L 1.

Figura 2 - Questão 2 do pré-teste.

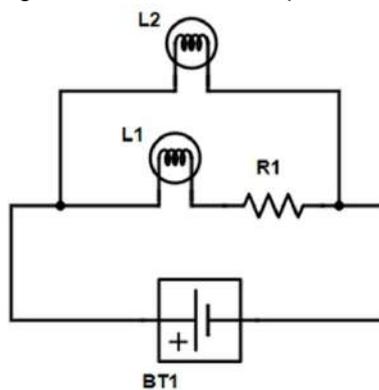


Fonte: SILVEIRA, MOREIRA E AXT, 1989.

**3)** No circuito da Figura 3, R é um resistor. Nesse circuito:

- a) L 1 tem o mesmo brilho que L 2.
- b) L2 brilha mais do que L 1.
- c) L 1 brilha mais do que L 2.

Figura 3 - Questão 3 do pré-teste.



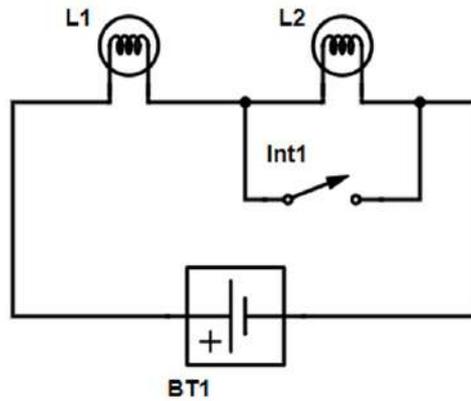
Fonte: SILVEIRA, MOREIRA E AXT, 1989.

**4)** 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.

Figura 4 - Questão 4 do pré-teste.

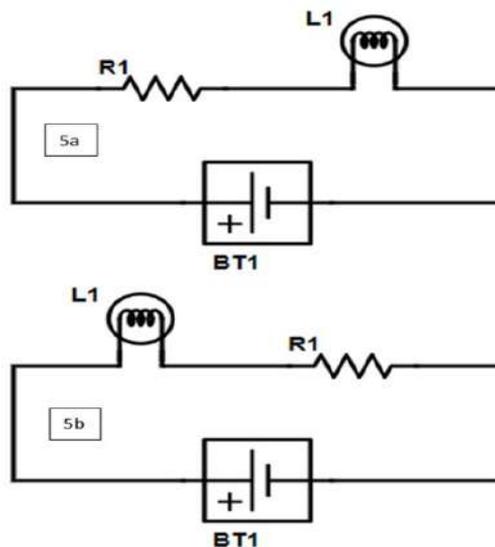


Fonte: SILVEIRA, MOREIRA E AXT, 1989.

5) Nos circuitos das Figuras 5 a e b, a lâmpada L, o resistor R e a bateria são exatamente os mesmos. Nessas condições:

- a) L brilha mais no circuito da figura 5a.
- b) L brilha igual em ambos os circuitos.
- c) L brilha mais no circuito da figura 5b.

Figura 5 - Questão 5 do pré-teste.



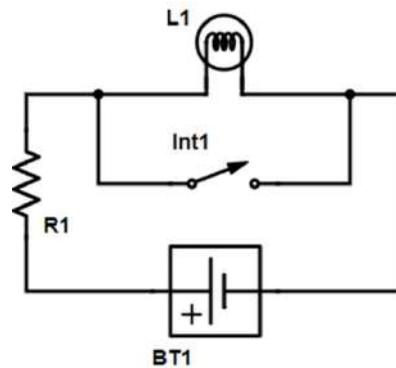
Fonte: SILVEIRA, MOREIRA E AXT, 1989.

6) No circuito da Figura 6, R é um resistor e Int é um interruptor que está aberto.

Ao fechá-lo:

- a) L continua brilhando como antes.
- b) L deixa de brilhar.
- c) L diminui seu brilho, mas não apaga.

Figura 6 - Questão 6 do pré-teste.

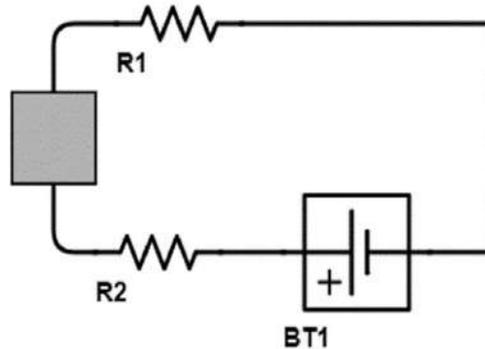


Fonte: SILVEIRA, MOREIRA E AXT, 1989.

7) No circuito da Figura 7, R1 e R2 são dois resistores e a caixa preta que nele aparece pode conter resistores, baterias ou combinações de ambos. Para que a corrente em R1 fosse igual à corrente em R2, a caixa preta poderia conter em seu interior somente:

- a) Resistores conectados de qualquer modo.
- b) Uma bateria.
- c) Qualquer tipo de combinação de resistores e baterias.

Figura 7 - Questão 7 do pré-teste.

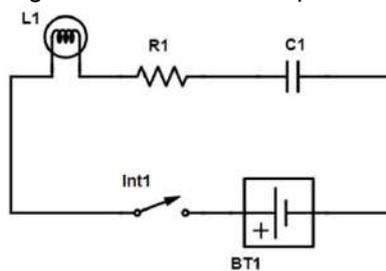


Fonte: SILVEIRA, MOREIRA E AXT, 1989.

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

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

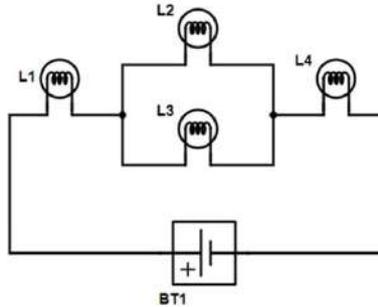
Figura 8 - Questão 8 do pré-teste.



Fonte: SILVEIRA, MOREIRA E AXT, 1989.

As questões 9 e 10 referem-se ao circuito de figura 9.

Figura 9 - Questões 9 e 10 do pré-teste.



Fonte: SILVEIRA, MOREIRA E AXT, 1989.

**9)** No circuito da figura 9, o brilho de L1 é:

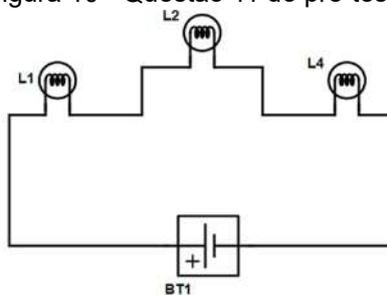
- a) Igual ao de L4.
- b) Maior do que o de L4.
- c) Menor do que o de L4.

**10)** No circuito da figura 9, o brilho de L2 é:

- a) Igual ao de L4.
- b) Maior do que o de L4.
- c) Menor do que o de L4.

O circuito da Figura 9 foi modificado, pois se retirou a lâmpada L3. O novo circuito é, então, o da Figura 10.

Figura 10 - Questão 11 do pré-teste.



Fonte: SILVEIRA, MOREIRA E AXT, 1989.

**11)** Quando se compara o brilho de L1 nos circuitos 9 e 10, ele é:

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

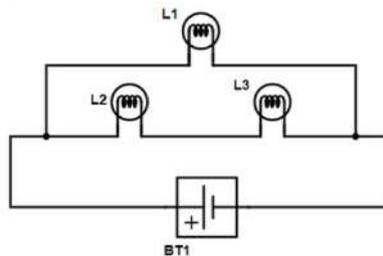
**12)** Quando se compara o brilho de L4 nos circuitos 9 e 10, ele é:

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

**13)** No circuito da Figura 11:

- a) L1 brilha mais do que L2 e do que L3.
- b) L1 e L2 têm o mesmo brilho, que é maior do que o de L3.
- c) L1, L2 e L3 brilham igualmente.

Figura 11 - Questão 13 do pré-teste.



Fonte: SILVEIRA, MOREIRA E AXT, 1989.

## 4.2 ATIVIDADE 2

Nesta atividade prioriza a utilização do livro didático adotado pela escola. Inicialmente faça uma breve contextualização histórica a respeito da “descoberta” da eletricidade. Após este momento inicial, utiliza o material

didático disponibilizados para os alunos, mais precisamente o capítulo 4 do livro texto (GUALTER, NEWTON, HELOU, 2016).

No livro texto o conteúdo relativo à corrente elétrica está distribuído das páginas 91 a 113 (Figura 10). Neste primeiro momento peça aos alunos que façam uma breve leitura do texto e que à medida que forem avançando na leitura que anotem as informações destacadas nas caixas amarelas, pois nestas caixas estão presentes os resumos a respeito dos conceitos da corrente elétrica. Na sequência faça uma breve discussão a respeito do texto.

Figura 102 – Capa e sumário do livro didático utilizado pelos alunos.

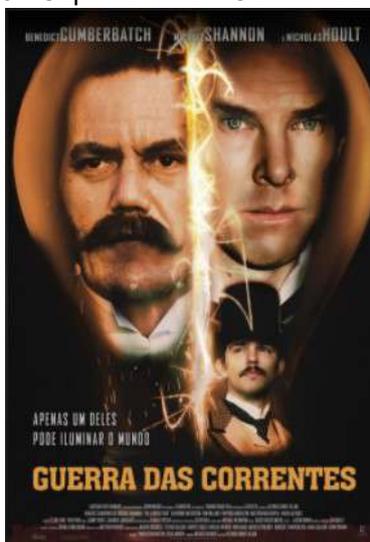


|   |  |  |
|---|--|--|
| <b>CAPÍTULO 4</b><br><b>CORRENTE ELÉTRICA E RESISTORES</b>                                    | <i>Em busca de explicações</i><br>Acendendo e apagando uma lâmpada.....108 | <b>4</b> Receptores elétricos .....142   |
| <b>1</b> Introdução .....92   | <b>18</b> Resistores .....109  | <i>Faça você mesmo</i>   |
| <b>2</b> Corrente elétrica .....93  | <b>19</b> Segunda Lei de Ohm .....110                                      | Teste com um motor .....145  |
| <b>3</b> Causa da corrente elétrica .....93   | <b>CAPÍTULO 5</b><br><b>ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES E MEDIDAS ELÉTRICAS</b>   | <b>5</b> Associação de geradores .....145  |
| <b>4</b> Gerador elétrico .....94   | <b>1</b> Associação de resistores .....114                                 | <b>6</b> Circuitos elétricos de “caminho” único, incluindo geradores, receptores e resistores .....147 |
| <b>5</b> Intensidade de corrente elétrica e seu sentido convencional .....95                  | <b>2</b> Reostatos .....116  | <b>CAPÍTULO 7</b><br><b>CAPACITORES</b>  |
| <b>6</b> Circuito elétrico .....97  | <b>3</b> Curto-circuito .....117   | <b>1</b> Introdução .....151   |
| <b>7</b> Gráfico $i \times t$ .....97   | <i>Faça você mesmo</i>   | <b>2</b> Definição .....151  |
| <b>8</b> Classificação das correntes elétricas quanto à forma do gráfico $i \times t$ .....97 | Associação de lâmpadas em série e em curto-circuito .....118               | <b>3</b> O processo de carga de um capacitor .....152  |
| <b>9</b> Continuidade da corrente elétrica .....99  | <b>4</b> Medidas elétricas .....123  | <b>4</b> Capacitância .....153   |
| <b>10</b> Efeito joule .....99  | <i>Faça você mesmo</i>   | <b>5</b> Energia potencial eletrostática de um capacitor .....153                                      |
| <b>11</b> Potência elétrica .....99   | Montando uma ponte de Wheatstone .....127                                  | <b>6</b> Estudo do capacitor plano .....154  |
| <b>12</b> O quilowatt-hora (kWh) .....100   | <b>CAPÍTULO 6</b><br><b>CIRCUITOS ELÉTRICOS</b>                            | <i>Ampliando o olhar</i>   |
| <b>13</b> Valores nominais .....101   | <b>1</b> Geradores de energia elétrica .....130                            | Outros tipos de capacitores .....155   |
| <b>14</b> Fusível e disjuntor .....101  | <i>Faça você mesmo</i>   | <b>7</b> Influência do dielétrico na capacitância .....156   |
| <b>15</b> Primeira Lei de Ohm .....104  | Estudando lâmpadas associadas em paralelo .....132                         | <b>8</b> Rigidez dielétrica e tensão de ruptura .....157   |
| <i>Ampliando o olhar</i>  | <b>2</b> Circuito simples .....135   | <i>Ampliando o olhar</i>   |
| Efeitos fisiológicos da corrente elétrica .....106  | <b>3</b> Máxima transferência de potência .....136                         | Algumas aplicações dos capacitores .....157  |
| <b>16</b> Condutor ideal .....107   |  |  |
| <b>17</b> Interruptores .....107  |  |  |

### 4.3 – ATIVIDADE 3 - FILME “A GUERRA DAS CORRENTES”

A terceira atividade é assistir ao filme: “A Guerra das Correntes” (Figura 11), que relata uma disputa entre George Westinghouse em parceria com Nikola Tesla contra Thomas Edison, que acontece no final do século XIX, na corrida sobre o desenvolvimento e distribuição da eletricidade, Edison pela utilização da corrente contínua e Westinghouse e Tesla pela corrente alternada.

Figura 103 - Capa do filme: "Guerra das correntes"



Fonte: Produzido pelo autor

O filme mostra que a corrente elétrica contínua desenvolvida e defendida pelo inventor Thomas Edison funciona muito bem com lâmpadas incandescentes, pode ser armazenada em baterias e promove reserva de energia quando existir a falha nos geradores de corrente contínua, sendo que estes podem ser associados em paralelos permitindo uma economia no consumo diário de energia. Edison também inventa um medidor para permitir a cobrança da energia elétrica de forma proporcional ao consumo, mas o medidor só funciona com a corrente contínua.

Do outro lado da “guerra” está George Westinghouse um engenheiro, empresário e pioneiro nas indústrias da distribuição de corrente elétrica

alternada, que em parceria com Nikola Tesla, cria um sistema para geração de energia, proveniente de corrente alternada e revoluciona o mercado da eletricidade para o mundo moderno.

#### **4.4 – ATIVIDADE 4 – APARATO EXPERIMENTAL “*SPIRAL MARBLE MACHINE*”**

O *Spiral Marble Machine* (APÊNDICE A) é um brinquedo normalmente, usado para realizar uma corrida de bolinhas de gude e pode ser confeccionado com a utilização de materiais de baixo custo, como por exemplo: papelão e cola. Para utilizarmos o “brinquedo” como ferramenta auxiliar na introdução do conceito de corrente elétrica, associamos as espiras com as camadas covalentes de um átomo, o movimento de giro com a diferença de potencial e as bolinhas de gude ao movimento dos elétrons (Figura 12).

Figura 104 - Montagem inicial do *Spiral Marble Machine*.



Fonte: Produzido pelo autor.

É importante ressaltar, que este aparato deve ser utilizado em diversos momentos da sequência didática, entretanto a cada nova utilização um novo componente deve ser acrescentado, de modo que novos conceitos sejam abordados, tais como: associações em série e paralelo, resistores e

capacitores. Ao final de toda a sequência, é possível utilizar o aparato para discutir o funcionamento completo de um circuito simples

Considerando todos as concepções espontâneas observadas anteriormente, partindo do modelo atômico de Rutherford, feito com bolinhas de isopor e com a utilização de um rolo de papel alumínio, dois pêndulos eletrostático, um com haste de plástico e um com haste de metal, um eletroscópio, um cano de PVC, uma gaiola (Figura 13) e os dois *Spiral Marble Machine* confeccionados pelos alunos, simula-se de forma mais “palpável” a movimentação dos elétrons em torno do núcleo atômico, descrevendo o salto quântico e o movimentando pela estrutura cristalina de um fio condutor de eletricidade.

Durante o desenvolvimento da aula, é possível perceber que os alunos que acreditavam que a corrente elétrica acontece devido ao movimento dos átomos, e gradualmente eles compreendem que na realidade a corrente elétrica está associada ao movimento dos elétrons no interior do condutor.

Figura 105 - Dispositivos utilizados durante a aula.



Fonte: Produzido pelo autor.

#### 4.5 ATIVIDADE 6

Após alguns momentos sem a utilização direta do livro texto, novamente propõe uma atividade que prioriza a utilização do livro didático adotado pela escola. Nesta aula trabalhe os conceitos referentes a associação de resistores e medidas elétricas, Lei de Ohm e potência elétrica. Tais conceitos podem ser trabalhados de uma forma dialógica a partir do livro didático (GUALTER, GUALTER, NEWTON, HELOU, 2016). A parte final da aula será dedicada a resolução de exercícios.

#### 4.6 ATIVIDADE 7 – O EXPERIMENTO “ACENDER A LÂMPADA”

Essa é uma atividade prática experimental (Figura 14) em grupo de 5 alunos, para dar início abrir aos estudos sobre a eletricidade. O principal objetivo, é demonstrar o porquê uma lâmpada acende.

Por parecer tão corriqueira a resposta, a percepção dos alunos adotadas a esse trabalho, será atribuído ao caminho da corrente elétrica no circuito fechado, qual é a relação entre as polaridades da pilha, do que é constituído uma pilha, como é o seu funcionamento, como os elétrons percorrem o fio condutor, por qual motivo o fio deve ser metálico, além de construir um modelo prático para explicar o processo.

Figura 106 - Experimento "acender a lâmpada".



Fonte: Produzido pelo autor.

É uma atividade muito rica de conhecimento e abordagens conceituais, podendo levantar discussões como: produção de energia, transformação de energia, condutores de cargas elétricas, estrutura cristalina, elétrons livres, átomo, corrente elétrica e os demais conceitos que abrange esse estudo.

Por se tratar de uma aula experimental, nesse momento inicial a proposta é estudar um problema específico que se tornará norteador dos nossos estudos, a passagem da corrente elétrica por um fio condutor de eletricidade.

### **Materiais:**

Para cada grupo de cinco alunos:

- 1 lâmpada de lanterna de baixa tensão (1,5 ou 3 V)
- 2 fios de cobre finos, desencapados nos terminais
- 2 pilhas AA (ou outra qualquer, de 1,5V)
- Duração desta atividade: 1 aulas

### **Conteúdos trabalhados:**

- Eletrodinâmica: introdução aos conceitos de corrente elétrica, elétrons livres, materiais condutores e isolantes, circuitos elétricos.

### **Objetivos específicos:**

- Acender a lâmpada usando os materiais requisitados.
- Explicar o fenômeno - "Como a lâmpada acende?"
- Procurar Introduzir o conceito de "elétrons" (ou portadores de carga elétrica) na representação da corrente elétrica.
- Perceber o circuito fechado (lâmpada faz parte)

Expectativas conceituais:

De fato, alguns alunos apresentam uma determinada dificuldade em montar esse circuito com o objetivo de acender a lâmpada, por desconhecerem o significado de um circuito, o erro mais frequente é ligar os fios de forma

incorreta, usando somente a base ou só a rosca, a ideia seria realmente fazer existir essa dificuldade na ligação, usar materiais mais simples e não usar um soquete ou suporte para as pilhas, para poder ser trabalhado melhor os conceitos com relação ao acender da lâmpada.

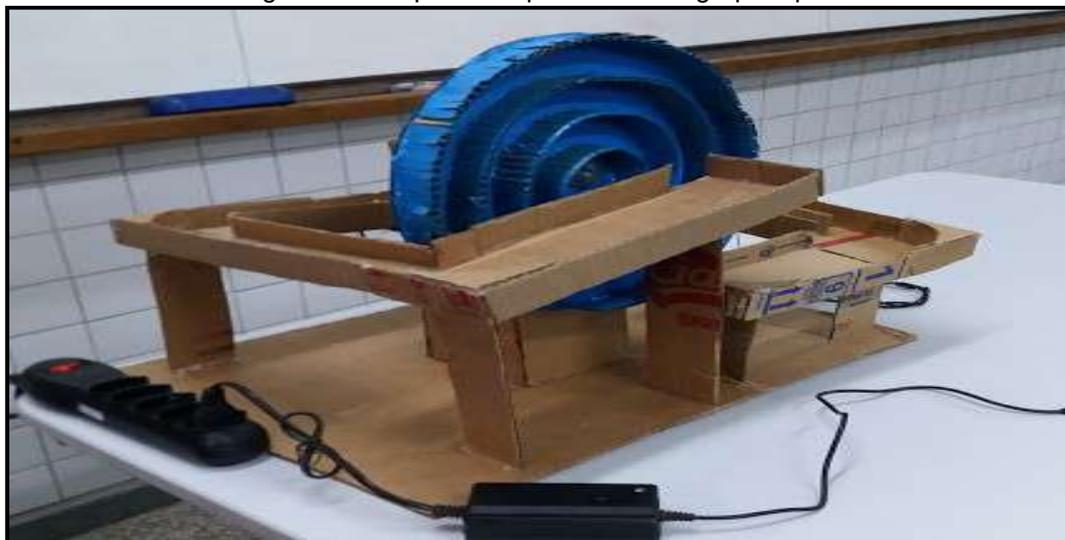
Apesar dos alunos conhecerem as palavras “corrente elétrica” e “carga elétrica”, raramente irão saber explicar de forma conceitual sobre esses termos, quanto falam sobre o assunto citam palavras como “energia” ou “eletricidade”. Em uma conversa aberta sobre como foi possível fazer a lâmpada acender, os relatos que alguns alunos confirmaram foram que a energia saia pelos dois polos da pilha, outros disseram que existia um tipo de eletricidade negativo e outro positivo que circula pelo circuito.

#### **4.7 ATIVIDADE 8 – “SPIRAL MARBLE MACHINE” MODIFICADO**

Ao final da aula anterior peça aos alunos que a partir dos conceitos estudados até aquele momento, utilizem o *Spiral Marble Machine* para simular o movimento dos elétrons no interior de um fio condutor, cada grupo poderá construir e fazer a alteração/ adaptação que achar pertinente no seu *Spiral Marble Machine*. Nos próximos parágrafos iremos fazer uma descrição do material apresentado pelos alunos, mas o professor que for utilizar o material pode propor outras formas de alterações.

Na Figura 15, o (grupo alpha) decide fazer um modelo usando a espira motorizada para simular o salto quântico e a diferença de potencial, ainda usando dois tipos canaletas, uma para representar uma associação em série e outra para uma associação em paralelo.

Figura 107 – Aparato experimental do grupo Alpha



Fonte: Produzida pelo autor.

Na Figura 16, o (grupo Física) abusa um pouco mais da criatividade e utiliza uma escada motorizada para representar a diferença de potencial criada por um gerador no circuito, insere um funil onde a esfera circula e cai descrevendo uma “resistência”, insere uma espira fixa onde destaca o salto quântico e uma bifurcação, onde usa um sensor de contato para quando a esfera passar pela canaleta de cima um conjunto de três leds brilha, e simula uma associação em paralelo, também usa um sensor de contato para quando a esfera passar pela canaleta de baixo um conjunto de seis leds brilha, representando uma associação em série,

É importante observar que com este tipo de montagem, é possível discutir e reforçar o fato de que a bolinha/elétron que acende o led, primeiramente é levada a uma determinada posição pela diferença de potencial, atravessa o fio que oferece resistência a esta passagem e que quando a bolinha/elétron passa pelo Led, ela já havia deixado o “gerador” há algum tempo. Este fato é importante para desconstruir a ideia de que o elétron possui uma velocidade de deriva dentro do condutor próxima à da luz.

Figura 108 – Aparato experimental do grupo Física.



Fonte: Produzida pelo autor.

Na figura 17, o (grupo Edison) não utiliza um modelo motorizado, mas utiliza garrafinhas descartáveis, que representa a diferença de potencial, no qual lança as esferas e demonstra os elétrons em movimentação no circuito. Em um determinado ponto da trajetória da bolinha os alunos colocam uma bifurcação que representa uma associação em paralelo.

Em cada caminho após a bifurcação os alunos colocam dois sensores de contato com leds para identificar quando as esferas transitam por uma associação em série e uma em paralelo. Com esta montagem os alunos podem visualizar que tanto em uma associação em série quanto em paralelo é bolinha que acende o Led e que em uma associação em paralelo o número de bolinhas que passa em cada ramo do circuito é uma “divisão” do número total de bolinhas. Também é possível observar que após associação em paralelo o número de bolinhas volta a ser o mesmo, ou seja, as bolinhas/os elétrons não se consomem pelos elementos do circuito.

Figura 109 – Aparato experimental do grupo Edison.



Fonte: Produzida pelo autor.

Na Figura 18, o (grupo elétron) usa bastante a criatividade em apresentar a movimentação dos elétrons pelo circuito, desenvolvem uma espira motorizada que será utilizada para representar a diferença de potencial e o salto quântico. As canaletas são fixadas em uma espécie de quadro. Da mesma forma que o grupo “Edison”, eles colocam sensores de contatos que detectam o trajeto em série e paralelo, sendo determinado por um tipo de interruptor móvel.

Figura 110 - Aparato experimental do grupo elétron.



Fonte: Produzida pelo autor.

#### **4.8 ATIVIDADE 9 – CAIXA DE LÂMPADAS**

Experimento prático demonstrativo para os alunos do 3º ano, essa prática é utilizada para entender o que acontece ao se montar uma associação de resistores em série, em paralelo e misto. Por se tratar de um experimento expositivo, a montagem do experimental é feita pelo professor, apenas para observação e esclarecimento para os alunos.

Para o desenvolvimento desta atividade utiliza-se um dispositivo conhecido como “caixa de Lâmpadas” para fazer uma análise quantitativa nas associações em série e paralelo.

Após as montagens da associação das lâmpadas, faça alguns comentários necessários para cada ligação, mostrando vantagens e desvantagens das ligações nessas associações.

Na ligação em série (Figura 19) as lâmpadas apresentam um brilho mais “fraco”, pelo fato haver uma divisão na tensão elétrica, porém sendo a mesma corrente para todas as lâmpadas, nessa associação quando ocorre um

problema com uma das lâmpadas, todas as outras se apagam por estarem conectadas em uma única ligação.

Figura 111 - Associação em série de lâmpadas.



Fonte: Produzida pelo autor.

Na associação de resistores em paralelo (Figura 20), as lâmpadas apresentam um brilho forte comparada à ao circuito em série, isso acontece porque não existe uma divisão na tensão elétrica sendo a mesma para todas as lâmpadas, mas sim existe uma divisão na corrente elétrica distribuída pelo circuito, quando ocorre um problema com uma das lâmpadas, todas as outras continuam acesas. Esse tipo de associação é usado para uma instalação elétrica residencial ou predial.

Figura 112 - Associação em paralelo de lâmpadas.



Fonte: Produzida pelo autor.

Na associação mista (Figura 21) existe uma ligação tanto em série, quanto em paralelo o que ocorre é que a lâmpada que está ligada em paralelo, apresenta uma luminosidade mais forte, enquanto as lâmpadas que estão associadas em série apresentam luminosidade mais fraca, tendo para cada associação um comportamento de acordo com a sua ligação no circuito, dada na explicação acima.

Figura 113 - Associação mista de lâmpadas.



Fonte: Produzida pelo autor.

### **Materiais necessários:**

- 3 interruptores
- 3 plugs machos de tomada
- 9 Bocais para lâmpada

- 9 Lâmpadas incandescentes
- 2m de fio flexível 2,5mm
- 1 Chave de fenda
- 1 Alicata de corte
- 3 caixas de sapato
- 1 fita isolante.
- Duração desta atividade: 1 aulas

#### **Conteúdos trabalhados:**

- Eletrodinâmica: introdução aos conceitos de corrente elétrica, elétrons livres, materiais condutores e isolantes, circuitos elétricos.

#### **Objetivos específicos:**

- Acender a lâmpada usando os materiais requisitados.
- Explicar o fenômeno - "Como a lâmpada acende?"
- Procurar Introduzir o conceito de "elétrons" (ou portadores de carga elétrica) na representação da corrente elétrica.
- Perceber o circuito fechado (lâmpada faz parte)

### **4.9 ATIVIDADE 10 – PÓS-TESTE**

Esta é a última etapa sugerida e assim como o pré-teste a atividade é opcional e fica como uma sugestão para o professor que deseja confirmar se ocorreu a aprendizagem significativa. O pós-teste é composto por 3 (três) questões discursivas e 9 (nove) questões objetivas. As questões que compõem o teste são similares as questões do teste diagnóstico, porém com um grau maior de dificuldade. Segue as questões do teste.

1\_ Do que depende o brilho de uma lâmpada?

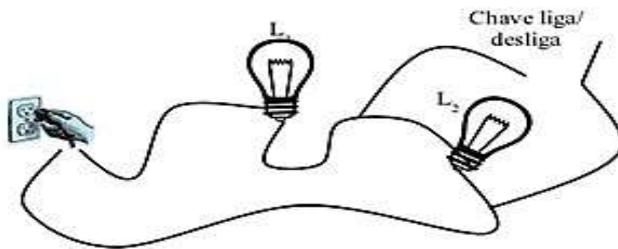
2\_ Caso exista um aumento da corrente elétrica, o que acontece com o brilho da lâmpada?

3\_ Por que uma lâmpada colocada em paralelo em um circuito brilha mais que uma em série?

4\_ Um electricista possui duas lâmpadas de (100W-110V). Se ele ligar as duas em série em uma tomada de 220V, o que irá acontecer?

- g) As lâmpadas irão queimar
- h) As lâmpadas irão brilhar normalmente
- i) As lâmpadas irão brilhar menos que o normal

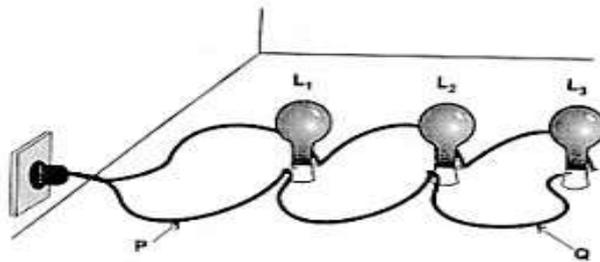
5\_ Abaixo está ilustrado um circuito formado por duas lâmpadas, fios de conexão, chave liga/desliga e tomada, a fonte de energia. Após ligar a chave, com as lâmpadas acesas, é correto afirmar que:



- d) L2 se apaga e L1 aumenta o seu brilho.
- e) L2 se apaga e L1 mantém o seu brilho.
- f) L2 não se apaga e L1 aumenta o seu brilho.

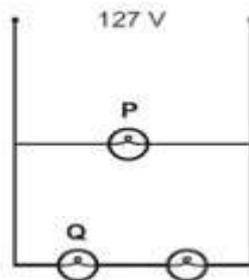
6\_ A figura ilustra a forma como três lâmpadas estão ligadas a uma tomada. A corrente elétrica no ponto P do fio é  $i_P$  e no ponto Q é  $i_Q$ .

Em um determinado instante, a lâmpada L2 se queima. Pode-se afirmar que:



- d) A corrente  $i_P$  se altera e  $i_Q$  não se altera.
- e) A corrente  $i_P$  não se altera e  $i_Q$  se altera.
- f) As duas correntes se alteram.

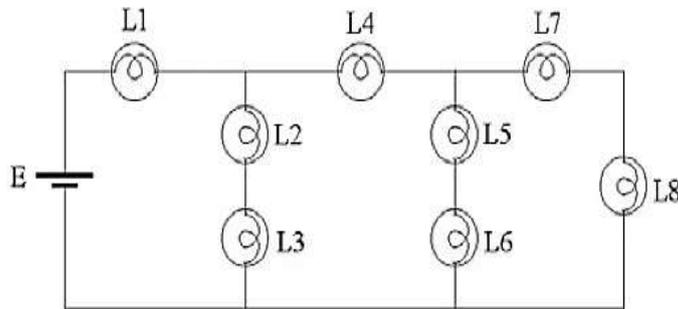
7\_ Aninha ligou três lâmpadas idênticas à rede elétrica de sua casa, como mostrado nesta figura:



Seja  $V_P$  a diferença de potencial e  $I_P$  a corrente na lâmpada P. Na lâmpada  $Q_1$  essas grandezas são, respectivamente,  $V_Q$  e  $I_Q$ . Considerando-se essas informações, é correto afirmar que:

- j)  $V_P < V_Q$  e  $I_P > I_Q$
- k)  $V_P > V_Q$  e  $I_P > I_Q$
- l)  $V_P < V_Q$  e  $I_P = I_Q$

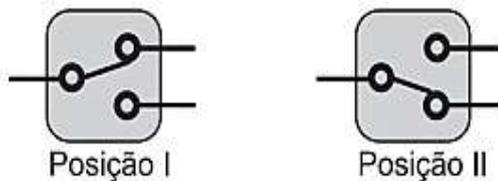
8\_ Considere a seguinte situação hipotética: ao preparar o palco para a apresentação de uma peça de teatro, o iluminador deveria colocar três atores sob luzes que tinham igual brilho e os demais, sob luzes de menor brilho. O iluminador determinou, então, aos técnicos, que instalassem no palco oito lâmpadas incandescentes com a mesma especificação (L1 a L8), interligadas em um circuito com uma bateria, conforme mostra a figura.



Nessa situação, quais são as três lâmpadas que acendem com o mesmo brilho por apresentarem igual valor de corrente fluindo nelas, sob as quais devem se posicionar os três atores?

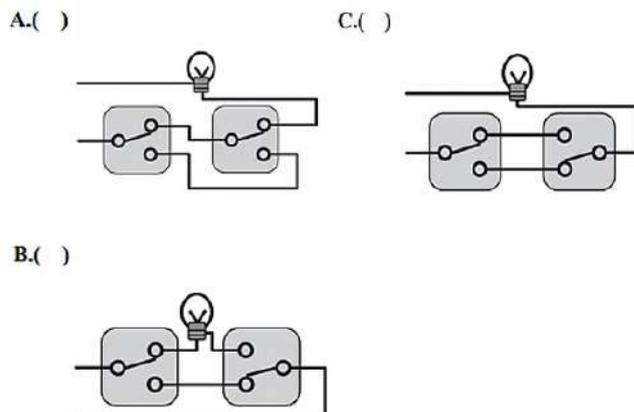
- d) L1, L2, L3                      b) L2, L3, L4                      c) L4, L7, L8

9\_ Para ligar ou desligar uma mesma lâmpada a partir de dois interruptores, conectam-se os interruptores para que a mudança de posição de um deles faça ligar ou desligar a lâmpada, não importando qual a posição do outro. Esta ligação é conhecida como interruptores paralelos. Este interruptor é uma chave de duas posições constituída por um polo e dois terminais, 149 conforme mostrado nas figuras de um mesmo interruptor. Na Posição I a chave conecta o polo ao terminal superior, e na Posição II a chave o conecta ao terminal inferior.

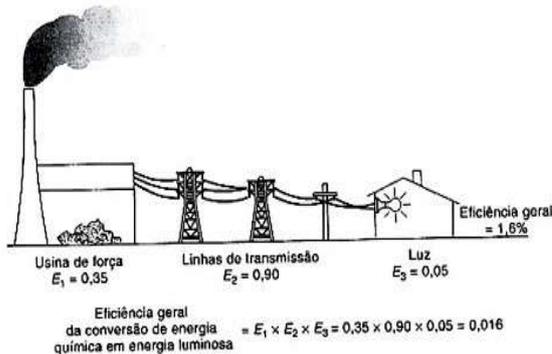


(Questão 73 do Enem 2012 - Foto: Reprodução Enem)

O circuito que cumpre a finalidade de funcionamento descrita no texto é:



10\_ A eficiência de um processo de conversão de energia é definida como a razão entre a produção de energia ou trabalho útil e o total de entrada de energia no processo. A figura mostra um processo com diversas etapas. Nesse caso, a eficiência geral será igual ao produto das eficiências das etapas individuais. A entrada de energia que não se transforma em trabalho útil é perdida sob formas não utilizáveis (como resíduos de calor).



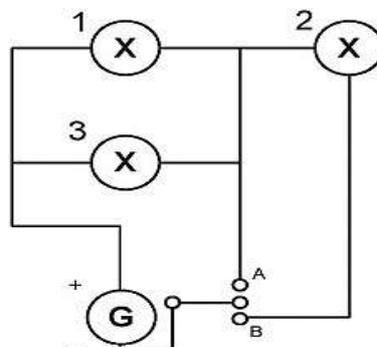
(HNRICH, R. A. Energia e Meio Ambiente. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003 (adaptado). (Foto:

Reprodução/Enem)

Aumentar a eficiência dos processos de conversão de energia implica economizar recursos e combustíveis. Das propostas seguintes, qual resultará em maior aumento da eficiência geral do processo?

- d) Utilizar lâmpadas incandescentes, que geram pouco calor e muita luminosidade.
- e) Aumentar a quantidade de combustível para queima na usina de força.
- f) Utilizar materiais com melhores propriedades condutoras nas linhas de transmissão e lâmpadas fluorescentes nas moradias.

11\_ Um sistema de iluminação foi construído com um circuito de três lâmpadas iguais conectadas a um gerador (G) de tensão constante. Esse gerador possui uma chave que pode ser ligada nas posições A ou B.



Considerando o funcionamento do circuito dado, a lâmpada 1 brilhará mais quando a chave estiver na posição

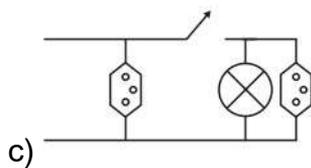
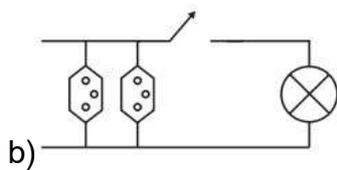
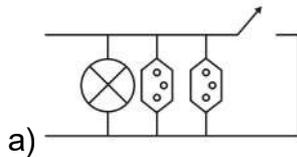
- d) A, pois a resistência equivalente será menor nesse caso.
- e) A, pois a potência dissipada pelo gerador será menor nesse caso.
- f) B, pois o gerador fornecerá uma maior tensão nesse caso.

12\_ Um estudante, precisando instalar um computador, um monitor e uma lâmpada em seu quarto, verificou que precisaria fazer a instalação de duas tomadas e um interruptor na rede elétrica. Decidiu esboçar com antecedência o esquema elétrico. “O circuito deve ser tal que as tomadas e a lâmpada devem estar submetidas à tensão nominal da rede elétrica e a lâmpada deve poder ser ligada ou desligada por um interruptor sem afetar os outros dispositivos” — pensou.

**Símbolos adotados:**

Lâmpada:  Tomada:  Interruptor: 

Qual dos circuitos esboçados atende às exigências?



**Preencher corretamente o Gabarito:**

|   |          |   |   |
|---|----------|---|---|
| 1 | Resposta |   |   |
| 2 | Resposta |   |   |
| 3 | Resposta |   |   |
| 4 | A        | B | C |
| 5 | A        | B | C |
| 6 | A        | B | C |
| 7 | A        | B | C |
| 8 | A        | B | C |
| 9 | A        | B | C |
| 1 | A        | B | C |
| 1 | A        | B | C |
| 1 | A        | B | C |

O Quadro 3, apresenta um resumo da aplicação das atividades, dos materiais instrucionais, dos princípios adotados na perspectiva de se alcançar a aprendizagem significativa e da quantidade de aulas necessárias.

Quadro 13 - Resumo da aplicação das atividades e materiais instrucionais.

| AULA    | ATIVIDADES                                       | OBJETIVOS   | DESCRIÇÃO   |
|---------|--|---|---|
| 01      | Apresentação do trabalho e Pré-teste             | Identificar concepções espontâneas.   | Aula dialógica e atividade discursiva   |
| 02      | Pré-teste II (teste diagnóstico)                 | Identificar concepções espontâneas.   | Teste com questões objetivas  |
| 03      | Leitura do livro texto e resolução de exercícios | Apresentar os conceitos de forma introdutória, com aplicação das primeiras situações-problema. Levantar as primeiras questões sobre o conteúdo. | Leitura e registro de textos sobre o conceito de corrente elétrica.                     |
| 04 e 05 | Exibição de filme                                | Apresentar novos conceitos sobre corrente elétrica, consolidar e aprofundar os conceitos já apresentados, com aplicação ao cotidiano.           | Nestas aulas os alunos assistiram o filme "Guerra das correntes" e anotaram as dúvidas. |

|         |  |   |  |
|---------|--|---|--|
| 06      | Apresentação e utilização do <i>Spiral Marble Machine</i> .          | Discutir e sistematizar o conteúdo; motivar a participação dos alunos; consolidar os conceitos ensinados e verificar a aprendizagem.            | Apresentação do aparato experimental construído por cada grupo.                |
| 07      | Leitura do livro texto e resolução de exercícios                     | Apresentar os conceitos de forma introdutória, com aplicação das primeiras situações-problema. Levantar as primeiras questões sobre o conteúdo. | Leitura e registro de textos sobre a corrente elétrica em um circuito simples. |
| 08      | Experimento de acender lâmpada                                       | Consolidar e aprofundar os conhecimentos dando seguimento à diferenciação progressiva, buscando a reconciliação integrativa.                    | Atividade experimental.  |
| 09 e 10 | Apresentação e utilização do <i>Spiral Marble Machine</i> – versão 2 | Consolidar e aprofundar os conhecimentos dando seguimento à diferenciação progressiva, buscando a reconciliação integrativa.                    | Apresentação do aparato experimental construído por cada grupo.                |
|         | Experimento da Caixa de Lâmpadas.                                    | Consolidar e aprofundar os conhecimentos.   | Atividade experimental demonstrativa   |
| 11      | Pós-teste  | Verificar a aprendizagem e indícios de aprendizagem significativa.  | Teste com questões objetivas.  |

Fonte: Produzido pelo autor.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

GUALTER, J.B.; NEWTON, V.B.; HELOU, R.D. **Física, 3: eletricidade: Física Moderna**. 3. ed. -- São Paulo: Saraiva, 2016.

GRIFFITHS, DAVID J. **Eletrodinâmica**. 3. ed. – São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2011.

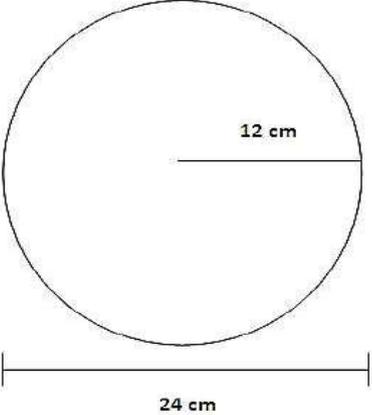
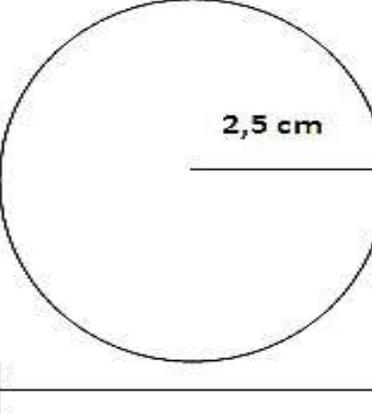
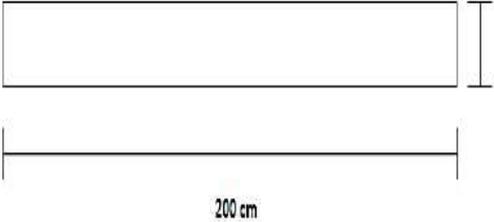
HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J., **Fundamentos de Física – 3: Eletromagnetismo**. 4ª edição, Rio de Janeiro: LTC, 1996.

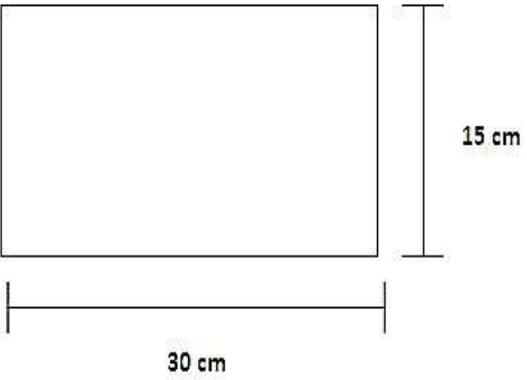
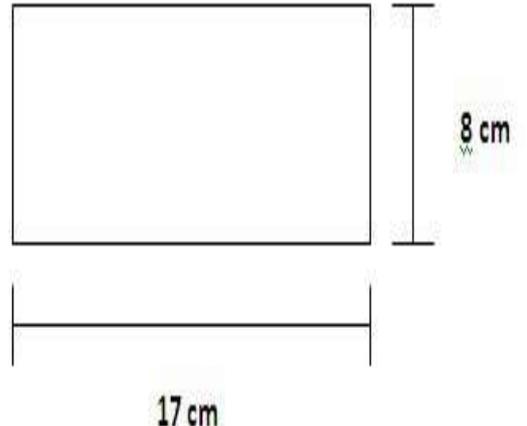
MACHADO, K.D., **Teoria do Eletromagnetismo**, Ponta Grossa – PR: Editora UEPG, 2000.

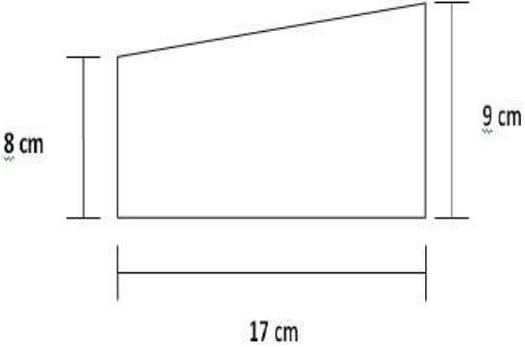
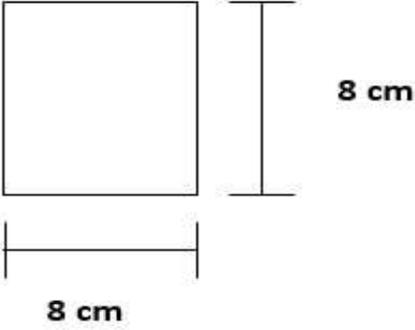
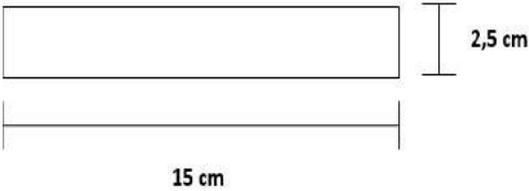
SERWAY, R.A.; JEWETT, J.W., **Princípios de Física– Eletromagnetismo**, Vol. 3, São Paulo: Cengage Learning, 2004.

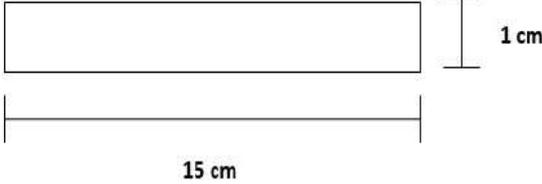
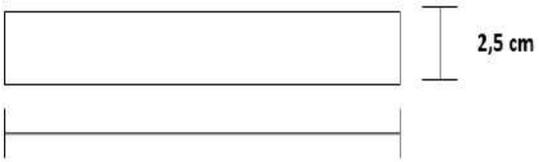
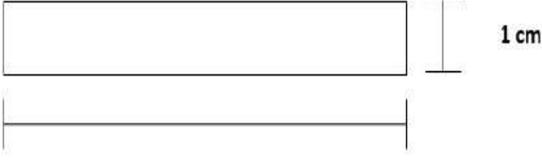
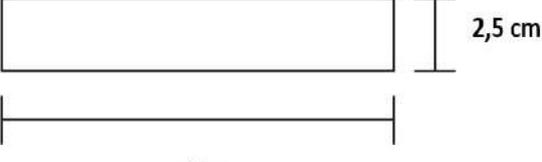
SILVEIRA, F. L., MOREIRA, M. A., AXT, R., **Validação de um teste para verificar se o aluno possui concepções científicas sobre corrente elétrica em circuito simples**, Ciência e Cultura, 44 (11), 1129 – 1133, novembro, 1989

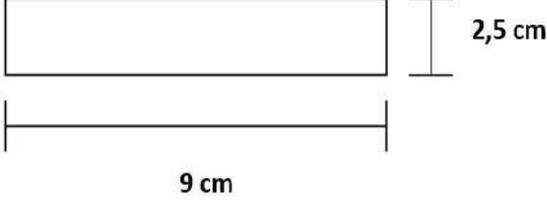
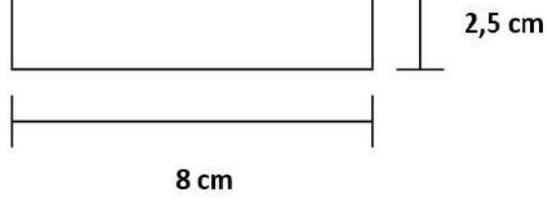
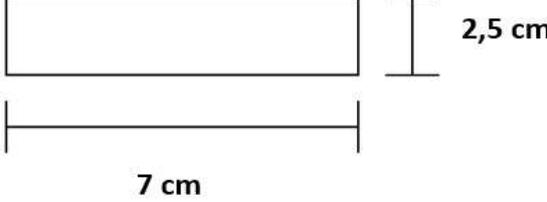
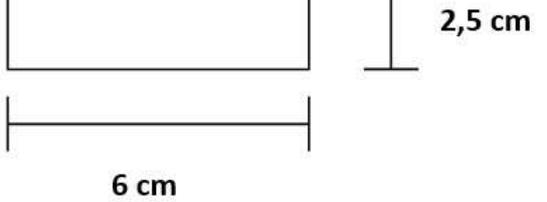
## APÊNDICE A – TUTORIAL DO *SPIRAL MARBLE MACHINE*

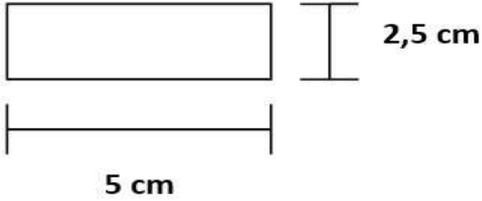
|   |  |  |
|---|--|--|
|  <p>A diagram of a large circle. A horizontal line from the center to the right edge is labeled "12 cm". A horizontal line below the circle, spanning its width, is labeled "24 cm".</p>     |    | <p>Em um pedaço de papelão recorte um círculo com um raio de 12 cm usando o compasso, o círculo deverá ter um diâmetro de 24 cm.<br/>Obs.: Essa peça irá receber a espiral.</p>  |
|  <p>A diagram of a smaller circle. A horizontal line from the center to the right edge is labeled "2,5 cm". A horizontal line below the circle, spanning its width, is labeled "5 cm".</p> |  | <p>Em um pedaço menor de papelão recorte um círculo com um raio de 2,5 cm usando o compasso, o círculo deverá ter um diâmetro de 5 cm.<br/>Obs.: Essa peça ficará atrás do círculo maior e fará encaixe com o motor.</p> |
|  <p>A diagram of a rectangular strip. The width is labeled "2,5 cm" and the length is labeled "200 cm".</p>  |  | <p>Em um pedaço de papelão recorte uma tira com 2 m de comprimento e 2,5 cm de largura.<br/>Obs.: Com essa peça confecciona-se a espiral.</p>  |

|   |  |  |
|---|--|--|
|  <p>A technical drawing of a rectangle with a width of 30 cm and a height of 15 cm. Dimension lines with arrows indicate the measurements.</p> |  <p>Two photographs showing the process of cutting a piece of cardboard. The top photo shows a hand using a utility knife to cut along a line. The bottom photo shows the resulting rectangular piece of cardboard.</p>    | <p>Em um pedaço de papelão recorte um retângulo com 15 cm de largura e 30 cm de comprimento.<br/>Obs.: Essa peça consistiu na plataforma de fixação de todo o sistema.</p>   |
|  <p>A technical drawing of a rectangle with a width of 17 cm and a height of 8 cm. Dimension lines with arrows indicate the measurements.</p> |  <p>Three photographs showing the assembly of the cardboard pieces. The top photo shows two pieces being aligned. The middle photo shows a piece being folded. The bottom photo shows a piece being glued to another.</p> | <p>Em um pedaço de papelão recorte dois retângulos com 8 cm de largura e 17 cm de comprimento.<br/>Obs.: Duas peças igual a essa deverão ser confeccionadas, para fechar o suporte de sustentação, na parte da frente e na parte de trás que vai receber o círculo da espiral.</p> |

|   |  |  |
|---|--|--|
|    |    | <p>Em um pedaço de papelão recorte dois retângulos com 8 cm de largura e 17 cm de comprimento.<br/>Obs.: Duas peças igual a essa deverão ser confeccionadas, para fechar as laterais do suporte de sustentação que vai receber o círculo da espiral.</p> |
|   |   | <p>Em um pedaço de papelão recorte um quadrado com 8 cm de largura e 8 cm de comprimento.<br/>Obs.: Essa peça servirá para fechar o suporte de sustentação na parte de cima que vai receber o círculo da espiral.</p>                                    |
|  |  | <p>Em um pedaço de papelão recorte quatro tiras com 2,5 cm de largura e 15 cm de comprimento.<br/>Obs.: Essas peças servirão para confeccionar a parte de baixo da calha por onde vão passar as bolinhas</p>   |

|  |  |   |
|--|--|---|
|  <p>15 cm</p> <p>1 cm</p>     |    | <p>Em um pedaço de papelão recorte oito tiras com 1 cm de largura e 15 cm de comprimento.</p> <p>Obs.: Essas peças servirão para confeccionar as laterais da calha por onde vão passar as bolinhas</p>                  |
|  <p>30 cm</p> <p>2,5 cm</p>  |   | <p>Em um pedaço de papelão recorte uma tira com 2,5 cm de largura e 30 cm de comprimento.</p> <p>Obs.: Essa peça servirá para confeccionar a parte maior da calha (parte de trás) por onde vão passar as bolinhas.</p>  |
|  <p>30 cm</p> <p>1 cm</p>   |  | <p>Em um pedaço de papelão recorte uma tira com 1 cm de largura e 30 cm de comprimento.</p> <p>Obs.: Essa peça servirá para confeccionar as laterais da calha (parte de trás) maior por onde vão passar as bolinhas</p> |
|  <p>10 cm</p> <p>2,5 cm</p> |  | <p>Em um pedaço de papelão recorte um retângulo com 2,5 cm de largura e 10 cm de comprimento.</p> <p>Obs.: Essa peça servirá como o primeiro suporte</p>  |

|   |  |   |
|---|--|---|
|   |  | <p>para sustentar a calha de saída da bolinha da espira.</p>  |
|  <p>9 cm</p> <p>2,5 cm</p>   |    | <p>Em um pedaço de papelão recorte uma retângulo com 2,5 cm de largura e 6 cm de comprimento.<br/>Obs.: Essa peça servirá como o segundo suporte para sustentar a calha de saída da bolinha da espira.</p>  |
|  <p>8 cm</p> <p>2,5 cm</p>  |   | <p>Em um pedaço de papelão recorte uma retângulo com 2,5 cm de largura e 8 cm de comprimento.<br/>Obs.: Essa peça servirá como o terceiro suporte para sustentar a calha de saída da bolinha da espira.</p> |
|  <p>7 cm</p> <p>2,5 cm</p> |  | <p>Em um pedaço de papelão recorte uma retângulo com 2,5 cm de largura e 7 cm de comprimento.<br/>Obs.: Essa peça servirá como o quarto suporte para sustentar a calha de saída da bolinha da espira.</p>   |
|  <p>6 cm</p> <p>2,5 cm</p> |  | <p>Em um pedaço de papelão recorte uma retângulo com 2,5 cm de largura e 6 cm de comprimento.<br/>Obs.: Essa peça servirá como o quinto suporte para sustentar a calha de</p>                               |

|   |   |   |
|---|---|---|
|   |   | saída da bolinha da espira.   |
|  <p>5 cm</p> <p>2,5 cm</p> |   | Em um pedaço de papelão recorte um retângulo com 2,5 cm de largura e 8 cm de comprimento.<br>Obs.: Essa peça servirá como o sexto suporte para sustentar a calha de saída da bolinha da espira. |
| Resultado   |  | Agora é colocar para funcionar.   |