MNPEF **Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física**		SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL DE GEOFÍSICA COMO MÉTODO DE ENSINO E APRENDIZAGEM PARA ELETRICIDADE

Carlos Henrique Vieira

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

Orientador:
Dr. Antonio Romero da Costa Pinheiro

Rio Branco – AC
Agosto 2020

UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL DE GEOFÍSICA COMO MÉTODO DE ENSINO E APRENDIZAGEM PARA O ENSINO DE ELETRICIDADE

CARLOS HENRIQUE VIEIRA

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação Em Ensino de Física do Centro de Ciências Biológicas e da Natureza da Universidade Federal do Acre na conclusão do Curso de Mestrado Nacional Profissional em ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Aprovada por:

Dr. Antonio Romero da Costa Pinheiro – UFAC
Presidente

Dr. Miguel Justiniano Abanto Peralta I - UFAC
Titular Interno

Dr. Alan de Souza Cunha – UFRJ/SBGf
Titular Externo

Dr. Carlos Henrique Lima de Oliveira – UFRN
Suplente Interno

Dr. Naje Clécio Nunes da Silva - IFAC
Suplente Externo

Rio Branco – AC
Agosto 2020

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

V658a Vieira, Carlos Henrique, 1995-
Uma abordagem experimental de Geofísica como método de ensino e aprendizagem para eletricidade / Carlos Henrique Vieira; orientador: Dr. Antonio Romero da Costa Pinheiro. – 2020.
174 f.: il.; 30 cm.

Mestrado (Dissertação) – Universidade Federal do Acre, Programa de Pós- Graduação em Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), Rio Branco, 2020.
Inclui referências bibliográficas, apêndices e anexos.

1. Ensino de Física 2. Eletricidade. 3. Eletricidade. I. Pinheiro, Antonio Romero da Costa (orientador). II. Título.

CDD: 530

Bibliotecário: Uéliton Nascimento Torres CRB-11º/1074.

Dedico esta dissertação a todos.

Dedico esse trabalho à minha mãe, a minha esposa, ao técnico dos laboratórios de física da UFAC Israel Herôncio, ao professor Dr. Antonio Romero da Costa Pinheiro, através de sua amizade, ensinamentos e sabedoria guiaram-me até aqui. Aos amigos que me apoiaram sempre. À Deus, que nos guia e fortalece para concluir esse trabalho. À CAPES, por dar suporte ao programa.

Agradecimentos

- Primeiramente a Deus por ter me dado vida e saúde para que eu pudesse cursar este programa de mestrado.
- Ao professor Dr. Romero, por ter aceitado, orientado e ajudado este estudo de todas as formas possíveis.
- À minha família que me fortalece e me incentiva com todo amor e carinho.
- Aos colegas da turma deste mestrado profissional, pelas conversas, distrações e contribuições nas horas cansativas.
- Aos professores do mestrado profissional pelas disciplinas que cursei e pot todo o empenho em formar novos docentes.
- *O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES)*
- Ao técnico dos laboratórios de física, Israel Herôncio, que foi essencial para a construção do experimento utilizado neste trabalho, com empenho e dedicação me ajudou durante toda a construção do experimento.
- Ao secretário Gerlandio Freire pelos serviços prestados a este Mestrado Profissional (Polo UFAC).
- Enfim a todos aqueles que acreditaram e apoiaram este momento de conquista.

RESUMO

UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL DE GEOFÍSICA COMO MÉTODO DE ENSINO E APRENDIZAGEM PARA ELETRICIDADE

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física do Centro de Ciências Biológicas e da Natureza da Universidade Federal do Acre na conclusão do Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Este trabalho teve como objetivo desenvolver um produto educacional baseado em uma sequência didática sobre os conceitos de eletricidade, com a utilização da experimentação do método de eletrorresistividade como didática de ensino e aprendizagem para disciplina de Física no terceiro ano do ensino médio, apoiado na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel. O estudo foi realizado em uma escola estadual de ensino médio localizada no bairro triângulo no município de Rio Branco-Acre. O modelo experimental do trabalho constitui-se de um resistivímetro caseiro amparado na teoria geofísica de exploração de rochas. A pesquisa teve como metodologia qualitativa e quantitativa as seguintes etapas didáticas: inicialmente, aplicação de um questionário (pré-teste) com o objetivo de verificar os conhecimentos prévios dos discentes; em seguida, ministração de aula teórica sobre os conceitos relacionados à eletricidade, considerando os dados obtidos no questionário inicial; posteriormente, os discentes realizaram a prática experimental com resistivímetro; e por fim, realizaram um questionário final (pós-teste) para verificar a eficácia da sequência didática. A partir da análise dos dados obtidos, a sequência didática pode ser indicada como um método de ensino e aprendizagem dos conteúdos de eletricidade no ensino médio.

Palavras-chave: Ensino de Física, Eletricidade, Experimento de Geofísica, Aprendizagem.

Rio Branco – AC
Agosto 2020

ABSTRACT

AN EXPERIMENTAL GEOPHYSICS APPROACH AS A TEACHING AND LEARNING METHOD FOR ELECTRICITY

Abstract of master´s thesis submitted to the Postgraduate Program in Physics Teaching at the Center for Biological and Nature Sciences of the Federal University of Acre at the conclusion of the Professional Master's Course in Physics Teaching (MNPEF), as part of the requirements necessary to obtain the Master's degree in Physics Education.

This work aimed to develop an educational product based on a didactic sequence on the concepts of electricity, using the experimentation of the electroresistivity method as teaching and learning didactics for Physics discipline in the third year of high school, supported by the theory of meaningful learning by David Ausubel. The study was carried out in a state high school located in the triangle district in the municipality of Rio Branco-Acre. The experimental model of the work consists of a homemade resistivimeter supported by the geophysical theory of rock exploration. The research had as qualitative and quantitative methodology the following didactic steps: initially, application of a questionnaire (pre-test) to verify the students' previous knowledge; then, lecturing on the concepts related to electricity, considering the data obtained in the initial questionnaire; later, the students performed the experimental practice with a resistivimeter; and finally, they carried out a final questionnaire (post-test) to verify the effectiveness of the didactic sequence. From the analysis of the data obtained, the didactic sequence can be indicated as a method of teaching and learning the contents of electricity in high school.

Keywords: Physics Teaching, Electricity, Experimental Geophysics, Learning.

Rio Branco – AC
August 2020

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Organograma dos conceitos trabalhados no referencial teórico. 5
Figura 2. Mapa esquemático de como se estrutura a Teoria de Aprendizagem Significativa de David Ausubel. 6
Figura 3. Mapa conceitual mostrando as principais ideias presentes no livro Aprender a Aprender de Gowin e Novak (1984), sobre a aquisição e construção do conhecimento. Os conceitos chave aparecem rodeados por ovais; as palavras de ligação apropriadas formam proposições chave. 7
Figura 4. O "Vê" heurístico de Gowin — inventado para ilustrar os elementos conceptuais e metodológicos que interagem no processo de construção do conhecimento ou nas análises de conferências ou documentos que apresentam um dado conteúdo de conhecimento..... 8
Figura 5. Mapa conceitual para o conteúdo de eletricidade abordado nesta pesquisa. 14
Figura 6. Ilustração do Modelo Atômico de Bohr. 17
Figura 7. Ilustração do princípio da atração e repulsão de cargas elétricas. 18
Figura 8. Ilustração da eletrização de um material condutor (a) e de um material isolante (b). 19
Figura 9. Ilustração da série triboelétrica..... 20
Figura 10. Ilustração das formas de contato durante o processo de eletrização e a distribuição das cargas elétricas no processo de eletrização por contato. 21
Figura 11. Ilustração do símbolo de aterramento, e também do processo de aterramento de um corpo eletrizado com carga negativa (a) e (b), isolado através de um suporte isolante, e também de um corpo eletrizado com carga positiva (c) e (d), isolado través de um suporte isolante. Ch é chave liga e desliga. 22
Figura 12. Ilustração do processo de eletrização por indução com carga negativa (a) e (b) e positiva (c) e (b)..... 22
Figura 13. Ilustração da balança de torção, utilizada por Coulomb na determinação da Força elétrica de interação entre cargas elétricas..... 23
Figura 14. Ilustração das forças de interações elétricas entre as cargas..... 24
Figura 15: Força elétrica para um conjunto de cargas pontuais..... 25
Figura 16. Ilustração do sentido do campo elétrico de uma carga positiva e negativa. 27
Figura 17. Ilustração da orientação das linhas de campo elétrica de uma carga positiva e uma carga negativa. 28
Figura 18. Ilustração do vetor campo elétrico nas linhas de força de um campo elétrico. 28
Figura 19.Ilustração do comportamento das linhas de força de um dipolo elétrico..... 28
Figura 20. Ilustração do comportamento das linhas de força de cargas de sinais iguais, como a de cargas positivas. 29
Figura 21. Ilustração do campo elétrico uniforme entre duas placas paralelas..... 29
Figura 22. Ilustração do campo elétrico de um condutor em equilíbrio eletrostático..... 30
Figura 24. Ilustração da analogia entre potencial gravitacional (a) e potencial elétrico em (b). 31
Figura 25. Ilustração da diferença de potencial elétrico entre dois pontos de um campo elétrico..... 34
Figura 26. Ilustração de superfícies equipotenciais de um carga positiva e negativa..... 35
Figura 27. Ilustração das linhas equipotenciais em um campo elétrico uniforme. 35
Figura 28. Ilustração do movimento desordenado de elétrons livre (a) e o movimento ordenado de elétrons livres (b) dentro de um condutor. 36
Figura 29. Ilustração do sentido real e convencional da corrente elétrica. 38
Figura 30. Gráficos do comportamento da corrente contínua (a) e da corrente alternada (b). 38
Figura 31. Ilustração de um circuito sendo percorrido por corrente elétrica, composto por um resistor e uma pilha..... 39
Figura 32. Valores da resistividade na temperatura ambiente (20º). 40
Figura 33. Comportamento gráfico de um resistor ôhmico e não ôhmico..... 41
Figura 34. Ilustração das diferentes resistividades elétricas que compõem um solo natural, devido a composições diferentes do solo em cada região. 45
Figura 35. Aferição das diferenças de potencial elétrico, para um meio homogêneo e um meio heterogêneo. 46
Figura 36. Ilustração de Arranjo de campo (SEV)..... 47
Figura 37. Arranjo de Schlumberger. 48
Figura 38. Execução da experimentação do método de eletrorresistividade, realizado pelos discentes.

..... 60
Figura 39.Alunos realizando a fixação dos eletrodos nos eletrodos de corrente elétrica e diferença de potencial elétrico..... 60
Figura 40. Relatório experimental preenchido pelos alunos, durante a realização da experimentação do método de eletrorresistividade. 61
Figura 41. Gráfico da distribuição percentual da respostas do pré-teste da Turma 1 e 2. 65
Figura 42. Gráfico percentual de respostas da questão 1 do pós-teste da Turma 1. 66
Figura 43. Gráfico da distribuição da quantidade de respostas da questão 2 do pré-teste das turmas 1 e 2. 68
Figura 44. Gráficos da quantidade de respostas da questão 2 do pós-teste da Turma 1 e 2. 69
Figura 45. Gráfico do percentual de respostas dos discentes das Turmas 1 e 2 do pré-teste da questão 3. 71
Figura 46. Gráfico do percentual de respostas dos alunos das Turmas 1 e 2 do pós-teste da questão 3. 71
Figura 47. Gráfico do percentual de respostas da questão 4 do pré-teste da questão 4. 73
Figura 48. Gráfico da quantidade de respostas da questão 4 do pós-teste da Turma 1 e 2. 74
Figura 49. Gráfico do percentual de respostas por alternativa do pré-teste da questão 5. 75
Figura 50. Gráfico do percentual de respostas assinaladas por alternativas do pós-teste das questão 5 das duas turmas 1 e 2. 76
Figura 51. Gráfico do percentual de respostas da pré-teste da questão 6 das Turmas 1 e 2. 78
Figura 52. Gráfico do percentual de respostas da questão 6 do pós-teste das Turmas 1 e 2..... 79
Figura 53. Gráfico do percentual de respostas da questão 7 do pré-teste da Turma 1..... 81
Figura 54. Gráfico do percentual da quantidade de respostas do pós-teste das Turmas 1 e 2. 83

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Diferenças entre arranjo de campo Schlumberger e Werner. 47
Quadro 2.Sequência didática aplicada 51
Quadro 3. Organização dos conteúdos e objetivos a serem alcançados pela sequência didática. 54
Quadro 4. Definição do conteúdo programático, procedimento didático, material utilizado e tempo de aula..... 55
Quadro 5. Algumas das perguntas orais realizadas pelo docente aos discentes de cada turma, durante a experimentação. 63
Quadro 6. Padrões de respostas utilizado pelo docentes para classificar as respostas como corretas, relativamente corretas e erradas, de acordo com o relato dos alunos. 65
Quadro 7. Padrões de respostas utilizado pelo docentes para classificar as respostas como corretas, relativamente corretas e erradas, de acordo com o relato dos alunos. 73
Quadro 8. Padrões de respostas utilizadas pelo docente para classificar as respostas como corretas, relativamente corretas e erradas, de acordo com o relato dos alunos. 78
Quadro 9. Padrões de respostas utilizadas pelo docente para classificar as respostas como corretas, relativamente corretas e erradas, de acordo com o relato dos alunos. 81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Representa as médias aritméticas das ($\boldsymbol{Mc}$) respostas em geral corretas e ($\boldsymbol{Me}$) respostas erradas do pré-teste e pós-teste, sendo estes valores utilizados somando todos os alunos da turma 1 e 2 de cada questionário..... 66
Tabela 2. Média aritmética de respostas corretas e erradas do pré-teste e pós-teste das turmas 1 e 2. 68
Tabela 3. Média aritmética das porcentagens de respostas corretas e relativamente corretas somadas, no pré-teste e pós-teste..... 74
Tabela 4. Média aritmética de questões assinaladas corretamente e incorretamente pelas turmas 1 e 2 no pós-teste. 77

Sumário

MODELO DE FICHA CATALOGRÁFICA ..... **Erro! Indicador não definido.**
Agradecimentos 5
RESUMO 6
1. INTRODUÇÃO 1
2. REFERENCIAL TEÓRICO 5
2.1 Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel 5
2.1.1 Tipos de Aprendizagem Significativa 10
2.1.2 Assimilação, Aprendizagem subordinada, superordenada e combinatória 11
2.1.3 Diferenciação progressiva e reconciliação integrativa 12
2.2 Conceitos básicos de eletricidade 15
2.2.1 Carga elétrica 15
2.2.2 Condutores e Isolantes 18
2.2.3 Processos de eletrização 19
2.2.4 Lei de Coulomb 23
2.2.5 Campo Elétrico 26
2.2.6 Potencial Elétrico 30
2.2.7 Diferença de Potencial Elétrico (ddp) 33
2.2.10 Corrente Elétrica 36
2.2.11 Circuito elétrico 39
2.3 Conceitos básicos de Geofísica 43
2.3.1 Método Geoelétrico de Eletrorresistividade 44
2.3.2 Técnica Geoelétrica de Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e arranjo de campo (Schlumberger) 46
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 49
3.1 Tipo de estudo 49
3.2 Produto educacional 50
3.3 Público alvo, amostragem e instituição de intervenção 50
3.4 Etapas de desenvolvimento da sequência didática e da intervenção escolar 51
3.5 Riscos e Benefícios da Execução da Sequência Didática 52
3.6 Instrumento de produção dos dados 53
3.7 Metodologia de análise de dados 53
3.8 Descrição dos procedimentos de ensino 54
3.8.1 Planejamento de intervenção na instituição de ensino e elaboração da sequência didática 54
3.8.2 Aplicação da sequência didática 56
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 59
4.1 Execução da sequência didática 59
4.2 Papel do professor e do discente na sequência didática 62
4.4 Análises dos questionários pré-teste e pós-teste 64
5. CONCLUSÃO 85
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 87

Apêndice A – Questionário pré-teste 93
Apêndice B – Questionário pós-teste 94
Apêndice C – Produto Educacional 96

1. INTRODUÇÃO

Os assuntos de eletricidade estudados no ensino médio, muitas vezes são tratados de forma meramente teórica, sem espaço para contextualização experimental, pois, em geral os conteúdos se resumem a equações e diagramas teóricos, utilizando apenas pincel e quadro, dificultando a assimilação dos conceitos por parte dos alunos.

Outro fator negativo para o desenvolvimento das atividades experimentais em eletricidade é a disponibilidade de laboratórios didáticos ou até mesmo um espaço escolar para a produção de equipamentos. Como a infraestrutura escolar não oferece os recursos necessários para o desenvolvimento do conhecimento experimental, os alunos não conseguem associar os conceitos físicos estudados em sala com fenômenos do cotidiano. Além disso, as aulas experimentais têm a capacidade de atrair a atenção e a curiosidade dos alunos.

Experimentos em Física são, fundamentalmente, uma ferramenta eficaz na aprendizagem, uma vez que o aluno visualiza o fenômeno e relaciona a informação teórica obtida com as ideias relevantes observadas por ele, a partir de um método mais palpável no que diz respeito ao entendimento dos fenômenos da natureza. De acordo com Forst (2019), a atividade experimental é um objeto mais coerente com relação às análises das atividades desenvolvidas pelos estudantes, isto é, com o auxílio de outros recursos pedagógicos integrados com atividades prático-experimentais situado nos mais diversos conteúdos disciplinares da Física.

Segundo Alves (2005), a metodologia experimental utilizada proporciona nos alunos a motivação, o interesse e acima de tudo a autoestima, à medida que as práticas e experimentos em eletricidade são desenvolvidas, o aluno descobre que a Física está presente nas principais atividades que ele costuma realizar no dia-a-dia, como acender uma lâmpada.

Nos últimos anos, as ciências básicas abriram espaços para áreas interdisciplinares envolvendo como exemplo, química, matemática, biologia e geografia. Essa interdisciplinaridade de conceitos tem um papel importante na motivação dos alunos, segundo Alvarenga et al (2017) a disciplina de física não busca a interdisciplinaridade tanto quanto as outras ciências exatas e da terra, sendo assim importante propor algo neste sentido. Desta forma, é necessário discutir e procurar novas formas de ensinar os vários conceitos interdisciplinares envolvidos no cotidiano dos alunos.

Diante desse cenário, essa pesquisa apresenta um produto educacional na forma de

sequência didática com experimentação do método de eletrorresistividade, sendo uma nova proposta de ensino de física, baseado na experiência empírica, onde os alunos possam ser os protagonistas do aprendizado. Traz como finalidade, facilitar o processo de ensino-aprendizagem dos conteúdos de eletricidade através do método de experimentação. Busca promover o uso de experimentos no ensino de Física e desenvolver novas alternativas didáticas para o ensino de Física aplicada, para que possam ser utilizadas metodologias, onde o professor passe a ser o mediador do conhecimento, se distanciando da realidade tradicionalista da educação bancária (MOREIRA, 2017), onde o docente simplesmente passa o conteúdo através do quadro e o aluno somente recebe a informação sem raciocinar muito sobre ela, não havendo espaço amplo para o diálogo entre os discentes e o docente sobre os conteúdos ministrados.

A partir da utilização de experimentos de forma simples e eficaz, busca-se um processo de ensino-aprendizagem mais dinâmico. Um dos fundamentos do presente trabalho é exatamente mostrar a relevância dos experimentos didáticos no ensino de Física, especificamente no estudo de eletricidade, visando à aprendizagem significativa dos conceitos físicos relacionados ao experimento. Segundo David Ausubel (2003), "a aprendizagem significativa ocorre quando os novos conhecimentos que se adquirem relacionam-se com o conhecimento prévio que o aluno possui". O ensino experimental está mais fortemente ligado aos conhecimentos prévios adquiridos pelos alunos durante o dia a dia. Assim, será utilizada neste trabalho como referencial teórico, a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel.

O assunto geral tratado neste trabalho é o conteúdo de eletricidade, componente essencial do currículo do ensino de física.. Os conteúdos da sequência didática serão introduzidos em sala de aula, após isto será realizado o experimento, durante a experimentação, serão realizadas perguntas sobre os conteúdos de eletricidade a cada etapa do experimento para que os alunos realizem a experimentação a fim de verificar se os conceitos físicos ministrados em sala de aula são reais, assim adquirindo conhecimento empírico sobre os conceitos estudados no experimento.

A novidade deste estudo será a eletrorresistividade, conceito chave deste trabalho, mas antes de introduzi-la, faz-se necessário apresentar a área de geofísica. Este é um ramo da física que estuda as propriedades físicas da Terra (calor, magnetismo, radioatividade, gravidade, eletricidade, propagação de ondas elásticas etc). Com o iniciou do estudo do interior do planeta, segundo a geofísica era tratada como:

> [..] campo de estudo que por vezes era designado por Geologia Física. Entretanto, esse termo não era apropriado porque a base de conhecimento e os métodos a serem

> utilizados nessa investigação eram muito diferentes daqueles aplicados pelos geólogos da época. Mais apropriadamente, referia-se então à Física da Terra a essa linha de investigação, e que acabou sendo o núcleo de uma nova ciência, a Geofísica. (ERNESTO; USSAMI, 2002, p. 3)

A Eletrorresistividade é um método utilizado para determinar o parâmetro físico da resistividade elétrica real ou aparente de materiais, ou seja, para cada material a um valor específico de resistividade aparente, assim é possível identificar, por exemplo, água, petróleo e gás nas subsuperfícies e subestruturas da Terra. Para gerar as imagens de propriedades elétricas é necessário a inversão de dados com softwares de modelagem de forma a construir uma tomografia unidimensional, bidimensional ou tridimensional (KEAREY, 2009), esse processo demonstra o resultado de todos os dados coletados, sendo possível aferir que tipo de material pode estar em determinado solo.

É necessário salientar que, neste pesquisa, o método de eletrorresistividade será utilizado para fins didáticos, pelo processo experimental, os alunos poderão obter aprendizado acerca dos conteúdos socializados em sala. Este tipo de trabalho gera dados que formam o imageamento subterrâneo do local onde são necessários compreensão de conhecimentos interdisciplinares de informática e programação (RÜCKER, 2017; BEFUS, 2018), assim o trabalho não se comprometeu a isso, mas foram mostrados exemplos destes dados para os alunos compreenderem como são as imagens após o processamentos dos dados.

A problematização deste trabalho se dá através da pergunta: Os discentes que estudam eletricidade no ensino médio regular podem assimilar os conteúdos de eletricidade a partir de uma sequência didática, apoiada na experimentação do método de eletrorresistividade? Outra questão se faz necessária: Através deste método, ocorrerá aprendizagem, uma vez que este tipo de experimento não está disponível em livros didáticos do ensino médio? A justificativa deste estudo se baseia no contexto citado anteriormente no trabalho, os conteúdos de eletricidade são abordados muitas vezes de forma meramente teórica sem espaço para procedimentos experimentais para embasar a teoria explicada, assim os conteúdos são explicados com excesso de diagramações e equações, tornando muitas vezes de difícil assimilação o conteúdo estudado.

A dissertação está estruturada da seguinte forma: no capítulo 2, será apresentado o referencial teórico, onde abordará a teoria de aprendizagem do trabalho, e os conceitos físicos e geofísicos que embasam o produto educacional; no capítulo 3, serão apresentados os procedimentos metodológicos onde se discute as etapas da pesquisa e o método de aplicação do produto; no capítulo 4, os resultados e discussões serão expostos, onde é realizado a análise

dos dados retirados dos questionários aplicados; por fim, é apresentado a conclusão, apresentando as perspectivas sobre o trabalho e suas implicações no aprendizado dos discentes.

Objetivo Geral

Facilitar o processo de ensino-aprendizagem dos conteúdos de eletricidade através de uma sequência didática a partir do método de Eletrorresistividade, promovendo a experimentação como método de ensino de física para o ensino médio.

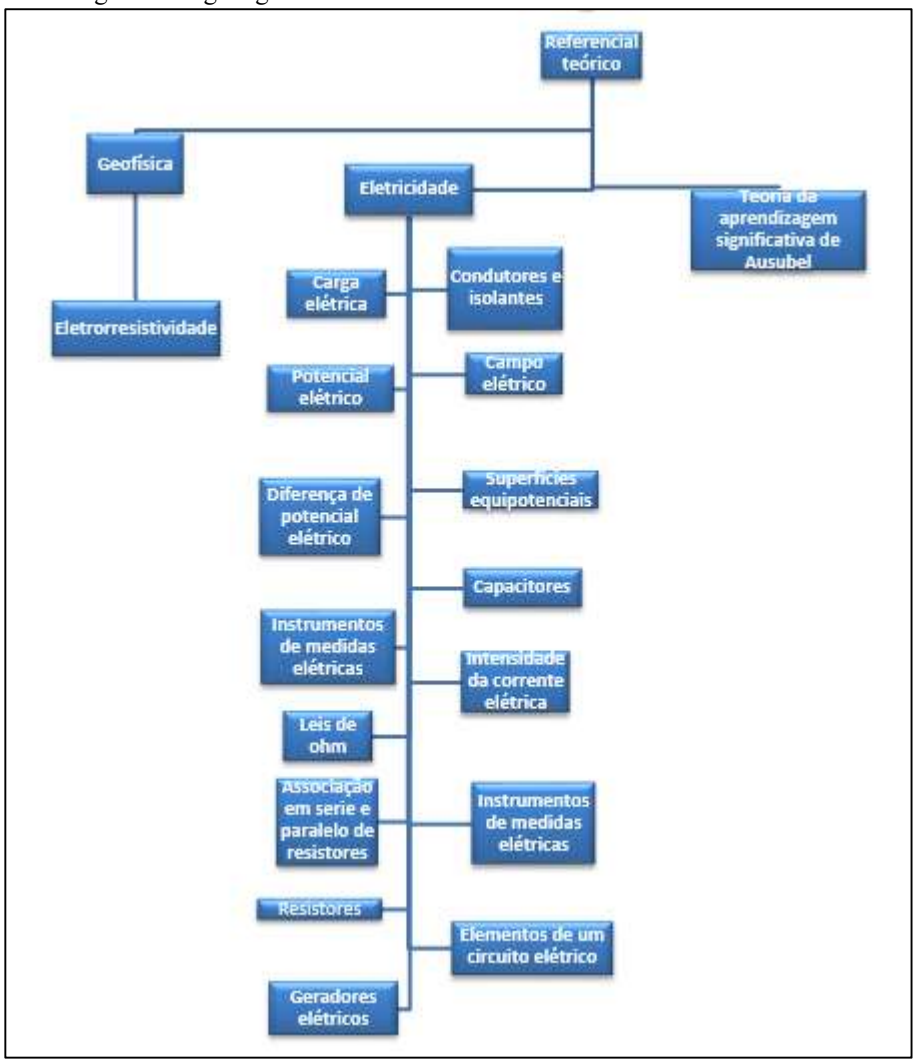
Objetivos Específicos

- Gerar uma sequência didática a partir da experimentação do método de eletrorresistividade como produto educacional.
- Compreender fenômenos físicos do cotidiano através do experimento de eletrorresistividade.
- Iniciar os discentes ao método científico através da experiência empírica.
- Explanar o assunto em relação ao cotidiano e cientificamente;
- Obter conhecimentos básicos acerca da geofísica;
- Aplicar Questionário antes e depois da sequência didática para aferir uma possível absorção de conhecimento pelos discentes;
- Analisar e comparar quantitativamente os resultados do questionário a fim de verificar a ocorrência de aprendizagem significativa.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo destina-se à apresentação do conteúdo utilizado na sequência didática, indispensável para a compreensão dos conceitos de eletricidade, com base em um método geofísico de eletrorresistividade, sob a fundamentação da teoria de aprendizagem significativa de Ausubel. A Figura 1 mostra um organograma do conteúdo abordado nesse trabalho.

Figura 1. Organograma dos conceitos trabalhados no referencial teórico.



Fonte: Próprio autor.

2.1 Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel

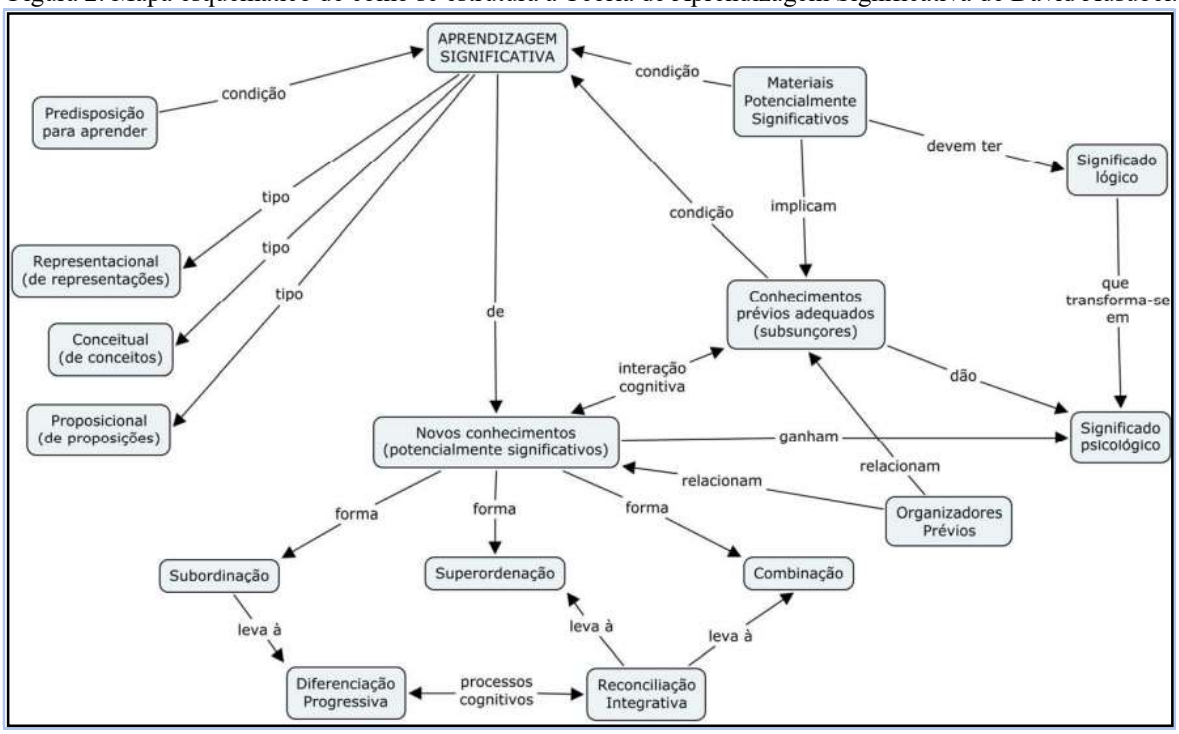
Em 1968, David Paul Ausubel (1918-2008), norte-americano, psicopedagogo cognitivista, propôs a Teoria da Aprendizagem Significativa em seu livro "*The Psychology of Meaningful Verbal Learning*". Um dos pilares desta teoria é o conhecimento prévio, segundo Ausubel (1968), isto é, o conhecimento que o sujeito já possui é chamado de subsunçor, são os conceitos que já estão solidificados na estrutura cognitiva do indivíduo, garantindo ao

indivíduo a capacidade de adquirir novos conhecimentos, ligando esses novos conhecimentos a conceitos já existentes em sua estrutura cognitiva.

Segundo (Ausubel, 1980), subsunçor é uma estrutura específica na qual uma nova informação pode se agregar ao cérebro humano, que é altamente organizado e detentor de uma hierarquia conceitual, que armazena experiências prévias do sujeito. Em Física, por exemplo, se os conceitos de carga elétrica, processos de eletrização e força elétrica já existirem na estrutura cognitiva do estudante, esses conceitos servirão de subsunçores para ancorar novas informações referentes a conceitos como os de campo elétrico e corrente elétrica, por exemplo.

A figura 2 descreve, através de um esquema, o processo de aprendizagem significativa, utilizado na teoria de Ausubel e idealizado proposto por Moreira (2013).

Figura 2. Mapa esquemático de como se estrutura a Teoria de Aprendizagem Significativa de David Ausubel.



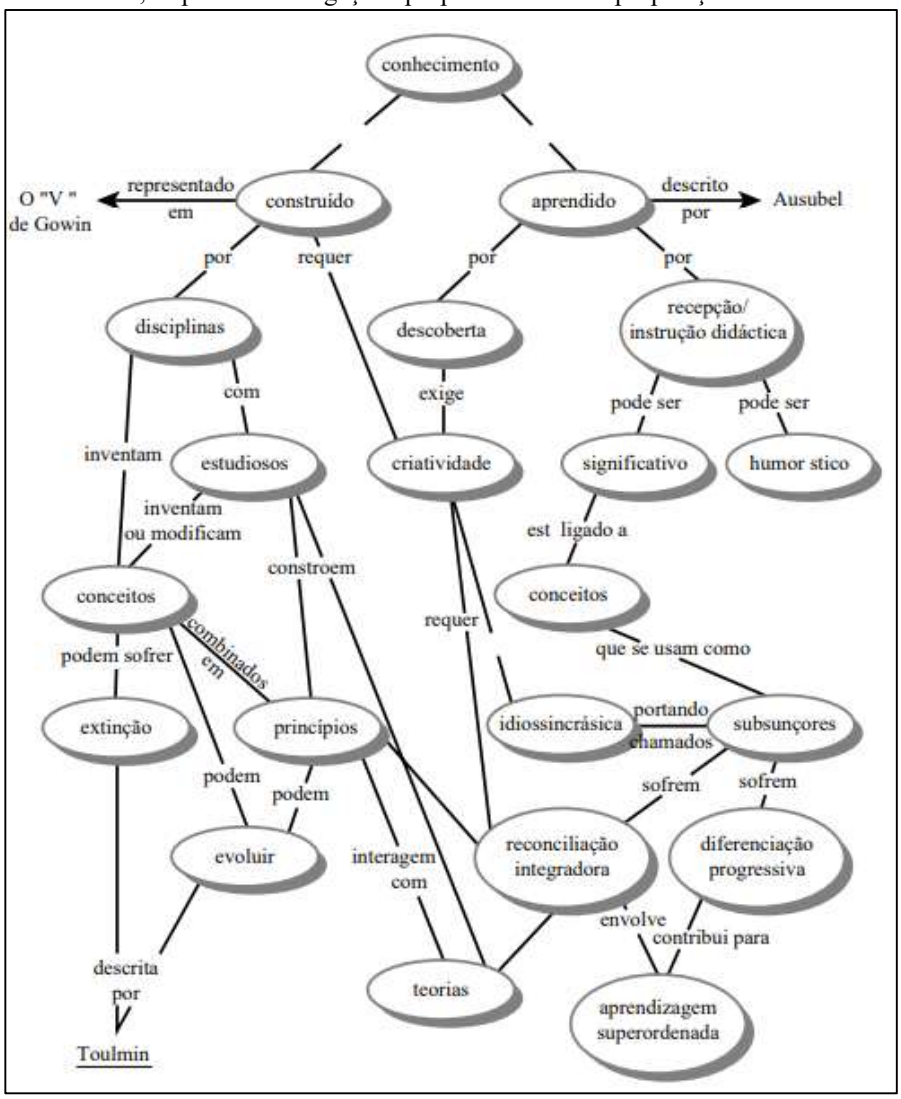
Fonte: MOREIRA, 2013.

Faz-se necessário citar Joseph Novak e D. Bob Gowin, teóricos que também estudam a aprendizagem significativa na estrutura cognitiva dos indivíduos, com um foco maior nos mapas conceituais, estes mapas:

> [...] têm por objectivo representar relações significativas entre conceitos na forma de proposições. Uma proposição consiste em dois ou mais termos conceptuais ligados por palavras de modo a formar uma unidade semântica. Na sua forma mais simples, um mapa de conceitos consta apenas de dois conceitos unidos por uma palavra de ligação de modo a formar uma proposição. Por exemplo, "o céu é azul" representa um mapa conceptual simples formado por uma proposição válida referente aos conceitos "céu" e "azul". (NOVAK; GOWIN, 1984, p. 31)

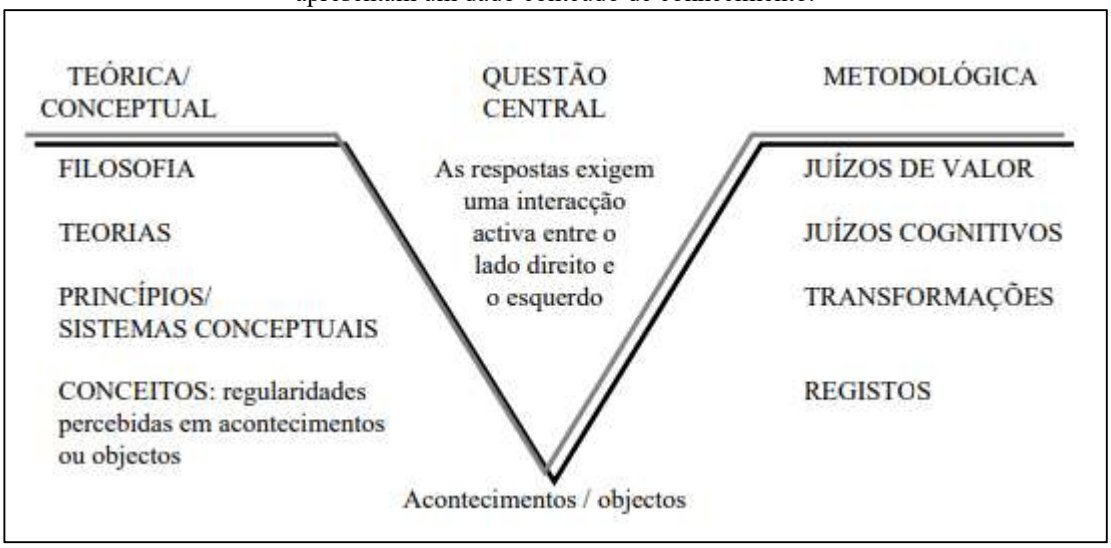
Mesmo que este trabalho não utilize mapas conceituais em sua abordagem metodológica, é necessário informar, rapidamente, como estes autores interpretavam o processo de aprendizagem significativa através de mapas conceituais como se dá a aquisição do conhecimento tratadas no livro Aprender a Aprender (1984), a seguir as figuras 3 e 4, retiradas deste mesmo livro, mostram os mapas conceituais construídos por Novak e Gowin. Na aprendizagem do indivíduo, os mapas conceituais servem para manifestar estes os conceitos e melhora-los.

Figura 3. Mapa conceitual mostrando as principais ideias presentes no livro Aprender a Aprender de Gowin e Novak (1984), sobre a aquisição e construção do conhecimento. Os conceitos chave aparecem rodeados por ovais; as palavras de ligação apropriadas formam proposições chave.



Fonte: NOVAK; GOWIN, 1994.

Figura 4. O "Vê" heurístico de Gowin — inventado para ilustrar os elementos conceptuais e metodológicos que interagem no processo de construção do conhecimento ou nas análises de conferências ou documentos que apresentam um dado conteúdo de conhecimento.



Fonte: NOVAK; GOWIN, 1994.

O diagrama da figura 4 é uma ilustração básica da estratégia utilizada como ferramenta por Novak e Gowin (1984), onde percebe-se elementos importantíssimos e indispensáveis para compreender a natureza e a produção do conhecimento, com o intuito de que alunos e professores possam dominar a estrutura do conhecimento, ajudando-os a melhoria do ensino experimental em ciências, este "Vê" foi um método elaborado por Gowin, que levou 20 anos de estudo, método esse que pode ser utilizado em diversas áreas do ensino.

As principais deficiências no ensino podem estar relacionadas à ausência de associar os conceitos e fenômenos físicos do cotidiano, além da interpretação de texto e pouca habilidade em operações envolvendo matemática básica. Atualmente, outro fator que contribui para que o processo ensino-aprendizagem em Física seja deficiente, está diretamente ligado às metodologias utilizadas por grande parte de professores da área. Estas metodologias de ensino de física não transmitem ao aluno a compreensão do fenômeno físico, pois em muitos casos a memorização é utilizada, exclusivamente, durante a explicação dos conteúdos aos discentes. Segundo Moreira (2015), Ausubel não descarta a aprendizagem mecânica, ele considera a mesma como um contínuo da aprendizagem significativa, mesmo assim não se pode basear a aula exclusivamente na memorização.

Entretanto, os professores não devem ser os únicos responsabilizados em relação ao processo de ensino e aprendizagem, em especial, nos conteúdos abordados no componente curricular de física. A indisponibilidade de espaços voltados para aulas práticas experimentais, também, contribui para a ineficácia do aprendizado.

A disponibilidade de utilizar os experimentos de forma, simples e eficaz, baseia-se em tornar o processo de ensino-aprendizagem mais dinâmico, buscando sempre que possível traçar um paralelo com a vida cotidiana dos discentes, para que seja possível a ligação de fatos cotidianos com a teoria apresentada pelo docente. Segundo Moreira (2015, p. 161), "A aprendizagem significativa é um processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se, de maneira substantiva (não-literal) e não-arbitrária, a um aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo".

Nesse sentido, experimentos são ferramentas de fundamental eficácia no ensino de física, onde o aluno visualiza o fenômeno e relaciona a informação teórica obtida com as ideias relevantes observadas por ele, tornando-se um método mais concreto no que diz respeito ao entendimento dos fenômenos da natureza. Uma das bases deste trabalho é exatamente mostrar a relevância dos experimentos didáticos no ensino de Física, especificamente o estudo da eletricidade visando à Aprendizagem Significativa dos conceitos físicos relacionados ao experimento.

Para que o conhecimento aconteça de forma satisfatória é necessário que haja uma ancoragem da nova informação, o chamado conceito subsunçor, citado anteriormente, sendo assim a interação entre as informações ocorrerá de forma não arbitrária, isso só sucederá se o aluno possuir um interesse na busca desse conhecimento, fazendo com que haja sentido naquilo que está aprendendo, assim:

> [...], para aprender de maneira significativa o aprendiz deve querer relacionar o novo conteúdo de maneira não-literal e não-arbitrária ao seu conhecimento prévio. Independente de quão potencialmente significativa é a nova informação (um conceito ou uma proposição, por exemplo), se a intenção do sujeito for apenas a de memorizá-la de maneira arbitrária e literal, a aprendizagem só poderá ser mecânica. (MOREIRA, 2011, p.36)

Neste sentido, o discente deve possuir uma postura proativa no momento do aprendizado, assim o experimento de eletrorresistividade foi incorporado a essa dissertação de mestrado com o sentido de incentivar os alunos a buscarem o conhecimento através de um experimento que não é familiar aos mesmos, mas que pode despertar certa curiosidade nos discentes, pelo fato de ser algo diferente, novo para eles, e que através da abordagem experimental os mesmo possam aprender os significados dos conceitos físicos e geofísicos estudados.

O material considerado potencialmente significativo deve ser lógico e relacionável de maneira não-arbitrária a estrutura cognitiva do indivíduo, assim:

> Quando o material de aprendizagem não é potencialmente significativo (não relacionável de maneira substantiva e não-arbitrária à estrutura cognitiva), não é possível a aprendizagem significativa. De maneira análoga, quando o desequilíbrio cognitivo gerado pela experiência não assimilável é muito grande, não ocorre a acomodação. (MOREIRA, 2011, p. 28).

Ausubel, Novak e Hanesian (1980) relatam que a aprendizagem significativa e a aprendizagem mecânica, podem ser realizadas tanto por descoberta quanto por recepção, observa-se que:

> Na aprendizagem por recepção, o conteúdo total do que está por aprender apresenta-se ao aprendiz em forma acabada. A tarefa de aprendizagem não envolve qualquer descoberta independente por parte do mesmo. Ao aprendiz apenas se exige que interiorize o material que lhe é apresentado de forma a ficar disponível numa data futura, não permite ao aluno a liberdade de se expor e mostrar o que já sabe. (NEVES et al, 2017, p.721)

Como ocorre na sala de aula, em alguns casos, o conceito físico é entregue ao discente na forma final, muitas vezes os discentes não compreendem o processo de concepção de determinada equação que relaciona o conceito estudado.

A aprendizagem por descoberta, segundo Ausubel (2000, p. 5) "[...] na aprendizagem pela descoberta, o aprendiz deve em primeiro lugar descobrir este conteúdo, criando proposições que representem soluções para os problemas suscitados, ou passos sucessivos para a resolução dos mesmos". Percebe-se então que na descoberta o indivíduo deve formular soluções por meio de proposições para chegar a solução de um determinado problema.

2.1.1 Tipos de Aprendizagem Significativa

Existem alguns tipos de aprendizagem significativa, como a representacional, segundo Ausubel (2000), este tipo de aprendizagem possui proximidade com a memorização, mesmo assim é considerada significativa, pois obedece aos fatores impostos para ocorrência de aprendizagem significativa. Ela ocorre sempre que símbolos arbitrários se equiparam com os referentes, ou seja, se relacionam com conceitos, acontecimentos ou objetos conhecidos pelo indivíduo, estas proposições podem se relacionar de forma não arbitrária, a uma espécie de generalização contida na estrutura cognitiva de quase todas os indivíduos, desde alguns meses de vida.

Há, também, a chamada aprendizagem conceitual em que é necessário aprender as palavras que representam um conceito, e o que este conceito é de fato.

> É, de certa forma uma aprendizagem representacional, pois conceitos são também representados por símbolos particulares; porém, são genéricos ou categóricos, representam abstrações dos atributos essenciais dos referentes, i.e., representam regularidades em eventos ou objetos. (MOREIRA, 2015, p.165)

Um terceiro tipo de aprendizagem significativa, a aprendizagem proposicional, que segundo Moreira (2011, 2015) e Ausubel (2000), ela acontece quando o indivíduo aprende o contexto de uma frase ou proposição, quando não se interessa apenas compreender uma palavra em específico ou a soma das palavras em uma frase, o que é aprendido é o significado das ideias por trás daquele grupo de palavras.

2.1.2 Assimilação, Aprendizagem subordinada, superordenada e combinatória

Para compreender de forma clara e coesa, como o indivíduo adquire e organiza os conceitos em sua estrutura cognitiva, Ausubel propôs a Teoria da Assimilação. Segundo Moreira (2015), a assimilação possui um efeito facilitador na retenção de conhecimento e basicamente é um processo que ocorre sempre que um novo conceito ou preposição, potencialmente significativo é assimilado sobre um conceito ou preposição mais inclusivo existente na estrutura cognitiva do indivíduo.

Utilizando um exemplo, o conceito de "força elétrica", será aprendido por um discente que já possui em sua estrutura cognitiva o conceito de "força", o novo conceito de "força elétrica" será compreendido pelo conceito mais inclusivo "força", de forma geral não só o conceito de "força elétrica" possuirá significado.

Acerca da aprendizagem superordenada e subordinada, observa-se que:

> Esta forma de aprendizagem significativa, na qual uma nova ideia, um novo conceito, uma nova proposição, mais abrangente, passa a subordinar conhecimentos prévios é chamada de aprendizagem significativa superordenada. Não é muito comum; a maneira mais típica de aprender significativamente é a aprendizagem significativa subordinada, na qual um novo conhecimento adquire significado na ancoragem interativa com algum conhecimento prévio especificamente relevante. (MOREIRA, 2012, p.16)

Assim, percebe-se que a aprendizagem significativa mais comum, acontece da forma subordinada, ou seja sempre a nova informação ancorasse a um conhecimento pré-existente na estrutura cognitiva do indivíduo, enquanto que a aprendizagem significativa superordenada, é mais complexa de acontecer, por que um conceito novo mais abrangente subordina conhecimentos prévios existente na estrutura cognitiva do ser.

Por fim, a aprendizagem combinatória.

> [...] É a aprendizagem de proposições e, em menor escala, de conceitos que não guardam uma relação uma relação de subordinação ou super-ordenação com proposições ou conceitos específicos, e sim, com conteúdo amplo, relevante de uma maneira geral, existente na estrutura cognitiva, isto é, a nova proposição não pode ser assimilada por outras já estabelecidas na estrutura cognitiva, nem é capaz de assimilá-las. (MOREIRA, 2015, p. 167)

Assim, notamos na aprendizagem combinatória é necessário um embasamento na área em estudo, para compreensão do mesmo, sendo necessário um conhecimento mais profundo sobre o tema estudado.

2.1.3 Diferenciação progressiva e reconciliação integrativa

A diferenciação progressiva, acontece sempre que um conceito é aprendido por subordinação. Segundo Moreira (2015), no processo de ancoragem de conceitos novos com um subsunçor, esse processo pode ser realizado uma vez ou repetidamente, quando isso acontece dá-se o nome de diferenciação progressiva, sendo um processo sempre presente na aprendizagem significativa subordinada.

> A diferenciação progressiva é o princípio segundo o qual as ideias e conceitos mais gerais e inclusivos do conteúdo da matéria de ensino devem ser apresentados no início da instrução e, progressivamente, diferenciados em termos de detalhe e especificidade. (MOREIRA, 2015, p. 167)

Acerca da reconciliação integradora, Novak e Gowin (1984, p. 119) dizem que "Este princípio de aprendizagem determina que a aprendizagem significativa é melhorada quando o aluno reconhece novas relações conceptuais (ligações conceptuais) entre conjuntos de conceitos ou proposições".

Vamos considerar a seguinte situação, os alunos possuem a concepção corriqueira ao analisar a ocorrência do choque elétrico, atribuindo a intensidade do choque, a tensão elétrica, sendo que a intensidade do choque depende do tipo e intensidade da corrente elétrica. Ou seja, quando os alunos reconhecem que a intensidade do choque elétrico está ligado diretamente a intensidade da corrente elétrica e do caminho da corrente elétrica no corpo do indivíduo, eles podem reconciliar de forma integradora as suas ideais antigas com as recentes.

A diferenciação progressiva e reconciliação integrativa são importantes para o processo de ensino, observa-se que:

> A diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa são, ao mesmo tempo, processos da dinâmica da estrutura cognitiva e princípios programáticos da organização da matéria de ensino, assim como a consolidação (do que está sendo estudado e aprendido). (MOREIRA, 2006, p. 4)

Assim nota-se que a diferenciação progressiva e reconciliação integrativa, possuem papel importante, e segundo Moreira (2015) podem ser utilizados na prática, na implementação de subsunçores adequados para o aprendizado do discente sobre os conteúdos estudados.

Assim, este trabalho está ancorado na aprendizagem significativa de Ausubel,

buscando a existência de um material potencialmente significativo. Moreira (2016) acrescenta que o material potencialmente significativo é aquele que é relacionável ou incorporável à estrutura cognitiva do aprendiz, de maneira não-arbitrária e não-literal.

Desta forma, diante de um material potencialmente significativo, a apropriação dos novos conhecimentos torna-se mais fácil com a experimentação.

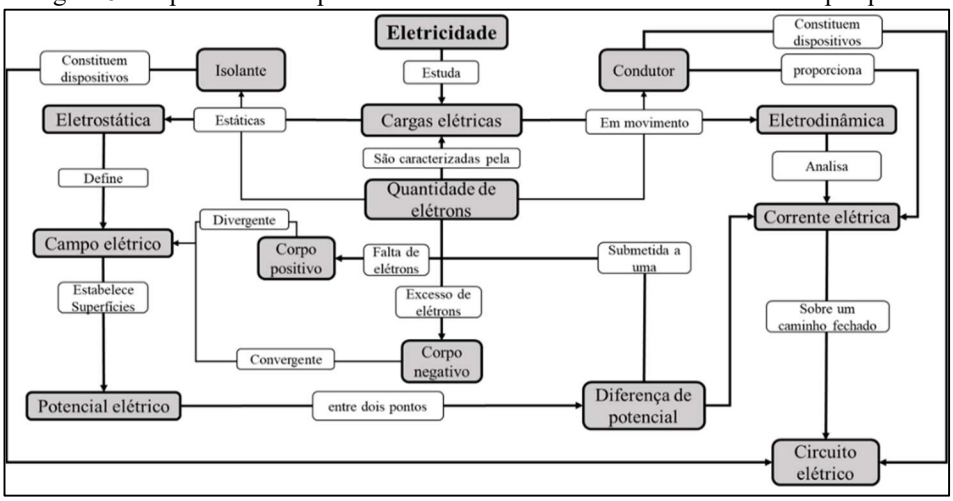
> O interesse dos estudantes em relação ao eletromagnetismo e sua associação com conhecimentos prévios sobre o tema facilitou o desenvolvimento das atividades. Foi possível concluir que as aulas de Física com a utilização de experimentos e atividades planejadas, mesmo que simples, enriquecem o elo entre teoria e prática, incentivando os alunos a serem construtores do seu conhecimento e proporcionando a construção dos conceitos estudados através da aplicação e análise dos fenômenos e leis físicas, colaborando para um ensino de qualidade com aprendizagem potencialmente significativa. (ARRAES, 2019, p. 40)

De outra forma, Lima Junior reforça a relevância das aulas experimentais, deixando claro que estas levam os estudantes a se tornarem intrinsicamente parte do conhecimento.

> Em todo o processo, observou-se a interação e o protagonismo dos alunos tanta na realização e coleta dos dados quanto na verificação e discussão em grupo obtidos. Além disso, verificou-se em todo o processo de ensino a consonância entre as teorias de aprendizagem que fundamentam a proposta com elementos atitudinais e comportamentais dos estudantes, o "aprender fazendo" da teoria do desenvolvimento intelectual de Bruner, a atuação dos organizadores prévios de Ausubel e os fatores que influenciam na transposição didática foram notórios. (LIMA JUNIOR et al, 2019, p. 12)

Como este trabalho visa apresentar uma sequência didática de eletricidade, usando o experimento de eletrorresistividade como material potencialmente significativo no ensino de Física na Educação Básica, pode-se criar um mapa conceitual para a correlação dos conceitos envolvidos, como mostra a figura 5, de modo que se possa construir um processo de aprendizagem mais significativo. De acordo com Texeira (2016), a ampla utilização de mapas conceituais em pesquisa de ensino está direcionada principalmente naquelas que tem sua fundamentação em aprendizagem significativa, e sua aplicação no que diz respeito a compreensão dos conteúdos.

Figura 5. Mapa conceitual para o conteúdo de eletricidade abordado nesta pesquisa.



Fonte: Próprio autor.

Para construção do mapa conceitual da figura 5, são necessários ter em vista alguns tópicos importantes na confecção destes. Basicamente seria: identificar os conceitos chave do conteúdo; ordenar os conceitos de forma hierárquica, seguindo a linha do mais geral para o mais específico; conectar os conceitos com linhas, mostrando com palavras a relação entre os conceitos conectados. Tendo em vista que dois conceitos ligados por uma linha rotulada constitui uma proposição (unidades básicas de um mapa conceitual possuindo clareza semântica e não sendo trivial).

Desta forma, ao se basear na aprendizagem significativa, o professor deverá identificar a estrutura conceitual da matéria de ensino, identificar os subsunçores relevantes a aprendizagem do conteúdo a ser ensinado, percebendo aquilo que o aluno já sabe e ensinar, através de recursos e princípios que venham facilitar a aquisição da estrutura conceitual da matéria abordada de uma maneira significativa.

De acordo com Teixeira (2016), portanto, a criação da sequência didática, baseada na teoria de aprendizagem significativa de Ausubel, é preciso seguir alguns princípios, que são:

- o conhecimento prévio é a variável que mais influencia a aprendizagem significativa;
- pensamentos, sentimentos e ações estão integrados no ser que aprende; essa integração é positiva, construtiva, quando a aprendizagem é significativa;
- é o aluno quem decide se quer aprender significativamente determinado conhecimento;
- organizadores prévios mostram a relacionabilidade entre novos conhecimentos e conhecimentos prévios;
- são as situações-problema que dão sentido a novos; elas devem ser criadas para despertar a intencionalidade do aluno para a aprendizagem significativa, podem funcionar como organizadores prévios, devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade;

- frente a uma nova situação, o primeiro passo para resolvê-la é construir, na memória de trabalho, um modelo mental funcional, que é um análogo estrutural dessa situação;
- a diferenciação progressiva, a reconciliação integradora e a consolidação devem ser levadas em conta na organização do ensino;
- a avaliação da aprendizagem significativa deve ser feita em termos de buscas de evidências; a aprendizagem significativa é progressiva;
- a interação social e a linguagem do professor é o de provedor de situações-problema, cuidadosamente selecionadas, de organizador do ensino e mediador da captação de significados de parte do aluno;
- um episódio de ensino envolve uma relação triádica entre aluno, docente e materiais educativos, cujo objetivo é levar o aluno a captar e compartilhar significados que são aceitos no contexto da matéria de ensino, essa relação poderá ser quadrática com o uso não apenas como material educativo do computador ;
- a aprendizagem significativa crítica é estimulada pela busca de respostas (questionamento) ao invés da memorização de respostas conhecidas, mecanicamente, pelo uso da diversidade de materiais e estratégias instrucionais, pelo abandono da narrativa em favor de um ensino centrado no aluno.

Portanto, a partir da teoria de aprendizagem significativa de Ausubel, no processo de ensino e de aprendizagem dos conteúdos disciplinares de Física, especificamente os de Eletricidade, os alunos precisam construir novos conceitos e relacioná-los com seus conhecimentos prévios adequados e estruturados, por meio de suas experiências pessoais que facilitaram a compreensão dos novos conceitos. Assim, o próximo capitulo é destinado para apresentação dos conceitos de eletricidade abordados na pesquisa.

2.2 Conceitos básicos de eletricidade

O estudo da eletricidade é de suma importância para entender e explicar uma diversidade de fenômenos da natureza. Assim, abordaremos os conceitos de eletricidade que apresentamos no mapa conceitual da figura 5, e além de outros que estão correlacionados para o entendimento de um circuito elétrico do método de eletrorresistividade, de forma experimental, que serão ministrados em sala de aula na sequência didática.

2.2.1 Carga elétrica

Segundo Halliday, Resnick e Walker (2001) e Máximo, Alvarenga e Guimarães (2016), desde os gregos, a partir das experiências de Tales de Mileto (624- 556 a.C) e relatos do filósofo Platão (428-348 a.C), já se sabe que um âmbar, pedra que surge a partir da fossilização de seres vivos, quando atritado, adquire propriedade de atrair outros corpos leves ao seu redor, como palhas e plumas.

Atualmente, sabe-se muito acerca da composição da matéria, ela é composta de átomos. Os átomos são formados por um núcleo, composto por prótons e nêutrons, e a eletrosfera disposta de elétrons que orbitam ao redor do núcleo. Segundo Máximo, Alvarenga e Guimarães (2016), no ano de 1600 d.C. William Gilbert publicou seu livro chamado "Sobre os imãs e corpos magnéticos e sobre o grande imã, a Terra", que relata várias experiências eletrostáticas associadas ao âmbar, para distingui-las dos fenômenos magnéticos.

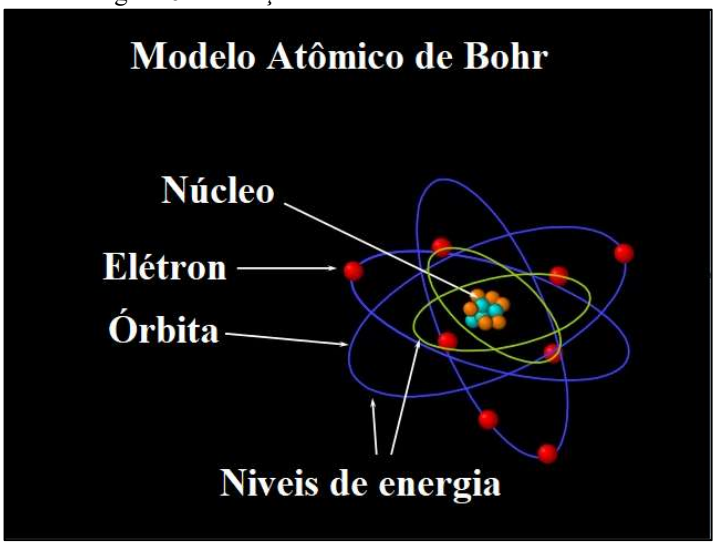
Como a palavra grega "elektron" significa âmbar, Gilbert começou a caracterizar corpos que se comportavam como o âmbar, com o termo "elétrico". Segundo Bonjorno et al (2016), no século XVIII, a eletricidade era tratada como um fluído. Nos estudos de Stephen Gray (1666-1736), notou-se esse comportamento de fluído da eletricidade, e também foi realizada a primeira classificação de materiais que permitiam a condução de eletricidade e os que não permitiam.

O desenvolvimento da eletricidade contou, também de forma significativa, com Charles du Fay (1698-1739) e Benjamin Franklin (1706-1790). O primeiro definiu duas formas de eletricidade, a vítrea ou positiva, que acontece quando o vidro é atritado com seda, e a resinosa ou negativa, produzido atritando enxofre com lã. Já Franklin definiu que esses dois tipos de eletricidade que du Fay propôs. Existe material, no caso do atrito entre dois corpos de materiais diferentes, que transfere o fluído ficando com eletricidade negativa e o que recebe se eletrizando positivamente. Enquanto que nos corpos neutros, o fluido existiam em uma quantidade considerada normal.

Com os estudos das pilhas por Alessandro Volta (1745-1827) e com a revolução industrial, a eletricidade modificou o comportamento da sociedade, com a invenção dos telefones, motor elétrico, entre outros aparelhos. A partir do século XIX a eletricidade começou a ser tratada como matéria, iniciando o estudo do átomo, deixando de lado a ideia de fluido.

No final do século XIX, foram propostos modelos atômicos, como o de Joseph John Thomson (1856-1940), Ernest Rutherford (1871-1937) e por fim o de Niels Bohr (1885-1962), o modelo aceito nos dias atuais, como ilustra a figura 6. No modelo atômico de Bohr, o núcleo é composto de prótons e nêutrons, e os elétrons orbitam ao redor do núcleo, nos níveis de energia, localizados na região da eletrosfera.

Figura 6. Ilustração do Modelo Atômico de Bohr.



Fonte: HERRERA, 2015. Adaptado pelo autor.

Segundo Xavier e Barreto (2010), os prótons e elétrons foram caracterizados como portadores de carga elétrica, enquanto que o nêutron é uma partícula eletricamente neutra, o próton foi caracterizado como portador da carga positiva (+), e o elétron ficou caracterizado com carga negativa (–). Assim o átomo é considerado eletricamente neutro, quando possui o mesmo número de elétrons e prótons, quando esse equilíbrio é rompido, ele se torna um íon, sendo positivo quando possui falta de elétrons e negativo quando possui excesso de elétrons.

A quantidade de carga elétrica que um corpo possui é dada em termos da carga elementar e do elétron. O valor em módulo da carga elementar, dado experimentalmente, é

$$e = 1{,}602 \times 10^{-19}\ \mathrm{C}, \tag{1}$$

Onde C é a unidade de medida chamada de Coulomb, no Sistema Internacional de Unidades – SI, em homenagem ao físico Charles Augustin de Coulomb (1736-1806). Assim pode-se descrever a carga do elétron e^- e do próton e^+da seguinte forma, respectivamente:

$$e^- = 1{,}602 \times 10^{-19}\ \mathrm{C} \tag{2}$$

$$e^+ = 1{,}602 \times 10^{-19}\ \mathrm{C} \tag{3}$$

Segundo Bonjorno et al (2016), J.J Thomson estabeleceu uma razão entre a massa e a carga do elétron:

$$\frac{m}{e} = 5{,}70\ x\ 10^{-12}\ \mathrm{kg/C} \tag{4}$$

Assim foi possível determinar a massa de um elétron:

$$m = 9{,}1314\ x\ 10^{-31}\ \mathrm{kg} \tag{5}$$

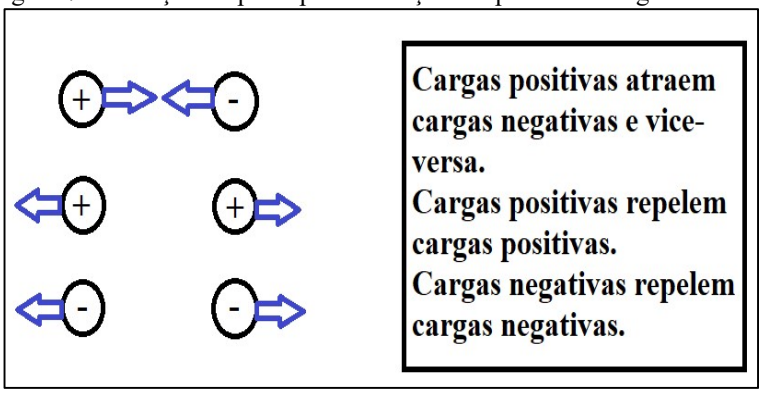
A carga elétrica total de um corpo é dada em múltiplos da carga elementar, segundo Xavier e Barreto (2010), um corpo eletrizado possui n elétrons, a mais (+) quando recebe elétrons e a menos (-) quando cede elétrons, isto é:

$$Q = \pm n.e \tag{6}$$

Segundo Calçada e Sampaio (2005) a carga elétrica obedece o princípio da conservação da carga elétrica, este princípio diz que em um sistema isolado a carga elétrica total permanece constante.

As carga elétricas apresentam forças de interação entre si, assim Halliday, Resnick e Walker (2001) dizem que, devido ao princípio da atração e repulsão de cargas elétricas, cargas de mesmo sinal elétrico se repelem e cargas de sinais elétricos contrários se atraem.

Figura 7. Ilustração do princípio da atração e repulsão de cargas elétricas.



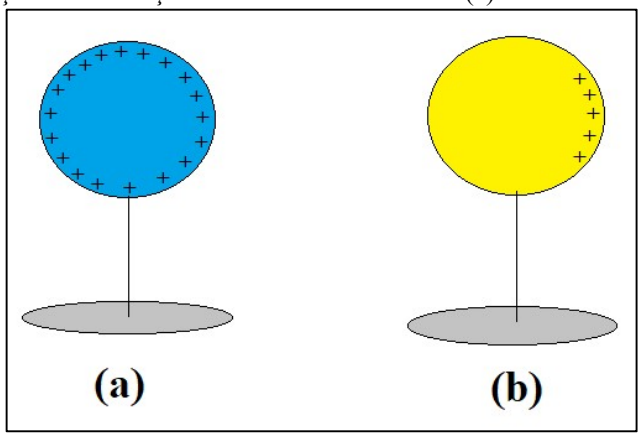
Fonte: Próprio autor.

2.2.2 Condutores e Isolantes

Existem materiais que conduzem mais facilmente a eletricidade e outros não. Esse comportamento dos materiais ocorre devido à presença ou ausência dos elétrons livres, que possuem uma fraca ligação com o núcleo do átomo, assim estes elétrons circulam livremente no interior do material. Assim, quando matérias possuem facilidades em conduzir eletricidade, são chamados de condutores, e quando possuem dificuldade na condução de eletricidade, são chamados de isolantes ou dielétricos. Os metais, água mineral e carbono são exemplos de condutores, e a borracha, madeira e plástico são exemplos de isolantes.

Segundo Bonjorno et al (2016) a eletrização ocorre de forma diferente em materiais condutores e isolantes.

Figura 8. Ilustração da eletrização de um material condutor (a) e de um material isolante (b).



Fonte: Próprio autor.

Nota-se que na figura 7, a eletrização de um corpo condutor, as cargas elétricas se distribuem uniformemente na superfície do material (a). Já no corpo corpo isolante (b), a eletrização fica contida apenas na região que foi realizada a eletrização.

Existem materiais que não são nem condutores e nem isolantes, são os semicondutores. Segundo Máximo, Alvarenga e Guimarães (2017), dependendo dos arranjos dos átomos desses materiais, eles podem se tornar ótimos condutores, quando cerca de $10^{-5}\%$ dos elementos como boro e arsênio, são adicionados a elementos como germânio e silício, tem-se um semicondutor, amplamente utilizados na construção de chips de celulares e computadores.

2.2.3 Processos de eletrização

É possível eletrizar um corpo por eletrização por atrito, por contato e por indução. Na eletrização por atrito, segundo Sampaio e Calçada (2005), dois materiais são friccionados fortemente, com tal proximidade que elétrons são transferidos de um corpo a outro, do corpo que possui facilidade em transferir elétrons, para o corpo que tem facilidade em receber elétrons, aqueles que ficam com excesso de elétrons, ficam carregados negativamente, enquanto que aqueles que ficaram com falta de elétrons, ficam com carga positiva.

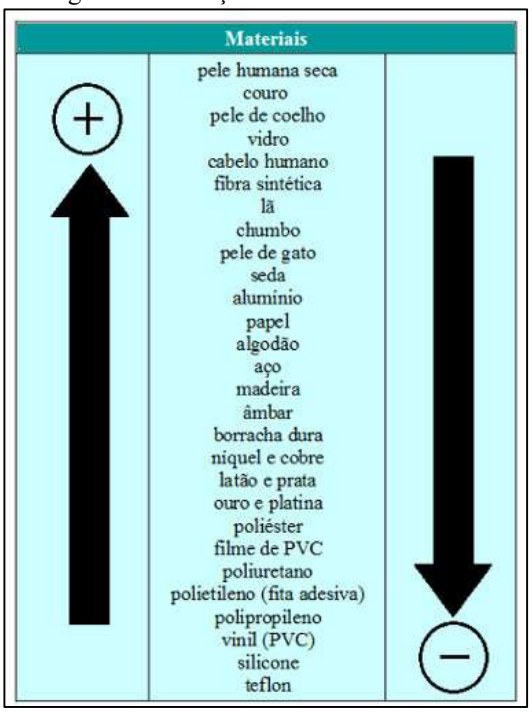
Segundo Sampaio e Calçada (2005), quando corpos neutros recebem elétrons, ficam eletrizados negativamente e quando perdem elétrons ficam carregados positivamente, pode-se dizer que na eletrização por atrito é mais fácil eletrizar corpos isolantes do que corpos condutores, e toda vez que corpos de matérias diferentes são atritados entre si, cargas de sinais contrários aparecem na região de atrito.

Na eletrização por atrito não ocorre a criação de cargas, elas são apenas transferidas de um corpo para o outro, de acordo com o princípio da conservação da carga elétrica, isto é, em

um sistema isolado de corpos eletrizados, a soma algébrica das cargas de todos os corpos permanece constante.

A figura 9 mostra uma lista de diversos tipos de materiais existentes e a tendência de ceder ou receber elétrons, quando atritados, para facilitar a compreensão do atrito entre diversos materiais. Essa lista é chamada de série triboelétrica, nela os materiais que vem primeiro de cima para baixo ficam carregados positivamente, e os matérias de baixo, ficam carregados negativamente, quando atritados entre si.

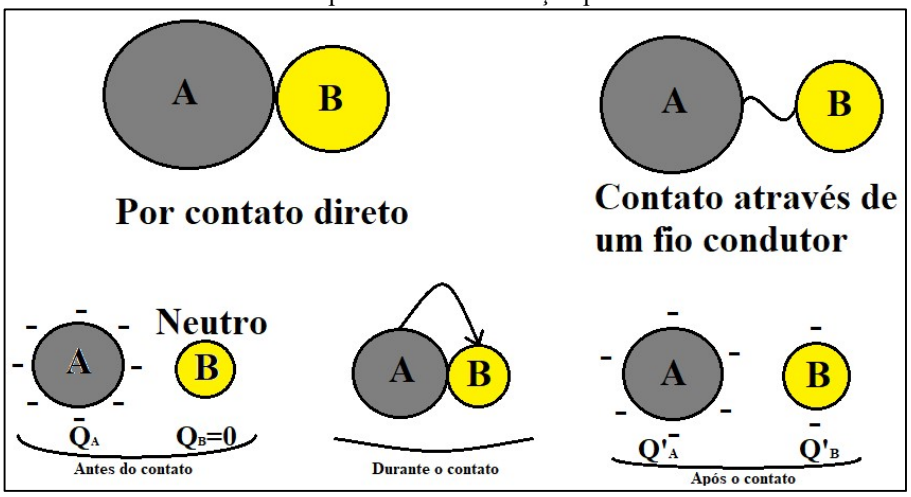
Figura 9. Ilustração da série triboelétrica.



Fonte: Fogaça, [201?].

A eletrização por contato ocorre quando dois corpos são colocados em contato entre si, tanto pelo contato direto, quanto pelo contato através de um fio condutor, um deles inicialmente eletrizado e o outro neutro. Após o contato, ambos se eletrizam com cargas de mesmo sinal, a figura 10 mostra um esquema de eletrização por contato. Nesse processo, o corpo de maior dimensão terá proporcionalmente maior quantidade de carga em relação ao menor. Se possuírem a mesma dimensão, ambos após o contato se eletrizaram com a mesma quantidade de carga elétrica.

Figura 10. Ilustração das formas de contato durante o processo de eletrização e a distribuição das cargas elétricas no processo de eletrização por contato.



Fonte: Próprio autor.

De acordo com a figura 10, Q_A e Q_B são as quantidades de carga elétrica dos corpos A e B respectivamente, antes do contato, e Q'_A Q'_B são as quantidades de carga elétrica de A e B, após o contato. Assim, conforme o princípio da conservação da carga elétrica, podemos equacionar a carga elétrica como:

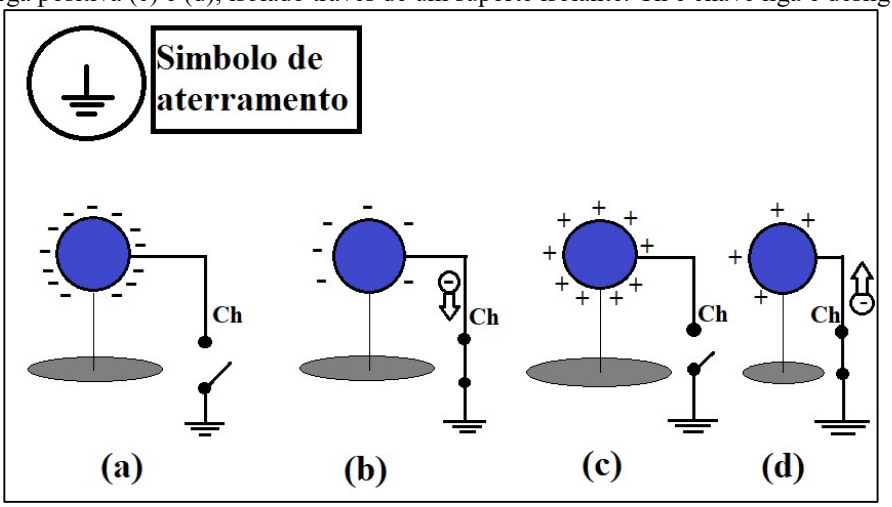
$$Q_A + Q_B = Q'_A + Q'_B. \tag{7}$$

Se na figura 10, o corpo A estivesse carregado positivamente, as cargas de A, seriam transferidas proporcionalmente para B, deixando este corpo carregado positivamente. Portanto na eletrização por contato ocorre a transferência de cargas elétricas entre os corpos, sem que a quantidade total do sistema seja alterada durante o processo de eletrização.

No estudo da eletrização por contato, temos também o processo de contato entre um corpo e a Terra, a este contato dá-se o no de aterramento, Segundo Young e Freedman (2015), o excesso de carga elétricas em um condutor pode ser transferido para Terra, tanto por meio de um fio condutor, quanto pelo contato direto. Como a Terra é o corpo de maior tamanho em relação a corpos em sua superfície, se torna uma fonte quase inesgotável de elétrons, e também um ótimo dissipador de elétrons indesejáveis, assim a Terra pode "isolar" um corpo, deixando este neutro.

Na figura 11, temos as situações de aterramento ilustradas. Nas situações (a) e (b), as cargas elétricas negativas em excesso no condutor eletrizado foram fluídas para terra, onde deixará o corpo neutro. Enquanto que nos casos (c) e (d), as cargas elétricas positivas em excesso foram balanceadas com as cargas negativas enviadas pela Terra, em que o corpo se tornará eletricamente neutro.

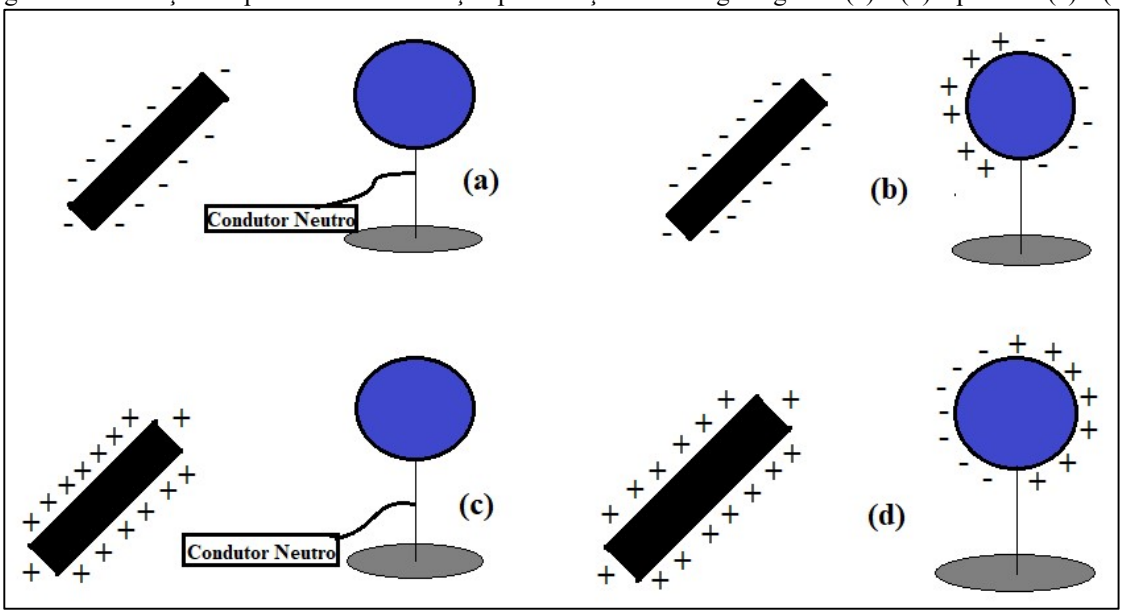
Figura 11. Ilustração do símbolo de aterramento, e também do processo de aterramento de um corpo eletrizado com carga negativa (a) e (b), isolado através de um suporte isolante, e também de um corpo eletrizado com carga positiva (c) e (d), isolado través de um suporte isolante. Ch é chave liga e desliga.



Fonte: Próprio autor.

No processo de eletrização por indução, diferente dos processos anteriores, os corpos não entram em contato. Neste processo, um corpo inicialmente neutro é eletrizado, pela simples aproximação de outro eletrizado, como mostra a figura 12, sendo um condutor indutor negativo ou positivo. Nota-se que no corpo induzido, nos dois casos, ocorre um processo conhecido como polarização elétrica

Figura 12. Ilustração do processo de eletrização por indução com carga negativa (a) e (b) e positiva (c) e (b).



Fonte: Próprio autor.

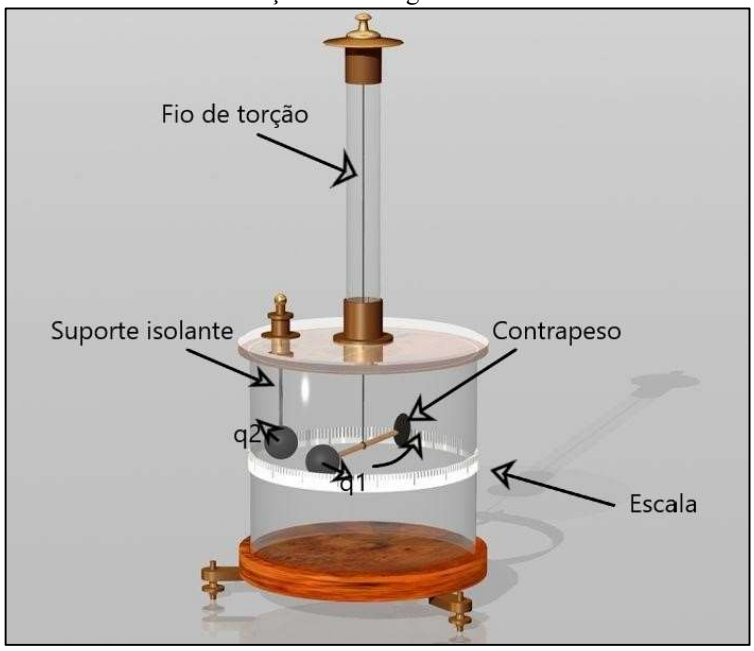
A polarização elétrica é um processo que causa uma separação de cargas elétricas na superfície do corpo induzido, onde as cargas elétricas, da face mais próxima do indutor, possuem sinal contrário as cargas elétricas do mesmo, e na face oposta do induzido, as cargas possuem o mesmo sinal do indutor.

2.2.4 Lei de Coulomb

Evidencia-se que Joseph Priestley (1733-1804), através de estudos acerca da atração e repulsão de cargas elétricas, notou que provavelmente essa interação entre as cargas, poderia ser descrita por uma relação parecida com a de Newton (1643-1727) para interação entre massas, no caso a Lei da Gravitação Universal.

As previsões de Priestley foram concretizadas por Charles August Coulomb (1736-1806), físico francês. Ele estabeleceu uma relação entre as forças de atração e repulsão de cargas elétricas, a partir de um experimento utilizando uma balança de torção, como visualizada na figura 13. Na balança de torção, a força de interação é elétrica é dada em função do ângulo de torção, uma vez que a repulsão ou atração entre as esferas eletrizadas causa um movimento rotacional.

Figura 13. Ilustração da balança de torção, utilizada por Coulomb na determinação da Força elétrica de interação entre cargas elétricas.



Fonte: HELERBROCK, [201?]. (adaptado pelo autor).

As cargas elétricas que trocam essas forças de repulsão e atração, são consideradas como cargas de raio r muito pequeno em relação a distância que separa as cargas, assim elas são chamadas de cargas puntiformes ou pontuais. Segundo Halliday, Resnick e Walker (2001), Young e Freedman (2015), Coulomb realizou observações acerca das forças elétricas entre corpos eletrizados, e concluiu que:

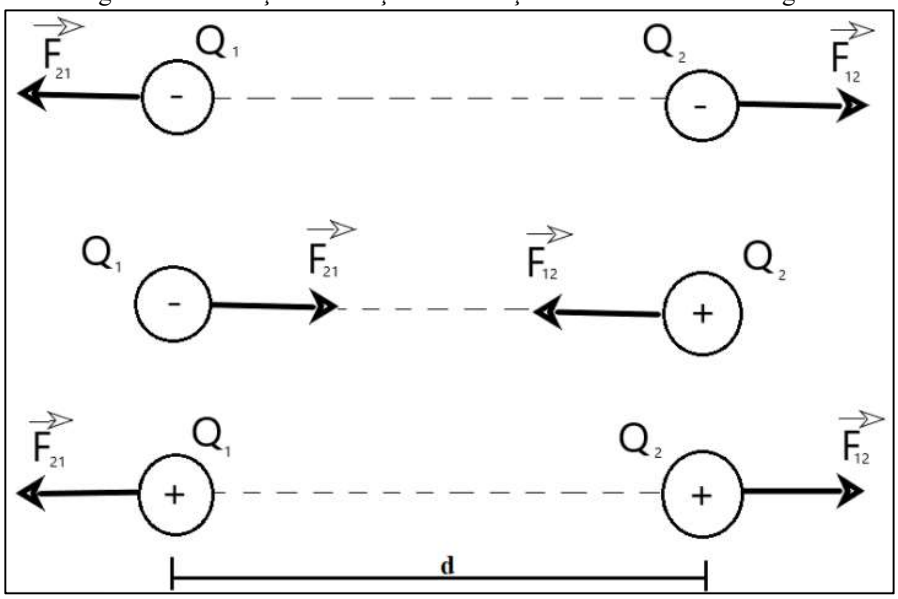
1º) A força elétrica de interação, dependem das cargas elétricas presentes em cada um dos corpos eletrizados que estão interagindo, sendo diretamente proporcional ao valor de uma

das cargas, e também ao produto entre as cargas.

$$F \propto |Q_1||Q_2| \tag{8}$$

2°) A força elétrica possui a direção da reta que passa pelo centro das cargas elétricas. Na figura 14, o vetor $\vec{F}_{12}$ representa a força elétrica que a partícula 1 exerce na partícula 2 e $\vec{F}_{21}$ a força elétrica que a partícula 2 exerce em 1.

Figura 14. Ilustração das forças de interações elétricas entre as cargas.



Fonte: Próprio autor.

3°) A força elétrica obedece a terceira lei de Newton, assim as forças constituem um par ação e reação,

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \qquad \text{e} \qquad |\vec{F}_{12}| = |\vec{F}_{21}|. \tag{8}$$

4°) A força elétrica é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as cargas,

$$F \propto \frac{1}{d^2}. \tag{9}$$

5°) A força elétrica depende do meio em que as cargas Q_1 e Q_2 estão inseridas, representada por k, e também das unidades adotadas. Assim para o vácuo, a constante do meio é chamada de constante eletrostática,

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o} = 9 \times 10^9 \ \frac{\mathrm{Nm}^2}{\mathrm{C}^2}, \tag{10}$$

onde $\varepsilon_o = 8{,}85 \times 10^{-1}\ \ \mathrm{C^2/Nm^2}$ é a permissividade elétrica do vácuo.

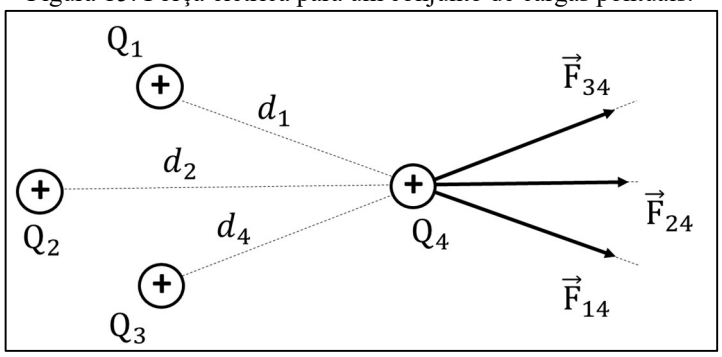
Assim pode-se enunciar a seguinte expressa, acerca do módulo da força elétrica entre as duas cargas ilustradas na figura 14,

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{Q_1 Q_2}{d^2}. \tag{11}$$

A equação 11 é definida como a lei de Coulomb. Se as cargas elétricas tem sinais opostos, a força entre elas será de atração, e se a força entre as cargas é repulsiva as cargas possuírem sinais iguais.

Consideraremos, agora, mais de duas cargas puntiformes estáticas, como mostra a figura 15, ou seja, são três cargas fontes e uma carga de prova. Neste caso, qual seria a força elétrica exercida sobre a carga Q_4 devido as cargas Q_1 e Q_2 e Q_3? A solução para esta questão é simplificada pelo princípio da superposição, isto é, a interação, $\vec{F}_{14}$, entre as duas cargas Q_1 e Q_4 não é modificada pela presença das cargas Q_2 e Q_3.

Figura 15: Força elétrica para um conjunto de cargas pontuais.



Fonte: Próprio autor.

Portanto, podemos calcular a força de cada par de cargas, como mostra a figura 15. A força total sobre a carga Q_2 é dada pela soma vetorial das forças de cada par de cargas:

$$\vec{F} = \vec{F}_{14} + \vec{F}_{24} + \vec{F}_{34}. \tag{12}$$

A soma da equação 12 é para o conjunto que consideramos, mas o princípio da superposição é válido para n cargas fontes sobre uma carga de prova Q_j:

$$\vec{F} = \vec{F}_{1j} + \vec{F}_{2j} + \vec{F}_{3j} + \cdots + \vec{F}_{nj}. \tag{13}$$

A lei de Coulomb e o princípio da superposição são alicerces físicos fundamentais da eletrostática, que são equações do eletromagnetismo.

2.2.5 Campo Elétrico

O campo elétrico é um fenômeno que foi explicado por Michael Faraday (1791-1867), no começo do século XIX. Com uso do conceito de campo de força foi possível compreender como as forças elétricas entre as corpos eletrizados se comporta, este conceito é utilizado na física, quando precisasse abordar fenômenos que modifiquem uma região do espaço, devido a presença de forças de interação elétricas, obedecendo regras específicas em um determinado intervalo de tempo.

O campo elétrico é representado pelo vetor $\vec{E}$, para identificar a existência de uma entidade física que preenche o espaço em torno de qualquer carga elétrica fonte. Desta forma, a força elétrica sobre as cargas está associada ao campo elétrico na posição da carga de prova ou teste.

Vamos considerar, novamente, a distribuição de cargas da figura 15, substituindo a lei de Coulomb na soma vetorial, pelo princípio da superposição,

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{Q_4 Q_1}{d_1^2}\hat{d}_1 + \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{Q_4 Q_2}{d_2^2}\hat{d}_2 + \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{Q_4 Q_3}{d_3^2}\hat{d}_3$$

Onde $\hat{d}_i$ é um vetor unitário, que indica a direção e sentido de cada força. Podemos reescrever a equação como,

$$\vec{F} = Q_4\left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{Q_1}{d_1^2}\hat{d}_1 + \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{Q_2}{d_2^2}\hat{d}_2 + \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{Q_3}{d_3^2}\hat{d}_3\right).$$

Os termos entre parênteses estão associados às cargas fontes bem como as posições da carga de prova em relação às cargas fontes. Portanto, a força $\vec{F}$ resultante sobre a carga Q_4 é a ação campo total de todas as cargas fontes em relação a posição da carga de prova:

$$\vec{F} = Q_4\vec{E},$$

onde,

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{Q_1}{d_1^2}\hat{d}_1 + \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{Q_2}{d_2^2}\hat{d}_2 + \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{Q_3}{d_3^2}\hat{d}_3.$$

Portanto, para um conjunto de n cargas fonte pontuais, o campo elétrico é dado por:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\sum_{i=1}^{n}\frac{Q_i}{d_i^2}\hat{d}_i. \tag{14}$$

Neste caso, conhecendo o campo elétrico na posição de uma carga de prova Q, a força sobre essa carga é dada por:

$$\vec{F} = Q\vec{E}. \tag{15}$$

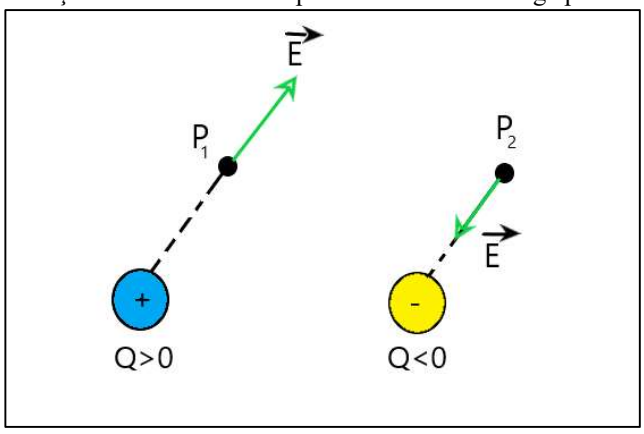
Substituindo a expressão da força elétrica entre duas cargas pontuais, o campo elétrico de uma carga pontual é dado, em módulo, por:

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{Q}{d^2}. \tag{16}$$

A unidade de medida de campo elétrico, no Sistema Internacional de Unidades, é Newton por Coulomb (N/C).

A partir da equação 14 podemos identificar que o sentido do campo elétrico depende do sinal da carga fonte. Quando a carga fonte é positiva, o campo tem orientação saindo da carga, no sentido do vetor unitário. Já para cargas negativas, é oposto ao vetor unitário, tem orientação para o centro da carga fonte, como está ilustrado na figura 16.

Figura 16. Ilustração do sentido do campo elétrico de uma carga positiva e negativa.

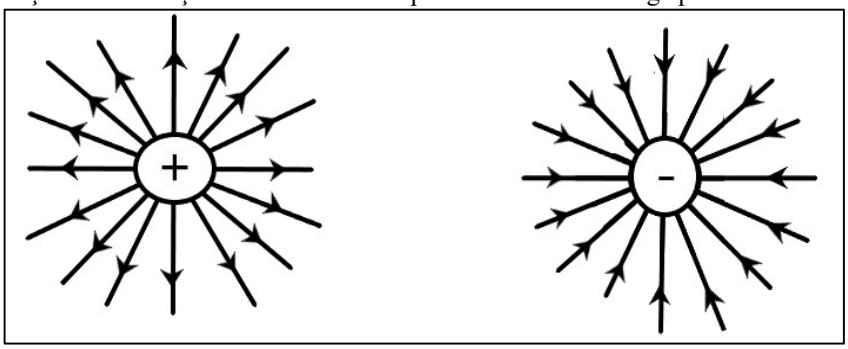


Fonte: Próprio autor.

Uma outra forma de representar o vetor campo elétrico é utilizar o conceito de linhas de força para explicar a direção e sentido do campo elétrico ao redor de um corpo eletrizado. A partir dessa representação, a intensidade do campo é dada em relação à densidade de linhas, quanto mais próximas as linhas são em uma determinada região, mais intenso é o campo elétrico, como visualizamos na figura 17.

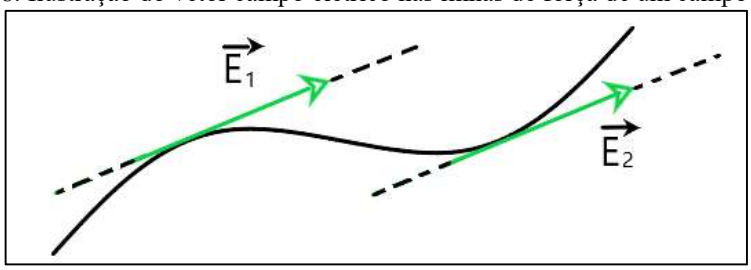
Convencionalmente utiliza-se o princípio de que em cargas elétricas de sinais negativos, as linhas de campo são convergentes. Para cargas elétrica com sinais positivos, dizemos que as linhas são linhas divergentes. O vetor $\vec{E}$, em cada ponto, é tangente a linha de força, como ilustrado na figura 18.

Figura 17. Ilustração da orientação das linhas de campo elétrica de uma carga positiva e uma carga negativa.



Fonte: Próprio autor.

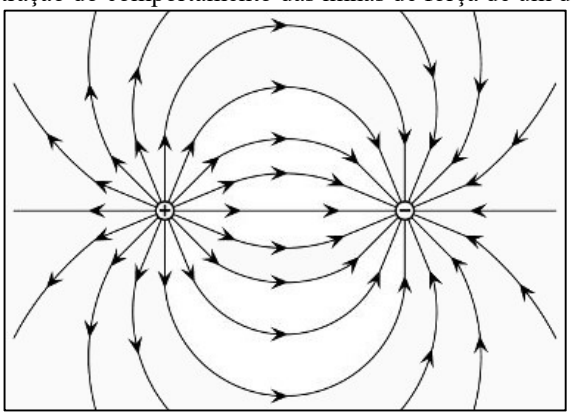
Figura 18. Ilustração do vetor campo elétrico nas linhas de força de um campo elétrico.



Fonte: Próprio autor.

Também é estudado o comportamento da interação entre os campos de cargas elétricas de mesmo sinal e sinais contrários, quando os campos de duas cargas de sinais contrários interagem, essa interação é chamada de dipolo elétrico, basicamente é um sistema de linhas de força do campo elétrico entre duas cargas puntiformes, como mostra a figura 19. Observa-se que as linhas de campo de um dipolo elétrico são encurvadas, e partem da carga positiva e terminam na carga negativa.

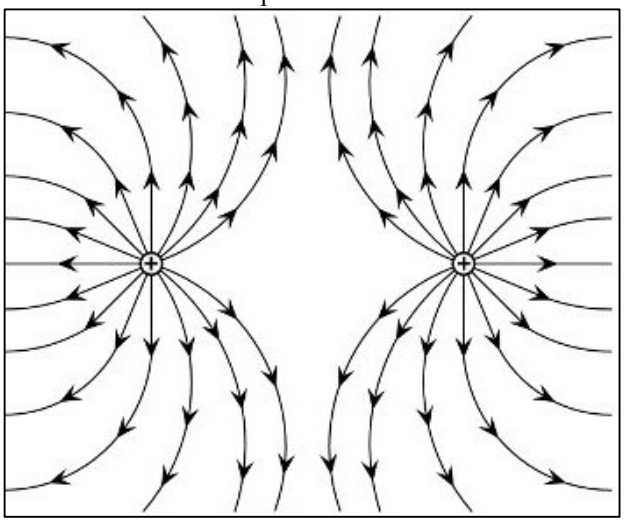
Figura 19.Ilustração do comportamento das linhas de força de um dipolo elétrico.



Fonte: HELERBROCK, 2020.

Na figura 20, nota-se o comportamento das linhas de força dos campos elétricos de cargas de mesmo sinal interagindo. As linhas de campo elétrico de duas cargas de sinais iguais interagindo, são encurvadas e se repelem.

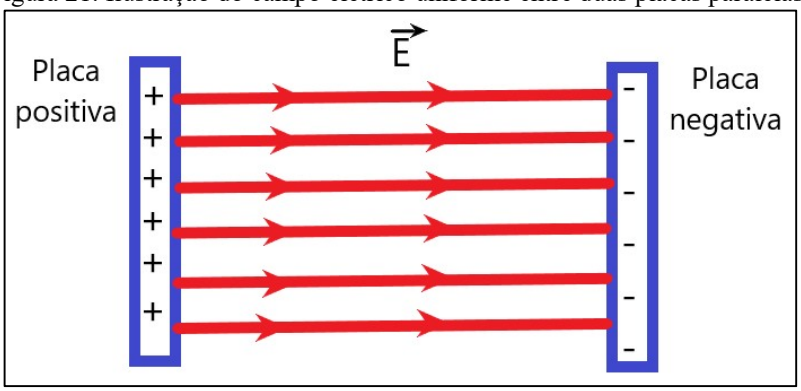
Figura 20. Ilustração do comportamento das linhas de força de cargas de sinais iguais, como a de cargas positivas.



Fonte: HELERBROCK, 2020.

O campo elétrico pode ser uniforme, este campo possui direção, sentido e intensidade iguais, suas linhas de força são retas paralelas entre si, possuindo uma distância igual entre as linhas, como o campo de placas paralelas, mostrado na figura 21.

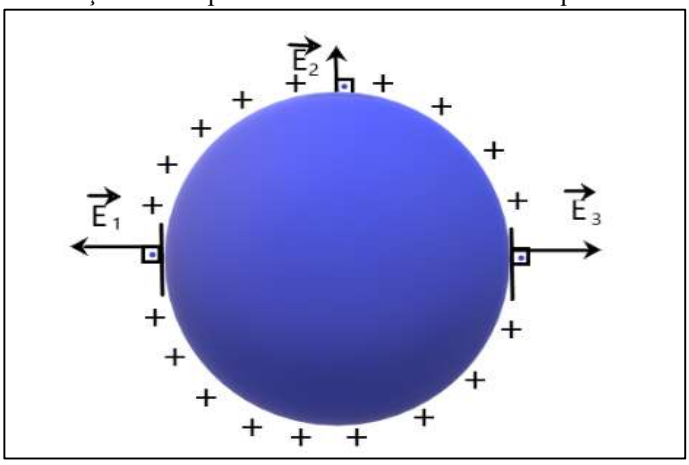
Figura 21. Ilustração do campo elétrico uniforme entre duas placas paralelas.



Fonte: Próprio autor.

O estudo do campo elétrico de um condutor em equilíbrio eletrostático é primordial. O equilíbrio ocorre quando não há cargas se movimentando no interior do condutor, segundo Sampaio e Calçada (2005), quando o condutor eletrizado se encontra em equilíbrio eletrostático, suas cargas se distribuem uniformemente em sua superfície, não ocorrendo a presença de cargas elétricas em seu interior, assim o campo elétrico em seu interior é nulo. Observando a figura 22, nota-se que o campo elétrico é perpendicular à superfície de qualquer ponto da superfície do condutor, sendo o campo elétrico em seu interior nulo.

Figura 22. Ilustração do campo elétrico de um condutor em equilíbrio eletrostático.



Fonte: Próprio autor.

Em situações que a fonte do campo elétrico é um corpo condutor, é necessário expressar a equação 14 para corpos carregados em que o conjunto, distribuição de cargas, é contínua. Neste caso, o somatório discreto dá lugar a uma soma contínua sobre toda a carga fonte, ou seja,

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\int \frac{dQ}{d^2}\hat{d}_i. \tag{17}$$

Onde dQ é um diferencial de carga elétrica que depende da distribuição de carga. Quando se trata de um fio, $dQ = \lambda dl$, em que λ é a densidade carga linear ou carga por unidade de comprimento e dl é um elemento de comprimento ao longo da linha. Quando se trata de uma superfície, $dQ = \sigma da$, em que σ é a densidade carga superficial ou carga por unidade de área e da é um elemento de área. Quando se trata de um volume, $dQ = \rho dv$, em que ρ é a densidade carga volumétrica ou carga por unidade de volume e dv é um elemento de volume.

A equação 17 não é restrita ao corpos condutores, ela é aplicável para corpos contínuos isolantes carregados. Na eletrostática, o objetivo principal é determinar o campo elétrico em determinado ponto do espaço devido uma distribuição de cargas fontes. Em muitos casos, as integrais vetoriais, da equação 16, se tornam complicadíssimas de serem solucionadas.

2.2.6 Potencial Elétrico

Observando a Lei de Newton e a Lei de Coulomb, percebe-se que as duas têm o mesmo comportamento matemático, assim as relações que valem para o estudo da gravidade também são aplicáveis no estudo da força eletrostática. Segundo Bonjorno et al (2016), realizando uma analogia com o potencial gravitacional pode-se conceber uma interpretação do potencial elétrico, para isso utiliza-se um corpo de massa (m) situado no ponto (A) a uma certa altura (h)

em relação ao solo, onde $\vec{P}$ é a força gravitacional, e associado a esta posição existe uma energia potencial gravitacional (E_{PG_A}) devido o campo gravitacional. Quanto maior a altura, maior a energia potencial gravitacional do corpo (E_{PG_A}). Quando este corpo se desloca para baixo em direção ao solo, a força $\vec{P}$ realiza trabalho sobre ele, como mostrado na parte (a) da figura 23. Sendo assim:

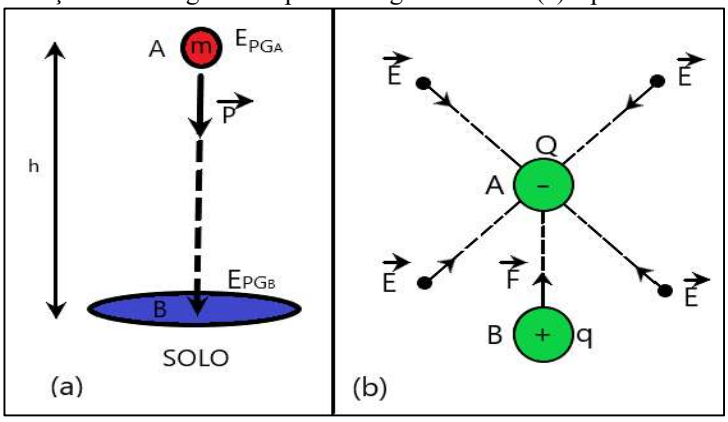
$$E_{PG} = mgh. \tag{18}$$

Sendo m a massa do corpo, g a aceleração da gravidade, que é o módulo do campo gravitacional, e h a altura em relação ao solo. Assim, o trabalho realizado pela força gravitacional sobre o corpo é:

$$W_{AB} = E_{PG_A} - E_{PG_B}, \tag{19}$$

Onde E_{PG_A} é a energia potencial gravitacional do corpo no ponto A, E_{PG_B} é a energia potencial gravitacional do corpo no ponto B.

Figura 23. Ilustração da analogia entre potencial gravitacional (a) e potencial elétrico em (b).



Fonte: Próprio autor.

Na parte (b) na figura 24, temos o campo elétrico $\vec{E}$ de uma carga negativa, na posição A, enquanto que $\vec{q}$ é a carga teste, situada no ponto B, sofrendo a ação de uma força elétrica de atração devido a carga Q.

No caso de um condutor eletrizado em equilíbrio eletrostático, como em (b) na figura 24, o potencial elétrico é uma grandeza escalar e está relacionado à capacidade de realizar trabalho sobre um corpo, ou seja, na atração ou repulsão entre cargas elétricas, estas podem realizar trabalho, nesta situação há um potencial elétrico associado ao ponto do campo elétrico, onde o corpo se encontra. Assim o trabalho realizado sobre a carga de prova, do ponto B ao ponto A, é:

$$W_{AB} = E_{PE_A} - E_{PE_B} \tag{20}$$

Onde E_{PE_A} é a energia potencial elétrico da carga q no ponto A, e E_{PE_B} é a energia potencial elétrica no ponto B.

Segundo Xavier e Barreto (2010) como um corpo que pode se movimentar possui uma energia potencial, para corpos eletrizados teremos também uma energia potencial elétrica associada ao corpo devido o campo elétrico. Desta forma, fazendo uma analogia com energia gravitacional, podemos escrever:

$$E_{PE} = qEd,$$

Onde a carga q faz o papel da massa e o campo elétrico toma o lugar do campo gravitacional. Tal afirmação é correta pois, tanto a lei gravitacional universal quanto à lei de Coulomb são matematicamente estruturada na lei do inverso do quadrado. Considerando o campo elétrico uniforme, equação 16, a energia potencial elétrica é:

$$E_{PE} = qk\frac{Q}{d}$$

Lembrando que o potencial elétrico está associado somente a carga fonte e um ponto no espaço. Então, se dividirmos a energia potencial elétrica e carga de prova de prova, temos:

$$\frac{E_{PE}}{q} = k\frac{Q}{d},$$

Em que o lado direito depende, exclusivamente, da carga fonte e posição no espaço sob a ação do campo elétrico de uma carga pontual. Este termo é o potencial elétrico:

$$V = k\frac{Q}{d} \tag{21}$$

No SI, sua unidade é em Volt (V), pois Volt é igual a Joule/Coulomb. De forma análoga para o campo elétrico, o potencial elétrico, também, obedece ao princípio da superposição, isto é, para um conjunto de cargas pontuais:

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\sum_{i=1}^{n}\frac{Q_i}{d_i}, \tag{22}$$

Ou para uma distribuição continua de cargas:

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\int \frac{dQ}{d}. \tag{23}$$

Ou seja, o potencial é uma soma dos potenciais produzidos por todas as cargas fontes. A partir das equações 21 e 16, podemos relacionar o potencial elétrico e campo elétrico como:

$$V = Ed \tag{24}$$

A generalização da equação 24 é

$$V = -\int_{ref}^{r} \vec{E} \cdot d\vec{l}, \tag{25}$$

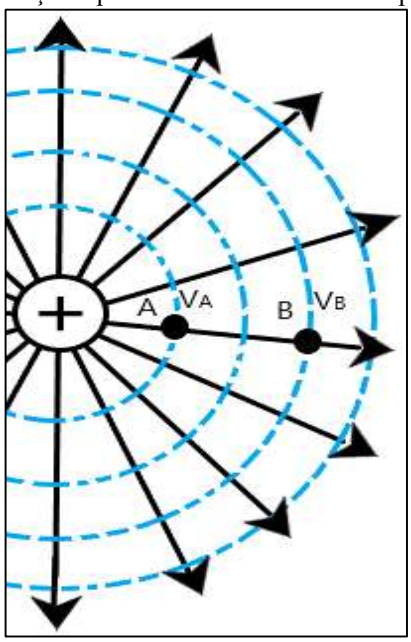
Onde $d\vec{l}$ é um caminho infinitesimal qualquer entre dois pontos no espaço, um referencial e o ponto que se deseja calcular o potencial elétrico devido o campo elétrico.

Percebe-se que para definir o potencial elétrico adotamos um ponto de referência, no caso da figura 23, foi a posição da carga fonte. Acontece que, se tomássemos outro referencial, o valor do potencial elétrico seria diferente. Isso quer dizer que o potencial não tem qualquer significado físico (GRIFFTTHIS, 2011). Desta forma, devemos considerar a diferença de potencial que independe de um ponto de referência, em que no ponto de referência atribuímos o valor zero para V.

2.2.7 Diferença de Potencial Elétrico (ddp)

Considerando dois pontos A e B há uma certa distância em um campo elétrico gerado por uma carga elétrica, como ilustrado na figura 25 com potenciais elétricos diferentes V_A e V_B, respectivamente. Se colocarmos uma carga q no ponto A, haverá uma energia potencial elétrica armazenada nesse sistema, em que a carga se deslocará para o ponto B, onde teremos uma energia potencial elétrica associada a este ponto.

Figura 24. Ilustração da diferença de potencial elétrico entre dois pontos de um campo elétrico.



Fonte: Próprio autor.

Assim, a diferença de potencial elétrico (ddp) ou tensão elétrica, entre esses dois pontos é dada por:

$$U = V_A - V_B = \frac{E_{EP_A}}{q} - \frac{E_{PE_B}}{q}, \tag{26}$$

Onde V_A é o potencial elétrico do corpo no ponto A, V_B é o potencial elétrico do corpo no ponto B. Sabemos que o trabalho realizado é menos diferença de energia potencial, isto é, $W_{AB} = -\left(E_{P_B} - E_{P_A}\right)$. Portanto, se dividirmos essa expressão pela carga de prova q, e comparando com a equação 24, temos:

$$\frac{W_{AB}}{q} = V_A - V_B$$

Ou seja,

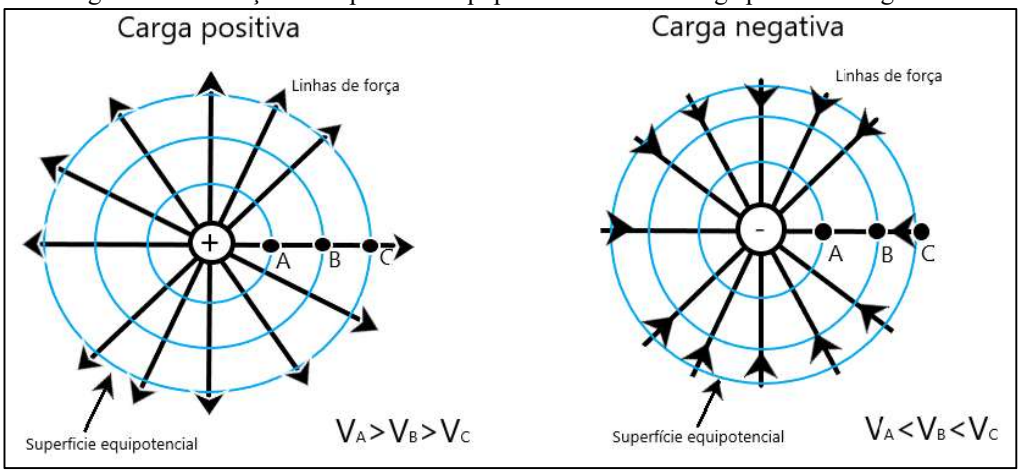
$$U = \frac{W_{AB}}{q} \tag{27}$$

Assim a ddp (U) é descrita como a razão entre o trabalho para deslocar uma carga q na região de um campo elétrico e o valor dessa carga. Como o campo elétrico é conservativo, o trabalho, que a força elétrica realiza sobre a carga q, independe da trajetória descrita por ela.

Quando se considera uma superfície na região de um campo elétrico onde seus pontos possuam o mesmo potencial elétrico, segundo Halliday, Resnick e Walker (2001), elas podem ser denominadas de superfícies equipotenciais, para o caso de uma única carga puntiforme,

vemos que essas superfícies tem o formato de esferas concêntricas, onde o centro é a carga elétrica, como na figura 26. Nota-se que as superfícies equipotenciais são sempre perpendiculares as linhas de força do campo elétrico, analisando a figura, no caso de uma carga positiva, quanto mais próxima é a superfície equipotencial da carga, maior é o seu potencial elétrico, no caso de uma carga negativa, nota-se o contrário, quanto mais próximo, menor o potencial elétrico da superfície equipotencial

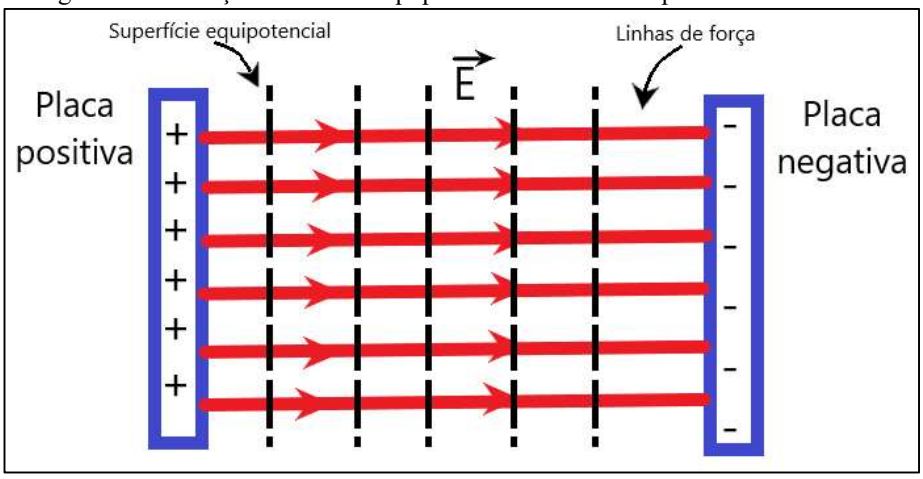
Figura 25. Ilustração de superfícies equipotenciais de um carga positiva e negativa.



Fonte: Próprio autor.

Para placas paralelas onde o campo elétrico é uniforme notamos que as superfícies são paralelas entre si e perpendiculares às linhas de força, é possível ver isso através da Figura 27. Neste, quando o campo elétrico é uniforme, notamos que as superfícies são paralelas entre si e perpendiculares às linhas de força.

Figura 26. Ilustração das linhas equipotenciais em um campo elétrico uniforme.



Fonte: Próprio autor.

Estas informações são fundamentais para o desenvolvimentos de capacitores, em que consideramos a diferença de potencial entre dois condutores ou armaduras, como é caso da figura 26.

Os capacitores são dispositivos existentes em circuitos eletrônicos de diversos aparelhos, como televisores e celulares. Eles armazenam cargas elétricas e são representados simbolicamente com duas barrinhas de mesmo tamanho.

Existem diversos tipos de capacitores, os de placas paralelas, cilíndricos e esféricos. Vamos considerar o capacitor de placas paralelas, entre as barras condutoras há um material isolante conhecido como dielétrico, como o vidro, ar e etc. Quando um capacitor é carregado, as placas possuem cargas Q de mesmo módulo, mas de sinais contrários, $+Q$ e $-Q$, portanto a carga total do capacitor é nula.

Experimentalmente, notou-se que a quantidade de carga elétrica Q no capacitor é diretamente proporcional a diferença de potencial elétrica U entre as placas:

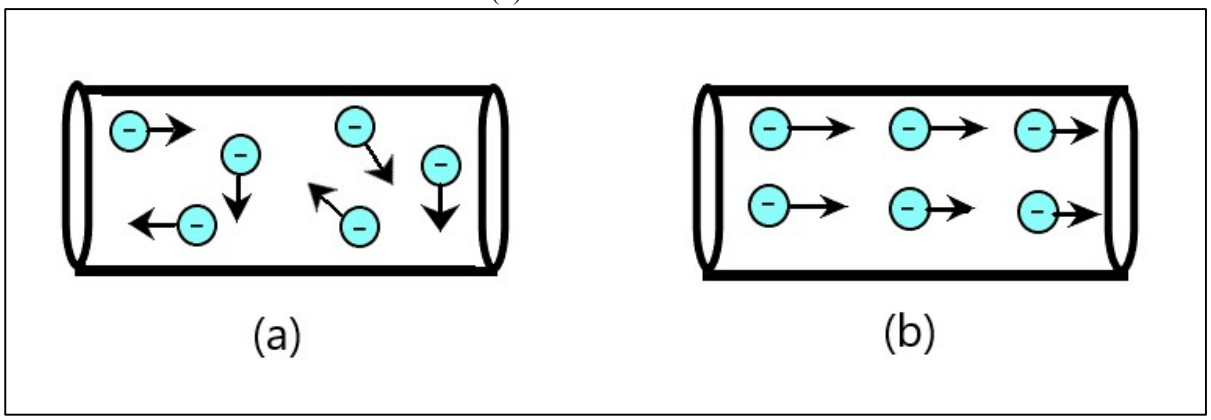
$$Q = CU \text{ ou } C = \frac{Q}{U} \tag{28}$$

Onde C é a constante de proporcionalidade chamada de capacitância, que basicamente é uma característica de cada capacitor, essa grandeza depende das dimensões, do formato das armaduras, da distância entre as placas e da natureza do dielétrico. A unidade de medida de capacitância, no SI, é em farad (F), equivalente a C/V.

2.2.10 Corrente Elétrica

Em um fio eletrizado os elétrons livres se movem desordenadamente dentro do condutor eletrizado, esse movimento não constitui o conceito que será estudado nesta seção, necessariamente o conceito de corrente elétrica, é de um movimento desordenado de elétrons livres no interior de um condutor eletrizado, mas que o conjunto de elétrons tende a seguir uma direção e sentido como está representado na figura 28.

Figura 27. Ilustração do movimento desordenado de elétrons livre (a) e o movimento ordenado de elétrons livres (b) dentro de um condutor.



Fonte: Próprio autor.

O fenômeno da corrente elétrica ocorre, por exemplo, quando um fio condutor é submetido a certa diferença de potencial elétrico entre seus terminais, assim há um campo elétrico entre esses dois pontos do condutor. Portanto, as cargas elétricas ficam sujeitas a forças elétricas de atração ou repulsão dependendo dos sinais das cargas, fazendo assim com que ocorra um movimento ordenado de cargas elétricas, como mostra a parte (b) da figura 27.

Diversos estudiosos físicos podem ser listados por contribuições acerca da corrente elétrica, pode-se citar Alessandro Volta (1745-1827), com o invenção das primeiras pilhas, sendo a primeira fonte de corrente contínua criada. Segundo Ribeiro (2014), André-Marie Ampère (1775-1836) realizou as primeiras observações eletromagnéticas da corrente elétrica, observando a influencias de correntes elétricas próximas umas das outras.

A corrente elétrica em um fio é a quantidade de carga ΔQ por unidade de tempo Δt, que passa por um determinado ponto, ou seja,

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{ne}{\Delta t}. \tag{29}$$

Sendo que a carga pode ser dada pela quantidade n de elétrons e. No (SI), a sua unidade é o Ampere (A), que é igual a Coulomb por segundo (C/s). Podemos escrever a corrente em termos da velocidade $\vec{v}$ dos elétrons:

$$\vec{I} = \lambda\vec{v}.$$

Esta descrição favorece ao entendimento quando a carga flui por uma superfície, isto é

$$\vec{K} = \sigma\vec{v},$$

Onde $\vec{K}$ é a corrente por unidade da largura perpendicular ao fluxo de carga e σ é a densidade superficial de carga. Caso, a carga flua através de uma região tridimensional, temos

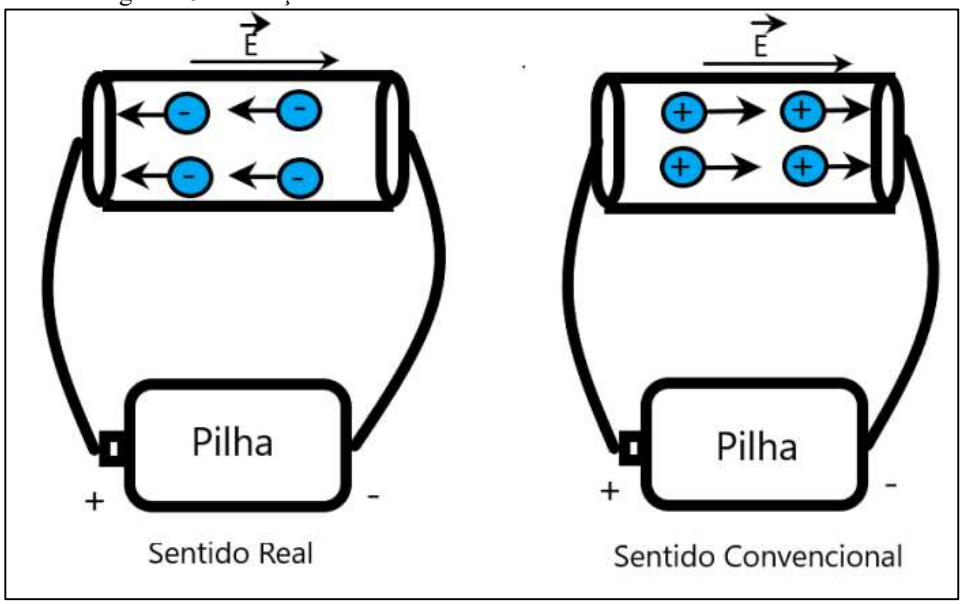
$$\vec{J} = \rho\vec{v},$$

Onde, $\vec{J}$ é a corrente por unidade de área perpendicular ao fluxo e ρ é a densidade volumétrica de carga. No entanto, para este nível de estudo, trabalhamos apenas como uma descrição escalar da corrente, entendendo que a corrente flui sobre fios condutores, em que sua seção transversal é desprezível em relação ao seu comprimento, exceto para algumas análises seguintes que usaremos a densidade de corrente $\vec{J}$.

A corrente elétrica possui um sentido chamado de convencional, segundo Bonjorno et

al (2016), por convenção adota-se que o sentido da corrente elétrica é o mesmo do campo elétrico, ou seja, no sentido contrário ao real, onde os elétrons livres se deslocam do maior para o menor potencial elétrico, como ilustra a figura 29.

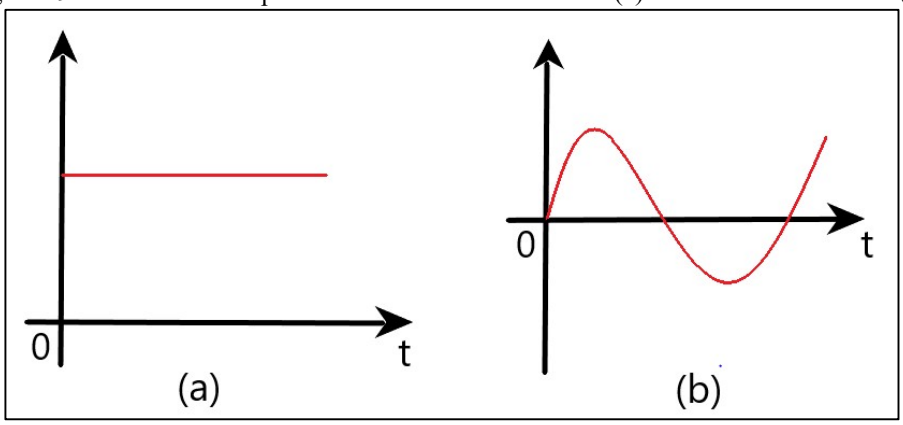
Figura 28. Ilustração do sentido real e convencional da corrente elétrica.



Fonte: Próprio autor.

Os elétrons livres que compõem a corrente elétrica podem ir de um polo a outro de uma pilha em um único sentido, mas ela também pode variar seu sentido, segundo Xavier e Barreto (2010), quando a corrente elétrica mantém seu sentido constante é denominada corrente contínua e quando possui sua intensidade constante com o decorrer do tempo é denominada corrente contínua constante. Quando sua intensidade e sentido variam, periodicamente, ela é denominada corrente alternada, a figura 30 mostra graficamente o comportamento desses dois tipos de corrente elétrica.

Figura 29. Gráficos do comportamento da corrente contínua (a) e da corrente alternada (b).



Fonte: Próprio autor.

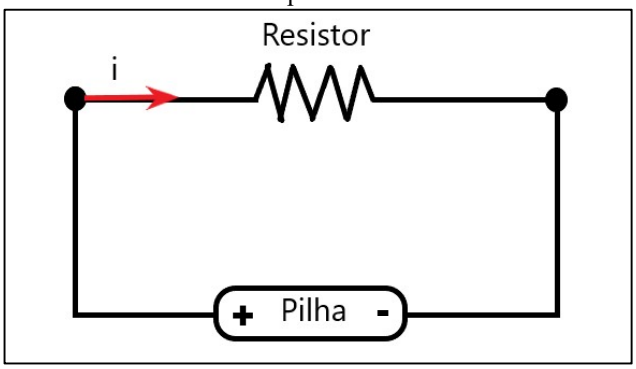
A passagem da corrente elétrica em condutores causa alguns efeitos, são eles o efeito

Joule ou térmico, efeito magnético, efeito luminoso, efeito químico e efeito fisiológico. Frisaremos apenas o efeito térmico, que é o aquecimento do condutor devido as constantes colisões dos elétrons livres e átomos do material, fazendo com que ocorra um aumento da vibração dos átomos.

2.2.11 Circuito elétrico

Quando uma lâmpada é ligada por uma pilha, a corrente elétrica percorre um caminho fechado, saindo de um polo da pilha, passando pela lâmpada e retornando ao outro polo da pilha, esse caminho fechado chama-se circuito elétrico, basicamente um circuito elétrico são conjuntos de caminhos percorridos por corrente elétrica, onde aparecem dispositivos elétricos, ligados a um gerador ou fonte. A figura 31 ilustra uma representação de um circuito com uma malha e apenas um resistor.

Figura 30. Ilustração de um circuito sendo percorrido por corrente elétrica, composto por um resistor e uma pilha.



Fonte: Próprio autor.

A partir das seções anteriores, em resumo, para fazer uma corrente fluir, é necessário que haja uma força sobre as cargas. Porém, a corrente vai depender do material. Para a maioria das substâncias, a densidade de corrente $\vec{J}$ é proporcional à força por unidade de carga (GRIFFTTHIS, 2011),

$$\vec{J} = \sigma \frac{\vec{F}}{q} = \sigma \vec{E}. \tag{30}$$

Aqui, σ é a condutividade elétrica dos materiais. A condutividade está relacionada reciprocamente com a resistividade elétrica $\rho = 1/\sigma$. Novamente, vale lembrar que ρ, neste caso, não é densidade volumétrica de carga. Como sabemos, $\vec{J}$ é corrente por unidade de área perpendicular, ou seja:

$$J = \frac{I}{A_\perp}.$$

Considerando um fio de comprimento L e área $A_\perp$ submetido a uma diferença de potencial U, podemos analisar como a corrente I se comporta sobre determinado material:

$$I = JA_\perp = \sigma A_\perp E.$$

Sabemos que $V = Ed$, neste caso, associamos o potencial elétrico de um dos terminais do fio como $V = 0$, neste caso, a ddp fica $U = V = EL$. Sendo assim, a equação acima fica:

$$I = \frac{\sigma A_\perp V}{L} = \left(\frac{A_\perp}{\rho L}\right) U$$

O termo entre parênteses é conhecido como resistência elétrica $R = A_\perp/\rho L$, dada no SI como ohm (Ω), que depende exclusivamente da geometria e resistividade elétrica do material. Portanto, a corrente elétrica no fio é dada por:

$$I = \frac{U}{R}. \tag{31}$$

A equação 30 é conhecida como Lei de Ohm. A figura 32 mostra alguns valores típicos da resistividade, tanto para isolantes como para condutores.

Figura 31. Valores da resistividade na temperatura ambiente (20º).

	Substância	ρ ($\Omega \cdot$ m)		Substância	ρ ($\Omega \cdot$ m)
Condutores			**Semicondutores**		
Metais	Prata	$1{,}47 \times 10^{-8}$		Carbono puro (grafita)	$3{,}5 \times 10^{-5}$
	Cobre	$1{,}72 \times 10^{-8}$		Germânio puro	0,60
	Ouro	$2{,}44 \times 10^{-8}$		Silício puro	2300
	Alumínio	$2{,}75 \times 10^{-8}$	**Isolantes**		
	Tungstênio	$5{,}25 \times 10^{-8}$		Âmbar	5×10^{14}
	Aço	20×10^{-8}		Vidro	$10^{10} - 10^{14}$
	Chumbo	22×10^{-8}		Lucita	$> 10^{13}$
	Mercúrio	95×10^{-8}		Mica	$10^{11} - 10^{15}$
Ligas	Manganina (Cu 84%, Mn 12%, Ni 4%)	44×10^{-8}		Quartzo (fundido)	75×10^{16}
	Constantan (Cu 60%, Ni 40%)	49×10^{-8}		Enxofre	10^{15}
	Nicromo	100×10^{-8}		Tetrafluoretileno	$> 10^{13}$
				Madeira	$10^{8} - 10^{11}$

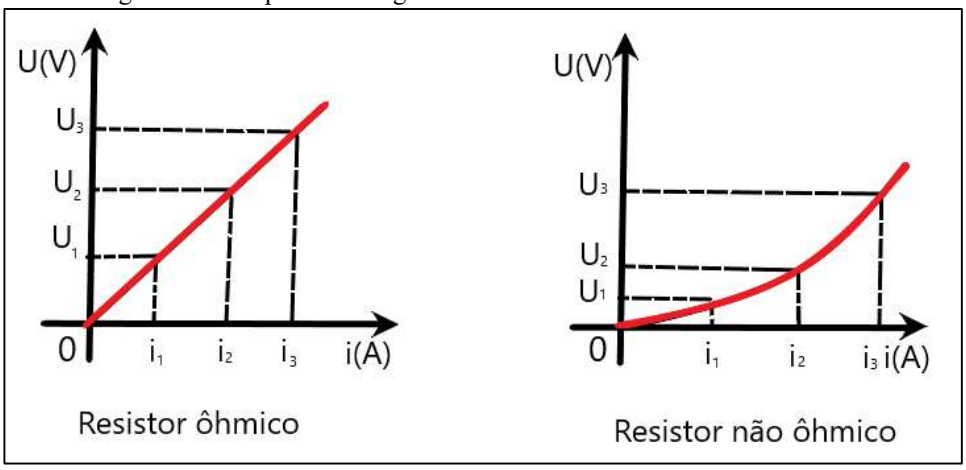
Fonte: HAYNES, 2014.

Nos condutores, pela repulsão elétrica das cargas livres, o campo elétrico no seu interior é desprezível. De acordo com a equação 30, a densidade de corrente $\vec{J}$, também, é nula. Isto quer dizer que, nos condutores o campo elétrico é desprezível para termos corrente. Desta forma, os fios conectores de um circuito elétrico, por exemplo, funcionam como

equipotenciais. Os resistores, em contrapartida, são feitos de materiais mal condutores.

Existem resistores que se comportam de acordo com a equação 31, estes são chamados de ôhmicos, e existem os não ôhmicos, que possuem comportamentos diferentes quando submetidos a uma ddp, O comportamento da tensão nos dois tipos de resistores está ilustrado nos gráficos da figura 33.

Figura 32. Comportamento gráfico de um resistor ôhmico e não ôhmico.



Fonte: Próprio autor.

A partir da lei de Ohm podemos obter o trabalho realizado pela força elétrica que é convertido em calor no resistor. Sabemos que o trabalho feito por unidade carga é a diferença de potencial e a carga que flui por unidade de tempo é a corrente, desta forma, podemos obter a potência dissipada:

$$\frac{W}{q} = U \quad \Longrightarrow \quad P = \frac{W}{t} = \frac{q}{t}U \quad \Longrightarrow$$

$$P = iU = i^2R. \tag{32}$$

A equação 32 é a lei de aquecimento de Joule.

Para um circuito elétrico existe duas forças responsáveis pela movimentação de uma corrente, a fonte $\vec{f_s}$, como exemplo uma bateria ou uma célula fotoelétrica, e a força eletrostática , que serve para normalizar o fluxo e comunicar a influência da fonte às parte do circuito:

$$\vec{f} = \vec{f_s} + \vec{F} = \vec{f_s} + \vec{E}$$

Para uma fonte ideal, uma bateria sem resistência interna de modo que $\sigma \to \infty$, a força $\vec{f}$ é nula, e consequentemente $\vec{E} = -\vec{f_s}$. Usando a equação 25, a diferença de potencial entre

os terminais é dada por:

$$U = -\int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l} = \oint \vec{f_s} \cdot d\vec{l} = \varepsilon, \tag{33}$$

Onde portanto ε é chamada de força eletromotriz ou fem do circuito. Em muitos livros, a fem pode ser interpretada como o trabalho realizado por unidade de carga pela fonte. Portanto, a função da bateria é estabelecer e manter a ddp igual à fem nos terminais. O campo elétrico resultante é que movimenta a corrente no restante do circuito.

Para uma fonte real ou geradores elétricos, que são dispositivos que transformam diversas formas de energia em energia elétrica, existe uma resistência interna r, e nesse caso, a diferença de potencial entre os terminais de uma bateria, por exemplo, é:

$$U = \varepsilon - ir$$

A expressão acima é conhecida como equação geral do geradores.

Continuando nossa análise sobre as propriedade do circuito elétrico, sabemos que a ddp é dada pela diferença de potencial em cada caminho, mas como necessariamente, no circuito o caminho é fechado, se somarmos todas as ddp's, temos:

$$\sum U = -\left(\int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l} + \int_b^c \vec{E} \cdot d\vec{l} + \cdots + \int_c^a \vec{E} \cdot d\vec{l}\right) = \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0.$$

Ou seja, em qualquer malha do circuito, a soma das tensões em uma malha fechada é sempre zero:

$$U_1 + U_2 + \cdots + U_n = 0 \tag{34}$$

A equação acima é conhecida como lei da malhas, que está associada à conservação de energia.

Outra análise sobre o circuito é em termos da corrente. Sabemos que a densidade de corrente por unidade de área perpendicular ao fluxo de cargas é dada por:

$$J = \frac{I}{A_\perp} \quad \Rightarrow \quad JA_\perp = \frac{\Delta Q}{\Delta t},$$

Isto significa que se analisamos qualquer ponto do circuito, ou um nó conectando outra malha, a soma das correntes que entram é igual a soma das corrente que saem, de forma que tenhamos a conservação de cargas, ou seja, a lei dos nós afirma que a soma de todas corrente em um nó é nula:

$$I_1 + I_2 + \cdots + I_n = 0 \tag{35}$$

Portanto, as equações 34 e 35 serão usadas sempre que um circuito elétrico apresente mais de um resistor, capacitor ou qualquer dispositivo. Além disso, é a partir dessas equações que é possível determinar a resistência ou capacitância total do circuito com a utilização das associações de resistores ou capacitores, sob ligações em série, paralelo ou mista.

A partir desses conceitos apresentados nesta seção, é possível entender os componentes de qualquer circuito elétrico, como resistores, capacitores e geradores, além dos equipamentos de aferições de grandezas elétricas.

2.3 Conceitos básicos de Geofísica

A geofísica é a área da Geologia que estuda a Terra através de métodos e leis físicas. Segundo TELFORD et al (1990) a geofísica possui subdivisões por áreas de estudo, como a sismologia, oceanografia, geotérmica, magnetismo terrestre, meteorologia e entre outras subdivisões.

A geofísica começou a se desenvolver a partir do século XVII, apoiada nos estudos de Isaac Newton e William Gilbert a respeito do campo gravitacional e magnético da Terra, mas a Geofísica Aplicada iniciou-se apenas no final do século XIX, a partir de estudos sobre depósitos de ferro localizados a partir de distorções do campo magnético da Terra detectados pelo desvio de bússolas instaladas em instrumentos topográficos.

Assim o desenvolvimento da geofísica tem contribuído para ampliar o conhecimento do planeta Terra e de seus fenômenos, sua aplicação ocorre em diversas áreas, como: Mineração, Engenharia, Meio Ambiente, Águas Subterrâneas, Sismologia, entre outras.

Um método muito utilizado para geofísica rasa, que estuda o subsolo, é o método Geoelétrico. Segundo BRAGA (2006), este método é utilizado na Geofísica para identificar as características físicas de determinado material, também pode-se chegar a resolução de um problema físico relacionado ao estudo do solo, buscando explicá-lo.

Uma classificação proposta para os métodos geoelétricos, é baseada apenas em três

critérios: métodos geoelétricos, técnicas de investigação e arranjos de desenvolvimento de campo. Essa classificação, procura revelar os métodos geoelétricos para qualquer tipo de usuário, tornando simples o entendimento de suas várias modalidades existentes, e consequentemente, seus empregos adequados em função dos objetivos e geologia a serem estudadas.

Assim o método geoelétrico utilizado no trabalho é o de Eletrorresistividade, a técnica é de Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e o arranjo de campo é o chamado arranjo de campo Schlumberger. Com isso os próximos subtópicos explicam cada um destes itens.

2.3.1 Método Geoelétrico de Eletrorresistividade

Segundo Telford (1990) o método geoelétrico introduz uma corrente elétrica artificial no solo em análise, através de dois eletrodos com o objetivo de mensurar o potencial elétrico produzido em outros dois eletrodos próximos do fluxo de corrente. Analisando as relações entre grandezas como, corrente elétrica, potencial elétrico e a disposição geométrica dos eletrodos no solo em análise, permitem calcular a resistividade real ou aparente no subsolo.

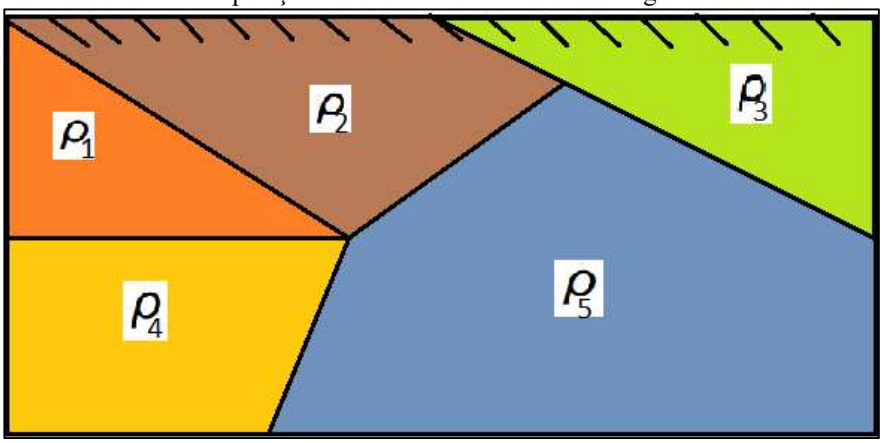
O método de eletrorresistividade pode ser descrito como:

> [...] um método geofísico cujo princípio está baseado na determinação da resistividade elétrica dos materiais que, juntamente com a constante dielétrica e a permeabilidade magnética, expressam fundamentalmente as propriedades eletromagnéticas dos solos e rochas. Os diferentes tipos de materiais existentes no ambiente geológico, apresentam como uma de suas propriedades fundamentais o parâmetro físico resistividade elétrica, o qual reflete algumas de suas características servindo para caracterizar seus estados, em termos de alteração, fraturamento, saturação, etc., e até identificá-los litologicamente, sem necessidade de escavações físicas. (BRAGA, 2006, p. 17)

Este método utiliza a técnica de sondagem elétrica vertical do solo, mas existem também outras técnicas, como o caminhamento elétrico, estes são amplamente utilizados em estudos ambientais, através delas podem ser fornecidas informações sobre o perfil natural do terreno pesquisado.

A eletrorresistividade trabalha com uma variável física chamada de resistividade aparente do solo ρ_α, podemos compreende-la a partir da resistividade elétrica dos materiais, abordada na seção anterior. Quando se estuda os solos naturais, a homogeneidade da distribuição do tipo de solo em uma região, não se verifica, diferente de uma barra de ferro composta apenas de um material. A figura 34 ilustra a diversidade de resistividades elétricas que existem em diversos tipos de solos encontrados normalmente em uma análise.

Figura 33. Ilustração das diferentes resistividades elétricas que compõem um solo natural, devido a composições diferentes do solo em cada região.



Fonte: Próprio autor.

Segundo Orellana (1972) apud Silva (2008), este valor não é uma média aritmética das resistividades elétricas dos diferentes tipos de solo encontradas na região em análise, ela representa uma dita resistividade "aparente" do solo, que não é igual a nenhum dos valores encontrados para cada tipo de solo que compõe a região em análise, mas sofre influência de todos eles.

Analisando o fluxo da corrente elétrica pela Terra, ou qualquer corpo tridimensional, nota-se que a corrente elétrica não flui por um único caminho, diferente de condutores como um fio de cobre. Se for estabelecida uma conexão entre uma bateria e o solo, através de cabos e eletrodos, a Terra não é um isolante perfeito e conduz a corrente elétrica gerada pela bateria.

Segundo Braga (2006) partindo da equação da resistividade elétrica, é possível encontrar a equação da resistividade do solo para um meio homogêneo e isotrópico, considerando a resistividade do solo uniforme e aplicando a equação da resistência elétrica ao semi-espaço, tem-se

$$R = \frac{\rho.r}{2\pi.r^2} = \frac{\rho}{2\pi.r}, \tag{36}$$

Substituindo na lei de Ohm, temos e isolando ρ:

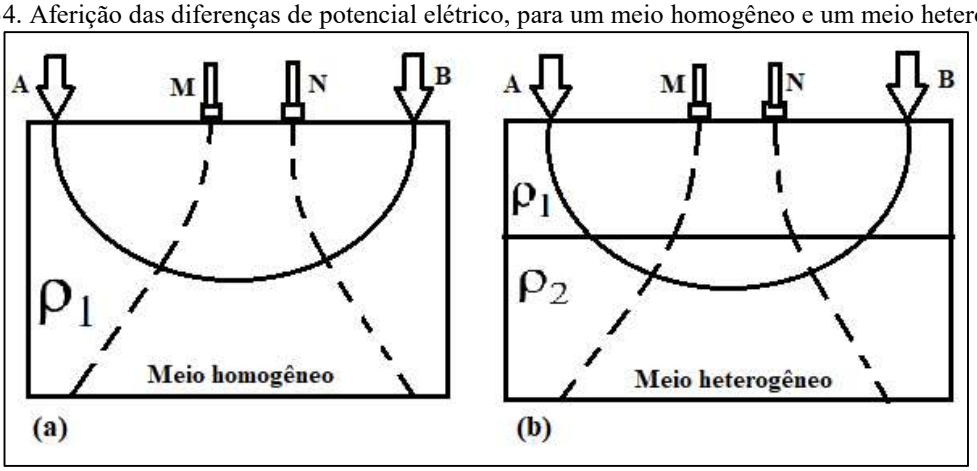
$$\rho = 2\pi.r\,\frac{U}{I}$$

Onde, r é a distância entre o eletrodo de corrente e o ponto no qual o potencial é medido.

Se for realizado uma aferição da diferença de potencial elétrico como um mesmo arranjo dos eletrodos em um meio homogêneo e um meio heterogêneo, esse valor se difere

pelo fato da ocorrência de variações do campo elétrico devido as heterogeneidades dos materiais geológicos no solo.

Figura 34. Aferição das diferenças de potencial elétrico, para um meio homogêneo e um meio heterogêneo.



Fonte: Próprio autor.

Assim, considerando a figura 35, a equação da resistividade aparente do solo é:

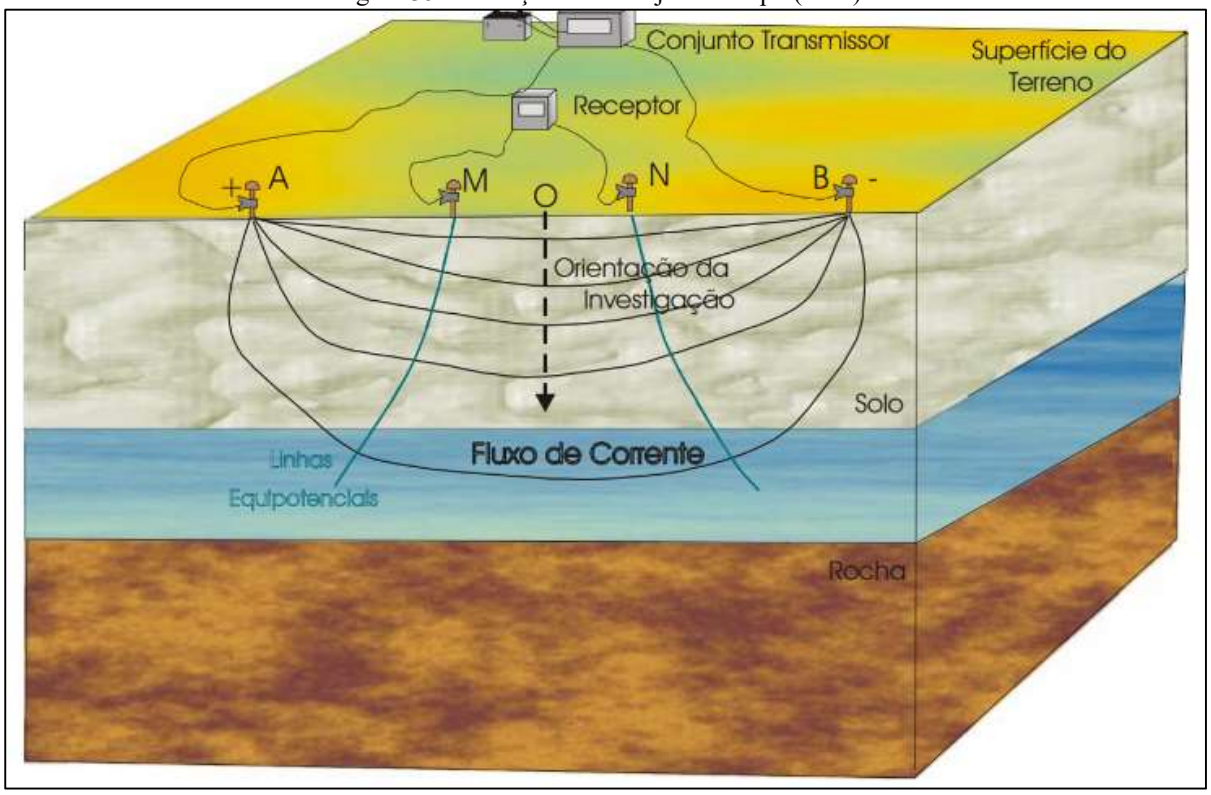
$$\rho_a = K\frac{U}{I} \tag{37}$$

Onde K é um fator geométrico do arranjo dos eletrodos. A diferença de potencial elétrico é entre os eletrodos M e N, chamados de elétrodos de potencial, enquanto que a corrente elétrica é injetada no solo pelos eletrodos A e B, chamados de eletrodos de corrente.

2.3.2 Técnica Geoelétrica de Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e arranjo de campo (Schlumberger)

A técnica de Sondagem Elétrica Vertical (SEV) analisa verticalmente a variação do valor da resistividade aparente do solo, sendo uma técnica convencional de fácil execução. Para esta técnica existe dois tipos de arranjo de campo para fixação dos elétrodos, o arranjo de campo Werner e o arranjo de campo Schlumberger (SILVA, 2008). A diferença entre os arranjos é que no arranjo de campo Schlumberger, os eletrodos de potencial centrais são fixos, enquanto que no campo Werner, todos os eletrodos possuem a mesma distância entre si. A figura 36 ilustra a técnica SEV.

Figura 35. Ilustração de Arranjo de campo (SEV).



Fonte: OLIVA, A. et al, 2006.

O arranjo de campo Schlumberger é considerado superior tanto na qualidade de dados obtidos, quanto em praticidade, Braga (1997) faz uma diferenciação mais específica sobre estes dois arranjos, o quadro 1 mostra essa diferença.

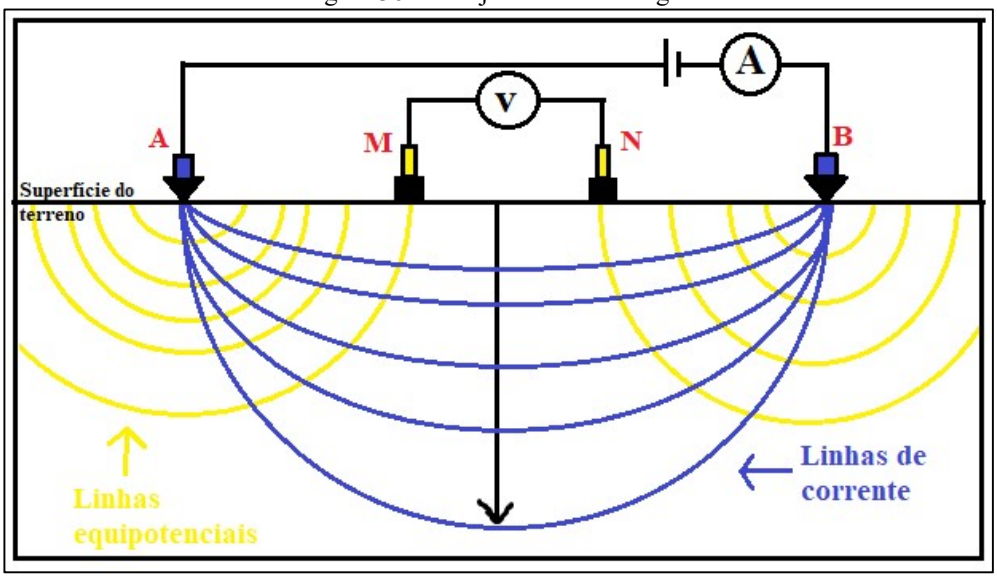
Quadro 1. Diferenças entre arranjo de campo Schlumberger e Werner.

Arranjo de campo Schlumberger	Arranjo de campo Werner
Maior praticidade em campo, apenas 2 eletrodos sofrem deslocamento.	Menor praticidade em campo, os 4 eletrodos sofrem deslocamento.
As aferições dos valores de ddp e corrente elétrica sofrem menos interferência produzidas por ruídos indesejáveis, como, potenciais artificiais, produzidos por cabos condutores e estações de alta tensão.	As aferições dos valores de ddp e intensidade da corrente elétrica, são mais suscetíveis a interferências produzidas por ruídos indesejáveis.
Menos susceptibilidade a erros de interpretações em terrenos não homogêneos.	Maior suscetibilidade a erros interpretativos devido a heterogeneidades laterais do terreno em análise.
	Indicado para medidas da resistividade e resistência do terreno para, por exemplo, aterramento.

Fonte: Braga, 1997.

Segundo Braga (2016) este tipo de arranjo tem grande utilidade em estudos com profundidades menores aplicados à Geologia de Engenharia, Ambiental, Hidrogeologia, bem como para estudos mais profundos de natureza acadêmica ou aplicadas à Geologia de Petróleo.

Figura 36. Arranjo de Schlumberger.



Fonte: Próprio autor.

Considerando a figura 37, Segundo (SILVA, 2008) no arranjo de campo Schlumberger os eletrodos de corrente (AB) possuem uma separação crescente, e os eletrodos de potencial (MN) são fixos durante todas as medições, a uma distância ≤AB/5, durante todo o processo de experimentação. Esta técnica tem como objetivo principal fazer com que a distância de (MN) aproxime-se de zero em relação à distância crescente entre os eletrodos (AB), fazendo com que a margem de erro deste tipo de medição seja quase insignificante. Desta forma, para calcular a resistividade aparente do solo no arranjo Schlumberger deve-se considerar o fator geométrico K dado por:

$$K = 2\pi\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}\right)^{-1}, \tag{38}$$

Em que a profundidade teórica h de investigação do solo pode ser relacionada por:

$$h \cong \frac{AB}{5} = 0{,}2AB$$

Outra maneira de obter a resistividade aparente é proposta por Clark e Page (2011), ou seja:

$$\rho_a = \frac{\pi U(L^2 - s^2)}{2sI}, \tag{39}$$

Onde L é a distância $AB/2$, e s é a distância $MN/2$.

Para realizar as aferições que levam ao valor da resistividade aparente, são utilizados aparelhos como resistivímetros e terrômetros, estes dispositivos realizam diversos tipos de medições das grandezas físicas do solo. Assim, foi utilizado neste trabalho um resistivímetro caseiro, construído a partir dos trabalhos de Clark e Page (2011), Urang, Awak e Bamidele (2018) e Kwizera et al (2016).

Portanto buscou-se elaborar um produto didático por meio de uma sequência didática para o ensino de eletricidade no terceiro ano do ensino médio, com base nos trabalhos citados acima, para que possa ser proporcionado aos alunos uma nova forma de ensino com a utilização da experimentação do método de eletrorresistividade, propondo uma abordagem geofísica, onde os alunos possam de forma ativa manipular e realizar as medições de grandezas físicas acerca do método de eletrorresistividade.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capitulo propõe-se a descrever o tipo de estudo, produto educacional proposto no trabalho, assim como o público alvo, instituição de intervenção e amostragem. Sendo apresentado também, as etapas de desenvolvimento da sequência didática e intervenção escolar, riscos da execução da sequência didática, o instrumento de produção de dados, metodologia de análise de dados e todo o processo de intervenção educacional utilizado no trabalho.

3.1 Tipo de estudo

O respectivo estudo possui uma natureza aplicada, pois envolve a criação de um produto educacional para o ensino de eletricidade e intervenção em uma instituição de ensino médio pública. Para Silva e Menezes (2005, p.21) “Pesquisa Aplicada: objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais.”

A forma de abordagem do problema é dual, sendo, tanto quantitativa, quanto qualitativa pois envolve tanto análise subjetiva das respostas, quanto análises objetivas, assim:

> Enquanto participante do processo de construção de conhecimento, idealmente, o pesquisador não deveria escolher entre um método ou outro, mas utilizar as várias abordagens, qualitativas e quantitativas que se adequam à sua questão de pesquisa. Do ponto de vista prático existem razões de ordens diversas que podem induzir um pesquisador a escolher uma abordagem, ou outra. (GÜNTHER, 2006, p. 207)

Assim a pesquisa justifica-se enquanto abordagem quantitativa, porque busca quantificar informações para classificá-las e analisá-las, sendo necessário o uso de técnicas estatísticas, seguindo a visão de Prodanov e Freitas (2013), é qualitativa, pois tem como objetivo ser descritiva, realizando a análise por exemplo do discurso dos discentes, ou seja, as repostas dos questionários aplicados, quando a pesquisa possui objetivo descritivo, observa-se que:

> [...] Visa a descrever as características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis. Envolve o uso de técnicas padronizadas de coleta de dados: questionário e observação sistemática. Assume, em geral, a forma de Levantamento. (PRODANOV; FREITAS, 2013, p. 52)

Sendo assim, o estudo proposto busca enfatizar os indicadores numéricos e percentuais sobre a potencial ocorrência de aprendizagem dos alunos apresentando gráficos e tabelas, a respeito dos dados coletados. Buscou-se aferir o potencial da sequência didática e a experimentação do método de eletrorresistividade para a ocorrência de aprendizagem dos conceitos de eletricidade estudados no 3º ano do ensino médio. Analisando também o contexto das respectivas respostas que os discentes utilizaram para responderem os questionários, buscando entender de forma qualitativa o teor de suas respostas, pois segundo Godoy (1995, p. 63) "Os pesquisadores qualitativos estão preocupados com o processo e não simplesmente com os resultados ou produto".

3.2 Produto educacional

O produto educacional elaborado refere-se a uma sequência didática, apoiada por um experimento do método de eletrorresistividade (resistivímetro caseiro), e a elaboração e construção do dispositivo está disponível no produto educacional deste estudo. Esse documento faz parte dessa pesquisa e também está disponível como apêndice.

O experimento do método de eletrorresistividade, é acompanhado de um roteiro experimental para que os alunos possam entender como será executado o experimento, um modelo de relatório para os alunos, que também é utilizado pelo docente. O relatório busca evidenciar se os discentes conseguem entender e anotar as respectivas grandezas físicas registradas no experimento, acompanhando o processo de montagem e execução do experimento proposto, além de entenderem por si só o funcionamento e a aplicabilidade de cada anotação referente ao roteiro.

3.3 Público alvo, amostragem e instituição de intervenção

O estudo foi realizado entre os meses de abril e outubro de 2019. A coleta dos dados/ informações foi realizada em uma escola estadual de ensino médio no estado do Acre, dentro do município de Rio Branco, localizada no bairro triângulo. O docente-pesquisador é o regente das salas que compõem a amostragem deste trabalho.

A amostragem foi selecionada da seguinte forma, foram escolhidas como público alvo duas turmas de 3º ano do ensino médio com desempenhos parecidos, a turma 1 inicialmente com um total de 38 alunos e a turma 2 com 39 alunos.

Foram aplicados dois questionários surpresas (pré-teste e pós-teste), o primeiro visou identificar e fazer o levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos sobre os conteúdos de física de que tratam este trabalho e o segundo verificar eventuais conhecimentos adquiridos por estes após a realização da última etapa da sequência didática.

Alunos que repetiram de série e alunos faltosos foram excluídos da análise do pré-teste, assim na turma 1, o primeiro questionário foi respondido por 36 alunos e na turma 2 por 29, totalizando 65 alunos, participantes ativos da amostra. Dito isso é importante salientar que durante a realização da sequência didática alguns alunos foram transferidos e outros desistiram, como consequência disso, o pós-teste foi respondido por 20 alunos da turma 1 e 19 alunos da turma 2, totalizando 40 alunos, com uma baixa de 25 alunos desde o início da aplicação.

Os alunos repetentes foram excluídos da análise dos questionários, pois os mesmos já possuem conhecimentos prévios relacionados ao conteúdo de eletricidade ministrado em sala de aula no ano anterior, e não somente relacionados ao cotidiano conforme cita a Teoria da aprendizagem significativa.

3.4 Etapas de desenvolvimento da sequência didática e da intervenção escolar

A sequência didática foi elaborada de acordo com a ordem do quadro 2, e na seção 3.8 é explicado detalhadamente toda a sequência didática aplicada.

Quadro 2.Sequência didática aplicada

Etapa	Descrição da Atividade	Tempo
1º	Construção do experimento de eletrorresistividade (Resistivímetro caseiro).	1 mês
2°	Aplicação do Questionário inicial.	50 min
3°	Estudo sobre os conceitos de eletricidade relacionados ao experimento em sala.	950 min
4°	Aplicação do experimento de eletrorresistividade, abordando os	100 min

	conceitos de eletricidade, relacionando-os com o experimento.	
5°	Aplicação do questionário sobre os conceitos de eletricidade evidenciados no experimento.	50 min

Fonte: Próprio autor.

A sequência didática foi aplicada na seguinte ordem:

(I) Construção do experimento do método de eletrorresistividade;

(II) Aplicação do questionário pré-teste, visando descobrir os conhecimentos prévios dos alunos em relação aos conteúdos de eletricidade que fazem parte do currículo do 3º ano do ensino médio;

(III) Execução das aulas relacionadas aos conteúdos de eletricidade que constam no currículo de física, utilizando experimentos demonstrativos para auxiliar no processo de aprendizagem dos discentes, além de exercícios voltados para os conteúdos da sequência.

(IV) Aplicação do experimento do método de eletrorresistividade, visando relacionar os conteúdos de eletricidade estudados pelos alunos, com o experimento, com o objetivo de que ocorra aprendizagem significativa destes conceitos.

(V) Aplicação do questionário pós-teste, com o intuito de saber a efetividade do experimento do método de eletrorresistividade em relação ao entendimento dos alunos acerca do conteúdo de eletricidade do 3º ano do ensino médio. O questionário pós-teste foi aplicado ao termino da experimentação de modo surpresa.

3.5 Riscos e Benefícios da Execução da Sequência Didática

O estudo não representa riscos de forma que possam causar danos físicos ou psicológicos aos alunos. Com relação aos questionários pré-teste e pós-testes, alguns alunos podem se sentir tímidos a responder as perguntas, mas foi dito pelo docente que nenhum nome seria vinculado aos questionários, e que as questões respondidas serviriam apenas para análise de dados conjuntas e nunca individuais, para que assim os alunos não se sentissem expostos a algum tipo de constrangimento.

Em relação ao experimento do método de eletrorresistividade, os riscos são mínimos pois o docente-pesquisador, não expôs nenhum aluno a construção do experimento, haja visto que envolve o uso de matérias pesados, como: martelo, serra, alicate, entre outros materiais, utilizados como ferramentas para construção do resistivímetro caseiro, o docente construiu na sede da Universidade Federal do Acre (UFAC), campus Rio Branco, no laboratório de eletromagnetismo do curso de Licenciatura em física da UFAC, com o auxílio do técnico laboratorial responsável e do respectivo orientador desta dissertação de mestrado, todo o resistivímetro caseiro.

O experimento foi testado antes de ser apresentado aos alunos, e antes da execução do mesmo, o professor fixou os eletrodos no solo, para que nenhum aluno seja exposto a possíveis danos pela fixação dos eletrodos. Durante a realização do experimento o professor-pesquisador sempre supervisionou os discentes, além de todos as etapas experimentais que envolvam fixação de materiais, serem realizadas com a fonte elétrica desligada, assim os riscos de danos aos alunos com todas estas precauções são evitados.

A sequência didática traz alguns benefícios aos discentes, eles são apresentados a uma forma diferente de aula, se distanciando um pouco do método tradicionalista, aprendem de fato como manipular equipamentos, como o multímetro para realizar aferições de grandezas físicas, compreendendo os conteúdos de física de uma forma mais prática. O trabalho também traz benefícios para o progresso no ensino de física, trazendo uma sequência didática com experimentação de um método geofísico.

3.6 Instrumento de produção dos dados

O trabalho tem como base a aplicação dois questionários (pré-teste e pós-teste), disponíveis nos apêndices A e B, respectivamente. São praticamente idênticos, apenas com a adição de duas alternativas na questão 3 do questionário pós-teste, eles foram elaborados com o intuito de identificar se a partir dos mesmos conceitos e utilizando a mesma abordagem os alunos após a execução do experimento, reteriam de forma significativa os conteúdos utilizados na sequência didática, ou seja, verificar os conhecimentos prévios (subsunçores) dos alunos e em sequência trabalha-los com o intuito de evoluir os conhecimentos dos discentes acerca dos conceitos estudados nesta dissertação.

Tais questionários foram aplicados com perguntas objetivas e subjetivas, e perguntas fechadas no conteúdo de eletricidade, estudados no terceiro ano. Os questionários foram realizados em aulas de 50 min, o pré-teste foi aplicado na primeira aula da sequência didática e o pós-teste na última aula da sequência didática.

3.7 Metodologia de análise de dados

A metodologia de análise utilizada foi a descritiva, sendo utilizado gráficos e tabelas. Estes questionários são analisados de forma descritiva, fazendo-se o uso de medidas de tendência central e porcentagens, dependendo da questão que estiver em análise. Será analisado também o discurso do discente de forma qualitativa, ou seja, o teor de sua resposta. Para tabulação e análise dos dados foi utilizado o Microsoft Excel 2013.

3.8 Descrição dos procedimentos de ensino

De acordo com a lei n° 9.394, de 20 de dezembro de 1996 que estabelece as diretrizes e bases da educação nacional, na seção IV que regulamenta a educação de ensino médio nacional, em seu art. 35, a educação tem como uma de suas finalidades, garantir a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina, embasando a utilização de uma sequência didática com a utilização de experimentação no ensino médio, como propõe este trabalho, relacionando a teoria com a prática.

Portanto, faz-se necessário citar também a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que elabora os currículos de toda a educação básica do país e orienta os rumos da educação básica do Brasil. Portanto:

> 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. (BNCC, 2017, p. 470)

Assim este trabalho busca ir de encontro com estas adequações, sendo que o conteúdo de eletricidade trabalhado neste estudo, está contemplado na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias nos currículos de física da BNCC, buscando auxiliar ainda mais o ensino de física no Brasil.

Vale também ressaltar que o Conselho Nacional de Educação (CNE) estabeleceu que todas as mudanças relacionadas aos currículos de ensino das escolas de ensino médio devem estar de acordo com a BNCC, preferencialmente no ano de 2019 e no prazo máximo do ano de 2023.

3.8.1 Planejamento de intervenção na instituição de ensino e elaboração da sequência didática

Antes da intervenção na instituição de ensino, o docente-pesquisador elaborou a sequência didática baseado nos conteúdos ministrado no 3° ano do ensino médio de acordo com os Parâmetros Nacionais Curriculares (PCNS) para o ensino médio, sendo assim foi utilizado também como base para elaboração da sequência, o livro didático Bonjorno et al (2016) utilizado na instituição de ensino.

Quadro 3. Organização dos conteúdos e objetivos a serem alcançados pela sequência didática.

N	Conteúdos	Principais objetivos

1	Conceitos referentes a Carga elétrica, Condutores e Isolantes, Processos de eletrização, Lei de Coulomb, Campo elétrico, Potencial elétrico, Diferença de Potencial elétrico, Capacitores, Corrente elétrica, Elementos de circuitos elétricos, Leis de ohm, Associação de resistores, Instrumentos de medida elétrica, Geradores elétricos.	Exemplificar e compreender a relação entre os conceitos de Carga elétrica, Condutores e Isolantes, Processos de eletrização, Lei de Coulomb, Campo elétrico, Potencial elétrico, Capacitores, Diferença de Potencial elétrico, Corrente elétrica, Elementos de circuitos elétricos, Leis de ohm, Associação de resistores, Instrumentos de medida elétrica, Geradores elétricos. Identificar onde estes conceitos estão inseridos no dia a dia, assim como no experimento de eletrorresistividade utilizado no trabalho.
2	Aplicação do Questionário inicial.	Investigar os conceitos subsunçores dos discentes relacionados aos conteúdos de física ministrados na sequência didática.
3	Experimento de eletrorresistividade (Resistivímetro caseiro).	Auxiliar no processo de ensino aprendizagem sobre os conteúdos de física lecionados na sequência didática, bem como expor os alunos ao experimento afim de que os mesmos compreendam a teoria física estudada em sala, além de compreenderem conceitos básicos sobre a Geofísica e serem introduzidos ao método científico experimental, através da utilização do experimento.
4	Aplicação do questionário pós-teste.	Evidenciar a ocorrência de aprendizagem significativa através da aplicação da sequência didática aplicada.

Fonte: Próprio autor.

Informações sobre os conteúdos programáticos, pré-teste, pós-teste, procedimento didático, material utilizado e quantidade de aulas para cada atividade, sendo que cada aula possui 50 min, estão descritos na Quadro 4, logo abaixo:

Quadro 4. Definição do conteúdo programático, procedimento didático, material utilizado e tempo de aula.

N	Conteúdos	Procedimento metodológico	Material utilizado	Tempo de aula
1	Pré-teste	Perguntas de múltipla escolha e dissertativas.	Material impresso.	1
2	Introdução aos conceitos de eletrostática.	Aula expositiva.	Livro didático.	1
3	Princípio da atração e repulsão de cargas elétricas, condutores e isolantes, processos de eletrização, contato entre um condutor e a Terra e eletrização por indução.	Aula dialogada com resolução de exercícios.	Livro didático.	1

4	Lei de Coulomb e Campo elétrico.	Aula expositiva com resolução de exercícios.	Livro didático e experimento.	2
5	Potencial elétrico e diferença de potencial elétrico.	Aula expositiva com exercícios extraclasse.	Livro didático.	2
6	Capacitores.	Aula dialogada com resolução de exercícios.	Livro didático e capacitores.	1
7	Corrente elétrica.	Aula dialogada com resolução de exercícios e exercícios extraclasse.	Livro didático.	2
8	Elementos e nós de um circuito elétrico.	Aula dialogada.	Livro didático e resistores elétricos.	1
9	Resistência elétrica, leis de Ohm e potência elétrica.	Aula expositiva.	Livro didático.	2
10	Associação de resistores em série e paralelo e instrumentos de medida elétrica.	Aula dialogada.	Livro didático e experimento (Associação de lâmpadas) e multímetro.	2
11	Geradores elétricos.	Aula expositiva com resolução de exercícios e exercícios extraclasse.	Livro didático.	2
12	Execução do experimento de eletrorresistividade (resistivímetro caseiro) e aplicação do pós-teste.	Aula experimental com aplicação de questionário.	Experimento de eletrorresistividade e questionário pós-teste.	2
Total de encontros				19

Fonte: Próprio autor.

A sequência didática foi aplicada com 2 encontros semanais de 50 minutos cada, contendo os temas de eletricidade relacionados ao trabalho.

3.8.2 Aplicação da sequência didática

Para aplicação das atividades em sala os alunos foram comunicados que estavam participando de uma sequência didática parte de uma dissertação de mestrado do professor-pesquisador da sala, importante frisar que em todas as aulas que foram trabalhados os conteúdos de eletricidade, foi utilizado o livro didático Bonjorno et al. (2016).

A primeira aula foi realizada para a aplicação do exame pré-teste, nele os alunos foram submetidos a perguntas dissertativas e objetivas sobre o tema de eletricidade, com o intuito de sondar os conhecimentos subsunçores dos discentes, o teste possuía questões que relacionavam fenômenos elétricos com o cotidiano dos discentes, os alunos também foram questionados a respeito de seus conhecimentos sobre *métodos de análise do solo* e se conheciam o *método de eletrorresistividade*, assim o professor se baseou nestes questionamentos para saber quais

conteúdos evidenciar durante a apresentação dos temas de eletricidade da sequência didática.

Importante ressaltar que os dias de aplicação do questionário pré-teste, não foram informados pelo professor, e nem tão pouco sugeridos que os alunos estudassem em casa.

A segunda aula foi utilizada para introduzir os alunos ao estudo da eletrostática, apresentando de forma expositiva o descobrimento da eletricidade e sua historicidade, e por fim o conceito de carga elétrica.

A terceira aula foi utilizada para apresentar de forma dialogada o princípio da atração e repulsão, condutores e isolantes, processos de eletrização, contato entre um condutor eletrizado e a terra, com resolução de exercícios para melhor fixação das ideias tratadas nesta aula.

A quarta e quinta aula foram realizadas para apresentar de forma dialogada o teor da Lei de Coulomb, que trata do conceito da força elétrica entre as cargas, tratando dos conceitos de vetor força elétrica e da equação e comportamento da força elétrica entre cargas de mesmo sinal e sinais contrários, também foram tratados o conceito de campo elétrico, trabalhando também o vetor campo elétrico, campo elétrico de uma carga puntiforme, linhas de força, campo elétrico uniforme, campo elétrico de um condutor em equilíbrio eletrostático e o campo elétrico criado por um condutor eletrizado, assim foi utilizado na aula um pequeno experimento (maquete) para instrumentar a aula, ilustrando uma carga elétrica com suas linhas de campo elétrico, sendo o elétron ou próton, representados por uma pequena bola de isopor de coloração azul e suas linhas de campo elétrico por palitos de churrasco de madeira, todos eles fincados na bola de isopor, assim foi trabalhado com os alunos como se orientam as linhas de campo elétrico de um próton e um elétron, e suas diferenças, também foram utilizados exercícios para ajudar na fixação dos conteúdos trabalhados na aula.

A sexta e sétima aula foram utilizadas para apresentar o conteúdo de potencial elétrico e diferença de potencial elétrico aos discentes, de forma expositiva, assim foram trabalhados dentro destes conteúdos tópicos como diferença de potencial elétrico de uma carga puntiforme e o potencial elétrico de um condutor em equilíbrio eletrostático, além de exercícios extra classe para que estes conceitos possam ser compreendidos com mais eficácia.

A oitava aula foi realizada de forma dialogada, apresentando o conteúdo de capacitores, enfatizando energia armazenada por um capacitor, foi utilizado na aula para melhor compreensão do que é um capacitor e sua função, pequenos capacitores de circuitos

eletrônicos, com o intuito de mostrar como os capacitores realmente são para os discentes, também foram realizados exercícios de fixação sobre a teoria estudada.

A nona e décima aula foram realizadas para explicar de forma dialogada aos discentes, o conceito de corrente elétrica, estudando o que é a corrente elétrica, a intensidade da corrente elétrica, corrente elétrica contínua e alternada e os efeitos da corrente elétrica, nesta aula foram utilizados exercícios de fixação e exercícios extra classe, por se tratar de um conteúdo vital para a sequência didática.

A décima primeira aula foi realizada de forma dialogada com enfoque no conteúdo de elementos e nós de um circuito elétrico, onde foi apresentado todos os elementos de um circuito elétrico, e suas devidas finalidades, utilizando o livro didático e enfatizando os elementos que estariam presentes no experimento de eletrorresistividade, para que os mesmo quando se deparassem com o experimento, recordassem a funcionalidade de cada elemento no circuito estudado.

A décima segunda e décima terceira aula foram apresentados aos alunos de forma expositiva os conteúdos de resistência elétrica, leis de Ohm e potência elétrica, foram frisados a importância das leis de ohm para o entendimento do funcionamento de um resistor, foram enfatizados na apresentação do conteúdo de potência elétrica a importância deste estudo para a vida cotidiana dos discentes, como por exemplo a potência elétrica dos aparelhos domésticos, a importância de saber a potência elétrica suportada pelos disjuntores, para que os alunos entendam que este é um tema muito importante para a vida dos mesmos.

A décima quarta e décima quinta aula foram realizadas de forma dialogada para apresentar os conteúdos de associação de resistores em série e paralelo e instrumentos de medida elétrica, utilizando experimentos, primeiramente foi apresentado o conteúdo de associação de resistores, durante a apresentação do conteúdo foi utilizado um experimento (associação de lâmpadas) para ilustrar a teoria, os alunos foram responsáveis pelo manuseio do experimento, foram realizadas perguntas sobre o experimento referente ao conteúdo, assim todos os discentes foram levados a responder oralmente estas perguntas, como por exemplo: se uma lâmpada se apagar e a outra não, que tipo de associação nós temos?. Também foi utilizado um multímetro na função voltímetro e amperímetro, alguns alunos realizaram medições de voltagem, para constatarem a função do multímetro, além de todos os alunos pudessem entender como posicionar um multímetro para realizar estes tipos de aferições no experimento de eletrorresistividade.

A décima sexta e décima sétima aula foram realizadas de forma expositiva sobre o tema de geradores elétricos, onde foram estudados a força eletromotriz e conceitos afins, demonstrando a necessidade do estudo para compreender o conceito de geradores elétricos, aqui o docente tratou o estudo de forma que os alunos consigam compreender de minimamente o que são geradores, pois baterias de automóvel seriam utilizadas na confecção do experimento de eletrorresistividade.

A décima oitava e décima nona aula foram utilizadas para aplicação do experimento de eletrorresistividade(Resistivímetro caseiro) e questionário pós-teste, no primeiro momento os alunos foram levados a região do colégio onde se localiza um campo de futebol, onde foi realizado a experimentação, os alunos foram instruídos pelo professor, receberam informações acerca do funcionamento do circuito, o que é cada um dos componentes do circuito e como e que tipo de aferição eles iriam realizar, após a realização de todas as medidas, os alunos realizaram o preenchimento do questionário pós-teste, para que seja possível a aferição da ocorrência de aprendizagem dos mesmos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capitulo é descrito a execução da sequência didática, o papel do professor e do discente nela, e a discussão devido a análise dos resultados (questionário pré-teste e pós-teste).

4.1 Execução da sequência didática

Durante a execução da sequência didática buscou-se cumprir todas as etapas estabelecidas, além de observar o comportamento dos alunos acerca da absorção dos conteúdos durantes as aulas, para que a prática experimental do método de eletrorresistividade possa ser adequada ao entendimento dos alunos sobre os conteúdos.

A execução da experimentação do método de eletrorresistividade pode ser visualizado na figura 38, nela é possível visualizar os alunos de uma das turmas que participaram deste trabalho realizando a experimentação, nesta imagem os alunos que são vistos realizam a abertura e fechamento do circuito, acionamento do inversor de tensão elétrica e multímetro na função amperímetro, cada um realiza uma destas etapas.

Figura 37. Execução da experimentação do método de eletrorresistividade, realizado pelos discentes.

Fonte: Próprio autor.

Na figura 39, é possível visualizar os alunos responsáveis pela fixação das garras fixadoras dos eletrodos de corrente elétrica e aqueles responsáveis pelo processo de aferição da diferença de potencial elétrico entre os eletrodos centrais fixos no solo.

Figura 38.Alunos realizando a fixação dos eletrodos nos eletrodos de corrente elétrica e diferença de potencial elétrico.

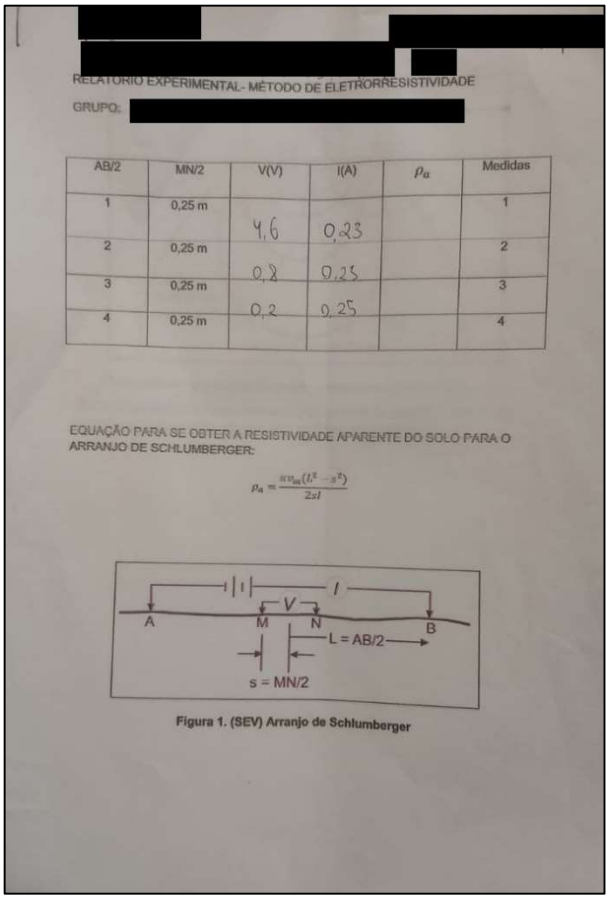
Fonte: Próprio autor.

Nestas imagens é possível a visualização dos alunos realizando a experimentação, cada turma realizou o processo as medições três vezes, variando apenas a distância entre os eletrodos que injetam corrente elétrica no solo, assim como indica o roteiro experimental que está descrito no apêndice C do produto educacional deste trabalho, este roteiro descreve o papel de cada aluno durante a realização das aferições dos valores de intensidade de corrente elétrica

e diferença de potencial elétrico. Durante a realização alguns alunos foram responsáveis por anotar no relatório experimental descrito no apêndice D do produto educacional deste trabalho, os dados aferidos da intensidade de corrente elétrica injetado no solo e a diferença de potencial elétrico entre os eletrodos centrais fixos no solo.

O professor notou que as dificuldades dos alunos referentes a relação das grandezas físicas utilizadas neste trabalho e suas unidades de medida, foram solucionadas, pois os dados estavam nas posições corretas no relatório experimental, durante as aferições, os discentes não apresentaram qualquer dúvida no momento do preenchimento, observando a figura 40, também foi notado que os alunos conseguiram descrever os conceitos físicos e suas relações com o experimento, mas isto será discutido na seção 4.2.

Figura 39. Relatório experimental preenchido pelos alunos, durante a realização da experimentação do método de eletrorresistividade.



RELATÓRIO EXPERIMENTAL- MÉTODO DE ELETRORRESISTIVIDADE

GRUPO: [redacted]

AB/2	MN/2	V(V)	I(A)	ρ_a	Medidas
1	0,25 m	4,6	0,23		1
2	0,25 m	0,8	0,25		2
3	0,25 m	0,2	0,25		3
4	0,25 m				4

EQUAÇÃO PARA SE OBTER A RESISTIVIDADE APARENTE DO SOLO PARA O ARRANJO DE SCHLUMBERGER:

$$\rho_a = \frac{\pi V_{MN}(L^2 - s^2)}{2sI}$$

Figura 1. (SEV) Arranjo de Schlumberger

Fonte: Próprio autor.

Conforme citado nas seções anteriores desta dissertação, este trabalho possui o intuito de auxiliar o processo de aprendizagem dos alunos acerca dos conteúdos de física estudados nesta dissertação, utilizando o método geofísico de eletrorresistividade para exploração do solo, porém os dados extraídos da experimentação não foram utilizados com o intuito de encontrar o valor de resistividade aparente do solo, por mais que no roteiro experimental seja

explicado como mensurá-la, isso foi utilizado no trabalho, simplesmente para dar significado aos dados extraídos na experimentação.

O objetivo do estudo é que os alunos adquiram capacidades de compreender o fenômeno físico retratado em cada etapa do experimento, relembrando o que foi estudado em sala, e também que consigam mensurar as grandezas físicas através de multímetros, assim compreendendo significados acerca das grandezas físicas cientificamente e em seu cotidiano.

O mais importante da experimentação não é o resultado final em si, mas sim o processo experimental, pois a partir dele os alunos compreendem na prática a aplicação dos conceitos físicos estudados em sala, podendo estabelecer subsunçores sólidos sobre estes conteúdo.

Após a experimentação foi aplicado o questionário pós-teste, descrito no Apêndice B. Foi possível notar, a partir da análise dos dados do questionário, que os alunos das duas turmas em geral progrediram na consolidação do entendimento dos conceitos físicos estudados, os comentários detalhados acerca dos dados serão realizados detalhadamente na seção 4.3 deste trabalho.

4.2 Papel do professor e do discente na sequência didática

Um fato importante para o sucesso da sequência didática, foi a utilização dos conhecimentos que os alunos já sabiam devido as aulas ministradas pelo professor, seus conhecimentos prévios, assim para realizar a experimentação do método de eletrorresistividade, como citado anteriormente, os alunos foram submetidos a aulas expositivas e dialogadas sobre os conteúdos de eletrostática e eletrodinâmica que se relacionavam com o experimento.

Dentro da sequência didática o professor possui o papel de facilitador do conhecimento, enquanto passava os conteúdos de física aos aluno de forma dialogada e expositiva em sala, o professor buscou sempre que possível relacionar os conteúdos ministrados com o cotidiano do discente, além da utilização de experimentos auxiliares, como a associação de lâmpadas e as linhas de campo elétrico, feitas de isopor e palitos de churrasco, afim de que os alunos conseguissem reter de forma mais significativa este conhecimentos.

Durante a realização da experimentação, o docente se comportou como mediador do conhecimento, de início dividiu os alunos de cada turma em dois grupos, pois o experimento demanda diversas etapas, distribuiu para os grupos o roteiro e o relatório experimental e explicou o experimento aos mesmos e como deviam executa-lo, os discentes possuíam através

do roteiro experimental, todas as etapas experimentais que deveriam executar.

Os alunos na realização da experimentação do método de eletrorresistividade possuíam o papel de receptores ativos do conhecimento, após a explicação do professor, cada aluno se posicionou em uma parte do experimento e executaram o mesmo, três vezes, a fim de verificar os valores aferidos pelos multímetros, como explicado na seção 4.1, desta forma, os alunos apenas supervisionados pelo professor, o mesmo não interferiu na execução experimental, pois os alunos conseguiram realiza-lo sem dificuldade, os discentes executaram todo o processo experimental, apenas com seus conhecimentos e as informações contidas no roteiro experimental.

Durante a experimentação o professor realizou intervenções em forma de perguntas, para cada aluno responsável por uma parte experimental, foram realizados diversos questionamentos, como indicado no quadro 5.

Quadro 5. Algumas das perguntas orais realizadas pelo docente aos discentes de cada turma, durante a experimentação.

Nº da pergunta	Pergunta
1	O que acontece fisicamente ao ligar e desligar o disjuntor elétrico?
2	Segundo o que foi estudado em sala, que tipo de associação ocorre entre as baterias e qual o valor da intensidade da corrente elétrica total gerada pela associação
3	A associação de capacitores presente nesse circuito está configurada em série, devido a isso o que acontece com a capacitância dessa associação?
4	O que são capacitores?
5	Devido ao fato da corrente elétrica inserida no solo, ser contínua, o que aconteceria com a intensidade da corrente elétrica se o comprimento dos fios que levam a corrente elétrica até os eletrodos, fossem aumentados drasticamente? e qual a relação disso com lei de ohm?
6	Para que servem os multímetros dentro deste experimento?
7	As grandezas aferidas pelos multímetros, possuem relação que que fenômenos físicos?
8	Descreva o método de eletrorresistividade?
9	Os eletrodos conduzem bem a eletricidade para o solo pois são?
10	O campo elétrico está presente neste método? Se sim, como?
11	Existe uma região do campo elétrico, onde as cargas elétricas não realizam trabalho ao se deslocar dentro delas, qual o seu nome?
12	Durante a aferição das grandezas físicas realizadas pelos multímetros, percebe-se

	no visor dos mesmos, que alguns valores estão negativos, porque isto acontece?

Fonte: Próprio autor.

Além destas, diversas perguntas relacionadas aos conteúdos de física ministrados em sala, foram realizadas aos discentes durante a experimentação, com o intuito de compreender se os alunos conseguem conceber, minimamente, a teoria física na prática experimental.

Ao final da aplicação do experimento foi realizada uma retrospectiva desde o início da montagem do experimento. O pesquisador notou que boa parte dos alunos compreenderam a maioria dos conceitos físicos através da experimentação, uma vez que o conceito teórico foi associado à prática. Os alunos se mostraram entusiasmados com o experimento, pois conseguiram compreender algo que em sala não conseguiam.

4.4 Análises dos questionários pré-teste e pós-teste

Nesta seção serão discutidos os resultados obtidos da análise dos questionários pré-teste e pós-teste, utilizando medidas de tendência central e de forma qualitativa buscou-se identificar os conceitos prévios dos alunos e se os conceitos estudados na sequência didática, seriam retidos pelos discentes. Lembrando que os dias de aplicação do questionário pré-teste não foram informados pelo professor.

Como os questionários são praticamente idênticos, os resultados de cada pergunta, foram analisados individualmente, de pergunta a pergunta, primeiramente foram realizadas análises comparativas entre as turmas acerca do pré-teste e depois do pós-teste, em sequência é efetuada a comparação entre os resultados do pré-teste e pós-teste de cada turma, para verificar possíveis evoluções dos conhecimento dos discente sobre os conteúdos tratado naquela pergunta, em seguida é realizada a análise da próxima pergunta da mesma forma e assim sucessivamente até o termino da análise.

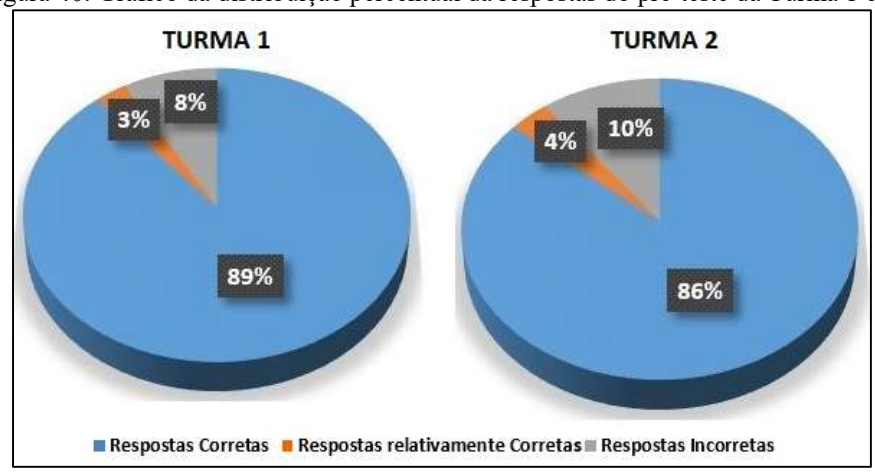
Observa-se que o questionário inicial foi aplicado a duas turmas: 36 alunos na turma 1 e 29 anos na turma 2, já o questionário final foi aplicado após o fim do experimento, 20 alunos responderam o questionário final pela turma 1, enquanto que a turma 2 foi representada por 19 alunos, a seguir os gráficos do teste final mostra os resultados obtidos em cada questão.

A figura 41 fornece as análises realizadas nos questionários pré-teste das turmas 1 e 2, acerca da questão 1.

Questão 1 - *Lembrando dos fenômenos do dia a dia que você vivencia, por exemplo como aqueles que ocorrem em momentos de chuva ou ao entrar em contato com aparelhos*

eletrônicos, diga quais fenômenos que você vivência no seu dia a dia, que você acredita que envolvam a eletricidade?

Figura 40. Gráfico da distribuição percentual da respostas do pré-teste da Turma 1 e 2.



Fonte: Próprio autor.

Quanto à questão 1, as turmas apresentaram uma porcentagem superior a 90% de respostas corretas e relativamente corretas. As relativamente corretas apresentam embasamento físico correto, diferenciando-se apenas na forma de expressão das respostas, enquanto que nas respostas corretas está relacionada, diretamente, com um fenômeno físico vivenciado no dia a dia. No quadro 6 é mostrado o padrão de respostas utilizado pelo docente para classificar as respostas como correta, relativamente correta ou incorreta, de acordo com o relato dos alunos. Em relação às respostas incorretas, as duas turmas tiveram porcentagem parecidas sendo a primeira turma com 8% e a segunda turma com 10% de respostas erradas.

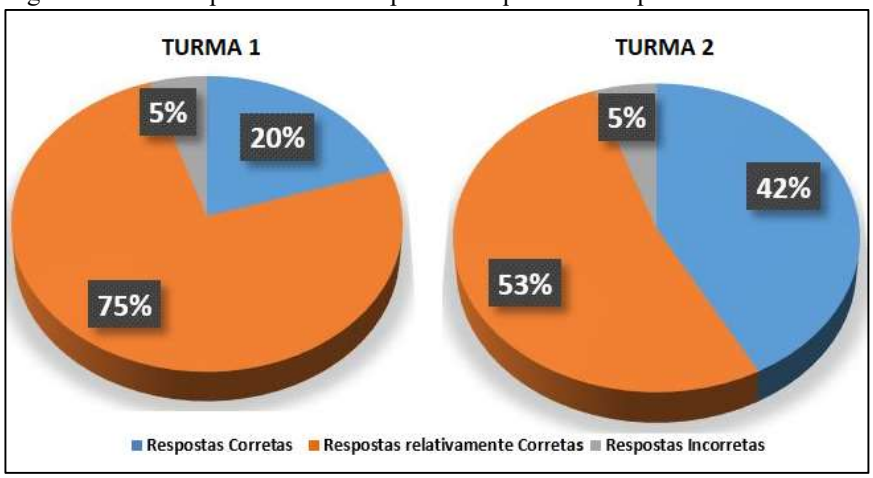
Quadro 6. Padrões de respostas utilizado pelo docentes para classificar as respostas como corretas, relativamente corretas e erradas, de acordo com o relato dos alunos.

Questão	**Padrão de resposta**	**Algumas respostas dos discentes**
1- Lembrando dos fenômenos do dia a dia que você vivencia, por exemplo como aqueles que ocorrem em momentos de chuva ou ao entrar em contato com aparelhos eletrônicos, diga quais fenômenos que você vivência no seu dia a dia, que você acredita que envolvam a eletricidade?	CORRETA	Trovão; o acender da luz; carregar o celular; um raio caindo do céu, levar um choque ao se aproximar de uma televisão.
	RELATIVAMENTE CORRETA	Segurar um celular; Abrir a geladeira; ligar o interruptor
	INCORRETA	Não sei nenhum; ficar com frio por causa do ar-condicionado.

Fonte: Próprio autor.

Nos gráficos da figura 42, podemos visualizar o resultado do questionário pós-teste das duas turmas, nota-se que a porcentagem de respostas consideradas em geral corretas foi de 95%, sendo que 75% deste total são de questões relativamente corretas na primeira turma e de 53% na segunda turma, em comparação com os valores do pré-teste das duas turmas, percebemos que ouve uma regressão da porcentagem das respostas corretas.

Figura 41. Gráfico percentual de respostas da questão 1 do pós-teste da Turma 1.



Fonte: Próprio autor.

Enquanto que na turma 1 a porcentagem desta regressão foi de 69%, na turma 2 essa regressão foi de 44%, isto se deve ao fato dos discentes não contextualizarem de forma correta as ações realizadas no dia a dia, ou o fenômeno citado não possuir clara relação com a eletricidade, de maneira geral ocorreu um pequeno aumento de respostas consideradas em geral corretas.

Tabela 1. Representa as médias aritméticas das ($\boldsymbol{M_c}$) respostas em geral corretas e ($\boldsymbol{M_e}$) respostas erradas do pré-teste e pós-teste, sendo estes valores utilizados somando todos os alunos da turma 1 e 2 de cada questionário.

Questionário	$\boldsymbol{M_c}$	$\boldsymbol{M_e}$
Pré-teste	91	9
Pós-teste	95	5

Fonte: Próprio autor.

A média aritmética das respostas consideradas em geral corretas das duas turmas do pré-teste e pós-teste é encontrada pela equação (40), descrita abaixo. É necessário saber que na equação (40), M_{rc} é a média aritmética da porcentagem de respostas consideradas em geral corretas do pré e pós-teste das duas turmas, e M_{C1} e M_{C2}, são respectivamente os valores das porcentagens das respostas em geral corretas da turma 1 e turma 2.

$$M_{rc} = \frac{\boldsymbol{M_{C1}+M_{C2}}}{2} \tag{40}$$

$$M_{rc} = \frac{91+95}{2} \tag{41}$$

$$M_{rc} = \frac{186}{2} = 93\% \tag{42}$$

Assim, a tendência central da porcentagens de respostas corretas das duas turmas foi de 93%. A análise mais significativa que podemos fazer visa o teor das resposta em relação ao pré-teste e pós-teste das turmas, em geral os alunos continuaram apresentado uma base de conhecimento aceitável em relação ao que foi pedido na questão, apesar de alguns alunos apresentarem dificuldades de contextualizar textualmente os fenômenos de maneira correta, de toda forma os fenômenos elétricos estavam presentes nos relatos destes alunos, mostrando assim que eles conseguiam compreender minimamente os fenômenos elétricos vivenciados no dia a dia.

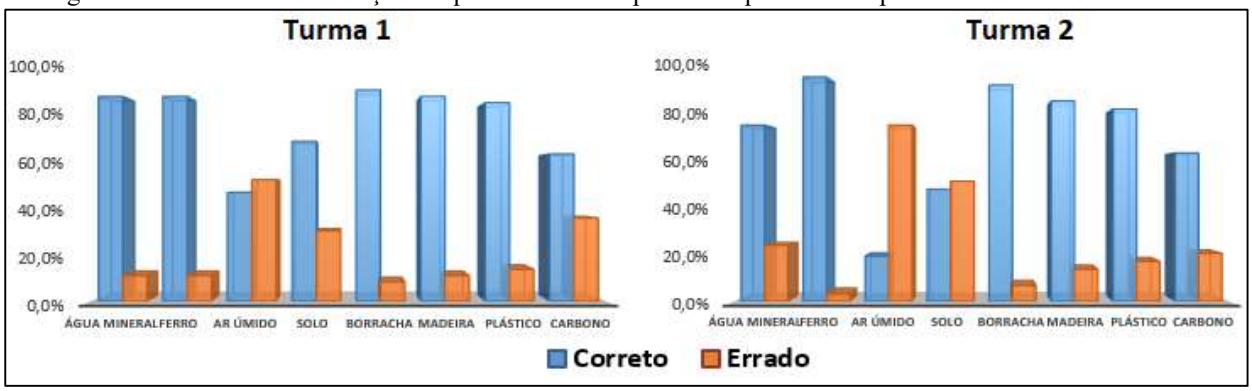
Em relação ao padrão de respostas dos alunos notou-se que grande parte dos mesmos possuem conhecimentos subsunçores adequados para relacionar fenômenos do dia a dia que ocorrem devido a eletricidade. Notou-se no pós-teste que os alunos das turmas descreviam uma maior variedade de fenômenos do dia a dia relacionados com a eletricidade, observou-se um processo de aprendizagem superordenada, ocorrendo nesse processo reconciliação integrativa em relação a nova variedade de fenômenos descritos pelos discentes, pois os mesmo no pré-teste descreviam pouca variedade de fenômenos e de maneira simples, entretanto no pós-teste notou-se uma maior variedade de fenômenos, sendo mais específicos relacionados a eletricidade.

Se observarmos as respostas erradas realizadas pelos discentes no pré-teste e pós-teste, respostas como ficar com frio por causa do ar-condicionado, mostra que alguns alunos possuem uma capacidade argumentativa debilitada, não conseguindo interpretar o texto da pergunta da forma correta, pois ficar com frio é uma consequência do acionamento do ar-condicionado para refrigerar um cômodo, por mais que seja necessário eletricidade para ligar o ar-condicionado.

Os gráficos da figura 43 representam respectivamente os resultados da questão 2 do pré-teste da turma 1 e 2. Ao analisar estes gráficos observamos que os alunos possuem conhecimento acerca de matérias condutores e isolantes, apenas com uma quantidade de erros significativas na descrição do ar úmido como material condutor, além da ocorrência de uma quantidade maior de respostas erradas acerca da caracterização do solo como isolante na turma 2.

Questão 2 - *Marque abaixo, quais materiais você acredita que sejam condutores e quais sejam isolantes, marcando 1 para condutores e 2 para isolantes.*

Figura 42. Gráfico da distribuição da quantidade de respostas da questão 2 do pré-teste das turmas 1 e 2.



Fonte: Próprio autor.

Notou-se que os discentes possuíam bons conhecimentos prévios acerca da caracterização de matérias como condutores e isolantes, assim o docente buscou sanar durantes as aulas apenas os pontos que ainda não tinham sido compreendidos pelos discentes sobre este conteúdo.

Tabela 2. Média aritmética de respostas corretas e erradas do pré-teste e pós-teste das turmas 1 e 2.

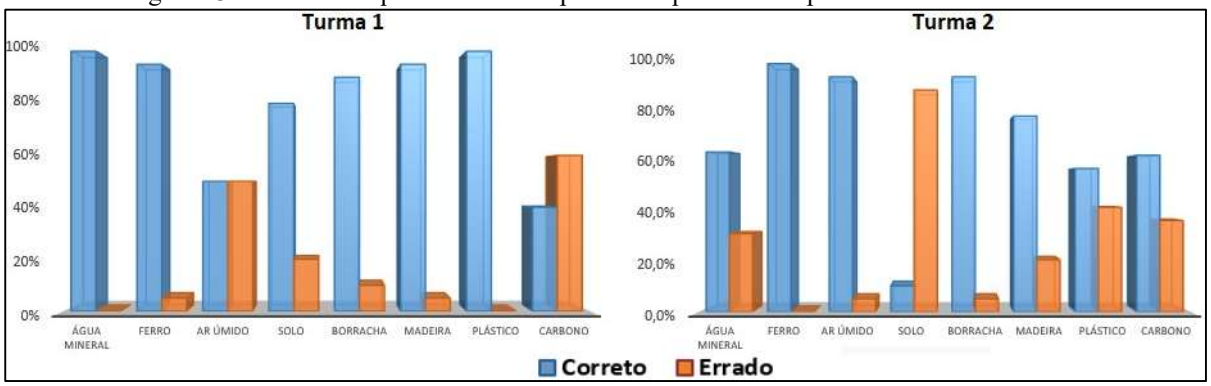
	Turmas	M_A de respostas corretas	M_a de respostas erradas
Pré-teste	1	28,13	7,87
	2	21,25	7,75
Pós-teste	1	16,25	3,75
	2	13,5	5,5

Fonte: Próprio autor.

Na tabela 2, M_a significa média aritmética, as médias de respostas corretas dos pré-testes das duas turmas foi consideravelmente alta em relação ao número total de alunos que responderam os questionários, assim o professor apresentou estes conteúdos durante as aulas sobre condutores e isolantes, com a explicação física do porque estes materiais são classificados desta forma, pois os alunos apresentaram um bom aproveitamento em relação a caracterização destes materiais, acerca do dia a dia, os alunos conseguiam diferenciar de forma básica estes materiais em condutores ou isolantes, necessitando apenas da apresentação dos conceitos físicos destes conteúdos, relacionando outros materiais que também entram neste hall de materiais condutores e isolantes.

Os gráficos da figura 44 mostram os resultados acerca da questão 2 do pós-teste das turmas 1 e 2, nele podemos notar que em geral os alunos continuaram com boa retenção de conhecimentos acerca destes conceitos.

Figura 43. Gráficos da quantidade de respostas da questão 2 do pós-teste da Turma 1 e 2.



Fonte: Próprio autor.

Durante a aplicação da sequência didática os resultados obtidos pela aplicação do pré-teste foram levados em consideração para elaboração das aulas sobre este assunto, mas ao analisar os resultados obtidos do questionário pós-teste, notamos que em média os alunos continuarão obtendo uma boa quantidade de acertos. Mas nota-se que na turma 1 o carbono foi caracterizado incorretamente por 20% dos discentes, um pouco mais da metade da turma, já em relação a turma 2 o solo foi caracterizado incorretamente pela extensão maioria dos alunos.

Estes conteúdos foram trabalhados pelo discente em sala de aula, e também durante a aplicação do método de eletrorresistividade, foi perguntado aos discentes sobre a caracterização do solo seco. O pesquisador acredita que estes erros são provenientes de pouca retenção de conceitos sobre estes materiais em específico ou má interpretação durante o preenchimento do questionário pós-teste.

Para analisarmos os resultados da média de acertos do pós-teste das duas turmas conjuntamente, necessitamos da análise da média ponderada deste valores, assim poderemos encontrar o valor da média de acertos das duas turmas, já que as turmas possuem quantidades de alunos diferentes.

Na equação (41) M_{pa} significa média ponderada dos acertos de cada aluno, Q_{a1} significa a quantidade de alunos da turma 1, M_{a1} significa a média aritmética de acertos da turma 1, Q_{a2} significa a quantidade de alunos da turma 2 e M_{a2} significa a média aritmética de acertos da turma 2.

$$M_{pa} = \frac{(Q_{a1} * M_{a1}) + (Q_{a2} * M_{a2})}{Q_{a1} + Q_{a2}} \tag{43}$$

$$M_{pa} = \frac{(20 * 16{,}25) + (19 * 13{,}5)}{20 + 19} \tag{44}$$

$$M_{pa} = 14{,}91 \approx 15 \text{ Acertos por alternativa} \tag{45}$$

Notamos que no pós-teste foram registrados em média 15 acertos por alternativa, se compararmos com a quantidade de discentes das turmas, temos uma boa quantidade de acertos pelos alunos das duas turmas, essas porcentagens refletem o nível de conhecimento dos discentes em geral sobre estes conteúdos.

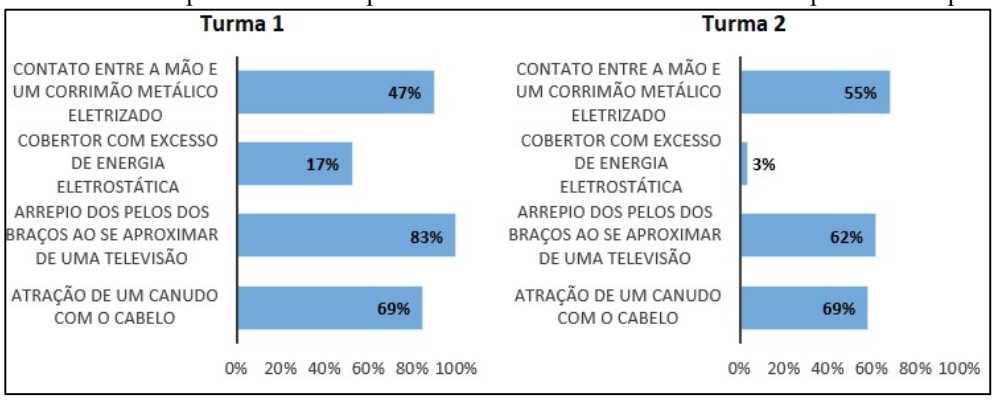
Comparando com o pré-teste, nota-se que não ocorreram grandes mudanças, tendo em vista o bom desempenho registrados pelos discentes nas respostas dos questionários pré-teste, é notável que qualitativamente os discentes durante a execução da sequência didática, possuíam em geral, capacidades de diferenciar uma gama de matérias entre condutores e isolantes.

Notou-se após a execução da sequência didática que uma boa parte dos alunos conseguiram classificar uma gama maior de materiais como condutores ou isolantes, sendo possível a ocorrência de aprendizagem subordinada nesse processo, com diferenciação progressiva, pois os alunos inicialmente conseguiam identificar alguns materiais, mas após a execução da sequência didática conseguiram diferenciar uma gama maior de materiais como isolantes ou condutores, alargando sua base de conceitos para algo mais amplo, sobre os conceitos que os mesmo já sabiam.

Os gráficos da figura 45 foram elaborados a partir da análise das respostas da questão 3 do pré-teste das turmas 1 e 2, as alternativas foram selecionadas apenas com fenômenos que possuíssem eletricidade, não sendo usadas alternativas sem a presença de fenômenos elétricos, pois se os discentes apresentação ótimos conhecimentos subsunçores, isso deveria ser evidenciado com 100% das alternativas assinaladas corretamente.

Questão 3 - *Lembrando que toda carga elétrica gera uma perturbação no espaço ao seu redor e que se ela pode se mover, logo esta carga elétrica possui uma grandeza associada a essa capacidade de se movimentar, assim como todo corpo ao redor da Terra possui energia potencial gravitacional de ser atraído para a Terra. De acordo com seus conhecimentos, marque todos os fenômenos que você acha que envolvam os fenômenos de campo elétrico, potencial elétrico e os processos de eletrização.*

Figura 44. Gráfico do percentual de respostas dos discentes das Turmas 1 e 2 do pré-teste da questão 3.



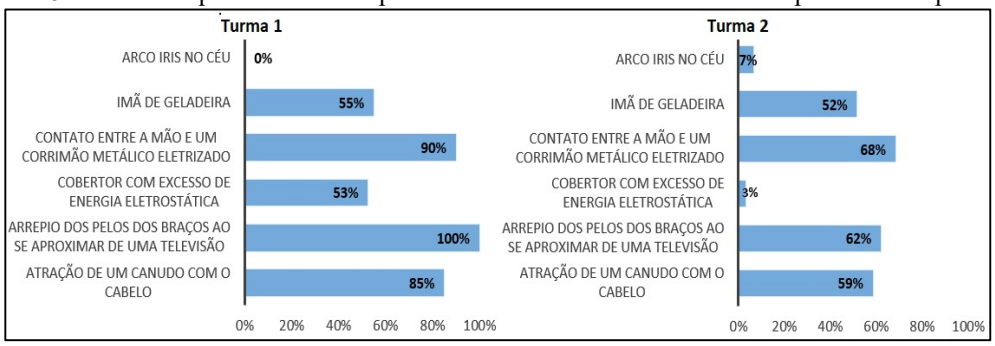
Fonte: Próprio autor.

Observando os gráficos da figura 45, percebe-se que menos de 20% dos discentes de cada turma compreendem que um cobertor com excesso de energia eletrostática. Na turma 1 cerca de 47% dos alunos entendem que o contato entre a mão e um corrimão metálico eletrizado, possui relação com a eletricidade, e na segunda turma 55% dos alunos compreendem este conceito.

Analisando os gráficos das duas turmas também é possível notar que 69% das duas turmas assinalaram a presença de eletricidade na atração de um canudo com o cabelo, enquanto que 83% da turma 1 e 72% da turma 2, compreendem a existência de eletricidade no arrepio dos pelos dos braços ao se aproximar de uma televisão.

Acerca de conhecimentos prévios, alguns discentes conseguem compreender minimamente a relação de alguns deste fenômenos com a eletricidade, mesmo não possuindo contato até o momento com os conteúdos de eletricidade em sala de aula. Assim as aulas sobre eletricidade foram preparadas pensando nestas deficiências que os alunos apresentaram em algumas alternativas. Abaixo os gráficos da figura 46, apresentam os resultados dos pós-testes da duas turmas.

Figura 45. Gráfico do percentual de respostas dos alunos das Turmas 1 e 2 do pós-teste da questão 3.



Fonte: Próprio autor.

Os resultados do questionário pós-teste das duas turmas, permitem concluir que pouco

mais de 50% dos discentes das duas turmas, marcaram erroneamente o imã de geladeira com relação direta com a eletricidade, em relação ao arco íris no céu, nenhum aluno da turma 1 assinalou este fenômenos e na turma 7% dos alunos da turma 2 assinalaram este fenômeno no questionário. Em relação ao contato entre a mão e um corrimão metálico, 90% dos discentes da primeira turma e 68% da segunda turma, assinalaram que este fenômeno possui relação direta com eletricidade. A alternativa "o cobertor com excesso de energia eletrostática foi assinalada por 53% dos alunos da turma 1 e 3% da turma 2, no arrepio dos pelos dos braços ao se aproximar de uma televisão, todos os alunos da turma 1 e 62% dos alunos da turma 2, marcaram este alternativa, e em relação a atração de um canudo com o cabelo.

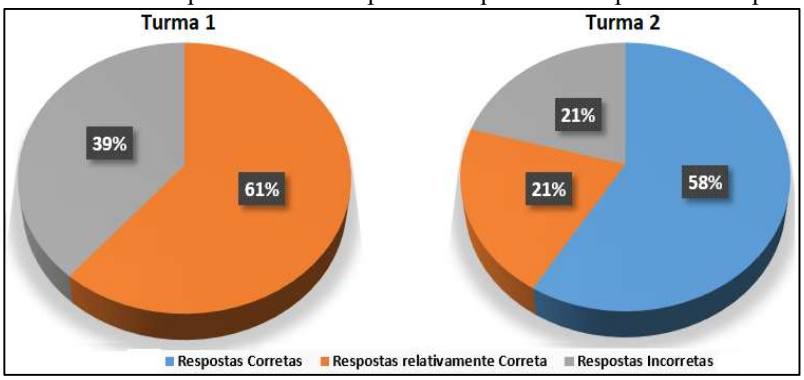
Ao analisar as médias aritméticas da porcentagem das alternativas assinaladas corretamente, notamos que as duas turmas evoluíram em termos percentuais na comparação do pré-teste e pós-teste. Percebe-se que a sequência didática aplicada leva em conta os conhecimentos subsunçores dos alunos, de forma que se obteve um resultado positivo na evolução dos conhecimentos dos discentes, mas é notável alguns alunos ainda não conseguiram compreender.

Assim, uma parcela dos alunos evoluíram de forma progressiva nesta questão, sendo possível a ocorrência de aprendizagem subordinada e aprendizagem superordenada, pois os alunos possuem minimamente conceitos de processos de eletrização associados a sua estrutura cognitiva, mas novos conteúdos como potencial elétrico e campo elétrico, foram incluídos na estrutura cognitiva dos mesmos após a execução da sequência didática, ocorrendo aprendizagem subordinada e diferenciação progressiva, em relação aos subsunçores acerca dos conteúdos de processos de eletrização, onde os alunos adquiriram mais clareza acerca deste conceito e na aprendizagem superordenada, podendo ter ocorrido a reconciliação integrativa, como no caso do conceito de campo elétrico e potencial elétrico, onde os discentes possuíam pouquíssima compreensão destes conceitos, assim através de novas informações mais abrangentes que os seus subsunçores, ele podem ser capazes de compreender estes conceitos.

Observando a figura 47, tem-se os gráficos das respostas da questão 3 das turmas 1 e 2 respectivamente, nota-se que em relação aos conhecimentos subsunçores dos alunos acerca dos conceitos físicos relacionadas a questão, os alunos em geral, possuíam boa compreensão sobre o que foi questionado. Em torno de 20% dos discentes das duas turmas, responderam incorretamente a questão 4 do pré-teste, e 78% dos alunos da turma 1 e 58% da turma dois responderam corretamente a questão 4, sendo que 21% dos alunos da turma 2, possuíam respostas consideradas relativamente corretas.

Questão 4 - *Lembrando dos fenômenos diários vivenciados por você, quando um fio de extensão elétrica é ligado a um aparelho elétrico, notamos que as vezes o fio aquece muito, diga com seus conhecimentos sobre o assunto, o que pode estar ocorrendo no interior do fio para que ele aqueça dessa forma.*

Figura 46. Gráfico do percentual de respostas da questão 4 do pré-teste da questão 4.



Fonte: Próprio autor.

Por mais que as turmas apresentem uma porcentagem alta de respostas corretas, muitas destas respostas não possuem uma descrição coesa do fenômeno. O quadro 7 apresenta um padrão de resposta dos alunos.

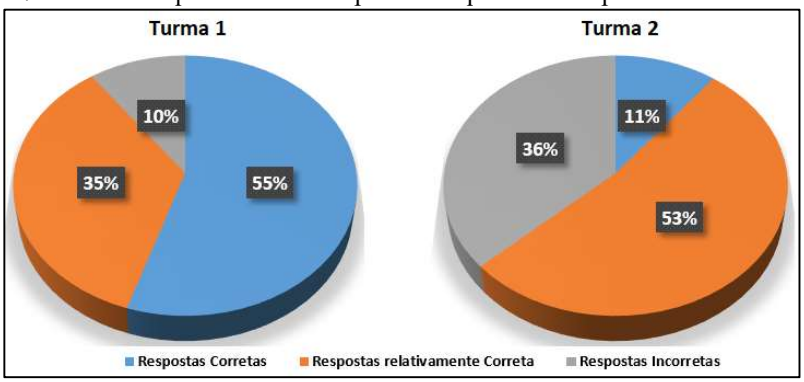
Quadro 7. Padrões de respostas utilizado pelo docentes para classificar as respostas como corretas, relativamente corretas e erradas, de acordo com o relato dos alunos.

Questão	**Padrão de resposta**	**Algumas respostas dos discentes**
4 - *Lembrando dos fenômenos diários vivenciados por você, quando um fio de extensão elétrica é ligado a um aparelho elétrico, notamos que as vezes o fio aquece muito, diga com seus conhecimentos sobre o assunto, o que pode estar ocorrendo no interior do fio para que ele aqueça dessa forma.*	CORRETA	Isto acontece por causa do resistor; muito elétrons passam pelo fio aquecendo ele; excesso de elétrons, ocorrendo um aquecimento alto; Aparelho muito resistente aquece, tem resistores dentro deles aquecendo.
	RELATIVAMENTE CORRETA	Acumulação de energia, causada pelo resistor; quando a carga se acumula, ela aquece muito.
	INCORRETA	Não sei; sua intensidade do plástico é básica; a voltagem deve estar muito alta.

Fonte: Próprio autor.

Ao analisarmos os gráficos da figura 48, em relação ao pós-teste, notamos que ocorreu uma regressão em relação ao percentual de respostas consideradas corretas nas duas turmas, na turma 1 a regressão foi de 23% e na turma 2 foi de 47%.

Figura 47. Gráfico da quantidade de respostas da questão 4 do pós-teste da Turma 1 e 2.



Fonte: Próprio autor.

O docente notou que em geral os discentes evoluíram na compreensão de fenômeno da questão 4, mas a capacidade de argumentação textual acerca de conceitos físicos é uma dificuldade, a maioria dos discentes não conseguiam formular frases que respondessem o questionamento de forma coerente.

Tabela 3. Média aritmética das porcentagens de respostas corretas e relativamente corretas somadas, no pré-teste e pós-teste.

Turma	Pré-teste	Pós-teste
1	78%	90%
2	79%	64%

Fonte: Próprio autor.

Podemos notar que na turma 1 ocorreu uma evolução percentual no que tange, a compreensão do que acontece em um fio aquecendo, mesmo que os discentes não consigam explicar de forma tão coerente. Em relação a turma 2 notamos uma regressão nesse percentual, mesmo que 64% da turma, tenham assinalado corretamente, sendo que apenas 11% desse total possuíram capacidades de formular respostas mais coerentes.

É possível notar que uma grande quantidade de alunos, conseguiram descrever de forma mais especifica no pós-teste, sobre o que está ocorrendo no fio, podendo ocorrer aprendizagem subordinada neste processo, pois os discentes possuíam minimamente a capacidade de descrever corretamente o que estava ocorrendo no fio, mas após a sequência didática, conseguiram ser mais específicos, com uma maior clareza na descrição do fenômeno, alterando o seus conhecimentos subsunçores.

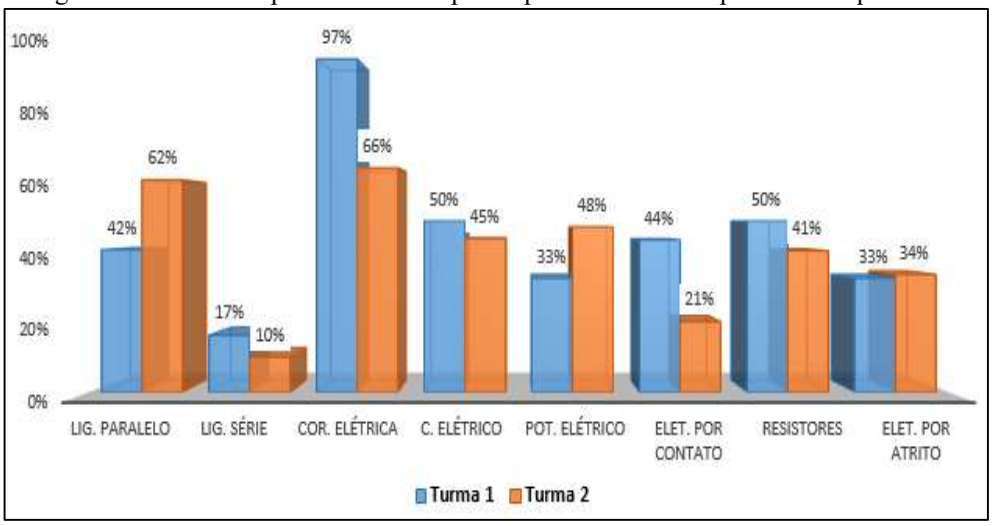
Durante as aulas da sequência didática, os alunos demostraram uma evolução no que tange a compreensão de conceitos como as leis de ohm, conteúdo relacionado a questão 4, mesmo que uma parte dos discentes não conseguissem formular de forma mais coerente as

respostas da questão 4.

Esta questão buscou levantar os conhecimentos prévios dos alunos em relação a alguns conceitos primordiais da eletrostática e eletrodinâmica, que os alunos conseguem perceber no seu dia a dia. No gráfico da figura 49, nota-se a quantidade de respostas assinaladas pelos alunos das duas turmas acerca desta questão.

Questão 5 - *Na grande maioria das residências domiciliares, notamos que a iluminação é feita por lâmpadas, e que algumas vezes quando elas param de funcionar, outras lâmpadas se apagam também, e notamos que em outros casos uma lâmpada para de funcionar, mas as outras que estão no mesmo cômodo não se apagam, marque todos os conceitos que você acha que estão envolvidos em relação à redes elétricas de residências.*

Figura 48. Gráfico do percentual de respostas por alternativa do pré-teste da questão 5.



Fonte: Próprio autor.

Os gráficos da figura 49 mostram que apenas os conceitos de corrente elétrica, campo elétrico e resistores são associados a rede elétrica residencial por pelo menos 50% de alunos da turma 1, enquanto que na turma 2 mais de 60% dos alunos, relacionaram apenas os conceitos de corrente elétrica e ligação em paralelo as redes elétricas residenciais, e menos de 40% dos alunos das duas turmas, identificaram a eletrização por atrito, como fenômeno relacionável as redes elétricas residenciais, além de que menos de 20% dos discentes de ambas as turmas identificarem a ligação em série, como conceito relacionável a redes elétricas residenciais.

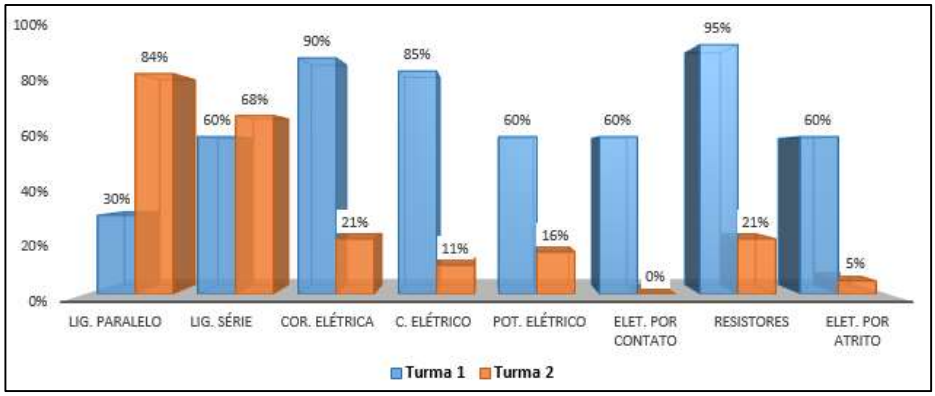
Importante frisar que as alternativas consideradas corretas em relação para análise são a ligação em série, ligação em paralelo, corrente elétrica, campo elétrico, potencial elétrico, eletrização por contato e resistores, somente sendo considerada errada a alternativa de eletrização por atrito.

Estas porcentagens são esperadas, pois os alunos ainda não entraram em contato com estes conceitos em sala de aula. Assim as aulas elaboradas na sequência didática sobre esses assuntos, levaram em conta os dados dos gráficos da figura 49, além das porcentagens de alternativas assinalas pelas turmas 1 e 2 do pré-teste.

A figura 50 mostra os gráficos da quantidade de marcações por alternativa na questão 5 do pós-teste das duas turmas, notou-se que 60% ou mais dos alunos que responderam a questão 5 pela turma 1, assinalaram que os conceitos de ligação em série, corrente elétrica, campo elétrico, potencial elétrico, eletrização por contato, resistores se relacionam com a rede elétrica residencial, mas erroneamente os alunos da mesma turma também assinalaram que o conceito de eletrização por atrito está relacionado a redes elétricas residenciais.

Mais de 60% dos alunos da turma 2 assinalaram que os conceitos de ligação em série e ligação em paralelo possuem relação com as redes elétricas residenciais, além de menos de 22% dos alunos assinalarem os conceitos de corrente elétrica, campo elétrico, potencial elétrico, eletrização por contato, resistores como conceitos relacionáveis a redes elétricas, mas também nota-se que apenas 5% dos alunos desta turma assinalaram a eletrização por atrito como conceito que possui relação com as redes elétricas residenciais.

Figura 49. Gráfico do percentual de respostas assinaladas por alternativas do pós-teste das questão 5 das duas turmas 1 e 2.



Fonte: Próprio autor.

Esperava-se que os alunos de forma geral das duas turmas, possuíssem capacidades após a realização da sequência didática de compreender quais fenômenos listados na questão 5 são relacionáveis as redes elétricas residenciais.

Observando as porcentagens de questões assinaladas das duas turmas no pré e pós-teste, notamos que os alunos da turma 1, evoluíram suas porcentagens de alternativas assinaladas corretamente, nos conceitos de ligação em série, campo elétrico, potencial elétrico, eletrização por contato e resistores. Ocorreu uma regressão percentual entre o pré-teste e pós-

teste relacionada ao conceito de ligação em paralelo, ao todo uma regressão de aproximadamente 11%, também ocorreu um aumento da porcentagem de marcação do conceito de eletrização por atrito de 26% erroneamente.

Na turma 2 notou-se uma aumento da porcentagem das alternativas assinaladas entre o pré-teste e pós-teste sobre os conceitos de ligação em paralelo e ligação em série, cerca de 34% e 60%, respectivamente, enquanto que os conceitos de corrente elétrica, campo elétrico, potencial elétrico, eletrização por contato, resistores e eletrização por atrito regrediram. Em geral, a turma 2 possuiu uma porcentagem em relação a questões assinaladas corretamente no pós-teste, mais baixa que em relação a turma 1, como mostra a tabela 4.

Tabela 4. Média aritmética de questões assinaladas corretamente e incorretamente pelas turmas 1 e 2 no pós-teste.

Turma	Respostas Corretas	Resposta Incorretas
1	64,2%	60%
2	31,5%	5%

Fonte: Próprio autor.

Nota-se que a turma 1, estatisticamente possuiu um aproveitamento maior que a turma 2 em relação a questões assinaladas corretamente, enquanto que na única questão considerada errada, a turma 2 possuiu um aproveitamento maior, pois uma porcentagem de 5% dos alunos marcaram esta alternativa erroneamente.

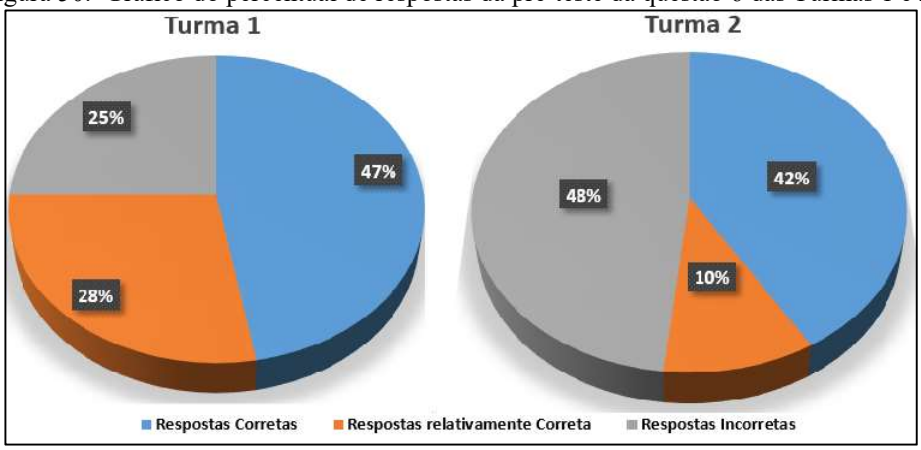
Durante as aulas da sequência didática o docente percebeu a evolução dos alunos das turmas na compreensão destes temas relacionados a questão 5, através da utilização de experimentos acerca destes assuntos. A turma 1, como dito anteriormente, possuiu um bom aproveitamento em termos estatístico na questão 5, ao contrário da turma 2 que estatisticamente regrediu na mesma questão.

Foi possível notar que acerca destes temas, alguns alunos na turma possivelmente apresentaram aprendizagem subordinada e superordenada, pois ao mesmo tempo que conceitos mais gerais era apresentados e compreendidos pelos alunos, conceitos mais específicos sobre conceitos existentes na estrutura cognitiva dos alunos, ampliavam o arcabouço teórico destes sobre aquele tema. Enquanto que conceitos como resistores, onde os alunos não conseguiam descrever de forma básica, eram compreendidos de forma que torna-se possível a ocorrência de aprendizagem superordenada, conceitos como eletrização por contato, que os alunos conseguiam descrever minimamente devido a experiência do cotidiano, foram especificados durante as aulas, alargando a básica teórica argumentativa dos discentes sobre o conceito, ocorrendo possivelmente aprendizagem subordinada no processo.

A questão 6 questionava os alunos acerca de seus conhecimentos sobre métodos de investigação do solo e subsolo da terra, prospecção de petróleo, água e gás natural. A partir da visualização dos gráficos da figura 51 é possível observar o percentual de respostas da questão 6 do pré-teste da turma 1 e 2.

Questão 6 - *A geofísica é a ciência que estuda as propriedades físicas da Terra, nas camadas superficiais, para investigar seu interior, onde se alojam os recursos minerais (petróleo, minérios, água). De acordo com seus conhecimentos, descreva como ocorre o processo de descobrimento de petróleo, água ou gás no subsolo.*

Figura 50. Gráfico do percentual de respostas da pré-teste da questão 6 das Turmas 1 e 2.



Fonte: Próprio autor.

Analisando os gráficos da figura 51 percebe-se que uma maioria percentual dos alunos possuem noções sobre como ocorrem os processos de investigação do solo e subsolo, acerca da investigação do solo para prospecção do petróleo, água e gás natural, 75% dos alunos da turma 1 possuíam resposta consideradas corretas e relativamente corretas, enquanto que na turma 2 essa porcentagem de alunos correspondia a 51% da turma, enquanto que 25 % dos alunos da turma 1 e 49% dos alunos da turma 2 apresentaram respostas consideradas erradas.

O quadro 8, informa os padrões de respostas utilizadas pelo docente para classificar as respostas como corretas, relativamente corretas e erradas, de acordo com o relato dos alunos.

Quadro 8. Padrões de respostas utilizadas pelo docente para classificar as respostas como corretas, relativamente corretas e erradas, de acordo com o relato dos alunos.

Questão	Padrão de resposta	Algumas respostas dos discentes
Questão 6 - A geofísica é a ciência que estuda as propriedades físicas da Terra, nas camadas superficiais, para investigar seu interior, onde se	CORRETA	Método de eletrorresistividade; Escavação do solo; Tem uma máquina que fura o solo até encontrar petróleo.

alojam os recursos minerais (petróleo, minérios, água). De acordo com seus conhecimentos, descreva como ocorre o processo de descobrimento de petróleo, água ou gás no subsolo.	RELATIVAMENTE CORRETA	Cavando o solo; cava o solo
	INCORRETA	Não sei; medindo as cargas elétricas do solo, medindo o campo elétrico do solo.

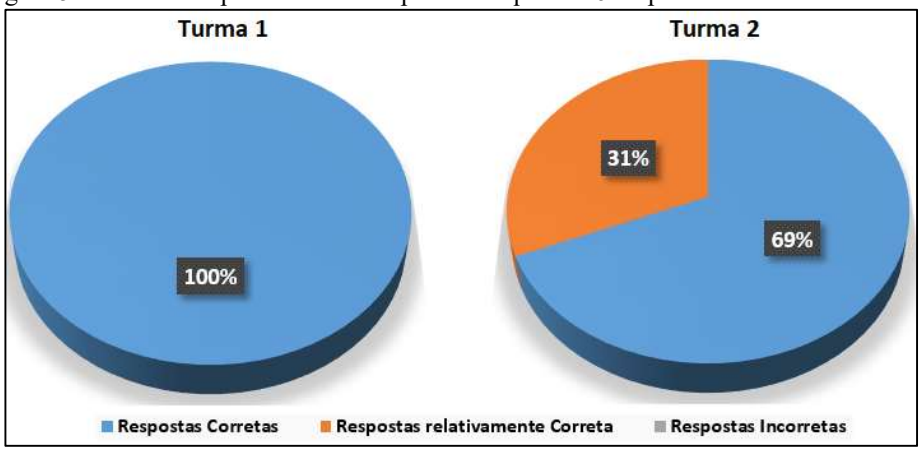
Fonte: Próprio autor.

Este padrão de respostas foi retirado do pré-teste e pós-teste, foi possível notar pelo docente, a evolução de uma parte dos alunos de citar o método de eletrorresistividade no pós-teste como método de investigação do solo, mas os mesmos não conseguiam descreve-lo mesmo que de forma simples da maneira correta, como é visto nas respostas consideradas erradas. Inicialmente, os alunos citavam de forma correta apenas, escavação do solo e outras respostas similares, obviamente os mesmo possuem este entendimento devido a vários filmes, desenhos e documentários no dia a dia, citarem e mostrarem métodos de prospecção de petróleo, e passaram a citar o método de eletrorresistividade somente após a realização da sequência didática.

O docente notou durante as aulas que os alunos possuem algumas dificuldades em compreender o que seria a resistividade aparente do solo, mas o conceito foi tratado como mais ênfase durante algumas aulas posteriores e percebeu que aos poucos os alunos conseguiam compreender minimamente este conceito, e outros relacionados ao método de eletrorresistividade.

Os gráficos da figura 52 mostram o percentual de respostas da questão 6 do pós-teste das turmas 1 e 2.

Figura 51. Gráfico do percentual de respostas da questão 6 do pós-teste das Turmas 1 e 2.



Fonte: Próprio autor.

Os alunos da turma 1 em seu discurso de resposta, relataram métodos de escavação de

petróleo, o método de eletrorresistividade, escavação do solo, sendo que 100% deles, conseguiram citar em sua resposta uma resposta correta, enquanto que na turma 2 69% dos alunos responderam corretamente e 31% possuíam respostas relativamente corretas.

Nota-se a evolução das duas turmas em termos percentuais de respostas corretas, entre o pré-teste e pós-teste, esta evolução não indica que os alunos conseguiram descrever com detalhes os métodos de investigação do solo, que os mesmos conhecem, eles em suas respostas possuíam apenas a capacidade de citá-los ou de descrevê-los minimamente, mesmo que estes citassem corretamente os métodos em suas respostas.

Após a sequência didática concluída, foi notado pelo docente, que os alunos conseguiam conceber oralmente, um nível de descrição de métodos de investigação do solo melhor que os respondidos textualmente na questão 6, assim como nas outras questões o professor observou a dificuldade de escrita e contextualização textual dos alunos para responder questões que os mesmo conseguiam responder oralmente, de forma um pouco mais rebuscada.

É possível que tenha ocorrido aprendizagem subordinada, pois alguns alunos oralmente foram capazes de descrever minimamente alguns destes conceitos, além de citaram o método de eletrorresistividade, como um método de exploração do solo, alguns destes alunos alargaram a sua base de argumentação acerca desta pergunta e dos conceitos trabalhados, mas a capacidade de argumentação não possuía grande profundidade.

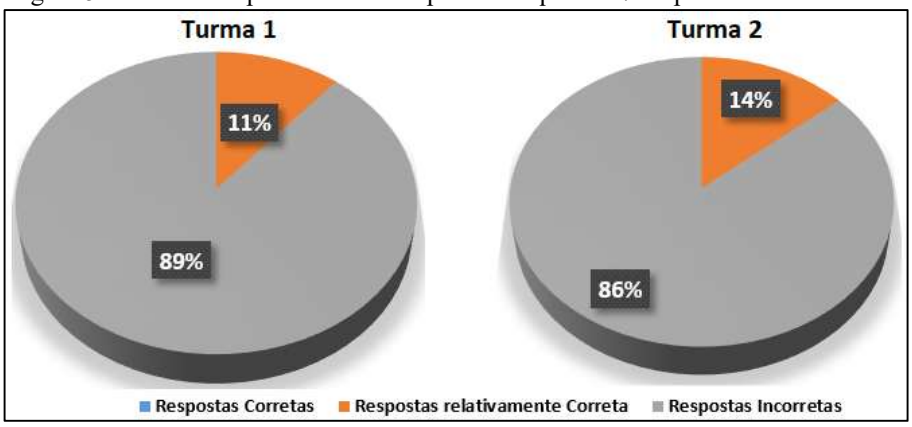
A questão 7 buscou questionar os discentes acerca do método de eletrorresistividade especificamente, sobre como este é realizado teórico e experimentalmente, como se trata de uma teoria complexa que engloba vários outras da física, no que tange os conceitos de eletricidade, esperasse que os alunos consigam descrever minimamente o modo de funcionamento do método de eletrorresistividade.

Questão 7 - *Um método de analisar o solo é usar um fio com corrente elétrica e introduzi-lo no terreno através de dois eletrodos e medir as diferenças de potencial elétrico. Explique, com suas palavras, como isso é possível?*

Os gráficos da figura 53 informam os percentual de respostas da questão 7 do pré-teste das turmas 1 e 2, obviamente os alunos não possuíam nenhum subsunçor sólido sobre este conhecimento, assim notamos que em geral as duas turmas possuíram uma porcentagem alta

de respostas incorretas.

Figura 52. Gráfico do percentual de respostas da questão 7 do pré-teste da Turma 1.



Fonte: Próprio autor.

O único conhecimento básico sobre o método de eletrorresistividade que os alunos possuíam, foi o que o professor explicou durante a apresentação da sequência didática para os discentes, antes de aplicar o pré-teste, assim esse percentual de respostas incorretas era esperado, a turma 1 possuiu 89% de respostas incorretas e a turma 2 ficou com 86% no mesmo quesito, em relação as respostas relativamente corretas, a turma 1 ficou com 11% e a turma 2 com 14% deste tipo de resposta.

Enquanto que a percentual de respostas relativamente corretas na turma 1 foi de 11% e na turma 2 de 14%, além de não ocorrerem respostas corretas, pelo fato dos alunos não possuírem um conhecimento prático e teórico mais aprofundado sobre o assunto.

Assim, o resultado dos gráficos da figura 53 mostram que os alunos não dominam conhecimentos relacionados a áreas interdisciplinares, uma aplicação direta dos conceitos de eletricidade em geofísica.

Uma análise rápida destes resultados é que o estudo da física vem sendo apresentado de forma "fechada", sem apresentar realmente a aplicabilidade do dia a dia, devido ao fato dos alunos não conseguirem utilizar nenhum conceito de outras disciplinas para ilustrar minimamente conceitos como esses na física.

O quadro 9 revela algumas das respostas utilizadas pelos alunos das turmas 1 e 2 no momento de responderem o pré-teste e o pós-teste.

Quadro 9. Padrões de respostas utilizadas pelo docente para classificar as respostas como corretas, relativamente corretas e erradas, de acordo com o relato dos alunos.

Questão	Padrão de resposta	Algumas respostas dos discentes

Questão 7 - Um método de analisar o solo é usar um fio com corrente elétrica e introduzi-lo no terreno através de dois eletrodos e medir as diferenças de potencial elétrico. Explique, com suas palavras, como isso é possível?	CORRETA	Através dos fios, a corrente elétrica vai para o subsolo; Através do método de eletrorresistividade, injetando corrente elétrica no solo.
	RELATIVAMENTE CORRETA	Os multímetros medem a resistividade das cargas elétricas do solo; As baterias enviam as cargas elétricas para os ganchos; Acho que é através dos fios e das cargas elétrica, e por causa do aparelho.
	INCORRETA	As cargas no subsolo medem a resistividade do solo; O método usando ganchos as baterias levam carga elétrica ao solo

Fonte: Próprio autor.

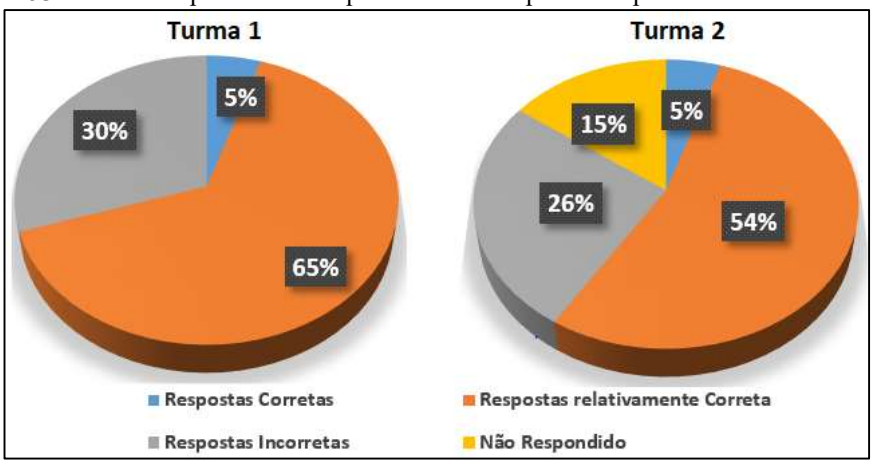
É nítido através do padrão de respostas dos alunos no pré-teste e pós-teste que mesmo aqueles com respostas consideradas corretas, não conseguiram compreender em sua totalidade o método de eletrorresistividade do ponto de vista teórico, mesmo que durante a aplicação do mesmo, os aluno não possuírem dificuldades em executar o experimento, tendo em vista que diversos alunos são necessários para executar a experimentação.

Durante a observação realizada pelo docente durante as aulas e na experimentação do método de eletrorresistividade, o professor questionou os alunos em relação a experimentação e os conceitos teórico do método. Os alunos em geral compreendiam o processo de injeção de corrente elétrica no solo e a influência do campo elétrico no solo, para a realização das medidas de ddp por exemplo, conceitos estes que os alunos estudam no 3º ano do ensino médio, compreenderam também que as cargas elétricas advém da associação de baterias, percorrendo todo o circuito do resistivímetro até ser injetada no solo, mas o professor notou a capacidade baixa de argumentação teórica dos alunos, durante a análise dos questionários, seja por desleixo dos mesmo durante elaboração das respostas, ou por real falta de vocábulos básicos para representar aquilo que os mesmo conseguiam argumentar oralmente de forma mais concisa e coerente.

Os gráficos da figura 54, trazem os resultados da questão 7, extraído da aplicação do pós-teste nas turmas 1 e 2. Observa-se que o número de respostas consideradas incorretas diminuíram nas duas turmas, na turma 1 a redução foi de 59%, na turma 2 esse porcentagem foi de 60%, a regressão das duas turmas em termos de percentual de respostas erradas foi

praticamente a mesma.

Figura 53. Gráfico do percentual da quantidade de respostas do pós-teste das Turmas 1 e 2.



Fonte: Próprio autor.

Notou-se que alguns alunos da turma 2, cerca de 15% das turma, deixaram em branco as respostas do questionário, enquanto que este fato não ocorreu na turma 1. As respostas relativamente corretas da turma 1 tem o percentual de 65% e na turma 2 de 54%, em relação as respostas consideradas corretas as duas turmas possuem um percentual igual, porém este valor é baixo.

A análise geral que pode ser feita a partir dos gráficos e valores apresentados, traz à tona o baixo nível de ensino que tem sido proposto aos discentes, pois a influência na argumentação textual é nítida, é para argumentar teoricamente sobre um conceito físico é necessário no mínimo coesão textual.

Assim, é possível que tenha ocorrido aprendizagem combinatória, acerca do conceito do método de eletrorresistividade, pois o mesmo conceito não era conhecido pelo discentes antes da execução da sequência didática, após a execução da sequência didática, os alunos conseguiram compreender minimamente este conceito, mesmo não descrevendo-o de forma completa, na aprendizagem combinatória o conceito compreendido, se relaciona com o subsunçor, mas não se subordina a ele, nem o subordina.

Os alunos da turma 1 em termos percentuais apresentaram uma evolução entre o pré-teste e pós-teste de 54% de respostas relativamente corretas e 32% na turma 2, além da presença de 5% de respostas corretas na duas turmas.

É importante frisar que estes dados, retirados da análise dos questionários pré-teste e pós-teste, não trazem o real significado de aprendizagem ou não dos discentes, por isso foram realizadas análises de forma qualitativa em cada questão. De maneira geral os alunos evoluíram

após a aplicação da sequência geral nos conceitos estudados, mesmo que de forma básica em alguns assuntos tratados na sequência didática aplicada nestas dissertação de mestrado.

5. CONCLUSÃO

Espera-se que este trabalho tenha produzido um produto educacional na forma de material potencialmente significativo adequado para auxiliar o ensino de física no Brasil, e que os alunos possam adquirir conhecimentos práticos e teóricos acerca do conteúdo de eletricidade. O trabalho buscou unir a prática e a teoria de forma que os alunos inicialmente em sala adquirissem conhecimentos prévios adequados para posteriormente serem levados a realizar o experimento de eletrorresistividade.

Durante as aulas os alunos foram introduzidos as teorias físicas de eletrostática e eletrodinâmica tratadas neste estudo, a partir de aulas expositivas e dialogadas, com a utilização da experimentos auxiliares utilizados para auxiliar no processo de ensino-aprendizagem dos discentes, com explicações acerca da geofísica e dos experimento a ser realizado ao final de todas as aulas.

Neste experimento os discentes manusearam os diversos dispositivos que constituem o resistivímetro caseiro, com o intuito de que os mesmo sejam mais ativos durante o processo de aprendizagem experimental, além de aprenderem conhecimentos práticos sobre a utilização de multímetros por exemplo.

A metodologia utilizada possibilitou ao professor realizar observações acerca do aprendizado dos alunos durante as aulas, para que o conteúdo pode-se ser ministrado da melhor forma possível, para que posteriormente os alunos ao realizarem a experimentação consigam minimamente compreender os conceitos afins ao que está sendo realizado naquele momento.

Os alunos em geral se mostraram motivados a realizar a experimentação do método de eletrorresistividade, nota-se que os alunos se sentem motivados também pelo fato de outro tipo de aula ser realizada para eles, o fato de os mesmo participaram do processo experimental, os motivou durante as aulas, utilizando multímetros, compreendendo conceitos afins, promovem um ambiente e um método mais próximo do ideal para o contexto de ensino dessa turma.

A estratégia utilizada através do material potencialmente significativo utilizado neste trabalho, auxiliou o professor na condução dos conteúdos, permitindo a interação dos alunos com experimentos, que possibilitavam uma maior interação dos discentes com os conceitos de eletricidade utilizados no trabalho.

Este material possuía pretensão de ser potencialmente significativo, ancorada da teoria

de David Ausubel de aprendizagem significativa, teoria essa que possui a concepção de aprendizagem significativa também ancorada em experimentos, onde trabalha-se com conhecimentos prévios afim de fundamentar bases para um conhecimento mais avançado, como as aulas ministras em sala, para que pudesse ser aplicado um experimento verificando como os conceitos teórico absorvidos pelos discentes interagem com a prática experimental desenvolvida.

Este estudo pode ser utilizado como referência para estudos posteriores que busquem evidenciar a aprendizagem dos alunos acerca dos assuntos de eletricidade no ensino médio, executando uma sequência didática sem a utilização de experimentos para comparar a eficácia do uso de experimentos, como realizado nesta dissertação de mestrado.

Este trabalho se aplica como mais uma metodologia auxiliar para o ensino de Física no ensino médio das escolas brasileiras. Através desse trabalho, também podem ser levantadas discussões sobre como os conceitos de eletricidade são introduzidos no ensino médio, também acerca das experiências adquiridas pelos discentes. Buscando o desenvolvimento das aulas e da linguagem cientifica utilizadas em sala de aula, além de corroborar com a introdução de conceitos como a Geofísica, combinando-os com os estudos de eletricidade do 3º ano do ensino médio, para o progresso do ensino.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, André Martins; TAUCHEN, Gionara; ALVARENGA, Bruna Telmo. **A interdisciplinaridade nos componentes curriculares de cursos de licenciatura da área de ciências exatas e da terra**. Revista Thema, v. 14, n. 3, p. 151-166, 2017.

ALVES, Vagner Camarini; STACHAK, Marilei. **A importância de aulas experimentais no processo ensino-aprendizagem em física:"eletricidade"**. XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física, p. 1-4, 2005.

ARRAES, C. S.; DE SOUZA, L. P. R.; PRADO, R. J. **Uma abordagem prática do experimento de Oersted em sala de aula**. Revista do Professor de Física, v. 3, n. Especial, p. 39-40, 6 jul. 2019.

AUSUBEL, D, P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva**. 1ª Ed. Lisboa: Plátano, 2003. 243 p.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Educational psychology: a cognitive view**. 2. ed. Nova York: Holt, Rinehart and Winston, pg. 41, 1978.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J.; HANESIAN, H. **Psicologia educacional**. Rio de Janeiro: Editora Interamericana, 1980.

AUSUBEL, David. **Aquisição e retenção de conhecimentos: Uma perspectiva cognitiva**. PARALELO EDITORA, LDA. Lisboa, pg. 5, 2000.

AUSUBEL, David. **Aquisição e retenção de conhecimentos: Uma perspectiva cognitiva**. PARALELO EDITORA, LDA. Lisboa, 2000.

AUSUBEL, David. **Education Psychology: a cognitive view**. HOLT, RINEHART AND WINSTON, INC. New York, 1968.

BEFUS, Kevin M. **Pyres: a Python wrapper for electrical resistivity modeling with R2.** Journal of Geophysics and Engineering, v. 15, n. 2, p. 338-346, 2018.

BONJORNO, José Roberto et al**. Física : eletromagnetismo, física moderna, 3° ano**. -3. ed. São Paulo: FTD. 2016, 367 p.

BRAGA, A. C. O. **MÉTODOS DA ELETRORRESISTIVIDADE E POLARIZAÇÃO INDUZIDA APLICADOS NOS ESTUDOS DA CAPTAÇÃO E CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: UMA ABORDAGEM METODOLÓGICA E PRÁTICA**. São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 2006, 126 p.

BRAGA, A. C. O. **MÉTODOS DA ELETRORRESISTIVIDADE E POLARIZAÇÃO INDUZIDA APLICADOS NOS ESTUDOS DA CAPTAÇÃO E CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: UMA ABORDAGEM METODOLÓGICA E PRÁTICA**. São Paulo: Universidade Estadual Paulista, p. 17, 2006.

BRAGA, A. C. O. **MÉTODOS GEOELÉTRICOS APLICADOS: MÓDULO: HIDROGEOLOGIA**. Universidade Estadual Paulista. São Paulo, pg. 12, 1997.

BRASIL. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. **Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional**. Diário Oficial da União, Brasília, 23 de dezembro de 1996. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9394.htm> Acesso em: 08 jan. 2020.

BRASIL. Ministério da Educação**. Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio**. Brasília: MEC 2017. Disponível em: < http://basenacionalcomum.mec.gov.br/> Acesso em: 08 jan. 2020.

BRASIL. Ministério da Educação**. Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio**. Brasília: MEC. p. 470, 2017.

CLARK, James A; PAGE, Richard. **Inexpensive Geophysical Instruments Supporting Groundwater Exploration in Developing Nations**. Journal of Water Resource and Protection. Wheaton, Illinois, 2011.

ERNESTO, Marcia; USSAMI, Naomi. **Apostila da disciplina AGG0115: Introdução à Geofísica**. Departamento de Geofísica IAG/USP. São Paulo. p.3, 2002.

FOGAÇA, Jennifer R. V. **Série triboelétrica**. [201?], [S.I.]. Disponível em: https://alunosonline.uol.com.br/quimica/serie-triboeletrica.html. Acesso em: 20 de abril de 2020.

FORST, S. L; REBEQUE, P. V. **Desenvolvendo atividades prático-experimentais em aulas de Física no primeiro ano do Ensino Médio**. Experiências em Ensino de Ciências, Bento Gonçalves, V. 14, nº 2, p. 229 – 248, jun. 2019.

GODOY, A. S. **Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades**. In: Revista de Administração de Empresas. São Paulo: v.35, n.2, p. 63, abril 1995.

GRIFFITHS, David Jeffrey. **Eletrodinâmica**. Pearson Addison Wesley, 2011.

GÜNTHER, Hartmut**. Pesquisa Qualitativa Versus Pesquisa Quantitativa: Esta É a Questão?**. Psicologia: Teoria e Pesquisa, v. 22, n. 2, p. 207, 2006.

HALLIDAY et al. **Fundamentos de física, volume 3: eletromagnetismo / David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker**. p. 667, 2016.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física, volume 3: eletromagnetismo / David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker**: tradução André Soares de Azevedo, José Paulo Soares de Azevedo. 6. ed. - Rio de Janeiro : LTC, 2003, 281 p.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física, volume 3: eletromagnetismo / David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker**; tradução Ronaldo Sérgio de Biasi. 10. ed. - Rio de Janeiro : LTC. pg. 667, 2016.

HAYNES, William M. **CRC handbook of chemistry and physics**. CRC press, 2014.

HELERBROCK, Rafael. **"Charles Coulomb"; Brasil Escola**. Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/fisica/charles-coulomb.htm. Acesso em 22 de abril de 2020. (Adaptado pelo autor).

HELERBROCK, Rafael. **"Linhas de força"; Brasil Escola**. Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/fisica/linhas-forca.htm. Acesso em 24 de abril de 2020.

HERRERA C, Esteban de Jesús. **Modelo Atômico de Bohr**. 2015 Disponível em: http://modeloatomicobohrhc.blogspot.com/2015/02/en-memoria-de-niels-bohr.html. Acesso em: 20 de Abril de 2020. (Adaptado pelo autor).

HERRERA C, Esteban de Jesús. **Modelo Atômico de Bohr**. 2015 Disponível em: http://modeloatomicobohrhc.blogspot.com/2015/02/en-memoria-de-niels-bohr.html. Acesso em: 20 de Abril de 2020.

KEAREY, Philip; BROOKS, Michael; HILL, Ian. **Geofísica de exploração**. Oficina de textos, 2009.

KWIZERA, Christelle et al. **Inexpensive Resistivity Instruments for Groundwater Exploration: Experiences of African National Geophysical Teams.** 7th RWSN Forum "Water for Everyonde". Abidjan, 2016.

LIMA JUNIOR, J. G. S et al. **Atividades experimentais com arduino abordando fundamentos da cinemática, termometria e eletrodinâmica na escola estadual de ensino médio Dr. Gabriel Sales Pimenta em Marabá (PA)**. Scientia Plena. Pará. vol 15, pg. 12, 2019.

MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz; GUIMARÃES, Carla. **Física: contexto e aplicações: ensino médio/Antônio Máximo Ribeiro da Luz, Beatriz Alvarenga Álvarez, Carla da Costa Guimarães**. – 2. ed. São Paulo: Scipione, 2016, 352 p.

MOREIRA, M. A. O QUE É AFINAL APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA. **Qurriculum,** nº 25, p. Tenerife: Universidad de La Laguna, pg. 16, 2012.

MOREIRA, Marco A. **APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: UM CONCEITO SUBJACENTE**. Revista/Meaningful Learning Review.Vol.1, pg. 36, 2011.

MOREIRA, Marco A. **APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: UM CONCEITO SUBJACENTE**. Revista/Meaningful Learning Review.Vol.1, pg. 28, 2011.

MOREIRA, Marco A. **APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: UM CONCEITO SUBJACENTE**. Revista/Meaningful Learning Review.Vol.1, pg. 41, 2011.

MOREIRA, Marco A. **APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: UM CONCEITO SUBJACENTE**. Revista/Meaningful Learning Review.Vol.1, pg. 36, 2011.

MOREIRA, Marco Antônio. **Aprendizagem significativa em mapas conceituais**. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2013. Disponível em: http://moreira.if.ufrgs.br/apsigmapasport.pdf. Acesso em: 9 de abril de 2020, pg. 5.

MOREIRA, Marco Antônio. **Aprendizagem significativa em mapas conceituais**. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2013.

MOREIRA, Marco Antônio. **Aprendizagem significativa em mapas conceituais**. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2013.

MOREIRA, Marco Antônio. **APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: da visão clássica à visão crítica**. V Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa. Madrid, Espanha, pg. 4, 2006.

MOREIRA, Marco Antonio. **Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea**. Revista do Professor de Física, v. 1, n. 1, p. 1-13, 2017.

MOREIRA, Marco Antônio. **Teorias da aprendizagem/Marco Antônio Moreira**. 2. ed. São Paulo: E.P.U, 2015.

MOREIRA, Marco Antônio. **Teorias da aprendizagem/Marco Antônio Moreira**. 2. ed. São Paulo: E.P.U. p. 161, 2015.

MOREIRA, Marco Antônio. **Teorias da aprendizagem/Marco Antônio Moreira**. 2. ed. São Paulo: E.P.U. p. 165, 2015

MOREIRA, Marco Antônio. **Teorias da aprendizagem/Marco Antônio Moreira**. 2. ed. São Paulo: E.P.U. p. 167, 2015.

MOREIRA, Marco Antônio. **Teorias da aprendizagem/Marco Antônio Moreira**. 2. ed. São Paulo: E.P.U. p. 164, 2015.

NEVES, Simone et al. **Aprendizagem significativa por descoberta: uma reflexão da problematização sob a abordagem de Ausubel**. CIAIQ 2017, v. 1, pg. 721, 2017.

NOVAK, Joseph; GOWIN, D. Bob. **APRENDER A APRENDER**. Traduzido por Carla Valadares. LISBOA: PARALELO EDITORA, LDA, 1994. Disponível em: https://ead2.iff.edu.br/pluginfile.php/149304/mod_data/content/825/APRENDER%20A%20APRENDER-NOVAK.pdf. Acesso em: 13 de Abril de 2020, pg. 18.

NOVAK, Joseph; GOWIN, D. Bob. **APRENDER A APRENDER**. Traduzido por Carla Valadares. LISBOA: PARALELO EDITORA, LDA, 1994. Disponível em: https://ead2.iff.edu.br/pluginfile.php/149304/mod_data/content/825/APRENDER%20A%20APRENDER-NOVAK.pdf. Acesso em: 13 de Abril de 2020, pg. 19.

NOVAK, Joseph; GOWIN, D. Bob. **APRENDER A APRENDER.** Traduzido por Carla Valadares. LISBOA: PARALELO EDITORA, LDA, 1994.

NOVAK, Joseph; GOWIN, D. Bob. **APRENDER A APRENDER**. Traduzido por Carla Valadares. LISBOA: PARALELO EDITORA, LDA, 1994. pg. 31.

NOVAK, Joseph; GOWIN, D. Bob. **APRENDER A APRENDER**. Traduzido por Carla Valadares. LISBOA: PARALELO EDITORA, LDA, 1994.

NOVAK, Joseph; GOWIN, D. Bob. **APRENDER A APRENDER**. Traduzido por Carla Valadares. LISBOA: PARALELO EDITORA, LDA, p. 119, 1994.

OLIVA, A. et al. **Utilização do Método da eletrorresistividade na Caracterização Hidrogeológica de área de recarga do sistema Aquífero Guarani.** XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. p. 6, 2006. Disponível em: https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/viewFile/23193/15304. Acesso em: 14 de maio de 2020.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico [recurso eletrônico]: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, pg. 52, 2013.

RIBEIRO, D. **André-Marie Ampère**. Rev. Ciência Elem. v. 2. 2014.

RÜCKER, Carsten; GÜNTHER, Thomas; WAGNER, Florian M**. pyGIMLi: An open-source library for modelling and inversion in geophysics**. Computers & Geosciences, v. 109, p. 106-123, 2017.

SAMPAIO, José Luiz; CALÇADA, Caio Sérgio. **Universo da física, 3: ondulatória, eletromagnetismo, física moderna/ José Luiz Sampaio, Caio Sérgio Calçada**. – 2. ed. São Paulo: Atual, 2005, 500 p. (Coleção universo da física)

SILVA, Edna Lúcia; MENEZES, Estera Muskat. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação/Edna Lúcia da Silva, Estera Muszkat Menezes. 4. ed. Florianópolis: **Rev. Atual**. UFSC, pg. 21, 2005.

SILVA, Robson W. da C**. Aplicação do método da eletrorresistividade na investigação e mapeamento da contaminação por cemitérios: o exemplo do cemitério de Vila Rezende, Piracicaba/SP**. Rev. Bras. Geof., São Paulo, v. 27, n. 1, p. 137, Mar. 2008 .

TEIXEIRA, Cézar Borges. **Utilização do chuveiro elétrico no ensino de conceitos básicos de eletrodinâmica: uma proposta de ensino potencialmente significativa**. Dissertação Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, UNB, 2016.

TEIXEIRA, Mariana M. **Associação de geradores**. Disponível em: <https://alunosonline.uol.com.br/fisica/associacao-geradores.html>. Acesso em: Março de 2020.

TELFORD, M**. Applied geophysics/ W. M. Telford, L. P. Geldart, R. E. Sheriff**. 2 ed.

Cambridge: Press Syndicate of the University of Cambridge. 1990.

URANG, J. G; AWAK E, A; BAMIDELE, A S**. Design and construction of a simple resistivity meter for resistivity measurement**. Research Journal of Physical Sciences. Calabar, South Nigeria,Vol. 6, pg.1-7, 2018.

XAVIER, Claudio; BENIGNO, Barreto. **Física aula por aula: eletromagnetismo, ondulatória, física moderna/ Claudio Xavier da Silva, Benigno Barreto Filho**. -1.ed. Luciana Keler M. Corrêa. São Paulo: FTD, 2010, 384 p. (física aula por aula; v.3)

YOUNG, Hugh D; Roger A. Freedman. **Física III, Sears e Zemansky: eletromagnetismo/ Hugh D. Young, Roger A. Freedman; colaborador A. Lewis Ford**: tradução Lucas Pilar da Silva e Daniel Vieira; revisão técnica Adir Moysés Luiz. – 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2015, 470 p.

Apêndice A – Questionário pré-teste

Questionário a ser Aplicado nas turmas de 3º ano do Ensino Médio da Escola Lourival Pinho, localizada no bairro Triângulo na cidade de Rio Branco, Acre.

1) Lembrando dos fenômenos do dia a dia que você vivencia, por exemplo como aqueles que ocorrem em momentos de chuva ou ao entrar em contato com aparelhos eletrônicos, diga quais fenômenos que você vivência no seu dia a dia, que você acredita que envolvam a eletricidade?

   _____

   _____

2) Marque abaixo, quais materiais você acredita que sejam condutores e quais sejam isolantes, marcando 1 para condutores e 2 para isolantes.

   ( ) Água mineral ( ) Ferro ( ) Ar úmido ( ) Solo
   ( ) Borracha ( ) Madeira ( ) Plástico ( ) Carbono

3) Lembrando que toda carga elétrica gera uma perturbação no espaço ao seu redor e que se ela pode se mover, logo esta carga elétrica possui uma grandeza associada a essa capacidade de se movimentar, assim como todo corpo ao redor da Terra possui energia potencial gravitacional de ser atraído para a Terra. De acordo com seus conhecimentos, marque todos os fenômenos que você acha que envolvam os fenômenos de campo elétrico, potencial elétrico e os processos de eletrização.

   ( ) Atração de um canudo com o cabelo
   ( ) Arrepio dos pelos dos braços ao se aproximar de uma televisão
   ( ) Cobertor com excesso de energia eletrostática
   ( ) Contato entre a mão e um corrimão metálico eletrizado

4) Lembrando dos fenômenos diários vivenciados por você, quando um fio de extensão elétrica é ligado a um aparelho elétrico, notamos que as vezes o fio aquece muito, diga com seus conhecimentos sobre o assunto, o que pode estar ocorrendo no interior do fio para que ele aqueça dessa forma.

   _____

   _____

5) Na grande maioria das residências domiciliares, notamos que a iluminação é feita por lâmpadas, e que algumas vezes quando elas param de funcionar, outras lâmpadas se apagam também, e notamos que em outros casos uma lâmpada para de funcionar, mas as outras que estão no mesmo cômodo não se apagam, marque todos os conceitos que você acha que estão envolvidos em relação à redes elétricas de residências.

   ( ) Ligação em Paralelo ( ) Potencial elétrico
   ( ) Ligação em serie ( ) Eletrização por contato
   ( ) Corrente elétrica ( ) Resistores
   ( ) Campo elétrico ( ) Eletrização por atrito

6) A geofísica é a ciência que estuda as propriedades físicas da Terra, nas camadas superficiais, para investigar seu interior, onde se alojam os recursos minerais (petróleo, minérios, água). De acordo com seus conhecimentos, descreva como ocorre o processo de descobrimento de petróleo, água e gás no subsolo.

   _____

   _____

7) Um método de analisar o solo é usar um fio com corrente elétrica e introduzi-lo no terreno

através de dois eletrodos e medir as diferenças de potencial elétrico. Explique, com suas palavras, como isso é possível?

_____

_____

Apêndice B – Questionário pós-teste

Questionário a ser Aplicado nas turmas de 3º ano do Ensino Médio da Escola Lourival Pinho, localizada no bairro Triângulo na cidade de Rio Branco, Acre.

1) Lembrando dos fenômenos do dia a dia que você vivencia, por exemplo como aqueles que ocorrem em momentos de chuva ou ao entrar em contato com aparelhos eletrônicos, diga quais fenômenos que você vivência no seu dia a dia, que você acredita que envolvam a eletricidade?

   _____

   _____

2) Marque abaixo, quais materiais você acredita que sejam condutores e quais sejam isolantes, marcando 1 para condutores e 2 para isolantes.

   ( ) Água mineral ( ) Ferro ( ) Ar úmido ( ) Solo
   ( ) Borracha ( ) Madeira ( ) Plástico ( ) Carbono

3) Lembrando que toda carga elétrica gera uma perturbação no espaço ao seu redor e que se ela pode se mover, logo esta carga elétrica possui uma grandeza associada a essa capacidade de se movimentar, assim como todo corpo ao redor da Terra possui energia potencial gravitacional de ser atraído para a Terra. De acordo com seus conhecimentos, marque todos os fenômenos que você acha que envolvam os fenômenos de campo elétrico, potencial elétrico e os processos de eletrização.

   ( ) Atração de um canudo com o cabelo
   ( ) Arrepio dos pelos dos braços ao se aproximar de uma televisão
   ( ) Cobertor com excesso de energia eletrostática
   ( ) Contato entre a mão e um corrimão metálico eletrizado
   ( ) Contato entre a mão e um corrimão metálico eletrizado
   ( ) imã de geladeira

4) Lembrando dos fenômenos diários vivenciados por você, quando um fio de extensão elétrica é ligado a um aparelho elétrico, notamos que as vezes o fio aquece muito, diga com seus conhecimentos sobre o assunto, o que pode estar ocorrendo no interior do fio para que ele aqueça dessa forma.

   _____

   _____

5) Na grande maioria das residências domiciliares, notamos que a iluminação é feita por lâmpadas, e que algumas vezes quando elas param de funcionar, outras lâmpadas se apagam também, e notamos que em outros casos uma lâmpada para de funcionar, mas as outras que estão no mesmo cômodo não se apagam, marque todos os conceitos que você acha que estão envolvidos em relação à redes elétricas de residências.

   ( ) Ligação em Paralelo ( ) Potencial elétrico
   ( ) Ligação em serie ( ) Eletrização por contato
   ( ) Corrente elétrica ( ) Resistores

( ) Campo elétrico ( ) Eletrização por atrito

6) A geofísica é a ciência que estuda as propriedades físicas da Terra, nas camadas superficiais, para investigar seu interior, onde se alojam os recursos minerais (petróleo, minérios, água). De acordo com seus conhecimentos, descreva como ocorre o processo de descobrimento de petróleo, água e gás no subsolo.

_____

_____

7) Um método de analisar o solo é usar um fio com corrente elétrica e introduzi-lo no terreno através de dois eletrodos e medir as diferenças de potencial elétrico. Explique, com suas palavras, como isso é possível?

_____

Apêndice C – Produto Educacional

MNPEF **Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física**	**Ufac**	**SBF** SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
CENTRO CE CIÊNCIAS BIOLOGICAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL DO ENSINO DE FÍSICA

UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL DA GEOFÍSICA COMO MÉTODO DE ENSINO E APRENDIZAGEM PARA O ENSINO DE ELETRICIDADE

UM GUIA PARA O PROFESSOR

Prof. Carlos Henrique Vieira
Prof. Dr. Antônio Romero da Costa Pinheiro

Lista de Figuras

Figura 1. Ilustração de Arranjo de campo (SEV) 104
Figura 2. Arranjo de Schlumberger 104
Figura 3. Desenho esquemático do circuito elétrico do experimento de eletrorresistividade elétrica (Resistivímetro caseiro) 105
Figura 4. Imagem superior do circuito elétrico do resistivímetro caseiro. (a) Inversor de tensão elétrica, (b) disjuntor elétrico e (c) associação de capacitores em série 106
Figura 5. Imagem lateral do experimento de eletrorresistividade, (a) associação de capacitores em série, (b) disjuntor elétrico, (c) transformador elétrico 107
Figura 6. Imagem frontal do resistivímetro caseiro totalmente construído 107
Figura 7. Associação de baterias em série utilizada no trabalho para alimentar o circuito elétrico 108
Figura 8. Ilustração de como é feita a ligação entre as baterias e também com o disjuntor elétrico 109
Figura 9. Um transformador ideal, formado por duas bobinas enroladas em um núcleo de ferro, ligado a uma fonte e uma carga. Um gerador de corrente alternada produz uma corrente no enrolamento da esquerda (o primário). O enrolamento da direita (o secundário) é ligado à carga resistiva R quando a chave S é fechada 111
Figura 10. Ilustração do Modelo Atômico de Bohr 116
Figura 11. Ilustração do princípio da atração e repulsão de cargas elétricas 117
Figura 12. Ilustração da eletrização de um material condutor (a) e de um material isolante (b). 118
Figura 13. Ilustração da série triboelétrica 119
Figura 14. Ilustração das formas de contato durante o processo de eletrização e a distribuição das cargas elétricas no processo de eletrização por contato 119
Figura 15. Ilustração do símbolo de aterramento, e também do processo de aterramento de um corpo eletrizado com carga negativa (a) e (b), isolado através de um suporte isolante, e também de um corpo eletrizado com carga positiva (c) e (d), isolado través de um suporte isolante 121
Figura 16. Ilustração do processo de eletrização por indução com carga negativa (a) e (b) e positiva (c) e (b) 121
Figura 17. Ilustração da balança de torção, utilizada por Coulomb na determinação da Força elétrica de interação entre cargas elétricas 122
Figura 18. Ilustração das forças de interações elétricas entre as cargas 123
Figura 19. Ilustração do sentido do campo elétrico de uma carga positiva e negativa 124
Figura 20. Ilustração do gráfico do campo E de uma carga puntiforme em relação à distância 125
Figura 21. Ilustração da orientação das linhas de campo elétrica de uma carga positiva e uma carga negativa 126
Figura 22.Ilustração do comportamento das linhas de força de um dipolo elétrico 126
Figura 23. Ilustração do comportamento das linhas de força de cargas de sinais iguais, como a de cargas positivas 127
Figura 24. Ilustração do vetor campo elétrico nas linhas de força de um campo elétrico 127
Figura 25. Ilustração do campo elétrico uniforme entre duas placas paralelas 127
Figura 26. Ilustração do campo elétrico de um condutor em equilíbrio eletrostático 128
Figura 27. Ilustração da analogia entre potencial gravitacional (a) e potencial elétrico em (b) 129
Figura 28. Ilustração da diferença de potencial elétrico entre dois pontos de um campo elétrico 130
Figura 29. Ilustração da diferença de potencial (U) em um campo elétrico uniforme 131
Figura 30. Ilustração de superfícies equipotencias de um carga positiva e negativa 132
Figura 31. Ilustração das linhas equipotenciais em um campo elétrico uniforme 133
Figura 32. Representação simbólica de um capacitor 133
Figura 33. Exemplos de capacitores 134
Figura 34. Ilustração de um capacitor de placas paralelas submetido a uma ddp 134
Figura 35. Em (a) uma ilustração de um esquema de um capacitor simples, e em (b) uma ilustração de como

se comporta o campo elétrico entre as placas de um capacitor de placas paralelas 135
Figura 36. Gráfico da carga (Q) do capacitor em função da ddp (U).....135
Figura 37. Ilustração de uma associação em paralelo de capacitores.....136
Figura 38. Ilustração de uma associação de capacitores em série.....137
Figura 39. Ilustração do movimento desordenado de elétrons livre (a) e o movimento ordenado de elétrons livres (b) dentro de um condutor.....138
Figura 40. Ilustração do sentido real e convencional da corrente elétrica.....139
Figura 41. Gráficos do comportamento da corrente contínua (a) e da corrente alternada (b).....139
Figura 42. Imagem de uma placa solar, um gerador elétrico 140
Figura 43. Representação simbólica de um gerador elétrico.....140
Figura 44. Representação simbólica de um receptor elétrico.....141
Figura 45. Representações simbólicas de um resistor.....141
Figura 46. Representação simbólica de um dispositivo de manobra aberto e fechado 141
Figura 47. Representação simbólica de um dispositivo de segurança.....141
Figura 48. Representação simbólica de um amperímetro (a), de um voltímetro (b) e de um galvanômetro (c) 142
Figura 49. Ilustração de um circuito sendo percorrido por corrente elétrica, composto por um resistor e uma pilha.....142
Figura 50. Ilustração de um resistor, sendo (S) a área da seção transversal, (l) o comprimento do resistor 143
Figura 51. Comportamento gráfico de um resistor ôhmico e não ôhmico 144
Figura 52. Ilustração de uma associação em série (a) e de um resistor equivalente (b).....144
Figura 53. Ilustração de uma associação em paralelo de resistores 145
Figura 54. Ilustração de um circuito com uma associação mista de resistores 146
Figura 55. Imagem de um galvanômetro.....147
Figura 56. Ilustração de como o amperímetro é posicionado dentro de um circuito elétrico para aferir a intensidade da corrente elétrica 147
Figura 57. Ilustração de um voltímetro associado em paralelo com os pontos onde quer se medir a ddp.148
Figura 58. Ilustração de um circuito gerador-resistor 148
Figura 59. Representação simbólica de um gerador elétrico.....149
Figura 60. Ilustração de um gerador elétrico, mostrando a queda de potencial elétrico provocado pela resistência interna.....149
Figura 61. Gráfico U x i de um gerador 150
Figura 62. Ilustração do circuito bateria e gerador.....151
Figura 63. Ilustração de geradores associados em série.....152
Figura 64. Ilustração de uma associação em paralelo de geradores 152
Figura 65. (SEV) Arranjo de Schlumberger.....156
Figura 66. Ilustração do método de eletrorresistividade de Schlumberger 156

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Quadro de aplicação dos conteúdos da sequência didática 102
Quadro 2.Materiais utilizados para confecção do experimento e quantidade de cada item.....105
Quadro 3. Possíveis perguntas que podem ser feitas pelo professor para introduzir o assunto de eletricidade e geofísica aplicada 114

Sumário

1. Sequência da uma abordagem experimental da geofísica como método de ensino e aprendizagem para o ensino de eletricidade 102

1.1 Aspectos Iniciais 103

1.1.1 *O experimento de eletrorresistividade* 103

1.1.2 *Roteiro Experimental Docente* 105

1.1.3 *Aplicação do experimento de eletrorresistividade* 112

1.1.4 *Uma conversa sobre eletricidade e eletrorresistividade* 114

1.2 Externalizando o conhecimento Prévio, levantamento dos subsunçores 114

1.3 Introdução aos tópicos de Estudo 115

1.3.1 *Conceito de Carga Elétrica* 115

1.3.2 *Condutores e isolantes* 117

1.3.3 *Processos de eletrização* 118

1.3.4 *Lei de Coulomb* 122

1.3.5 *Campo Elétrico* 124

1.3.6 *Potencial Elétrico* 128

1.3.7 *Diferença de Potencial Elétrico (ddp)* 130

1.3.8 *Superfícies Equipotenciais* 132

1.3.9 *Capacitores* 133

1.3.10 *Intensidade da corrente elétrica* 137

1.3.11 *Elementos de um circuito elétrico* 140

1.3.12 *Resistores* 142

1.3.13 Associação de *Resistores* 144

1.3.14 Instrumento de medidas elétricas 146

1.3.15 Geradores elétricos 148

1.3.16 *A interatividade com a turma* 152

1.4 Abordagem integradora, diversificando o aprendizado 152

1.5 Avaliação da sequência didática 153

Apêndice A – Questionário pré-teste 154

Apêndice B – Questionário pós-teste 155

Apêndice C – Relatório Experimental 156

Apêndice D – Roteiro Experimental do método de eletrorresistividade 157

__REFERÊNCIAS
BIBLIOGRÁFICAS.....159

APRESENTAÇÃO

Caro professor,

Atualmente é comum apresentar os conteúdos de eletricidade sem espaço para a contextualização experimental, em muitas ocasiões o professor leciona simplesmente com quadro e pincel, este trabalho busca auxiliar esses docentes através da experimentação do método de eletrorresistividade, para o ensino de eletricidade no terceiro ano do ensino médio.

Com o intuito de desenvolver um material potencialmente significativo, fundamentado na teoria de David P. Ausubel, este trabalho é uma sequência didática que utiliza um experimento para auxiliar no processo de ensino aprendizagem dos alunos, assim o produto educacional deste trabalho é uma sequência didática que utiliza a geofísica aplicada para o ensino de eletricidade no ensino médio.

Este produto educacional é apresentado ao Mestrado Nacional Profissional do Ensino de física, da Sociedade Brasileira de Física (SBF), pólo 59, vinculado à Universidade Federal do Acre (UFAC).

Os autores

Prof. Carlos Henrique Vieira
carlos_vieira_1995@hotmail.com

Prof. Dr. Antônio Romero da Costa Pinheiro
Aromerocp@gmail.com

UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL DE GEOFÍSICA COMO MÉTODO DE ENSINO E APRENDIZAGEM PARA O ENSINO DE ELETRICIDADE

1. Sequência da uma abordagem experimental da geofísica como método de ensino e aprendizagem para o ensino de eletricidade

A apresentação do produto educacional, se refere a uma sequência didática para o ensino de eletricidade com a utilização da experimentação do metodo de eletrorresistividade para o ensino de eletricidade no terceiro ano do ensino médio. Esta sequência é um material potencialmente significativo e utiliza a aplicação de questionários pré-teste para verificar os conhecimentos prévios dos alunos e aplicação do questionário pós-teste para verificar o potencial da sequência didática.

Para tanto, elabora-se um quadro, proposto abaixo, que seja um guia de conteúdos. Que baseia o docente nas horas trabalhadas com cada conteúdo e a sequência de aplicação de cada um deles antes e depois da aplicação dos questionários.

Quadro 10. Quadro de aplicação dos conteúdos da sequência didática.

N	Conteúdos	Procedimento metodológico	Material utilizado	Tempo de aula
1	Pré-teste	Perguntas de múltipla escolha e dissertativas.	Material impresso.	1
2	Introdução aos conceitos de eletrostática.	Aula expositiva.	Livro didático.	1
3	Princípio da atração e repulsão de cargas elétricas, condutores e isolantes, processos de eletrização, contato entre um condutor e a Terra e eletrização por indução.	Aula dialogada com resolução de exercícios.	Livro didático.	1
4	Lei de Coulomb e Campo elétrico.	Aula expositiva com resolução de exercícios.	Livro didático e experimento.	2
5	Potencial elétrico e diferença de potencial elétrico.	Aula expositiva com exercícios extraclasse.	Livro didático.	2
6	Capacitores.	Aula dialogada com resolução de exercícios.	Livro didático e capacitores.	1
7	Corrente elétrica.	Aula dialogada com resolução de exercícios e exercícios extraclasse.	Livro didático.	2
8	Elementos e nós de um circuito elétrico.	Aula dialogada.	Livro didático e resistores elétricos.	1
9	Resistência elétrica, leis de Ohm e potência elétrica.	Aula expositiva.	Livro didático.	2
10	Associação de resistores em série e paralelo e instrumentos de medida elétrica.	Aula dialogada.	Livro didático e experimento (Associação de lâmpadas) e	2

			multímetro.	
11	Geradores elétricos.	Aula expositiva com resolução de exercícios e exercícios extraclasse.	Livro didático.	2
12	Execução do experimento de eletrorresistividade (resistivímetro caseiro) e aplicação do pós-teste.	Aula experimental com aplicação de questionário.	Experimento de eletrorresistividade e questionário pós-teste.	2
Total de encontros				19

Fonte: Próprio autor

Segue-se a construção da UEPS a partir do quadro 1 abaixo, em 8 passos sequenciais, norteada de acordo com a (TAS) Teoria de aprendizagem de David Ausubel.

1.1 Aspectos Iniciais

1.1.1 *O experimento de eletrorresistividade*

Este experimento busca que os alunos possam interagir de forma ativa no processo de aprendizagem, manipulando o mesmo e possuindo conhecimentos práticos sobre a teoria física estudada em sala, utilizando a geofísica aplicada como base para a experimentação.

A partir do trabalho de (TELFORD, 1990) é possível descrever o experimento, basicamente este método geolétrico introduz uma corrente elétrica artificial no solo em análise, através de dois eletrodos com o objetivo de mensurar o potencial elétrico produzido em outros dois eletrodo próximos do fluxo de corrente. Analisando as relações entre grandezas como, corrente elétrica, potencial elétrico e a disposição geométrica dos eletrodos no solo em análise, permitem calcular a resistividade real ou aparente no subsolo, por exemplo.

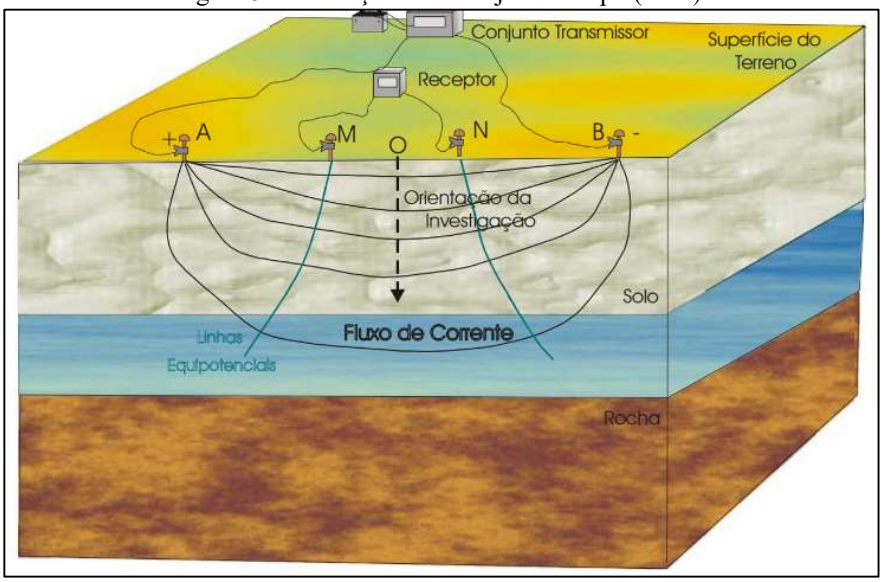
Segundo Braga (2006) o método da eletrorresistividade realizado no estudo de campo, tem como base a capacidade do equipamento utilizado em inserir uma corrente elétrica no subsolo através de eletrodos (barras de cobre ou outros condutores) a diferentes profundidades de investigação, e aferir as resistividades dos materiais geológicos a estas diferentes profundidades.

Acerca do método de eletrorresistividade pode-se afirmar que:

> O método da ER fundamenta-se no fato de que diferentes materiais, geológicos ou não, apresentam diferentes valores de resistividade elétrica. A resistividade elétrica (ρ) é um parâmetro intrínseco dos materiais, o qual se relaciona à dificuldade encontrada por uma corrente elétrica para se propagar em um meio e depende, entre outras coisas, da natureza e do estado físico do corpo considerado (BORTOLIN; MALAGUTTI, 2010, p. 370).

Esta técnica é realizada através de uma Sondagem Elétrica Vertical (SEV), como pode ser visto na figura 1, segundo Telford et al (1990), Braga (1997), Silva (2008), compreende-se que a técnica de Sondagem Elétrica Vertical (SEV) análise verticalmente a variação do valor da resistividade aparente do solo, sendo uma técnica convencional de fácil execução, para isso os eletrodos são posicionados de acordo com o arranjo de campo Schlumberger.

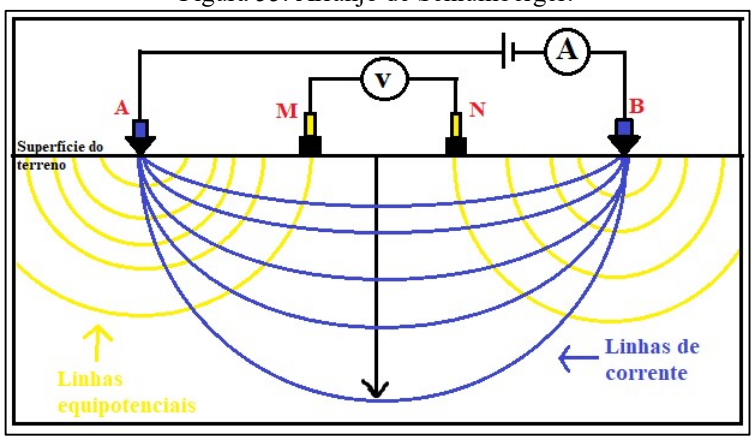
Figura 54. Ilustração de Arranjo de campo (SEV).



Fonte: OLIVA, A. et al, 2006.

Segundo (SILVA, 2008) no arranjo de campo Schlumberger visto na figura 2 os eletrodos de corrente (AB) possuem uma separação crescente, e os eletrodos de potencial (MN) são fixo durante todas as medições, a uma distância ≤AB/5, durante todo o processo de experimentação. Esta técnica tem como objetivo principal fazer com que a distância de (MN) aproxime-se de zero em relação à distância crescente entre os eletrodos (AB), fazendo com que a margem de erro deste tipo de medição seja quase insignificante.

Figura 55. Arranjo de Schlumberger.



Fonte: Próprio autor.

Neste estudo a resistividade aparente é obtida pela expressão:

$$\rho_a = K.\frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

Onde ρ_a é a resistividade aparente do solo, ΔV é a diferença de potencial elétrico aferida nos eletrodos (MN) e I é a intensidade da corrente elétrica introduzida no solo.

Importante salientar que este método é utilizado com intuito didático para o aprendizado de eletricidade no terceiro ano do ensino médio, sem obrigação do cálculo da

resistividade aparente do solo, o importante é que o aluno consiga conceber teoricamente o funcionamento de cada componente do experimento, mas se o professor regente da sala possuir o interesse em apresentar a resistividade aparente do solo, isso pode ser feito.

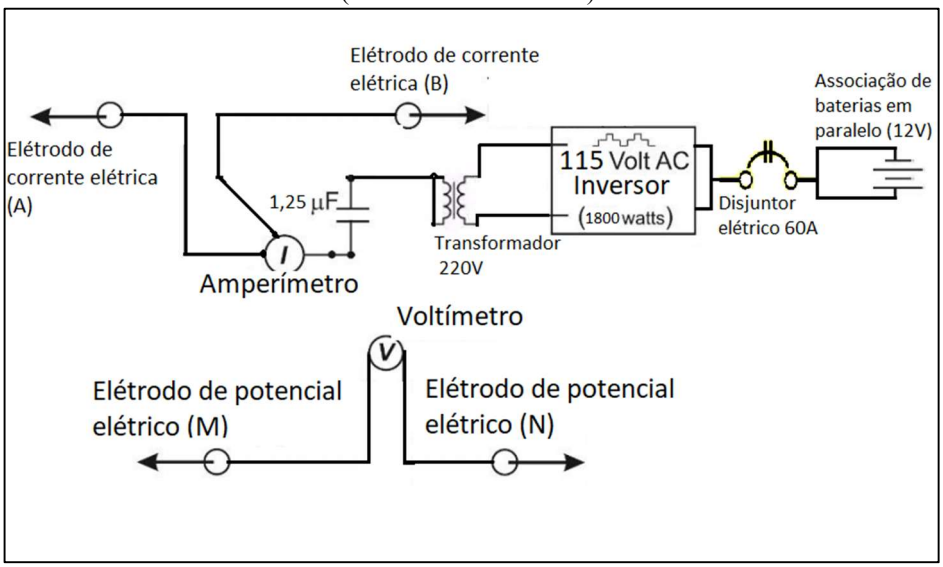
Assim, é importante que o professor durante a execução da sequência didática, apresente a teoria de todos os componentes relacionáveis aos conteúdos de física, como os capacitores, que podem ser abordados de diversas formas, para que no ato da experimentação os alunos possuam conhecimentos prévios sobre este tema, para que compreendem o funcionamento do experimento em sua totalidade, aumentando a capacidade de retenção de conhecimento sobre este conceito, conhecendo a importância e o funcionamento de determinado componente na vida real.

1.1.2 *Roteiro Experimental Docente*

Esta seção tem como objetivo auxiliar o docente na montagem experimental, descrevendo componentes dos experimentos, e como o experimento funciona.

Abaixo a figura 2, mostra o esquema simbólico do circuito elétrico do resistivímetro caseiro, este circuito foi adaptado para o trabalho atual, com o intuito de reduzir custos, o docente que objetiva aplicar este trabalho em sala, pode reduzir mais ainda os custos dos materiais, buscando materiais mais baratos em sua região, por mais que isso diminua a potência do experimento, no fim o objetivo de introduzir os alunos a uma iniciação científica é alcançado, fazendo com que os mesmo compreendam de forma significativa os conteúdos de eletricidade relacionáveis ao experimento.

Figura 56. Desenho esquemático do circuito elétrico do experimento de eletrorresistividade elétrica (Resistivímetro caseiro).



Fonte: KWIZERA et al, 2016.

Abaixo no quadro 2 é listado todos os materiais utilizados na confecção do resistivímetro caseiro.

Quadro 11.Materiais utilizados para confecção do experimento e quantidade de cada item.

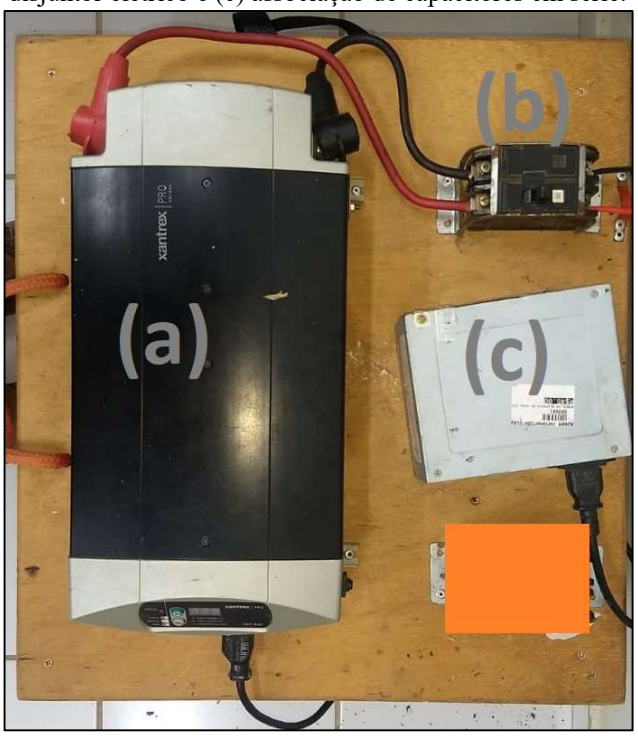
Materiais	Quantidade
Baterias de 60ah	3

Multímetros	2
Inversor de tensão elétrica	1
Disjuntor elétrico	1
Capacitor de 2,5µF	2
Transformador de tensão elétrica	1
100 m de Fio de cobre de 0,6 mm	1
Hastes de cobre de 50 cm de comprimento e diâmetro de 0,5 polegada	8
Estrutura de madeira para fixação e transporte do experiment	1
Garras de cobre	2
Conectores de hastes de aterramento	14

Fonte: Próprio autor.

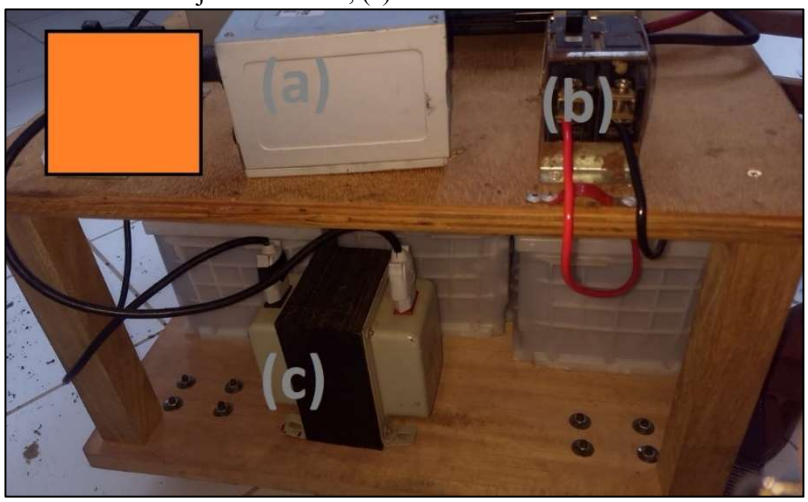
O experimento totalmente construído pode ser visualizado nas figura 4,5 e 6, essa imagens devem auxiliar o docente que utilizar este produto educacional como modelo ao que será aplicado em sala, é possível visualizar a estrutura em que o componentes estão inseridos, e como estes estão disposto nesta estrutura.

Figura 57. Imagem superior do circuito elétrico do resistivímetro caseiro. (a) Inversor de tensão elétrica, (b) disjuntor elétrico e (c) associação de capacitores em série.



Fonte: Próprio autor.

Figura 58. Imagem lateral do experimento de eletrorresistividade, (a) associação de capacitores em série, (b) disjuntor elétrico, (c) transformador elétrico.



Fonte: Próprio autor.

Figura 59. Imagem frontal do resistivímetro caseiro totalmente construído.

Fonte: Próprio autor.

De início a estrutura de madeira que dá suporte aos componentes do experimento foi construída da seguinte forma:

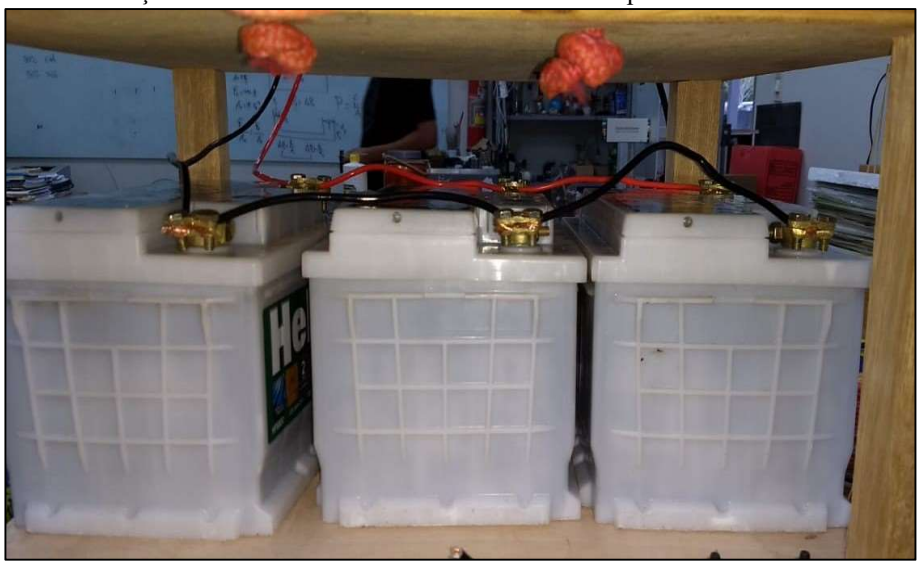
O suporte de madeira foi elaborado e construído para alocar os componentes do experimento. Este suporte é composto de duas placas de madeira de 50 cm de largura x 50 cm de comprimento, interligadas por quatro hastes retangulares de área de 9cm^2 de área x 25 cm de altura, como pode ser visto na figura 6, acima. Foram utilizados oito parafusos para fixar as hastes de madeira nas placas, 2 parafusos para cada haste, sendo que os parafusos foram fixados através de uma parafusadeira elétrica.

Após a construção do suporte, foram fixadas quatro roldanas na parte de baixo da placa inferior do suporte visando facilitar o transporte do experimento e também foi fixada uma alça na parte lateral da placa superior, para facilitar o transporte manual do experimento. As roldanas também foram fixadas com a utilização de parafusos e poucas através da parafusadeira elétrica.

Neste ponto, será iniciado a descrição dos componentes, começando pelos componentes que precisaram de uma associação entre sí, ao todo foram uma associação em paralelo de baterias (geradores elétricos) e uma associação de capacitores.

Nas imagens acima é possível notar a associação de baterias utilizadas neste estudo. Elas foram utilizadas para alimentar o sistema elétrico neste trabalho, são baterias comuns de automóvel que funcionam a 12V de tensão e 60Ah de intensidade de corrente elétrica, durante a elaboração do experimento foi construída uma associação de baterias em paralelo como pode ser visto na figura 6.

Figura 60. Associação de baterias em série utilizada no trabalho para alimentar o circuito elétrico.



Fonte: Próprio autor.

Neste estudo é necessário que seja gerada uma corrente elétrica de valor elevado para o sistema, então foi utilizado a associação em série de baterias pelo fato da intensidade da corrente elétrica total da associação ser igual à soma de todas as intensidade da corrente elétrica das baterias associadas entre sí, podemos encontrar uma definição básica das características deste tipo de associação, através de Teixeira (2020), tanto as características de tensão elétrica total (força eletromotriz equivalente), quanto a intensidade da corrente elétrica total deste tipo de associação, podem ser descritas, ele cita que "A força eletromotriz equivalente é igual à força eletromotriz dos geradores, ou seja: $E_{eq} = \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3$. A corrente equivalente é a soma das correntes individuais e é calculada com a expressão: $i_{eq} = i_1 + i_2 + \ldots + i_n$."

Assim a força eletromotriz é mantida constante igual a 12V e a corrente elétrica equivalente é igual a soma das correntes individuais, como neste caso temos 60Ah por bateria, ao todo foi possível gerar 180Ah, pois:

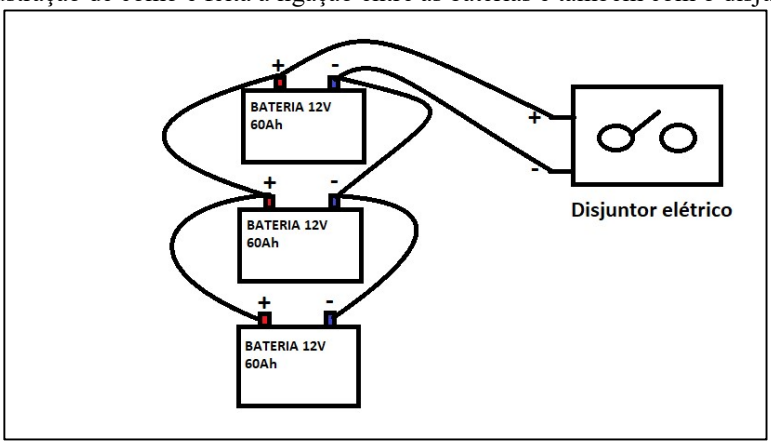
$$I_{eq} = i_1 + i_2 + i_3 = 60\ \text{Ah} + 60\ \text{Ah} + 60\ \text{Ah} = 180\ \text{Ah} \qquad (2)$$

As baterias foram fixadas utilizando uma cinta com catraca, a cinta foi passada por cima das baterias e por de baixo da base inferior de madeira do experimento, e pressionada até o ponto em que a fixação seja firme, sem deixar com que as baterias se movimentem quando o experimento estiver sendo transportado. Elas foram associadas utilizando fios de cobre de 6mm e presilhas fixadoras para

que as ligações ficassem firmes nos terminais de cada bateria, como é visto na figura 6 acima.

A ligação foi realizada de forma que os terminais negativos das três baterias fossem interligados entre si, através dos fios de cobre, da mesma forma foi feito com os polos positivos, assim a ligação dos polos negativos foi conectada diretamente ao terminal negativo do disjuntor elétrico, assim como a ligação dos polos positivos foi conectada diretamente ao terminal positivo do disjunto elétrico, como vemos na ilustração abaixo.

Figura 61. Ilustração de como é feita a ligação entre as baterias e também com o disjuntor elétrico.



Fonte: Próprio autor.

Como citado anteriormente também foi necessário uma associação de capacitores em série, eles são dispositivos formados por um meio dielétrico envolto em um armadura metálica, existem diversas formas de capacitores e sua principal função é de armazenar carga elétrica e segundo Sampaio e Calçada (2005, p. 266) "são também utilizados em circuitos que transformam corrente alternada em corrente contínua", como o circuito do resistivímetro caseiro criado neste estudo. A Capacitância (C) de um capacitor é uma grandeza que associada a este que mede a eficiência do capacitor e pode ser encontrada a partir da expressão:

$$C = \frac{Q}{U} \tag{3}$$

Sendo Q a quantidade de carga elétrica acumulada e U a diferença de potencial elétrica entre as placas do capacitor.

Como mostrado no quadro 2, foi utilizada uma associação de dois capacitores de 2,5μF em série. A capacitância neste caso é calculada pela expressão:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \tag{4}$$

Manipulando esta equação temos:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{C_1 + C_2}{C_1 . C_2} \tag{5}$$

Assim, temos:

$$C_{eq} = \frac{C_1 . C_2}{C_1 + C_2} \tag{6}$$

$$C_{eq} = \frac{2{,}5\mu F . 2{,}5\mu F}{2{,}5\mu F + 2{,}5\mu F} = \frac{6{,}25 \text{ x } 10^{-12} F}{5 x 10^{-6} F} = 1{,}25\mu F \tag{7}$$

Ou seja, após a associação dos capacitores realizada neste trabalho a capacitância total foi igual

a 1,25μF.

A associação de capacitores foi construída em série com dois capacitores cilíndricos de 2,5μF de capacitância, os capacitores foram associados utilizando ferro de solda e estanho, eles foram posicionados dentre de uma caixa de ferro como visto na figura 3 (c), onde os terminais da associação foram conectados as tomadas de entrada e de saída da caixa de ferro. Os capacitores foram posicionados dentro da caixa de ferro, por conveniência do trabalho, possuindo maior facilidade de fixação no suporte de madeira e maior praticidade na conexão com o inversor e o amperímetro, através da conexão entre os plug-ins e as tomadas.

O disjuntor elétrico foi utilizado no circuito, pois é um dispositivo de segurança, pode-se afirmar que:

> Dispositivos de segurança: São aqueles que, ao serem atravessados por uma corrente de intensidade maior que certo limite, interrompem a passagem de corrente elétrica, preservando os demais elementos do circuito de possíveis danos ou mesmo destruição total. Os mais comuns são os fusíveis e os disjuntores (BONJORNO et al, 2016, p. 79).

O disjuntor elétrico utilizado neste trabalho pode suportar até 60A de intensidade de corrente elétrica. Disjuntores elétricos possuem dois polos, um positivo e um negativo, assim devesse conectar cada fio da associação de baterias, cada um com seu devido polo.

Também foi utilizado um inversor de tensão elétrica é um dispositivo elétrico capaz de converter uma baixa tensão elétrica de corrente contínua (cc) em uma alta tensão elétrica de corrente alternada (ca). O inversor utilizado neste trabalho é um Xantex pro 1800, segundo o manual do aparelho ele opera com equipamentos que consumam até 1800W de potência elétrica e transforma uma tensão elétrica de entrada de 10,5 a 15,5V(cc) em uma tensão elétrica de saída de até 115V(ca), sendo a corrente elétrica de saída é de até 15A.

O inversor é utilizado para transformar a voltagem elétrica total da associação de baterias de 12V(cc) em uma voltagem de 115V(ca), e uma corrente continua de 180Ah em uma corrente alternada de 15A.

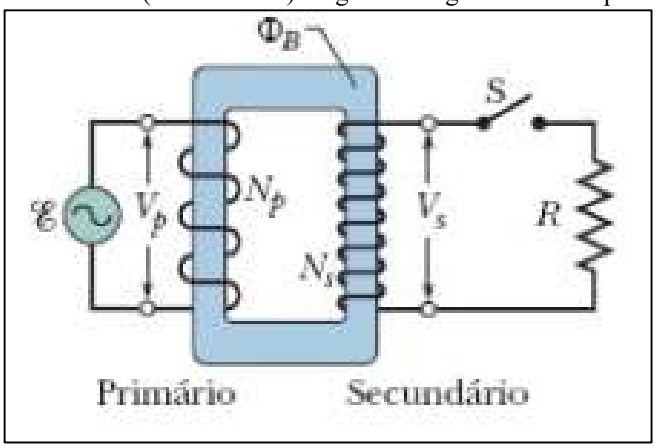
Foi utilizado também um transformador elétrico, dispositivo utilizado para aumentar a diferença de potencial elétrico, diminuindo assim a intensidade da corrente elétrica, pode-se afirmar que o transformador ideal:

> [...] é formado por duas bobinas, com diferentes números de espiras, enroladas em um núcleo de ferro. (Não existe contato elétrico entre as bobinas e o núcleo.) O enrolamento primário, com Np espiras, está ligado a um gerador de corrente alternada cuja força eletromotriz é dada por O enrolamento secundário, com Ns espiras, está ligado a uma resistência de carga R, mas não há corrente no circuito se a chave S estiver aberta (vamos supor, por enquanto, que isso é verdade). Vamos supor também que, como se trata de um transformador ideal, a resistência dos enrolamentos é desprezível. Nos transformadores bem projetados, de alta capacidade, a dissipação de energia nos enrolamentos pode ser menor que 1% [...] (HALLIDAY et al, 2016, p.667).

Ele obedece a Lei da indução de Faraday, e neste trabalho ele converte uma tensão elétrica de 110V(ca) em 220V(cc), com uma corrente elétrica de baixa intensidade. Na imagem

abaixo é possível visualizar a configuração interna de um transformador comum de eletricidade.

Figura 62. Um transformador ideal, formado por duas bobinas enroladas em um núcleo de ferro, ligado a uma fonte e uma carga. Um gerador de corrente alternada produz uma corrente no enrolamento da esquerda (o primário). O enrolamento da direita (o secundário) é ligado à carga resistiva R quando a chave S é fechada.



Fonte: Halliday et al. Fundamentos de física, volume 3: eletromagnetismo / David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker. p. 667, 2016.

Basicamente a tensão gerada pelo transformador obedece a seguinte expressão:

$$V_s = V_p \frac{N_s}{N_p} \text{ (Transformação de tensão)} \quad (8)$$

Onde V_S=Tensão da espira primária, V_P=Tensão da espira secundária, N_p=Número de voltas da espira primária e N_s=Número de voltas da espira secundária.

Também foram utilizados neste trabalho multímetros, estes são aparelhos que auxiliam na aferição de grandezas físicas elétricas, segundo o artigo trabalho prático (2002, p.1):

> O multímetro, de maior portabilidade e facilidade de utilização, pode medir diversas grandezas eléctricas, designadamente, diferenças de potencial, intensidades de corrente e resistências eléctricas, grandezas estas que também podem ser medidas utilizando voltímetros, amperímetros e ohmímetros, respectivamente (TRABALHO PRÁTICO, 2002, p.1).

Foram utilizados dois multímetros um na função amperímetro e outro na função voltímetro, o primeiro para medir a intensidade da corrente elétrica injetada no solo e o segundo utilizado para medir a diferença de potencial elétrica entre as hastes fixadas no solo.

A montagem do circuito elétrico do resistivímetro caseiro foi realizada seguindo o padrão dos trabalhos de Urang et al (2018), Clark e Page (2011) e Kwizera et al (2016), mas com algumas adaptações específicas para este trabalho, importante lembrar que este aparelho foi construído com fins didáticos, assim a real avaliação dos valores de resistividade aparente do solo não foram levados em consideração, o foco são os valores de intensidade de corrente elétrica injetados no solo e o valor da diferença de potencial entre as hastes de cobre fixas no solo, para que os alunos possam aferi-las.

Também vale dizer que o docente pode se basear nos autores citados acima, ou partir deste trabalho para montar seu resistivímetro, o intuito aqui é ajudar o docente a elaborar da forma mais adequada a sua realidade um resistivímetro caseiro que sirva com ferramenta para o ensino de

eletricidade no terceiro ano de ensino médio.

Faz-se necessário, citar como os componentes do circuito foram ligados entre sí. Durante esta etapa todos os conteúdos relacionados ao experimento podem ser utilizados pelo docente em sala, de forma linear ou de modo que for conveniente aos professores que utilizaram este trabalho em suas salas de aula, desde a ligação entre as baterias, até a ligação dos multímetros com os elétrodos fixados no solo, sendo possível estudar os conteúdos de geradores, componentes do circuito elétrico, capacitores e entre outros conceitos associados ao experimento.

Toda a ligação elétrica pode ser visualizada através da figura 2. Inicialmente a associação de baterias foi conectada ao disjuntor elétrico da seguinte forma, o terminal negativo da associação foi ligado ao terminal negativo do disjuntor elétrico através de um fio elétrico de cobre de 6mm de espessura, assim como o terminal positivo da associação de baterias foi conectada ao terminal positivo do disjuntor elétrico.

A ligação entre o disjuntor elétrico e o inversor de tensão elétrica foi realizada da seguinte forma, o terminal negativo do disjuntor elétrico foi conectado ao terminal negativo do inversor de tensão elétrica, assim como o terminal positivo do disjuntor elétrico foi conectado com o terminal positivo do inversor de tensão elétrica.

A ligação entre o inversor de tensão elétrica e o transformador elétrico foi realizada utilizando um fio condutor de cobre com dois plug-ins cada um em uma extremidade do fio, pois tanto o inversor quanto o transformador, possuem entrada para plug-in de conexão elétrica.

A ligação entre o transformador elétrico e a associação de capacitores foi realizada da mesma forma que a ligação entre o inversor de tensão elétrica e o transformador de tensão elétrica, através de um fio condutor de cobre com dois plug-ins cada um em uma extremidade do fio, pois ambos possuem entrada para plug-in de conexão elétrica, lembrando que os capacitores estavam inseridos em uma caixa de ferro, que possua entradas para plug-ins de tomadas, facilitando a ligação.

A associação de capacitores é conectada em série com o multímetro na função amperímetro que mede a intensidade da corrente elétrica, e este é ligado através de um fio elétrico de 6mm de espessura aos elétrodos de corrente elétrica (hastes de cobre), para que fiquem fixas nas hastes, utilizou-se fixadores metálicos (bicos de jacaré).

A ligação entre o multímetro na função voltímetro e os elétrodos de potencial foi realizada em série, utilizando também fixadores metálicos (bicos de jacaré).

1.1.3 *Aplicação do experimento de eletrorresistividade*

Para que os alunos não corram qualquer perigo durante a aplicação do experimento de eletrorresistividade, o professor deve fincar com a ajuda de um martelo, todas as hastes de cobre, utilizadas como eletrodos no solo onde será realizado a experimentação, indicasse que sejam escolhidas areas como campos de futebol das escolas por exemplo.

O professor deve fincar os eletrodos, antes das turmas serem levadas ao local para que o tempo de aula não seja reduzido devido a fixação dos eletrodos no solo. Deve ser levado em

conta os valores da distância entre os eletrodos do relatorio experimetal do apêndice C deste trabalho, ou valores que o docente regente da sala, achar melhor, os valores podem ser mudados com a conveniência do docente.

Deve ser levado em conta a configuração da figura 2 deste trabalho, como citado anteriormente por (SILVA, 2008) no arranjo de campo Schlumberger visto na figura 2 os eletrodos de corrente (AB) possuem uma separação crescente, e os eletrodos de potencial (MN) são fixo durante todas as medições, a uma distância ≤AB/5, durante todo o processo de experimentação.

O relatório do apêndice C deve ser entregue aos grupos que realizaram a experimentação, a quantidade de alunos fica a critério do docente, mas é indicado no mínimo oito alunos por grupo, para que o experimento seja executado com facilidade, sem sobrecarregar funçoes em um único aluno.

Neste relatório nota-se a presença de campos em branco relacionados aos valores de ddp e intensidade da corrente elétrica, que são registrados pelos multimetros no momento em que o resistivimetro caseiro é ligado, ao todo indicasse quatro medições da ddp e da intesidade da corrente elétrica, variando em a distância entre os eletrodos (AB) em um metro a cada medição dessas grandezas, como orienta o roteiro experimental do Apêndice C.

No apêndice C, segue o roteiro experimental, onde o docente deve se basear para a aplicação, este roteiro deve ser entregue aos alunos, para que os mesmos dividam entre sí as funçoes durante a experimentação.

Obviamente o docente deve explicar o experimento ao levar os docentes ao local de experimentação, descrevendo todos os componentes do circuito, relembrando os conceitos físicos estudados em sala, relacionando-os com o experimento, os grupos devem ser divididos apos isto, e os alunos devem ser posicionados em seus respectivos locais ao ser entregue o roteiro experimental e o relatório experimental, lembrando que o multimetro responsável pela aferição da intensidade da corrente elétrica utilizado no circuito, já deve estar posicionado como descrito na figura 3.

O roteiro experimental explica a função de cada participante do experimento a cada medição. E importante que o docente levante questionamentos aos grupos que estão executando a experimentação durante todo o processo, perguntando desde os geradores que alimentam o circuito até a corrente elétrica inserida no solo pelos eletrodos, o professor docente deve levantar questionamento de acordo com a necessidade da turma, notando pontos que estes possuem dificuldades, e caso eles não consigam compreender é importante que os questionamentos sejam respondidos pelo docente naquele momento, relacionando a teoria com

a prática experimental.

1.1.4 *Uma conversa sobre eletricidade e eletrorresistividade*

O professor inicialmente apresenta os conteúdos a serem estudados sobre eletricidade e levanta algumas questões sobre a mesma, estabelecendo um diálogo com os discentes para compreender o que os mesmo sabem sobre o assunto.

Assim, o professor deve introduzir o tema do experimento a ser realizado no final da sequência didática, descrevendo o que é a geofísica, e trazendo a ideia do método de eletrorresistividade para o contexto do ramo de exploração do solo, seja em busca de petróleo, aguas subterrâneas ou outros materiais, para despertar o interesse dos alunos, e novamente estabelecer um diálogo com os discentes acerca do que os mesmo sabem sobre a exploração do solo.

O professor deve questionar o uso da eletricidade no dia a dia, a sua importância na vida cotidiana e relacionar o que os alunos conhecem sobre a exploração do solo em busca de materiais, e ao fim explicar o método de eletrorresistividade de maneira geral e básica, apenas para introduzir o conceito, no quadro 3 pode ser visto alguns destes questionamentos.

Quadro 12. Possíveis perguntas que podem ser feitas pelo professor para introduzir o assunto de eletricidade e geofísica aplicada.

Você já usou/viu algo que precisasse de eletricidade para funcionar?
Qual à influência da eletricidade sobre a sua vida?
Como vocês acreditam que ocorre o processo de descobrimento de petróleo e outros materiais no subsolo?
Você acredita que é possível encontrar petróleo, água mineral e outros materiais no subsolo, utilizando eletricidade?
Algum de vocês sabe o nome da profissão ou curso de formação destes profissionais que descobrem os materiais citados anteriormente?

Fonte: Próprio autor

Estas perguntas buscam questionar, fazendo os alunos raciocinarem sobre a importância de conhecer o conceito de eletricidade e afins, além de despertar curiosidade acerca do método de exploração do solo, utilizado no trabalho, pode-se utilizar a motivação como meio para apresentar os conceitos de geofísica trabalho neste estudo, citando o curso de formação destes trabalhadores que realizam a exploração do solo para diversos fins.

1.2 Externalizando o conhecimento Prévio, levantamento dos subsunçores

É importante que antes da execução dos conteúdos em sala, os conhecimentos prévios dos discentes acerca dos assuntos de eletricidade sejam visualizados, através de um questionário pré-teste, este questionário deve basear o professor no momento do planejamento das aulas, dando importância para conteúdos que os discentes não mostraram grande conhecimento, é natural que os discentes em geral não possuam grandes conhecimentos sobre os assuntos a serem ministrados, pois estes ainda não assistiram nenhuma aula sobre estes conceitos.

Lembrando que estes conceitos de eletricidade são ministrados no terceiro ano do ensino médio, então o público alvo do questionário devem ser alunos deste ano do ensino médio. Com base na externalização dos conhecimentos subsunçores dos alunos e no planejamento a partir destas

informações para elaboração das aulas sobre os conceito de eletricidade, a experimentação do método de eletrorresistividade pode ganhar mais significado para os alunos, pois estes já possuíram subsunçores sobre os conceitos de eletricidade abordados no experimento, nota-se a importância da elaboração do questionário pré-teste.

O questionário pré-teste elaborado neste estudo buscou levantar os conhecimentos dos alunos sobre os conteúdos de eletricidade, relacionando estes conceitos ao cotidiano dos discentes, além de questões voltadas para a geofísica aplicada, este questionário pré-teste pode ser visualizado no apêndice A deste produto educacional.

1.3 Introdução aos tópicos de Estudo

Os conceitos devem ser abordados de forma a relaciona-los ao experimento de eletrorresistividade, além da necessidade de demonstrar conceitualmente os conteúdos de eletricidade utilizados no trabalho, para que no ato experimental, o discente compreenda o princípio teórico de cada componente do experimento.

1.3.1 *Conceito de Carga Elétrica*

Este conceito deve ser introduzido de forma histórica e também de forma conceitual, pois este conceito é a base para o estudo da eletricidade como conceito, deve-se apresentar desde os primórdios do conceito, até o formalismo atual, buscando evidenciar como é constituída minimamente a matéria e a importância da carga elétrica na mesma.

Segundo Halliday, Resnick e Walker (2001) e Máximo, Alvarenga e Guimarães (2016) desde os gregos, a partir das experiências de Tales de Mileto (624- 556 a.C), e relatos do filósofo Platão (428-348 a.C), já se sabe que um âmbar, pedra que surge a partir da fossilização de seres vivos, quando atritado, adquire propriedade de atrair outros corpos leves ao seu redor, como palhas e plumas.

Atualmente, sabe-se muito acerca da composição da matéria, ela é composta de átomos que são compostos por prótons e nêutrons em seu núcleo e por elétrons, que orbitam ao seu redor em diversos níveis de energia. Segundo Máximo, Alvarenga e Guimarães (2016), no ano de 1600 d.C. William Gilbert publicou seu livro chamado Sobre os imãs e corpos magnéticos e sobre o grande imã, a Terra, que relata várias experiências eletrostáticas associadas ao âmbar, para distingui-las dos fenômenos magnéticos.

Como a palavra grega “elektron” significa âmbar, Gilbert começou a caracterizar corpos que se comportavam como o âmbar, com o termo “elétrico”. Segundo Bonjorno et al (2016) no século XVIII, a eletricidade era tratada como um fluído, nos estudos de Stephen Gray (1666-1736) notou-se esse comportamento de fluído da eletricidade, e também foi realizada a primeira classificação de materiais como que permitiam a condução de eletricidade e que não permitiam a condução de eletricidade.

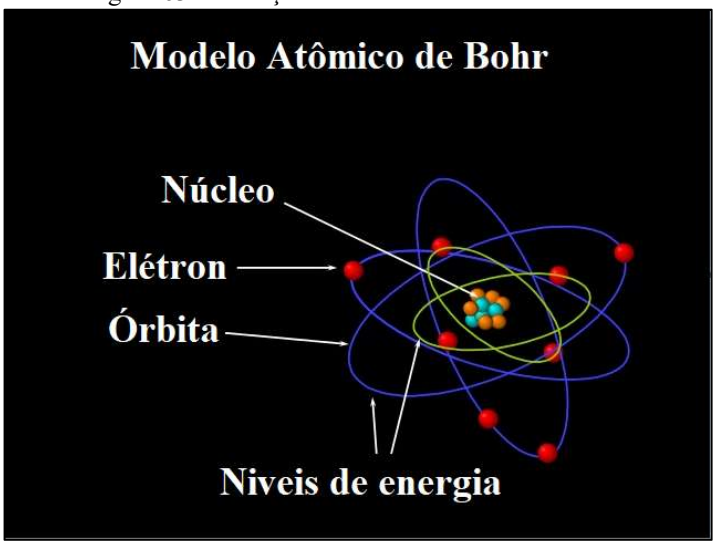
Bonjorno et al (2016) também diz que Charles du Fay (1698-1739) e Benjamin Franklin (1706-1790) contribuíram de forma significativa para o desenvolvimento da eletricidade como estudo, du Fay definiu duas formas de eletricidade, a vítrea ou positiva, que acontece quando o vidro é atritado com

seda, e a resinosa ou negativa, produzido atritando enxofre com lã, e Franklin definiu que esses dois tipos de eletricidade que du Fay propôs, existem em um único material, no caso do atrito entre dois corpos de materiais diferentes, o material que transfere o fluído fica com eletricidade negativa e aquele que recebia se eletrizava positivamente e nos corpos neutros, o fluido existiam em uma quantidade considerada normal.

Segundo Bonjorno et al (2016) com os estudos das pilhas por Alessandro Volta (1745-1827) e com a revolução industrial, a eletricidade modificou o comportamento da sociedade, com a invenção dos telefones, motor elétrico, entre outros aparelhos. A partir do século XIX a eletricidade começou a ser tratada como matéria, iniciando o estudo do átomo, deixando de lado a ideia de fluido.

No final do século XIX foram propostos modelos atômicos, como os de Thomson (1856-1940), Rutheford (1871-1937) e por fim, Bohr (1885-1962) o modelo aceito nos dias atuais.

Figura 63. Ilustração do Modelo Atômico de Bohr.



Fonte: HERRERA, 2015. (Adaptado pelo autor).

Na imagem acima, percebe-se o modelo atômico utilizado nos dias atuais no ensino de física, nele o núcleo é composto de prótons e nêutrons, e os elétrons orbitam ao redor do núcleo, nos níveis de energia, localizados na região da eletrosfera.

Segundo Xavier e Barreto (2010) e Bonjorno et al (2016), Os prótons e elétrons foram caracterizados como portadores de carga elétrica, enquanto que o nêutron era uma partícula eletricamente neutra, o próton foi caracterizado como portador da carga positiva +, e o elétron ficou caracterizado com carga negativa. Assim o átomo é considerado eletricamente nêutro, pois possui o mesmo número de elétrons e prótons, quando esse equilíbrio é rompido, ele se torna um íon, sendo positivo quando possui falta de elétrons e negativo quando possui excesso de elétrons.

Segundo Xavier e Barreto (2010) chamamos de carga elementar **e** o módulo da cargo do próton e do elétron, e Bonjorno et al (2016) diz que Millikan (1868-1953) encontrou experimentalmente o valor em módulo da carga elementar de um elétron, sendo:

$$e = 1{,}602\ x\ 10^{-19} C \qquad (9)$$

Assim pode-se descrever a carga do elétron e^- e do próton e^+ da seguinte forma:

$$e^{-} = -1{,}602\ x\ 10^{-19} C \quad (10)$$

$$e^{+} = +1{,}602\ x\ 10^{-19}\ C \quad (11)$$

Onde a unidade de carga elétrica C, significa Coulomb em homenagem ao físico Charles-Augustin de Coulomb (1736-1806).

Segundo Bonjorno et al (2016), J.J Thomson estabeleceu uma razão entre a massa e a carga do elétron:

$$\frac{m}{e} = 5{,}70\ x\ 10^{-1}\ \ kg/C \quad (12)$$

Assim foi possível determinar a massa de um elétron:

$$m = 9{,}1314\ x\ 10^{-31}\ kg \quad (13)$$

Foi considerado que a carga elétrica existe em múltiplos da carga elementar assim, segundo Xavier e Barreto (2010) assim um corpo eletrizado, com carga total diferente de zero, possui falta ou excesso de n elétrons, Q a quantidade de carga elétrica desse corpo, seu módulo é:

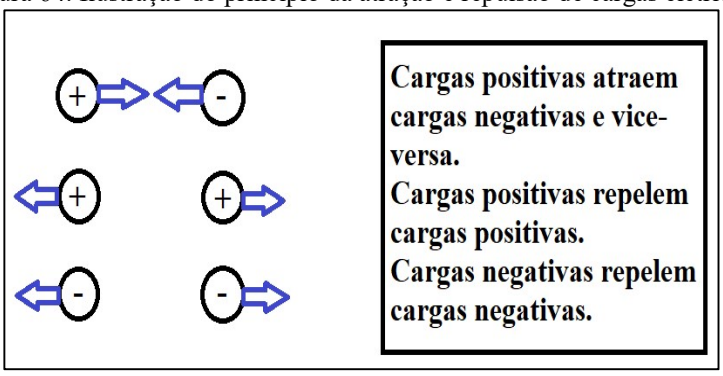
$$Q = \pm n.e \quad (14)$$

Assim n é um número inteiro positivo, quando o corpo está com falta de elétron (+), ou quando está com excesso de elétrons (-), como a carga elétrica é sempre múltipla da elementar, ela pode ser quantizada, Sendo a unidade de Q, o Coulomb.

Segundo Calçada e Sampaio (2005) a carga elétrica obedece o princípio da conservação da carga elétrica, este princípio diz que em um sistema isolado a carga elétrica total permanece constante.

As carga elétricas apresentam forças de interação entre sí, assim Halliday, Resnick e Walker (2001) diz que, devido ao princípio da atração e repulsão de cargas elétricas, cargas de mesmo sinal elétrico se repelem e cargas de sinais elétricos contrários se atraem.

Figura 64. Ilustração do princípio da atração e repulsão de cargas elétricas.



Fonte: Próprio autor.

1.3.2 *Condutores e isolantes*

Na apresentação deste conceito, o professor deve buscar a compreensão do aluno da diferença entre um condutor e um isolante, para que ele entende por exempo, como as hastes de cobre fixas no solo do experimento de eletrorresistividade, auxiliam na inserção de corrente elétrica no solo, pelo fato do cobre ser um materia condutor, este é um conteúdo simples e rápido de ser ministrado.

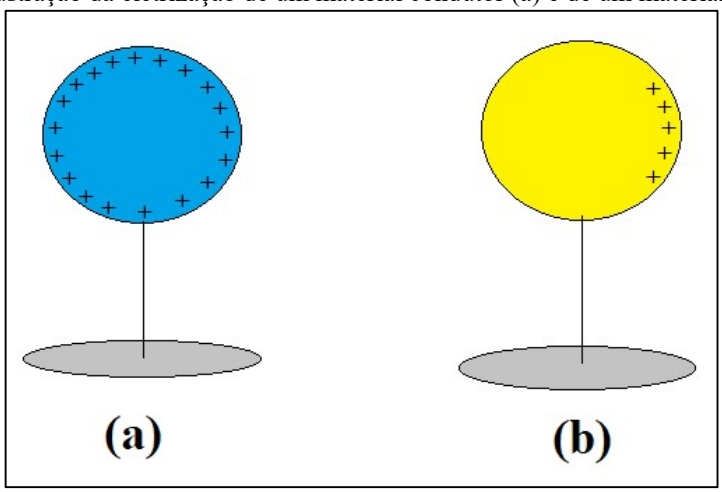
Existem materiais que conduzem bem a eletricidade e outros que possuem dificuldade em

conduzir eletricidade, segundo Bonjorno et al (2016), Halliday, Resnick e Walker (2001), Xavier e Barreto (2010), esse comportamento dos materiais ocorre devido à presença ou ausência dos elétrons livres, elétrons que possuem uma fraca ligação com o núcleo do átomo, assim estes elétrons circulam livremente no interior do material. Assim, quando matérias possuem facilidades em conduzir eletricidade, são chamados de condutores, e quando possuem dificuldade na condução de eletricidade, são chamados de isolantes ou dielétricos.

Os metais, água mineral e carbono são exemplos de condutores, e a borracha, madeira e plástico são exemplos de isolantes.

Segundo Bonjorno et al (2016) a eletrização ocorre de forma diferente em materiais condutores e isolantes.

Figura 65. Ilustração da eletrização de um material condutor (a) e de um material isolante (b).



Fonte: Próprio autor.

Nota-se figura 12 a eletrização de um corpo condutor (a) e de um corpo isolante (b), na eletrização de um corpo condutor as cargas elétricas se distribuem uniformemente ao redor do material, diferente da eletrização de um corpo isolante, onde a eletrização fica contida apenas na região que foi realizada a eletrização, como visto na imagem acima.

Existem materiais que não nem condutores, nem isolantes, são os semi-condutores, segundo Máximo, Alvarenga e Guimarães (2017) e Bonjorno et al (2016), dependendo dos arranjos dos átomos desses materiais, eles podem se tornar ótimos condutores, quando cerca de $10^{-5}\%$ e de elementos como boro e arsênio, são adicionados a elementos como germânio e silício, tem-se um semi-condutor, amplamente utilizados na construção de chips de celulares e computadores.

1.3.3 *Processos de eletrização*

É possível eletrizar um corpo de diversas formas, são elas a eletrização, por atrito, por contato e por indução.

Na eletrização por atrito, segundo Bonjorno et al (2016) e Sampaio e Calçada (2005) dois materiais são atritados fortemente, com tal proximidade que elétrons são transferidos de um corpo a outro, do corpo que possui facilidade em transferir elétrons, para o corpo que facilidade em receber elétrons, aqueles que ficam com excesso de elétrons, ficam carregados positivamente, enquanto que

aqueles que ficaram com falta de elétrons, ficam com carga negativa.

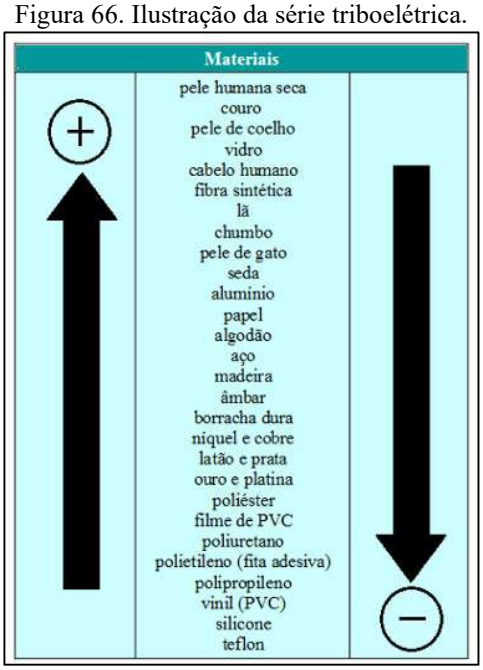
Segundo Sampaio e Calçada (2005), corpos neutros recebem elétrons, ficam eletrizados negativamente e quando perdem elétrons ficam carregados positivamente, pode-se dizer que na eletrização por atrito é mais fácil eletrizar corpos isolantes do que corpos condutores, e toda vez que corpos de matérias diferentes são atritados entre sí, cargas de sinais contrários aparecem na região de atrito.

Na eletrização por atrito não criação de cargas, elas são apenas transferidas de um corpo para o outro, segundo Bonjorno et al (2016) o princípio da conservação da carga elétrica, pode ser enunciado da seguinte forma:

"Em um sistema isolado de corpos eletrizados, a soma algébrica das cargas de todos os corpos permanece constante"

Os cientistas devido aos diversos tipos de materiais existentes criaram uma lista de materiais que quando atritados, um fica carregado negativamente e o outro positivamente, para facilitar a compreensão do atrito entre diversos materiais, essa lista é chamada de série triboelétrica.

Figura 66. Ilustração da série triboelétrica.

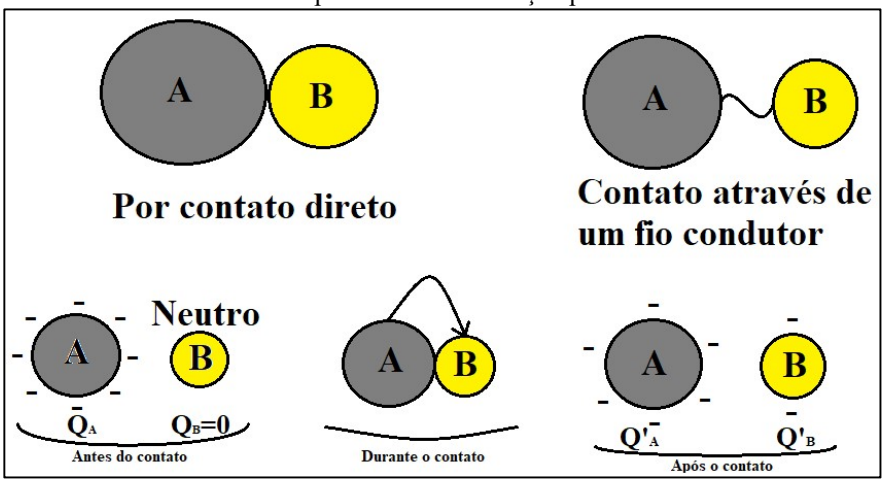


Fonte: Fogaça, [201?].

Na figura 13 os materiais que vem primeiro de cima para baixo ficam carregados positivamente, e os matérias de baixo, ficam carregados negativamente, quando atritados entre sí.

Na eletrização por contato, segundo Bonjorno et al (2016) e Xavier e Barreto (2010), quando dois corpos são colocados em contato entre sí, tanto pelo contato direto, quanto pelo contato através de um fio, um deles inicialmente eletrizado e o outro neutro, nota-se que ambos após o contato se eletrizam com cargas de mesmo sinal, e na eletrização por contato leva-se em contato o tamanho dos corpos, ou seja o corpo de maior dimensão terá proporcionalmente maior quantidade de carga em sí em relação ao outro corpo eletrizado, se possuírem a mesma dimensão, ambos após o contato se eletrizaram com a mesma quantidade de carga elétrica.

Figura 67. Ilustração das formas de contato durante o processo de eletrização e a distribuição das cargas elétricas no processo de eletrização por contato.



Fonte: Próprio autor.

Onde Q_A e Q_B são as quantidades de carga elétrica dos corpos A e B respectivamente, antes do contato, e Q'_A Q'_B são as quantidades de carga elétrica de A e B, após o contato respectivamente. Assim o princípio da conservação da carga elétrica pode ser enunciado da seguinte forma:

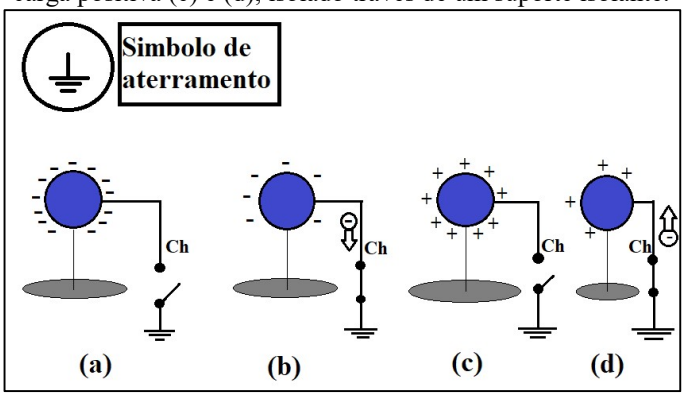
$$Q_A + Q_B = Q'_A + Q'_B \tag{15}$$

Assim nota-se que a quantidade de carga elétrica no sistema antes do processo de eletrização é a mesma após o processo de eletrização. Se na figura 14, o corpo A estivesse carregado positivamente, as cargas de A, seriam transferidas proporcionalmente para B, deixando este corpo carregado positivamente.

Portanto na eletrização por contato ocorre a transferência de cargas elétricas entre os corpos, se que a quantidade total do sistema seja alterada durante o processo de eletrização.

No estudo da eletrização por contato, temos também o processo de contato entre um corpo e a Terra, a este contato dá-se o no de “aterramento”, Segundo Bonjorno et al (2016) e Young e Freedman (2015) o excesso de carga elétricas em um condutor pode ser transferido para Terra, tanto por meio de um fio condutor, quanto pelo contato direto e devido ao fato de no processo de eletrização por contato, as dimensões dos corpos em contato serem consideradas durante a transferência de cargas, a Terra por ser um corpo muito grande em relação a corpos em sua superfície, se torna uma fonte quase inesgotável de elétrons, e também um ótimo dissipador de elétrons indesejáveis, assim a Terra pode “isolar” um corpo, deixando este neutro, isto não quer dizer que não há cargas elétricas nos corpos, só quer dizer que estas são imperceptíveis ao tato humano.

Figura 68. Ilustração do símbolo de aterramento, e também do processo de aterramento de um corpo eletrizado com carga negativa (a) e (b), isolado através de um suporte isolante, e também de um corpo eletrizado com carga positiva (c) e (d), isolado través de um suporte isolante.

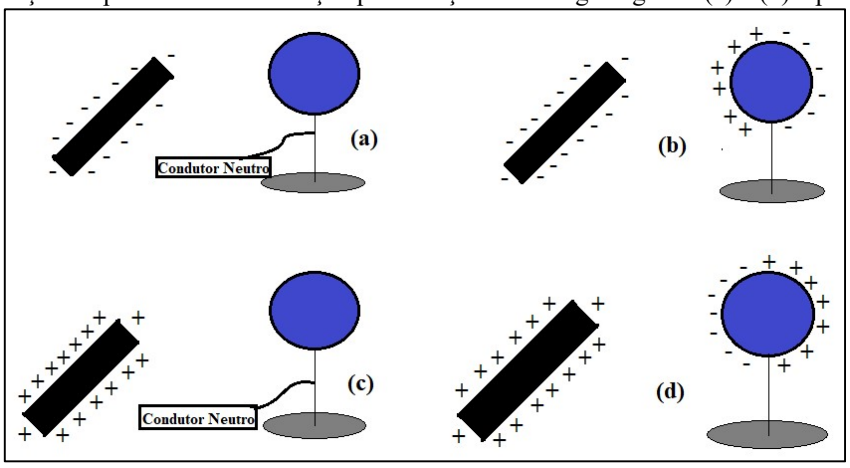


Fonte: Próprio autor.

Observando a figura 15, nota-se o símbolo do processo de aterramento, além dos processos de aterramento de corpos eletrizados com cargas negativas e positivas, onde as cargas elétricas negativas em excesso no condutor eletrizado (a) foram escoadas para terra, deixando o corpo neutro (b), enquanto que no caso do aterramento de um condutor eletrizado com carga positiva, as cargas elétricas positivas em excesso (c), foram balanceadas com as cargas negativas enviadas da Terra (d), deixando o corpo eletricamente neutro.

No processo de eletrização por indução, diferente dos processos anteriores, os corpos não entram em contato, segundo Bonjorno et al (2016) e Xavier e Barreto (2010), neste processo um corpo inicialmente neutro é eletrizado, pela simples aproximação de outro já eletrizado, ao corpo eletrizado dá-se o nome de induzido e ao que causa a eletrização, dá-se o nome de indutor, assim acontece o processo de indução eletrostática.

Figura 69. Ilustração do processo de eletrização por indução com carga negativa (a) e (b) e positiva (c) e (b).



Fonte: Próprio autor.

A figura 16, demonstra o processo de eletrização por indução de um corpo inicialmente neutro, pela aproximação de um condutor eletrizado com carga negativa (a) e (b), e também por um condutor eletrizado com carga positiva (c) e (d), nota-se no corpo induzido, nos dois casos (b) e (d), que ocorre um processo conhecido como polarização elétrica, que segundo Bonjorno et al (2016) é um processo que causa uma separação de cargas elétricas na superfície do induzido, onde as cargas elétricas da face

virada para o indutor, possui sinal contrário as cargas elétricas do mesmo, e na face do induzido contrária ao indutor, as cargas possuem o mesmo sinal do indutor.

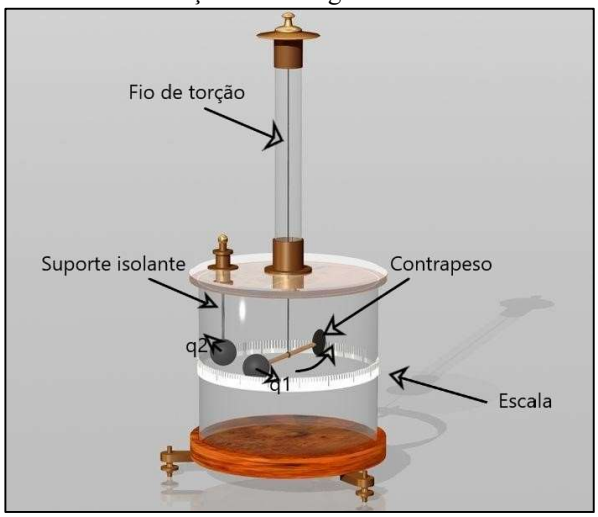
1.3.4 *Lei de Coulomb*

Este conceito deve ser apresentado com o intuito de que os alunos compreendam o principio da atração e repulsão de cargas elétricas afundo, no momento inicial é indicado que este conceito seja apresentado em sua integralidade, levando em conta as proporções entre as cargas elétrica interagindo e também da distância.

A lei de Coulomb é basicamente o estudo da interação entre forças elétricas, a partir de Bonjorno et al (2016), Halliday, Resnick e Walker (2001) e Xavier e Barreto (2010), evidencia-se que Joseph Priestley (1733-1804) através de estudos acerca da atração e repulsão de cargas elétricas, notou que provavelmente essa interação entre as cargas, poderia ser descrita por uma relação parecida com a de Newton (1643-1727) para massas, no caso a Lei da Gravitação Universal.

Foi Charles August Coulomb (1736-1806), físico francês, que confirmou as previsões de Priestley, e estabeleceu uma relação entre as forças de atração e repulsão de cargas elétricas, segundo Bonjorno et al (2016) foi através de um experimento utilizando uma balança de torção, que pode ser visualizada na figura 17 abaixo.

Figura 70. Ilustração da balança de torção, utilizada por Coulomb na determinação da Força elétrica de interação entre cargas elétricas.



Fonte: HELERBROCK, [201?]. (Adaptado pelo autor).

Basicamente, na balança de torção, a força elétrica de esferas eletrizadas, pode ser de atração e repulsão, dependendo dos sinais das cargas elétricas, nela o movimento do fio de fibra que sustenta as duas esferas, acontece quando ocorre o movimento da esfera, e o ângulo da rotação do fio da fibra é proporcional à intensidade da força que o determinou.

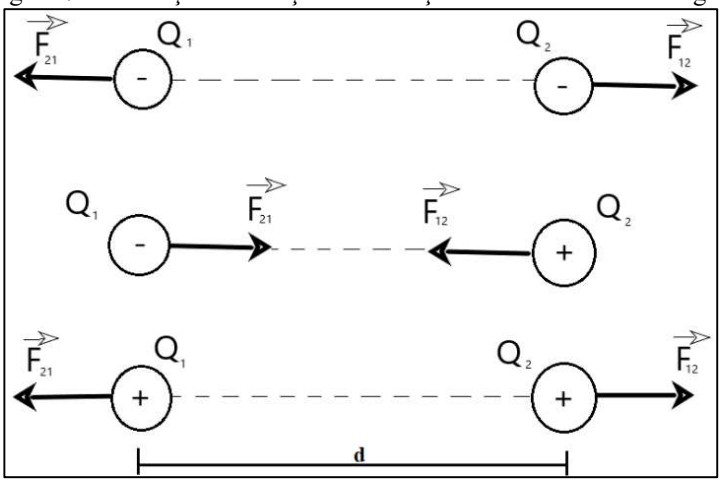
As cargas elétricas que trocam essas forças de repulsão e atração, são consideradas como cargas de raio r muito pequeno em relação a distância que separa as cargas, assim elas são chamadas de cargas puntiformes ou pontuais. Segundo Halliday, Resnick e Walker (2001), Young e Freedman (2015) e Bonjorno et al (2016), Coulomb realizou observações acerca das forças elétricas entre corpos eletrizados, são elas:

1º) A força elétrica de interação, dependem das cargas elétricas presentes em cada um dos corpos eletrizados que estão interagindo, sendo diretamente proporcional ao valor de uma das cargas, e também ao produto entre as cargas.

$$F \propto |Q_1||Q_2| \tag{16}$$

2°) Possui a direção da reta que passa pelo centro das cargas elétricas. O vetor $\vec{F}_{12}$ representa a força elétrica que a partícula 1 causa na partícula 2 e $\vec{F}_{21}$ a força elétrica que a partícula 2 exerce em 1.

Figura 71. Ilustração das forças de interações elétricas entre as cargas.



Fonte: Próprio autor.

3°) Essa relação obedece a terceira lei de Newton, assim as forças constituem um par ação e reação, assim possuem a mesma intensidade e não se equilibram mutuamente.

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \; e \; |\vec{F}_{12}| = |\vec{F}_{21}| \tag{17}$$

4°) A força elétrica é inversamente proporcional a distância entre as cargas, assim quanto maior a distância, mais ela diminui com o valor do quadrado da distância entre as cargas.

$$F \propto \frac{1}{d^2} \tag{18}$$

5°) A força elétrica depende do meio em que as cargas Q_1e Q_2 estão inseridas, representada por k, e também das unidades adotadas. Assim para o vácuo, a constante do meio é chamada de constante eletrostática, simbolizada por k_o, seu valor é igual a 9 x 10^9 Nm^2/C^2.

Sendo:

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o} \tag{19}$$

Onde ε_o é a permissividade elétrica e possui o valor igual a 8,85 $x10^{-12}$ F/m.

Assim pode-se enunciar a seguinte expressa, acerca da força elétrica:

$$F = \frac{k|Q_1||Q_2|}{d^2} \tag{20}$$

A unidade de força elétrica é denominada Coulomb, representado pela letra C.

Se a força entre as cargas forem de atração, $Q_1.Q_2 < 0$, as cargas possuem sinais contrários.

Se a força entre as cargas forem de atração, , $Q_1.Q_2 > 0$, as cargas possuem sinais iguais.

1.3.5 *Campo Elétrico*

A apresentação deste conceito é muito importante para que os discentes compreendam durante o processo de eletrização o campo elétrico criado ao redor de cada haste fixa no solo, o método de eletrorresistividade deve ser relembrado, explorando este aspecto da experimentação, após a introdução deste conceito.

Pode ser utilizado para compreensão do comportamento das linhas de força de um campo elétrico de uma carga positiva e negativa, uma pequena bola de isopor com palitos de churrasco fixados nesta, afim de que os alunos compreendam o comportamento do campo elétrico.

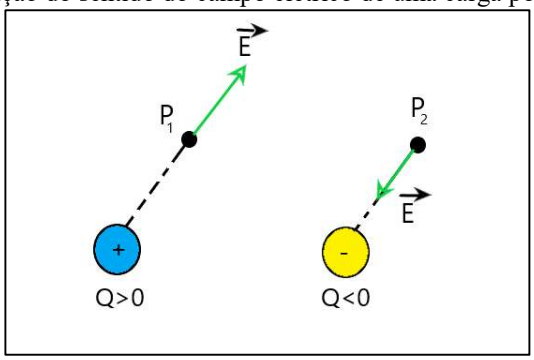
O campo elétrico é um fenômeno que foi explicado por Michael Faraday (1791-1867), no começo do século XIX, com uso do conceito de campo de força foi possível compreender como as forças elétricas entre as corpos eletrizados se comportavam, este conceito é utilizado na física, quando precisasse abordar fenômenos que modifiquem uma região do espaço, devido a presença de forças de interação elétricas, obedecendo regras específicas em um determinado intervalo de tempo.

Segundo Bonjorno et al (2016) ele é gerado simultaneamente a carga elétrica, sabe-se que no vácuo ele é formado a uma velocidade de 300000 km/s, pode-se pensar que o campo elétrico é uma região imaterial ao redor de todo corpo eletrizado, intermediador das trocas de forças elétricas a distância entre corpos eletrizados.

Segundo Xavier e Barreto (2010) para analisarmos o campo elétrico, atribuímos a ele uma grandeza chamada de vetor campo elétrico, assim como todo vetor, possui módulo, sentido e direção, sempre existirá campo elétrico ao redor de qualquer distribuição de cargas elétricas e para cada ponto do campo elétrico, existe um vetor campo elétrico associado a esse ponto.

Segundo Sampaio e Calçada (2005) o vetor campo elétrico é representado por $\vec{E}$, para identificar a existência do campo elétrico em uma ponto ao redor de uma carga chamada de "geradora", colocasse ao redor da carga geradora uma carga de "prova", assim surge uma força elétrica associada ao vetor campo elétrico, por convenção o sentido do campo é de se orientar para "fora" quando a carga é positiva, e para "dentro" quando a carga é negativa.

Figura 72. Ilustração do sentido do campo elétrico de uma carga positiva e negativa.



Fonte: Próprio autor.

Didaticamente para descrever a intensidade do campo elétrico, basta estabelecer a razão entre

a força (F) que age sobre a carga de prova e o valor da carga (q) desta:

$$E = \frac{F}{q} \tag{21}$$

No sistema internacional de unidades (SI), sua unidade é igual a: Newton/Coulomb.

A partir desta equação, também é possível definir a força elétrica a partir da equação anterior:

$$F = |q|.E \tag{22}$$

No estudo do campo elétrico, estudasse o campo elétrico de uma carga puntiforme, segundo Halliday, Resnick e Walker (2001), para se encontrar o campo elétrico de uma carga puntiforme Q, coloca-se uma carga de prova q em qualquer ponto a uma distância r da carga puntiforme, assim partindo da Lei de Coulomb, a intensidade da força eletrostática que age sobre q é:

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{|Q||q|}{r^2} \tag{23}$$

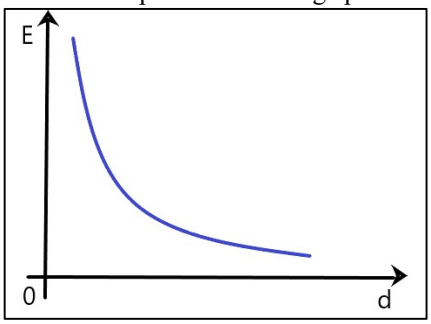
A força elétrica que a age sobre as cargas aponta para longe da carga Q, se a carga q for positiva e aponta em direção a carga Q quando a carga q é negativa, assim o campo elétrico de uma carga puntiforme é:

$$E = \frac{F}{q} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{|Q|}{r^2} \tag{24}$$

$$E = k_0\frac{|Q|}{r^2} \tag{25}$$

Nota-se que este campo elétrico depende apenas da carga que o gera, sendo sua intensidade diretamente proporcional ao valor desse carga, e também é inversamente proporcional ao quadrado da distância que separa a carga Q do ponto em análise. Graficamente este campo possui o seguinte comportamento em relação a distância que separa a carga Q do ponto em análise.

Figura 73. Ilustração do gráfico do campo E de uma carga puntiforme em relação à distância.



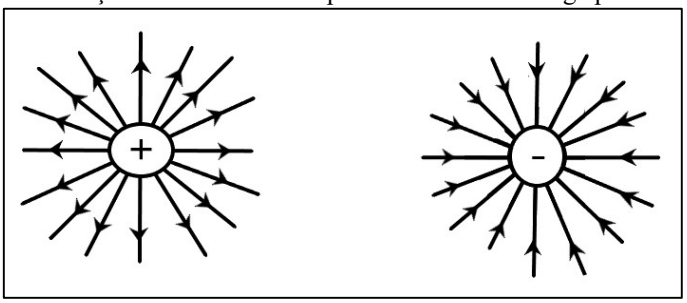
Fonte: Próprio autor.

O vetor campo elétrico descreve o comportamento do campo elétrico de um corpo eletrizado em um ponto, mas não dá a visão geral do comportamento do campo elétrico ao redor desse corpo, assim segundo Bonjorno et al (2016) utiliza-se o conceito de linhas de força para explicar a direção e sentido do campo elétrico ao redor de um corpo eletrizado, a partir desse conceito é possível visualizar onde as linhas de campo elétrico são mais densas, mostrando onde ele é mais intenso.

Convencionalmente utiliza-se o princípio de que em cargas elétricas de sinais negativos as linhas de campo se direcionam para dentro da carga elétrica ou seja são linhas de campo convergentes,

linhas de “aproximação”, e para cargas elétrica com sinais positivos, dizemos que as linhas de força se direcionam para fora da carga elétrica, linhas de aproximação ou seja são linhas de força divergentes. A figura 21 permite visualizar este fenômeno.

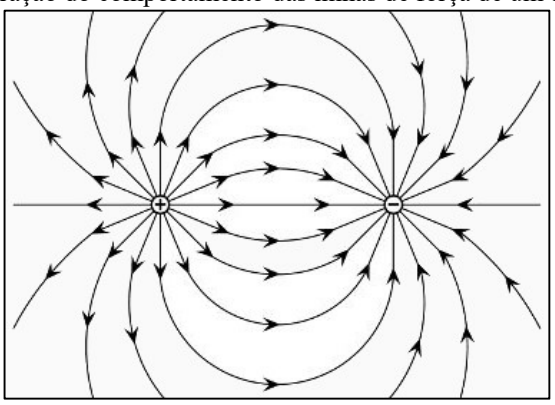
Figura 74. Ilustração da orientação das linhas de campo elétrica de uma carga positiva e uma carga negativa.



Fonte: Próprio autor.

Também é estudado o comportamento da interação entre os campos de cargas elétricas de mesmo sinal e sinais contrários, quando os campos de duas cargas de sinais contrários interagem, essa interação é chamada de dipolo elétrico, basicamente é um sistemas das linhas de força do campo elétrico entre duas cargas puntiformes, como mostra a figura 22.

Figura 75.Ilustração do comportamento das linhas de força de um dipolo elétrico.

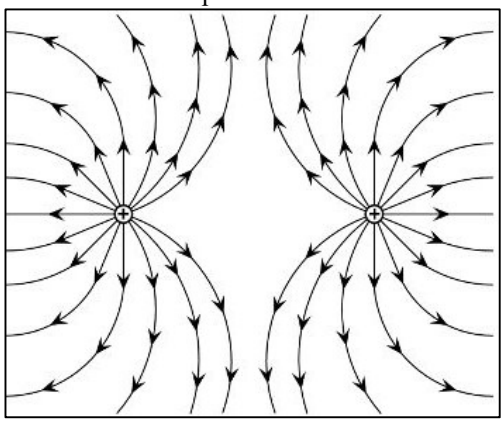


Fonte: HELERBROCK, [201?].

Na imagem acima, observa-se que as linhas de campo de um dipolo elétrico são encurvadas, e partem da carga positiva e terminam na carga negativa.

Na figura 23, nota-se o comportamento das linhas de força dos campos elétrico de cargas de mesmo sinal interagindo.

Figura 76. Ilustração do comportamento das linhas de força de cargas de sinais iguais, como a de cargas positivas.

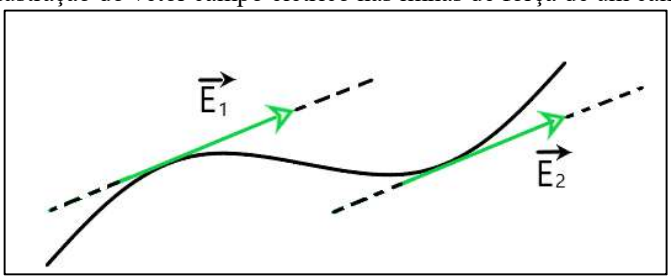


Fonte: HELERBROCK, [201?].

Na imagem acima as linhas de campo elétricos de duas cargas de sinais contrários interagindo, são encurvadas e se repelem, acerca deste conceito pode-se afirmar que:

- Sendo uma linha de força traçada de tal modo que, em cada ponto, o vetor $\vec{E}$ seja tangente a ela, é possível determinar a direção e o sentido do campo em um ponto quando conhecemos a linha de força que passa por esse ponto;
- Como as linhas de força são traçadas mais próximas umas das outras nas regiões onde a campo elétrico é mais intenso, observando a separação entre essas linhas, é possível obter informações sobre o módulo do vetor, campo elétrico (MÁXIMO; ALVARENGA; GUIMARÃES, 2017, p.45).

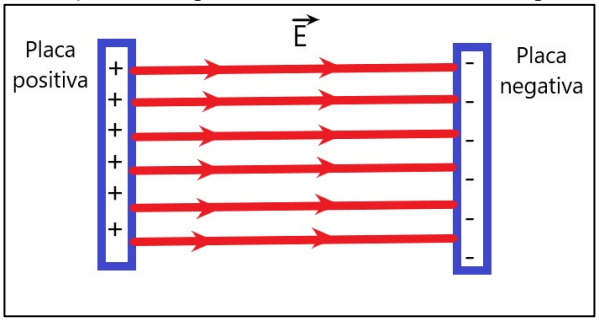
Figura 77. Ilustração do vetor campo elétrico nas linhas de força de um campo elétrico.



Fonte: Próprio autor.

O campo elétrico pode ser uniforme, segundo Bonjorno et al (2016) este campo possui direção, sentido e intensidade iguais, suas linhas de força são retas paralelas entre si, sendo o espaçamento entre elas constante, como o campo de placas paralelas mostrado na figura 25.

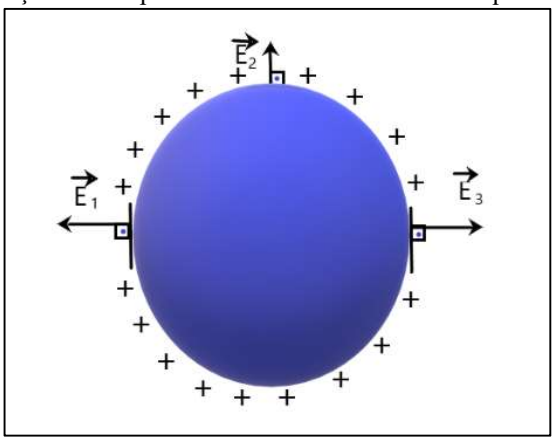
Figura 78. Ilustração do campo elétrico uniforme entre duas placas paralelas.



Fonte: Próprio autor.

No estudo do campo elétrico é primordial o estudo do campo elétrico de um condutor em equilíbrio eletrostático, o equilíbrio ocorre quando não há cargas se movimentando no interior do condutor, segundo Sampaio e Calçada (2005) quando o condutor eletrizado se encontra em equilíbrio eletrostático, suas cargas se distribuem uniformemente em sua superfície, não ocorrendo a presença de cargas elétricas em seu interior, assim o campo elétrico em seu interior é nulo.

Figura 79. Ilustração do campo elétrico de um condutor em equilíbrio eletrostático.



Fonte: Próprio autor.

Observando a imagem acima, nota-se que o campo elétrico é perpendicular a superfície de qualquer ponto da superfície do condutor, sendo o campo elétrico em seu interior nulo.

Em sua superfície o campo elétrico é igual a:

$$E = k_0 \frac{|Q|}{r^2} \tag{26}$$

1.3.6 *Potencial Elétrico*

Este conceito pode ser abordado de forma sucinta pelo professor, buscando esclarecer que o movimento de uma carga elétrica gera um trabalho, para que então o significado tanto de diferença de potencial elétrico e superfícies equipotenciais faça sentido na mente do discente.

Observando a Lei de Newton e a Lei de Coulomb, percebe-se que as duas são matematicamente iguais, assim as relações que valem para o estudo da gravidade também são aplicáveis no estudo da força eletrostática. Segundo Bonjorno et al (2016), realizando uma analogia com o potencial gravitacional pode-se conceber uma interpretação do potencial elétrico, para isso utiliza-se um corpo de massa (m) situado no ponto (A) a uma certa altura (h) em relação ao solo, onde $\vec{P}$ é a força gravitacional, e associado a este corpo existe uma energia potencial gravitacional (E_{PGA}) e quanto maior a altura, maior a energia potencial gravitacional do corpo (E_{PG}), e quando este corpo se desloca ele realiza trabalho, como mostrado em (a) na figura 27.

Onde:

$$E_{PG} = \text{mgh} \tag{27}$$

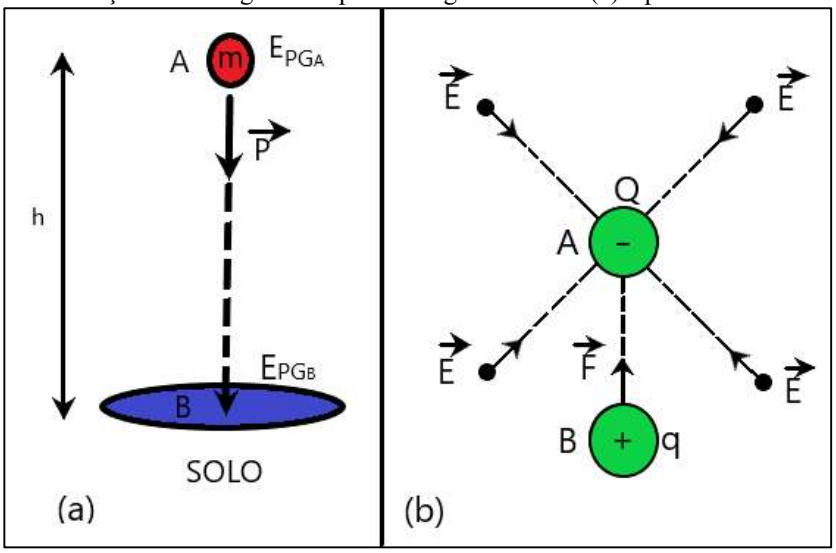
Assim, o trabalho do corpo de (a) na figura 27, é:

$$W_{AB} = E_{PGA} - E_{PGB} \tag{28}$$

Onde W_{AB} é o trabalho realizado pelo corpo do ponto A ao ponto B, E_{PGB} é a energia potencial

gravitacional do corpo no ponto B.

Figura 80. Ilustração da analogia entre potencial gravitacional (a) e potencial elétrico em (b).



Fonte: Próprio autor.

Em (b) na figura 27, temos que $\vec{E}$ são os vetores campo elétrico em qualquer ponto do espaço nos arredores da carga Q geradora do campo elétrico, situada no ponto A, enquanto que $\vec{q}$ é a carga teste, situada no ponto B, sofrendo a ação de uma força elétrica de atração devido a carga Q gerado negativa.

No caso de um condutor eletrizado em equilíbrio eletrostático, como em (b) na figura 27, o potencial elétrico é uma grandeza escalar e está relacionado à capacidade que um corpo energizado tem de realizar trabalho, ou seja, na atração ou repulsão entre cargas elétricas, estas podem realizar trabalho, nesta situação há um potencial elétrico associado ao ponto do campo elétrico, onde o corpo se encontra.

Assim o trabalho realizado pela carga que do ponto B ao ponto A, em (b) na figura 27 é:

$$W_{AB} = E_{PEA} - E_{PEB} \tag{29}$$

E_{PEA} é a energia potencial elétrico da carga q no ponto A, e E_{PEB} é a energia potencial elétrica da carga q no ponto B.

Segundo Xavier e Barreto (2010) como um corpo que pode se movimentar possui uma energia potencial, para corpos eletrizados teremos também uma energia potencial elétrica associada ao corpo. Como o potencial elétrico (V) depende da carga teste, carga geradora, da distância entre as cargas que estão interagindo, e do meio que estas estão imersas, no caso consideramos o vácuo como meio, o potencial elétrico é dado pela razão entre a energia potencial elétrica (E_{pe}), sendo:

$$E_{pe} = k_o \frac{Qq}{d} \tag{30}$$

E a carga envolvida (q):

$$V = \frac{E_{pe}}{q} \tag{31}$$

No Sistema Internacional de Unidades, sua unidade é o Volt (V), pois Volt é igual a Joule/Coulomb.

Substituindo (21) em (22), tem-se:

$$V = k_o \frac{\frac{Qq}{d}}{q} \tag{32}$$

$$V = k_o \frac{Q}{d} \tag{33}$$

Esse é o potencial elétrico de uma carga puntiforme ou pontual.

1.3.7 *Diferença de Potencial Elétrico (ddp)*

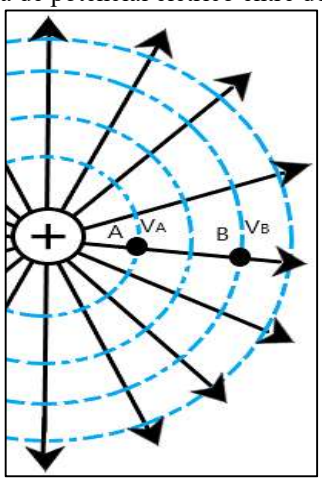
Este conceito deve ser apresentado em sua integralidade, demonstrando aos alunos a relação entre este conceito e o potencial elétrico, este conceito é primordial, pois essa grandeza física é amplamente utilizada no experimento e base para exploração de muitos conceitos físicos, presente no cotidiano do discente, deve-se utilizar diversas situações cotidianas para que o aluno compreenda a influência dessa grandeza no seu dia a dia.

Considerando dois pontos A e B há uma certa distância em um campo elétrico gerado por uma carga elétrica, como ilustrado na Figura 28 com potenciais elétricos diferentes V_A e V_B respectivamente, se uma carga q for posta no ponto A, logo haverá uma energia potencial elétrica armazenada nesse sistema, sendo a carga livre para se mover, logo haverá, por exemplo, um deslocamento desta para o ponto B, onde teremos uma energia potencial elétrica associada a este ponto, assim a diferença de potencial elétrico entre esses dois pontos é dado e representado por ddp (U) ou tensão elétrica, sendo U igual à diferença entre os potenciais A e B.

$$U = V_A - V_B = \frac{E_{pe\,A}}{q} - \frac{E_{pe\,B}}{q} \tag{34}$$

A unidade de medida de U no Sistema Internacional de Unidades (SI) é o Volt.

Figura 81. Ilustração da diferença de potencial elétrico entre dois pontos de um campo elétrico.



Fonte: Próprio autor.

Para compreender essa equação, Bonjorno et al (2016) diz que o trabalho da força elétrica que desloca a carga q de um ponto A para um ponto B na região de um campo elétrico é:

$$W_{AB} = E_{PGA} - E_{PGB} \tag{35}$$

Dividindo ambos os lados por q:

$$\frac{W_{AB}}{q} = \frac{E_{PGA}}{q} - \frac{E_{PGB}}{q} \tag{36}$$

$$\frac{W_{AB}}{q} = V_A - V_B \tag{37}$$

$$W_{AB} = q.(V_A - V_{B)} \tag{38}$$

Como $V_A - V_B = U$, assim:

$$U = \frac{W_{AB}}{q} \tag{39}$$

Assim a ddp (U) é descrita como a razão entre o trabalho para deslocar uma carga q na região de um campo elétrico e o valor dessa carga. Assim pode-se afirmar que:

- O campo elétrico é conservativo. Portanto, o trabalho que a força elétrica realiza sobre a carga q quando está se deslocando de um ponto a outro independe da trajetória descrita por ela.
- Se o deslocamento ocorrer um uma superfície equipotencial, o trabalho é nulo, pois V_A=V_B.
- No limite do campo elétrico (infinito do campo), tanto o potencial elétrico como a energia potencial elétrica assumem valor nulo.
- Da mesma forma que é preciso estabelecer um referencial para indicar a energia potencial gravitacional de uma massa, costuma-se adotar uma referência ao lidar com o potencial elétrico e com a energia potencial elétrica.
- Se a carga Q geradora do campo elétrico for:

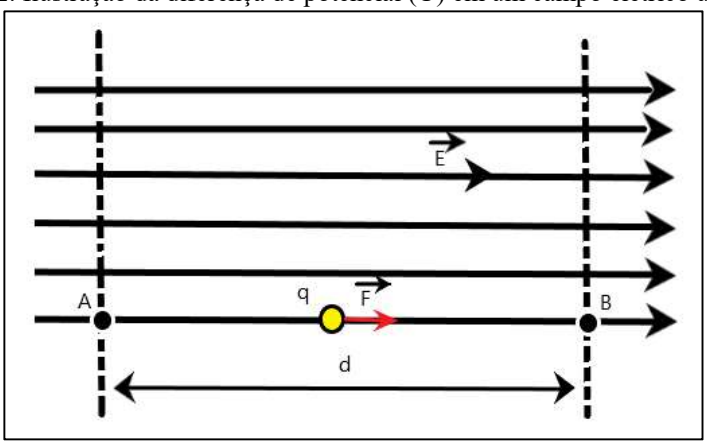
  - positiva, o potencial elétrico é positivo;

  - negativa, o potencial elétrico é negativo (BONJORNO et al, 2016, pg. 48).

As superfícies equipotenciais citada serão explicadas na seção seguinte.

Pode-se observar a definição de ddp para um campo elétrico, mas também podemos definir a ddp para um campo elétrico uniforme. Segundo Xavier e Barreto (2010), considerando dois pontos A e B na região de um campo elétrico uniforme $\vec{E}$, uma carga q puntiforme se desloca de A para B devido a uma força elétrica como na figura 29, assim é possível calcular o trabalho da força elétrica para deslocar esta carga.

Figura 82. Ilustração da diferença de potencial (U) em um campo elétrico uniforme.



Fonte: Próprio autor.

A força elétrica pode ser descrita como:

$$F = q.E \tag{40}$$

E a definição de trabalho na mecânica clássica é:

$$W = F.d \tag{41}$$

Assim:

$$W = q.E.d \tag{42}$$

A diferença de potencial elétrico entre os pontos A e B na figura 24, é:

$$U = \frac{W_{AB}}{q} \tag{43}$$

Substituindo (33) em (34), tem-se:

$$U = \frac{q.E.d}{q} \tag{44}$$

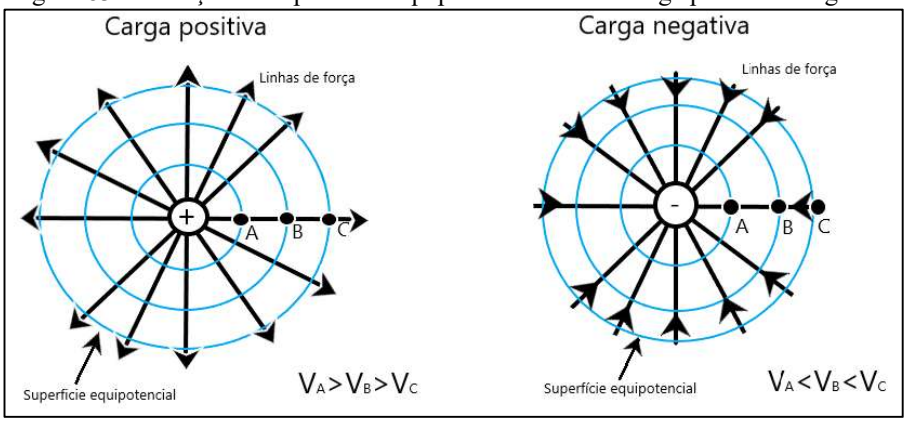
$$U = Ed \tag{45}$$

1.3.8 *Superfícies Equipotenciais*

Este conceito é essencial na compreensão do aluno do método de eletrorresistividade, compreender como as cargas se comportam nas superfícies equipotenciais de um campo elétrico, é importante que o professor volte a relembrar a teoria do experimento de eletrorresistividade, demonstrando a influência das superfícies equipotenciais na compreensão da teoria.

Quando se considera uma superfície na região de um campo elétrico onde seus pontos possuam o mesmo potencial elétrico, segundo Halliday, Resnick e Walker (2001), elas podem ser denominadas de superfícies equipotenciais, para o caso de uma única carga puntiforme, vemos que essas superfícies tem o formato de esferas concêntricas, onde o centro é a carga elétrica, como na figura 30. E no caso de placas paralelas onde o campo elétrico é uniforme notamos que as superfícies são paralelas entre si e perpendiculares às linhas de força, é possível ver isso através da Figura 30.

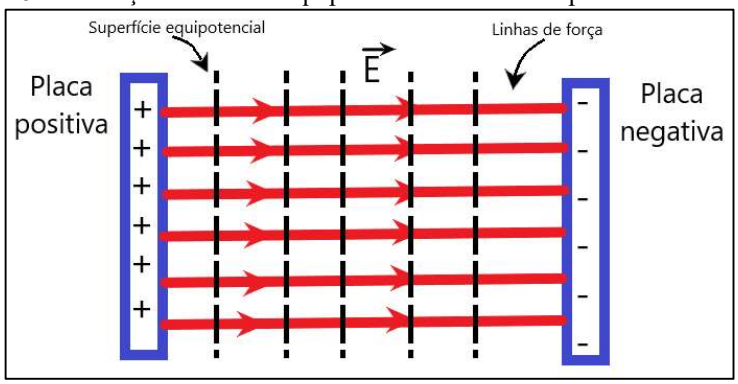
Figura 83. Ilustração de superfícies equipotenciais de um carga positiva e negativa.



Fonte: Próprio autor.

Nota-se que as superfícies equipotenciais são sempre perpendiculares as linhas de força do campo elétrico, analisando a figura 30, no caso de uma carga positiva, quanto mais próxima é a superfície equipotencial da carga, maior é o seu potencial elétrico, no caso de uma carga negativa, nota-se o contrário, quanto mais próximo, menor o potencial elétrico da superfície equipotencial, em seguida é apresentado as superfícies equipotenciais em um campo elétrico uniforme.

Figura 84. Ilustração das linhas equipotenciais em um campo elétrico uniforme.



Fonte: Próprio autor.

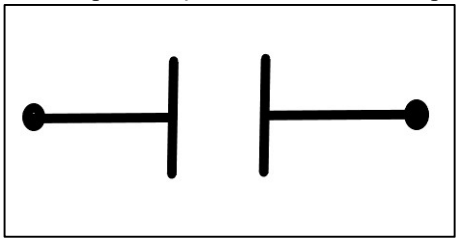
No caso de placas paralelas onde o campo elétrico é uniforme notamos que as superfícies são paralelas entre si e perpendiculares às linhas de força, é possível ver isso através da Figura 31.

1.3.9 *Capacitores*

Este conceito é fundamental para a compreensão de parte do experimento de eletrorresistividade, tendo em vista que no mesmo há uma associação de capacitores, deve ser explicado visando a compreensão do motivo de um capacitor ser utilizado no experimento, demonstrando que eles podem ser utilizados para transformar corrente elétrica alternada em contínua e também explicar a associação de capacitores, pode ser levado em sala pequenos capacitores, simplesmente para que os alunos compreendam como eles são de fato, e também onde eles podem ser utilizados.

Os capacitores são dispositivos existentes em circuitos eletrônicos de diversos aparelhos, como televisores, celulares, segundo Bonjorno et al (2016) os capacitores são dispositivos que armazenam cargas elétricas e são representados simbolicamente com dois braços de mesmo tamanho, simbolizando um capacitor de placas paralelas condutoras, como visto na figura 32.

Figura 85. Representação simbólica de um capacitor.



Fonte: Próprio autor.

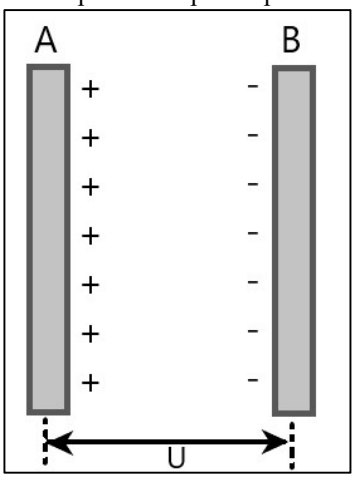
Existem diversos tipos de capacitores, os de placas paralelas, cilíndricos e esféricos, na figura 33, observa-se os capacitores cilíndricos.

Figura 86. Exemplos de capacitores.

Fonte: HELERBROCK, [201?].

Segundo Bonjorno et al (2016) o capacitor de placas paralelas condutoras chamadas de "armaduras" e por um material isolante conhecido como dielétrico, como o vidro, ar, papel etc. Quando um capacitor é carregado, as placas possuem cargas Q de mesmo módulo, mas de sinais contrários, +Q e –Q, portanto a carga total do capacitor é nula, assim quando se fala em carga de um capacitor, refere-se a carga de uma das placas que constituem o capacitor, na figura 34 é representado um capacitor de placas paralelas, submetido a uma ddp.

Figura 87. Ilustração de um capacitor de placas paralelas submetido a uma ddp.



Fonte: Próprio autor.

Segundo Bonjorno et al (2016) foi notado experimentalmente que a quantidade de carga elétrica Q no capacitor e a diferença de potencial elétrica U entre as placas são diretamente proporcionais, sendo que a constante de proporcionalidade é chamada de capacitância, que basicamente é uma característica de cada capacitor, essa grandeza depende das dimensões, do formato das armaduras, da distância entre as placas e da natureza do dielétrico colocada entre as placas, assim a capacitância C possui a seguinte expressão:

Como a quantidade de carga elétrica Q e a ddp U são diretamente proporcionais, tem-se:

$$Q = C.U \tag{46}$$

Então:

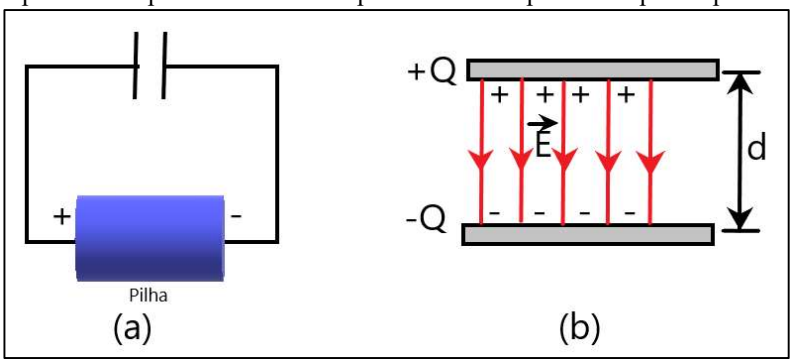
$$C = \frac{Q}{U} \tag{47}$$

A unidade de medida de capacitância no sistema internacional de unidades é o Farad (F),

equivalente a Coulomb/Volt.

Quando um capacitor é conectado com um gerador elétrico, segundo Bonjorno et al (2016) ele adquire cargas de sinais contrários, e o trabalho realizado para carregar o capacitor, se transforma em energia potencial elétrico do campo elétrico entre as placas do capacitor.

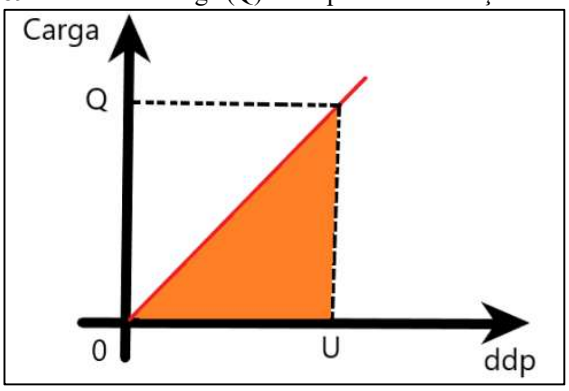
Figura 88. Em (a) uma ilustração de um esquema de um capacitor simples, e em (b) uma ilustração de como se comporta o campo elétrico entre as placas de um capacitor de placas paralelas.



Fonte: Próprio autor.

Como a carga de um capacitor varia com a ddp entre as placas do mesmo, a razão entre as duas grandezas é constante e conhecida como capacitância. Segundo Bonjorno et al (2016) a interpretação gráfica da carga Q em função da ddp U é uma reta que passa pela origem das coordenadas e sua inclinação é igual a capacitância C. A figura 36 mostra o comportamento do gráfico Q x U.

Figura 89. Gráfico da carga (Q) do capacitor em função da ddp (U)



Fonte: Próprio autor.

Interpretando a figura acima, é possível encontrar a Energia potencial elétrica armazenada pelo capacitor, a área do triângulo da figura 36 é:

$$A_T = \frac{QU}{2} \tag{48}$$

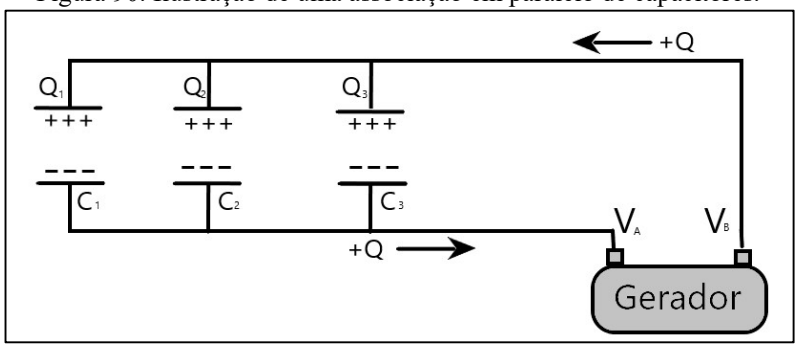
Essa é a energia potencial elétrica E_p armazenada pelo capacitor, e como $Q = C.U$, tem-se:

$$E_p = \frac{C.U.U}{2} = \frac{C.U^2}{2} \tag{49}$$

Os capacitores podem ser ligados entre si, por ligações conhecidas como ligação em série e ligação em paralelo de capacitores, Segundo Sampaio e Calçada (2005) nestas associações existe um capacitor hipotético, conhecido como capacitor equivalente, basicamente ele seria um capacitor equivalente (C_{eq}) aos capacitores ligados em série e em paralelo, se fosse dada a mesma ddp da associação, armazenando uma carga elétrica total igual à da associação.

Na associação em paralelo de capacitores, segundo Sampaio e Calçada (2005) as armaduras positivas são ligadas entre sí, todas com o mesmo potencial V_A, assim como as armaduras negativas, interligadas com um mesmo potencial V_B, como mostra a figura 37.

Figura 90. Ilustração de uma associação em paralelo de capacitores.



Fonte: Próprio autor.

Segundo Sampaio e Calçada (2005) a carga total Q armazenada em uma associação é igual a soma das cargas de cada um dos capacitores associados, assim:

$$Q = Q_1 + Q_2 + \cdots + Q_n \tag{50}$$

Para cada um dos capacitores, sabemos que a carga Q é:

$$Q_1 = C_1.U \tag{51}$$

$$Q_2 = C_2.U \tag{52}$$

.

.

.

$$Q_n = C_n.U \tag{53}$$

Se todos os membros forem somados, têm-se:

$$Q_1 + Q_2 + \cdots + Q_n = (C_1 + C_2 + \cdots + C_n).U \tag{54}$$

$$Q = (C_1 + C_2 + \cdots + C_n).U \tag{55}$$

Ao substituir a associação por capacitor equivalente, têm-se:

$$Q = C_{eq}.U \tag{56}$$

Substituindo (47) em (46) obtêm-se:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + \cdots + C_n \tag{57}$$

Associando em paralelo (n) capacitores de mesma capacitância, têm-se:

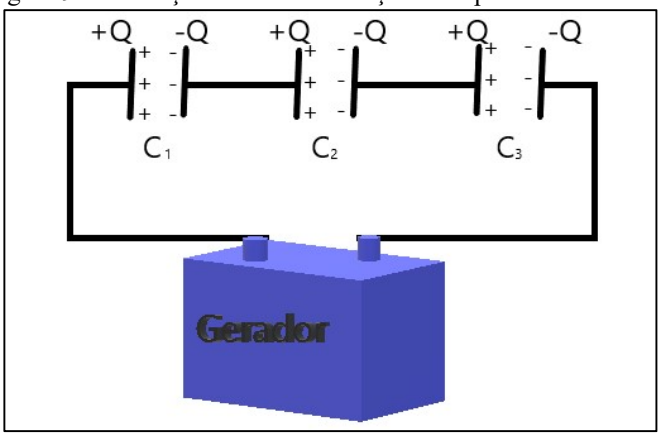
$$C_{eq} = n.C \tag{58}$$

Assim, na associação em paralelo de capacitores, todos os capacitores associados ficam submetidos a mesma ddp, a carga total é igual a soma das capacitâncias de todos os capacitores da associação, e a carga de cada capacitor é diretamente proporcional a sua capacitância.

Na associação em série de capacitores, segundo Sampaio e Calçada (2005) a armadura negativa de um capacitor é ligada a armadura positiva do capacitor seguinte, como mostra a figura 38, nesta associação a armadura positiva do primeiro capacitor induz uma carga –Q na armadura negativa, e

assim a carga +Q escoa para a armadura positiva do segundo capacitor que induz carga negativa –Q na armadura negativa do segundo capacitor e assim sucessivamente, até o ultimo capacitor.

Figura 91. Ilustração de uma associação de capacitores em série.



Fonte: Próprio autor.

Segundo Sampaio e Calçada (2005) a tensão total U da associação é igual a soma de todas as tensões de cada capacitor, assim:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \cdots + U_n \tag{59}$$

A tensão de cada capacitor é:

$$U = \frac{Q}{C} \tag{60}$$

E a capacitância do capacitor equivalente C_{eq} é:

$$C_{eq} = \frac{Q}{U}\ (61) \therefore U = \frac{Q}{C_{eq}} \tag{61}$$

Substituindo o a tensão de cada capacitor, têm-se:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \cdots + \frac{1}{C_n} \tag{63}$$

Se forem associados em série capacitores de mesma capacitância, o capacitor equivalente é:

$$C_{eq} = \frac{C}{n} \tag{64}$$

Onde n é o número de capacitores associados em série.

A cerca das principais propriedades deste tipo de associação, pode-se afirmar que:

> Para a associação de capacitores em série inicialmente descarregados, valem as seguintes propriedades:
>
> 1.ª) Os capacitores adquirem todos a mesma carga elétrica.
>
> 2.ª) A d.d.p entre os terminais da associação é igual à soma das d.d.p de cada capacitor.
>
> 3.ª) A d.d.p em cada capacitor é inversamente proporcional à respectiva capacitância.
>
> 4.ª) O inverso da capacitância equivalente é igual ao somatório dos inversos das capacitâncias associadas (SAMPAIO; CALÇADA, 2005, p. 276).

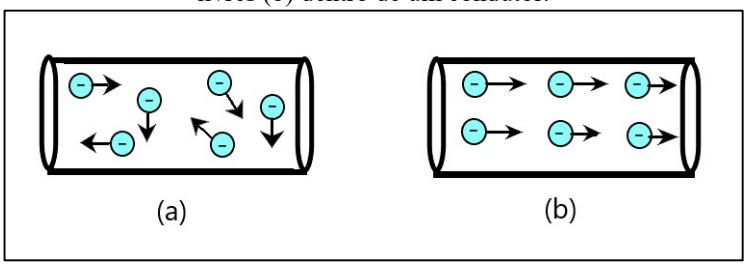
1.3.10 *Intensidade da corrente elétrica*

O professor deve tratar este assunto, buscando demonstrar como a corrente elétrica se comporta, apresentado a unidade de intensidade de corrente elétrica, e também as diferenças da corrente contínua e corrente alternada, pois as duas são utilizadas em diferentes momentos no experimento de

eletrorresistividade.

Em um fio eletrizado os elétrons livres se movem desordenadamente dentro do condutor eletrizado, esse movimento não constitui o conceito que será estudado nesta seção, necessariamente o conceito de corrente elétrica, é de um movimento ordenado de elétrons livres no interior de um condutor eletrizado, como na figura 39 (a).

Figura 92. Ilustração do movimento desordenado de elétrons livre (a) e o movimento ordenado de elétrons livres (b) dentro de um condutor.



Fonte: Próprio autor.

O fenômeno da corrente elétrica ocorre, por exemplo, quando em um fio condutor, dois pontos A e B, possuam certa diferença de potencial elétrico, assim há um campo elétrico entre esses dois pontos do condutor, portanto as cargas elétricas ficam sujeitas a forças elétricas de atração ou repulsão dependendo dos sinais das cargas, fazendo assim com que ocorra um movimento ordenado de cargas elétricas, como mostra a figura 39 (b), chamamos este movimento de corrente elétrica.

Diversos estudiosos físicos podem ser listados por contribuições acerca da corrente elétrica, pode-se citar Alessandro Volta (1745-1827), segundo Chagas (2000) com o invento das primeiras pilhas, sendo a primeira fonte de corrente contínua criada, e segundo Ribeiro (2014) André-Marie Ampère (1775-1836), com as primeiras observações eletromagnéticas da corrente elétrica, observando a influencias de correntes elétricas próximas umas das outras.

Segundo Xavier e Barreto (2010) a intensidade desta corrente elétrica é igual à razão entre a quantidade de carga (ΔQ) que passa por um fio condutor eletrizado e o tempo (Δt) que elas levam para executar esse trajeto.

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \tag{65}$$

Como $\Delta Q = n\,.\,e$, tem-se:

$$i = \frac{n\,.e}{\Delta t} \tag{66}$$

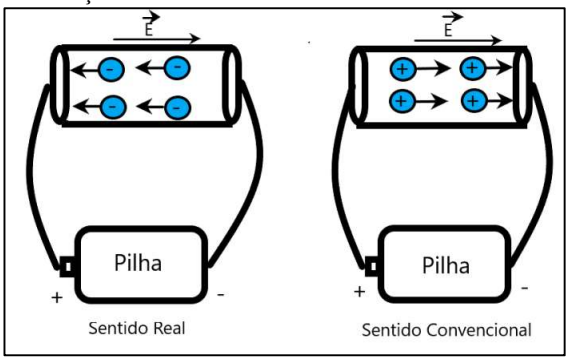
Sendo i a intensidade da corrente elétrica, (ΔQ) a quantidade de carga elétrica, (e) a carga elementar de um elétron e (Δt) é a variação do tempo.

No Sistema Internacional de Unidades (SI), a sua unidade é o Ampere (A), que é igual a Coulomb/ segundo.

A corrente elétrica possui um sentido chamado de convencional, segundo Bonjorno et al (2016) por convenção adota-se que o sentido da corrente elétrica é o mesmo do campo elétrico, ou seja, no sentido contrário ao real, onde os elétrons livres se deslocam do maior para o menor potencial elétrico, então basicamente no sentido convencional, a corrente elétrica se orienta no mesmo sentido do campo

elétrico, quando se fala de corrente elétrica, adota-se o sentido convencional como padrão.

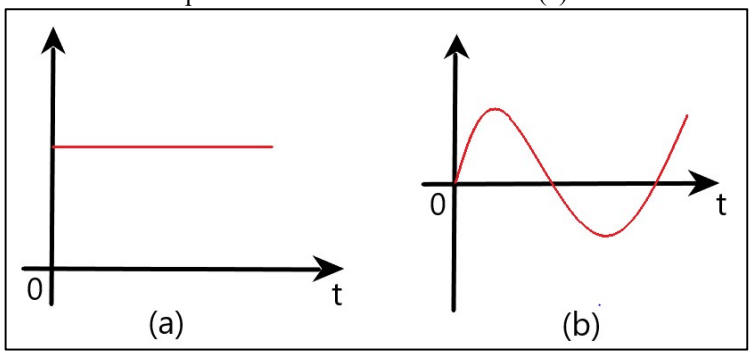
Figura 93. Ilustração do sentido real e convencional da corrente elétrica.



Fonte: Próprio autor.

Os elétrons livres que compõem a corrente elétrica podem ir de um polo a outro de uma pilha em um único sentido como na imagem acima, mas ela também pode variar seu sentido, segundo Xavier e Barreto (2010) quando a corrente elétrica mantém seu sentido constante é denominada corrente contínua e quando possui sua intensidade constante com o decorrer do tempo é denominada corrente contínua constante, mas quando sua intensidade e sentido variam periodicamente, ela é denominada corrente alternada, a figura 41, mostra graficamente o comportamento desses dois tipos de corrente elétrica.

Figura 94. Gráficos do comportamento da corrente contínua (a) e da corrente alternada (b).



Fonte: Próprio autor.

A passagem da corrente elétrica em condutores causa alguns efeitos, são eles o efeito Joule ou térmico, efeito magnético, efeito luminoso, efeito químico e efeito fisiológico.

Segundo Bonjorno et al (2016), basicamente o efeito térmico é o aquecimento do condutor devido a passagem de corrente elétrica, as constantes colisões dos elétrons livres e átomos do material, faz com que ocorra um aumento da vibração dos átomos implicando no aquecimento do condutor, enquanto que o efeito magnético, ocorre devido a passagem de corrente elétrica perto de um condutor, como uma bússola, fazendo com que ocorra a formação de um campo de natureza magnética.

Segundo Bonjorno et al (2016) o efeito luminoso ocorre quando em certas condições a passagem e corrente elétrica em um gás a baixa pressão, faz com que ocorra emissão de luz, como em lâmpadas fluorescentes, já o efeito químico ocorre quando a passagem de corrente elétrica em soluções eletrolíticas, ocorrendo reações químicas, as chamadas eletrólises, como ocorre na galvanoplastia.

O efeito fisiológico, segundo Máximo, Alvarenga e Guimarães (2017) ocorre quando a

passagem de corrente elétrica no corpo humano, o “choque elétrico”, que pode ocorrer devido a descargas elétrica de corpos carregado colocados em contato ao corpo humano.

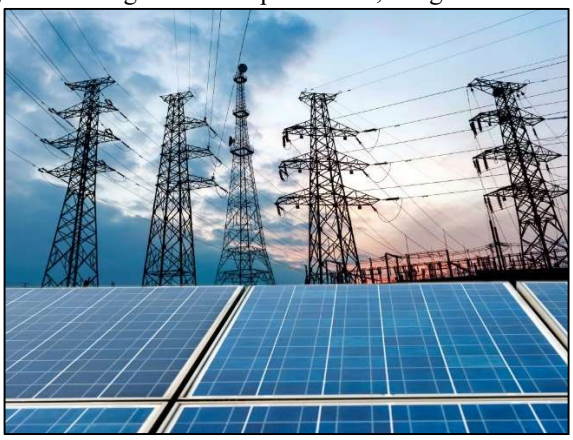
1.3.11 *Elementos de um circuito elétrico*

Este conteúdo é primordial para o estudo de circuitos elétricos, os alunos irão compreender a simbologia de cada componentes de um circuito, é de fácil apresentação, sem nenhuma restrição ao modo como deve ser apresentado, fica a critério do docente.

Quando uma lâmpada é ligada por um pilha, a corrente elétrica percorre um caminho fechado, saindo de polo da pilha, passa pela lâmpada e retorna ao outro polo da pilha, esse caminho fechado chama-se de circuito elétrico, basicamente um circuito elétrico são conjunto de caminhos percorridos por corrente elétrica, onde aparecem dispositivos elétricos, ligados a um gerador.

Os circuitos elétricos possuem diversos dispositivos elétricos, um deles é o gerador elétrico, Segundo Bonjorno et al (2016) ele é o dispositivo que transforma algum tipo de energia exclusivamente em energia elétrica, são comuns os geradores químicos, como as pilhas que transformam energia química em energia elétrica, e os geradores mecânicos que transformam energia mecânica em elétrica.

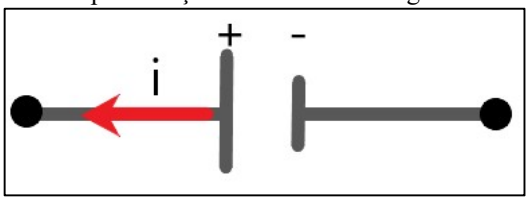
Figura 95. Imagem de uma placa solar, um gerador elétrico.



Fonte: Fontes, 2017.

Ele é representado no circuito com dois traços paralelos, um maior que o outro, onde o traço maior representa o polo positivo e o menor o negativo, a figura 43.

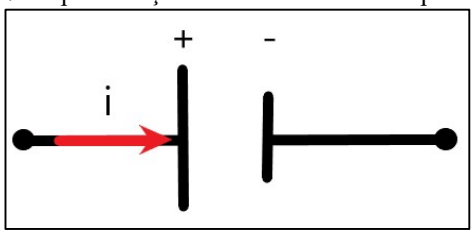
Figura 96. Representação simbólica de um gerador elétrico.



Fonte: Próprio autor.

Um receptor elétrico é um dispositivo elétrico que segundo Bonjorno et al (2016) transforma energia elétrica em outras modalidades de energia, não exclusivamente térmica, o motor elétrico é um receptor elétrico, ele transforma energia elétrica em mecânica, e em parte energia dissipada térmica, um exemplo é o liquidificador, na figura 44, está a representação de um receptor elétrico em um circuito elétrico, nele a corrente elétrica faz o caminho inverso do gerador, vai do polo positivo para o negativo.

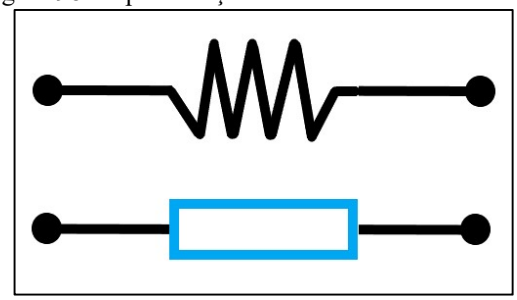
Figura 97. Representação simbólica de um receptor elétrico.



Fonte: Próprio autor.

Os resistores são dispositivos que transformam energia elétrica, exclusivamente em energia térmica, são amplamente utilizados em chuveiros elétricos, secadores de cabelo etc. A representação simbólica de um resistor é vista na figura 45.

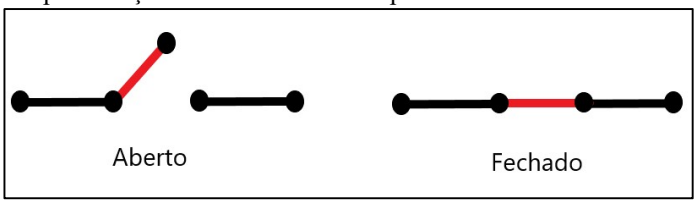
Figura 98. Representações simbólicas de um resistor.



Fonte: Próprio autor.

Em circuito elétrico é necessário um dispositivo responsável por desligar ou acionar o circuito elétrico, eles se chamam de dispositivos de manobra, alguns exemplos são as chaves e os interruptores, na figura 46 é representado simbolicamente um dispositivo de manobra aberto, quando a corrente elétrica não está circulando, e fechado quando a corrente elétrica circula por todo o circuito.

Figura 99. Representação simbólica de um dispositivo de manobra aberto e fechado.

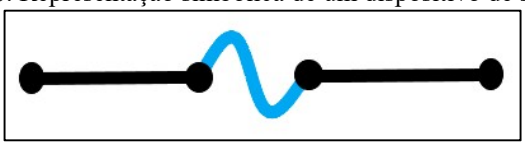


Fonte: Próprio autor.

Segundo Bonjorno et al (2016) quando a corrente elétrica em um circuito, possui um valor elevado repentinamente podendo prejudicar os dispositivos que compõem o circuito, um dispositivo conhecido como dispositivo de segurança, interrompe a passagem da corrente elétrica, preservando os dispositivos que compõem o circuito elétrico.

A representação simbólica de um dispositivo de segurança pode ser visualizado na figura 47.

Figura 100. Representação simbólica de um dispositivo de segurança.



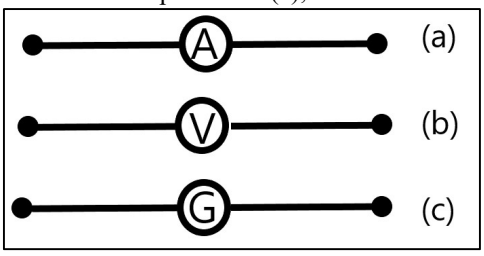
Fonte: Próprio autor.

Os dispositivos de controle segundo Bonjorno et al (2016) são dispositivos utilizados para

medir a diferença de potencial entre dois pontos e a intensidade da corrente elétrica que percorre um circuito, e também simplesmente para detectar a presença de corrente elétrica, dispositivos de controle comumente utilizados, são eles, o galvanômetro, o amperímetro e o voltímetro.

O amperímetro mede a intensidade da corrente elétrica de um circuito, o voltímetro mede a diferença de potencial elétrico entre dois pontos de um circuito, já o galvanômetro é utilizado na construção de voltímetros e amperímetros, sendo utilizado para verificar a presença de corrente elétrica e voltagem.

Figura 101. Representação simbólica de um amperímetro (a), de um voltímetro (b) e de um galvanômetro (c).



Fonte: Próprio autor.

1.3.12 *Resistores*

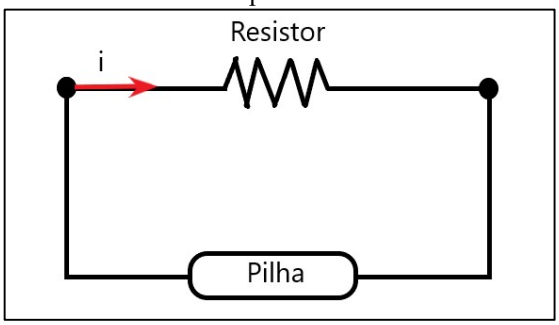
Os resistores são essenciais para o estudo da eletricidade, e também para o estudo do comportamento da corrente elétrica em um fio condutor, para que os alunos compreendam a diferença entre uma corrente contínua e alternada, a Lei de Ohm é importante para compreender essa relação, o professor pode levar em sala, resistores pequenos de chuveiros elétricos por exemplo.

Os resistores são dispositivos utilizados em circuitos, que possuem a função de controlar a passagem de corrente elétrica pelo aumento de uma grandeza conhecida como resistência elétrica, que é imposta à passagem dos portadores de carga em um fio condutor.

Segundo Máximo, Alvarenga e Guimarães (2017) foi Georg Simon Ohm (1787-1854), que desenvolveu matematicamente a lei que rege os resistores no trabalho *"O circuito galvânico examinado matematicamente"*.

Na figura 49, observa-se um circuito composto de um resistor e uma pilha, sendo percorridos por corrente elétrica, um fato importante é a representação simbólica de um resistor em um circuito, como mostrado na figura abaixo.

Figura 102. Ilustração de um circuito sendo percorrido por corrente elétrica, composto por um resistor e uma pilha.



Fonte: Próprio autor.

A resistência elétrica (R) de um condutor é dada pela equação da primeira Lei de ohm, como

sendo a razão entre a diferença de potencial elétrico (U) entre dois pontos de um fio e a intensidade da corrente elétrica (i) que passa por ele:

$$R = \frac{U}{i} \tag{67}$$

A unidade de medida da resistência elétrica é o ohm, em homenagem a ao físico criador da sentença matemática, sendo o ohm igual a V/A, simbolizado por Ω.

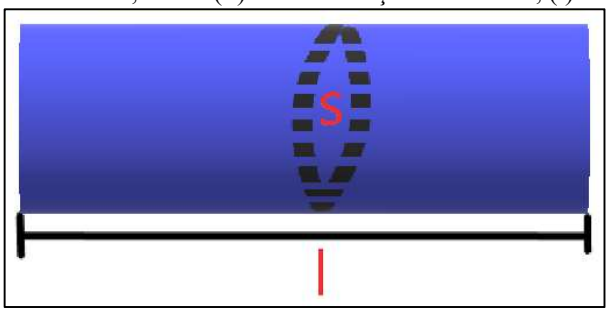
Segundo Máximo, Alvarenga e Guimarães (2017), a oposição à passagem de corrente elétrica é tanto maior quanto o valor de (R), a resistência elétrica de um condutor também aumenta devido â alguns outros fatores, como o aumento do comprimento do condutor, o aumento da área de seção transversal, e também da natureza do material que o condutor é feito, outro fato importante dito por Máximo, Alvarenga e Guimarães (2017) a cerca deste dispositivo é que resistores que obedecem a equação acima, são chamados de resistores ôhmicos, pois a relação entre a intensidade da corrente elétrica e a ddp aplicada é constante neste tipo de resistor, importante salientar que a resistência também depende da natureza do material, de sua temperatura e de suas dimensões.

Existe uma segunda sentença sobre os resistores, conhecida como a segunda Lei de ohm, e pode ser anunciada por uma relação matemática. Segundo Bonjorno et al (2016) a resistência elétrica de um condutor é igual à razão entre o comprimento (l) do resistor e a área da seção transversal (S) do condutor, multiplicado pela resistividade do material (ρ).

$$R = \rho \frac{l}{S} \tag{68}$$

A figura 50, interpreta a equação acima, acerca dos resistores, sendo que a resistividade do material (ρ), depende da natureza do mesmo.

Figura 103. Ilustração de um resistor, sendo (S) a área da seção transversal, (l) o comprimento do resistor.

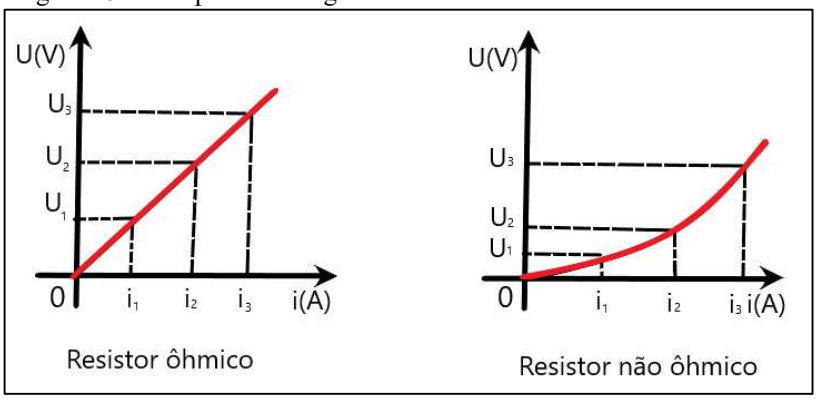


Fonte: Próprio autor.

Segundo Xavier e Barreto (2010) o valor da resistividade ρ de um material é inversamente proporcional a grandeza condutividade elétrica σ do material, assim quanto maior é a resistividade de um material, menor o valor de sua condutividade e vice-versa.

Os resistores ôhmicos e não ôhmicos, possuem comportamentos diferentes quando submetidos a uma ddp, isso pode ser observado, no figura abaixo, que mostra o comportamento gráfico, destes tipos de resistores.

Figura 104. Comportamento gráfico de um resistor ôhmico e não ôhmico.



Fonte: Próprio autor.

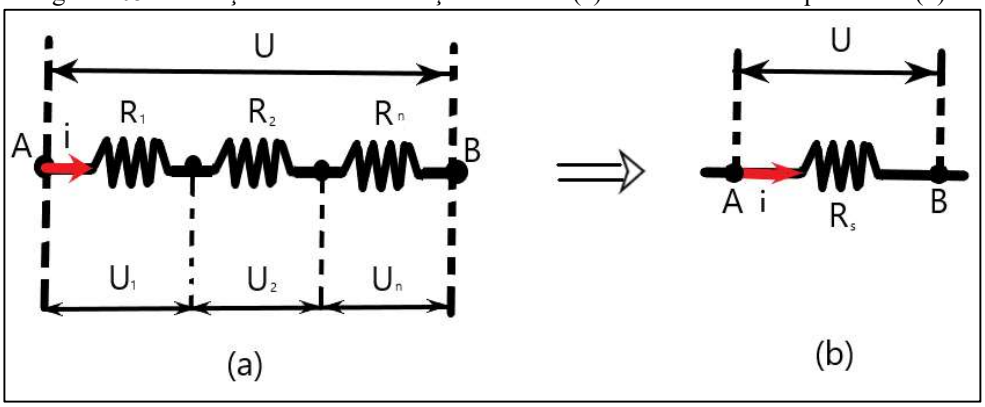
1.3.13 Associação de *Resistores*

Este conceito pode ser explicado utilizando um pequeno experimento de associação de pequenas lâmpadas como analogia, para o estudo da corrente elétrica e da voltagem, também é importante que o docente leve em sala, multímetros, para que os alunos possam visualizar o comportamento da corrente elétrica e voltagem nos dois tipos de associações de resistores, assim os alunos já são preparados ao que irão realizar no experimento de eletrorresistividade.

Em um circuito elétrico, as vezes deseja-se uma resistência maior ou menor do que a de um único resistor, assim utilização as chamadas associações de resistores, sendo que existem as ligações em série, paralelo e mista de resistores.

Segundo Bonjorno et al (2016) é possível representar uma associação de resistores com um único resistor, o resistor equivalente R_S, que produz o mesmo efeito e dissipa a mesma energia que a associação de resistores, no mesmo tempo. A figura 52, mostra em (a) uma associação em série de resistores, e em (b) um resistor equivalente a essa associação.

Figura 105. Ilustração de uma associação em série (a) e de um resistor equivalente (b).



Fonte: Próprio autor.

Observando a figura 52, nota-se que existe apenas um caminho para a passagem da corrente elétrica, assim o valor de sua intensidade é mantido constante por todo o circuito. A tensão elétrica é igual a soma das ddp de todos os resistores que compõem o circuito, e para que seja obedecida a 1ª Lei de Ohm, a ddp é igual ao produto entre a resistência elétrica do resistor e a corrente elétrica deste, temos então:

$$U = R.i \tag{69}$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \cdots + U_n \tag{70}$$

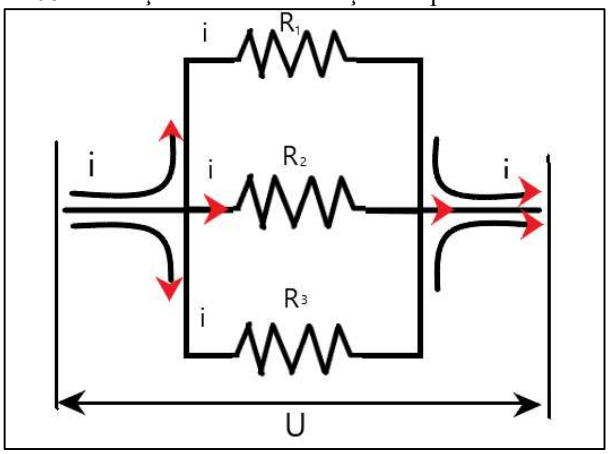
Assim é possível encontrar o valor da ddp de um único resistor, a partir dos valores de resistência elétrica e intensidade da corrente elétrica desse resistor, quanto a resistência elétrica e a intensidade da corrente elétrica.

Analisando esta expressão, tendo em vista que a tensão total e a intensidade da corrente são mantidas constantes, é possível concluir que a resistência total do circuito ou a resistência elétrica de um resistor equivalente ao circuito é:

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n \tag{71}$$

Na associação de resistores, ligar um resistor em paralelo significa basicamente dividir a mesma fonte de corrente, para que a diferença de potencial elétrico em cada ponto seja conservada. A figura 53 mostra uma associação em paralelo de resistores.

Figura 106. Ilustração de uma associação em paralelo de resistores.



Fonte: Próprio autor.

Como mostra a figura 53 a corrente elétrica se divide de acordo com o número de ramos que o circuito possui, assim a intensidade da corrente elétrica total de todo o circuito é igual a:

$$i_T = i_1 + i_2 + i_3 + \cdots + i_n \tag{72}$$

Segundo Bonjorno et al (2016) quando em um circuito vários resistores são postos em paralelo, todos eles são submetidos a mesma ddp, assim a resistência equivalente do circuito pode ser obtida a partir da equação de intensidade da corrente elétrica total (62), pois:

$$i = \frac{U}{R} \tag{73}$$

Então:

$$\frac{U}{R_T} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} + \cdots + \frac{U}{R_n} \tag{74}$$

$$\frac{U}{R_T} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots + \frac{1}{R_n}\right)U \tag{75}$$

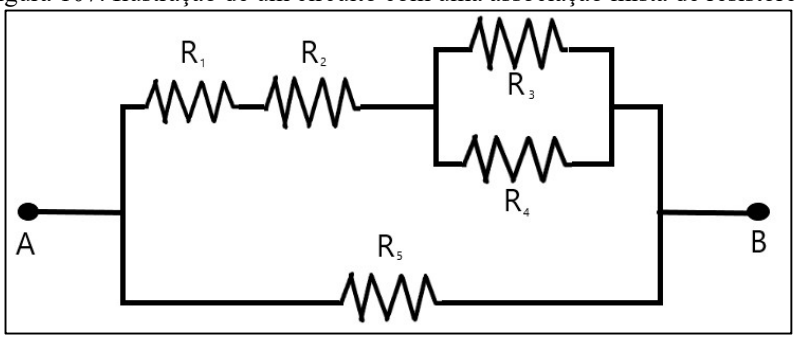
Cancelando os valores de U, nos dois lados da equação têm-se a equação da resistência total de um circuito de resistores associados em série:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots + \frac{1}{R_N} \quad (76)$$

Devido a isso, Máximo, Alvarenga e Guimarães (2017) salienta que, quanto mais resistores forem colocados em paralelo, menor o valor da resistência total ou equivalente, além de que quanto mais resistores forem colocados em paralelo, maior será o valor da intensidade da corrente elétrica para esse circuito.

Também existe a associação mista de resistores, basicamente ela se resuma a uma junção da associação em série e paralelo de resistores em um único circuito. A figura 54 ilustra um circuito composto por associações mistas.

Figura 107. Ilustração de um circuito com uma associação mista de resistores.



Fonte: Próprio autor.

Sobre esta configuração do circuito, pode-se afirmar que:

- na associação em série, a intensidade de corrente é comum a todos os elementos;
- na associação paralela, a ddp U é igual em todos os associados;
- durante o funcionamento de um circuito, há consumo de energia elétrica, causando queda do potencial elétrico desde o mais alto – polo (+) do gerador – até o mais baixo – polo (-) do gerador;
- os nós existentes entre os polos (+) e (-) do gerador estão em potenciais intermediários;
- para visualizar pontos com potenciais diferentes, convém iniciar o processo de resolução ou de uma associação mista designando os terminais (pontos entre os quais se pretende calcular a resistência equivalente) com as letras maiúsculas A e B e os nós com as demais letras (C, D,...) (BONJORNO et al 2016, p.98).

1.3.14 Instrumento de medidas elétricas

Na apresentação deste conceito é essencial que o docente tenha em sala multímetros para que os alunos possam manuseá-los, afim de que verifiquem a voltagem e a intensidade da corrente elétrica, da tomada que a sala possuir, ou combinar esta aula com a de resistores e verificar a tensão do pequeno experimento de associação de lâmpadas, é muito importante que os alunos saibam após esta aula, manusear e operar os multímetros com todas as suas funções com facilidade.

Basicamente usam-se os voltímetros, galvanômetros e amperímetros como instrumentos para realizar aferições de medidas elétricas, segundo Bonjorno et al (2016) os galvanômetros são dispositivos que seu funcionamento é baseado nos efeitos magnéticos da corrente elétrica, isso permite verificar em um circuito elétrico se a corrente elétrica circulando, sendo essas aferições realizadas com

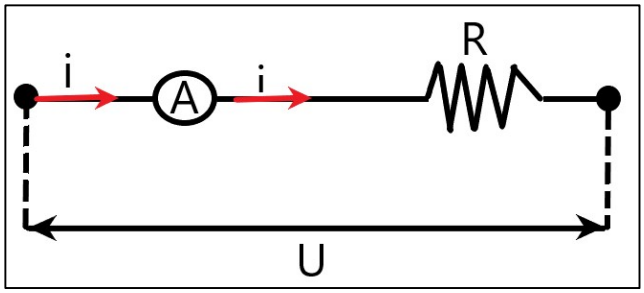
corrente elétrica de intensidades muito baixas, basicamente quando o ponteiro do galvanômetro deflete, percebe-se a presença de corrente elétrica e a deflexão do ponteiro é proporcional a intensidade da corrente elétrica.

Figura 108. Imagem de um galvanômetro.

Fonte: Aprender Eletricidade, 2018.

O amperímetro é utilizado para aferir a intensidade da corrente elétrica de um circuito, segundo Bonjorno et al (2016), para que isso seja realizado, o amperímetro deve ser colocado em série com o ponto a ser medido, por isso ele deve apresentar uma resistência interna R_i menor do que a resistência do circuito, a figura 56 ilustra como o amperímetro deve estar conectado durante a aferição da intensidade da corrente elétrica.

Figura 109. Ilustração de como o amperímetro é posicionado dentro de um circuito elétrico para aferir a intensidade da corrente elétrica.



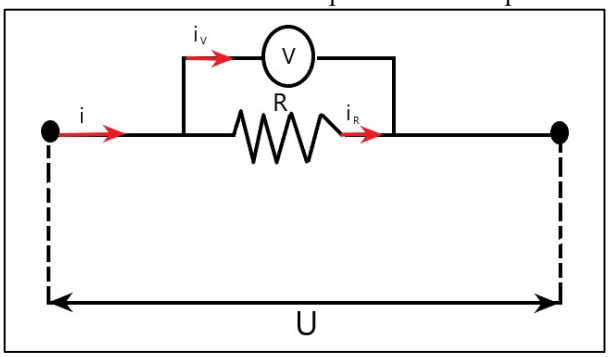
Fonte: Próprio autor.

O amperímetro ideal é aquele que possui resistência nula, assim a intensidade da corrente elétrica é dada por:

$$i = \frac{U}{(R_i + R)} \tag{77}$$

O voltímetro é utilizado para realizar a aferição da ddp entre dois pontos de um circuito, segundo Bonjorno et al (2016) ele é sempre ligado em paralelo as extremidades do circuito que deseja ser aferido a ddp, diferente do amperímetro sua resistência deve ser grande, pois o voltímetro deve retirar do circuito uma corrente elétrica desprezível, a figura 57 mostra como ele é posicionado no circuito.

Figura 110. Ilustração de um voltímetro associado em paralelo com os pontos onde quer se medir a ddp.



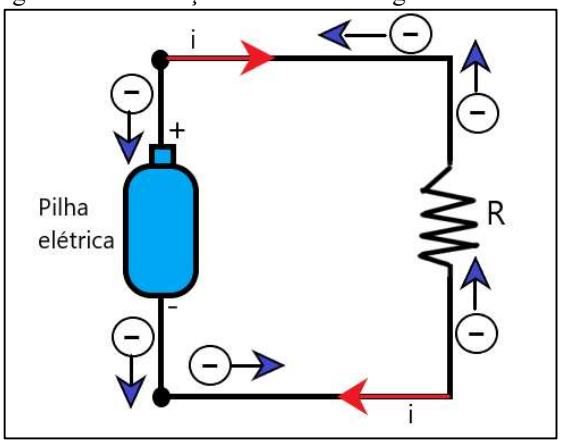
Fonte: Próprio autor.

Na figura acima o voltímetro V está ligado em paralelo com o resistor R, medindo a voltagem nos extremos do resistor. Segundo Bonjorno et al (2016) a corrente elétrica da associação se dividiu em duas partes i_V e i_R a corrente i_V percorre o voltímetro e a corrente i_R o resistor R, um voltímetro considerado ideal possui uma resistência interna infinita.

1.3.15 Geradores elétricos

Os geradores elétricos são dispositivos que transformam diversas formas de energia em energia elétrica, segundo Xavier e Barreto (2010) as cargas que ocupam na figura 58 o potencial mais baixo (B) de uma pilha são positivas e atravessam a pilha (gerador) e recebem energia elétrica, e o sentido da corrente elétrica é o contrário ao movimento dos elétrons, se deslocando do maior potencial (+) para o menor potencial (-).

Figura 111. Ilustração de um circuito gerador-resistor.



Fonte: Próprio autor.

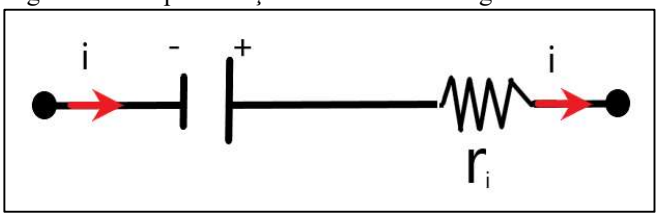
Os elétrons ao realizaram o deslocamento do potencial menor (B) para o maior (A), ganham energia ao chegarem no polo positivo pelo trabalho realizado para transportar elétrons de A para B. Segundo Xavier e Barreto (2010) quanto maior a ddp entre os polos do gerador maior será a energia ou trabalho fornecido ao circuito, da mesma forma acontecerá com a corrente elétrica, devido a ddp ser maior a corrente elétrica também será, a razão entre o trabalho realizado (W) ea quantidade de carga (Q) que passa por uma seção transversal do condutor, essa razão recebe o nome de força eletromotriz (fem), representada por:

$$\varepsilon = \frac{W}{Q} \tag{78}$$

A unidade de força eletromotriz é o joule por coulomb, J/C, mas essa unidade é igual a Volt(V), então utilizasse (V).

Segundo Xavier e Barreto (2010) quando uma corrente elétrica percorre um gerador, ele apresenta um resistência interna r_i que dissipa parte dessa corrente elétrica, assim simbolizamos um gerador com uma resistência ao lado de duas barras verticais paralelas entre sí, simbolizando o gerador, como na figura 59. A ideia é que o gerador seja ideal ou seja não dissipe corrente elétrica, para que isso ocorre a resistência do resistor r_i deve ser igual a zero.

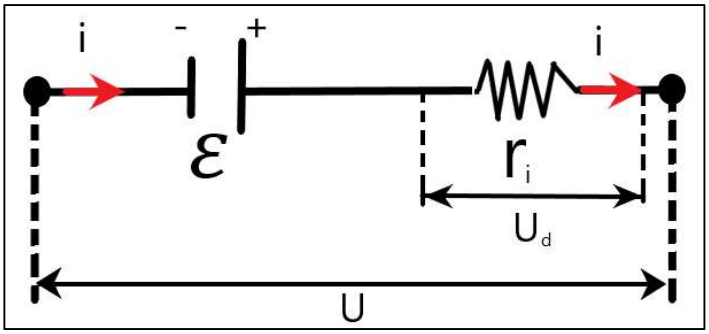
Figura 112. Representação simbólica de um gerador elétrico.



Fonte: Próprio autor.

Segundo Xavier e Barreto (2010) como um gerador possui uma resistência interna, a ddp (U) entre dois pontos do circuito é igual a força eletromotriz ε, descontada a queda de tensão (U_d) provocada pela resistência interna, como mostra a figura 60.

Figura 113. Ilustração de um gerador elétrico, mostrando a queda de potencial elétrico provocado pela resistência interna.



Fonte: Próprio autor.

Segundo Xavier e Barreto (2010) a tensão U_d no resistor r_i é $U = r.i$, assim :

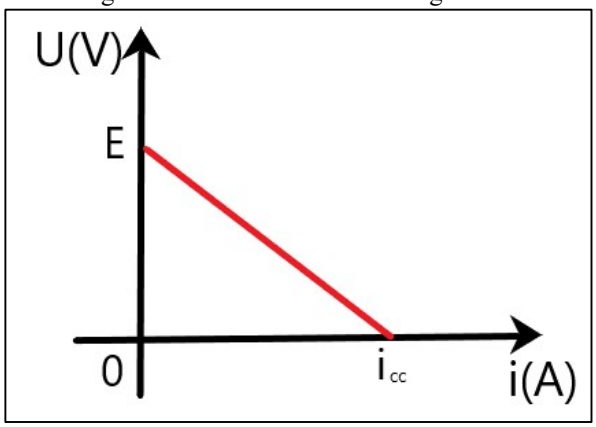
$$U = \varepsilon - U_d \tag{79}$$

$$U = \varepsilon - r.i \tag{80}$$

A expressão acima é conhecida como equação geral do geradores.

Observando a equação geral dos geradores nota-se que ela é uma equação do 1° grau em relação a corrente elétrica (i) para cada gerador específico, o gráfico U x i de um gerador é uma reta decrescente como mostra a figura 61.

Figura 114. Gráfico U x i de um gerador.



Fonte: Próprio autor.

Sobre este conceito é possível afirmar que:

- O ponto de intersecção da reta com o eixo das ordenadas (U) possui abscissa nula (i = 0), logo U = ε. Nesse caso, em que não há corrente elétrica passando pelo gerador, o gerador está aberto e não está ligado.
- O ponto de intersecção da reta com o eixo das abscissas (i) possui ordenada nula (U = 0) e é denominado corrente de curto circuito i_{cc}. Nesse caso, a corrente elétrica não tem resistência em seu trajeto e é chamada de curto-circuito. Esse é o valor máximo de corrente que o gerador pode suportar (XAVIER; BARRETO, 2010, p.132).

Assim, $$\varepsilon - r.i = 0 \rightarrow i_{cc} = \frac{\varepsilon}{r} \quad (81)$$

Todo dispositivo elétrico possui perdas, o gerador elétrico não é uma exceção, segundo Xavier e Barreto (2010) a potência total que seria fornecida ao circuito P_t, é dividida em duas partes, em potência útil P_u e que é a potência utilizada no circuito e em potência dissipada P_d que é perdida no seu interior.

A potência total P_t é igual à soma da potência dissipada com a potência útil, assim:

$$P_t = P_u + P_d \quad (82)$$

A potência dissipada P_d é igual a:

$$P_d = r.i^2 \quad (83)$$

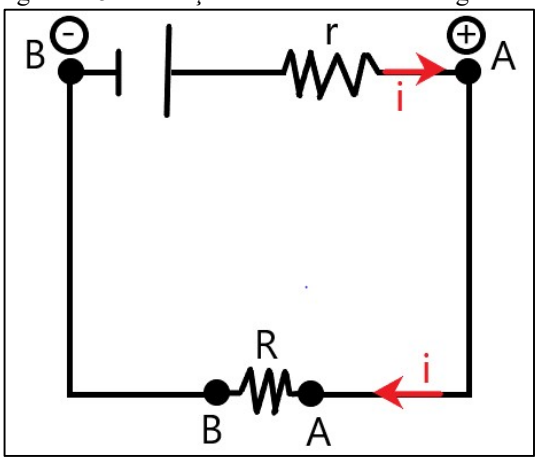
Assim a potência útil é $P_u = P_t - P_d$ (84)

Segundo Xavier e Barreto (2010) a razão entre a potência útil e a potência total é igual ao rendimento (η) do gerador, assim quanto mais energia é aproveitada e menos dissipada, maior é o rendimento de gerador.

$$\eta = \frac{P_u}{P_t} = \frac{U}{\varepsilon} \quad (85)$$

Segundo Bonjorno et al (2016) ao pensar em um circuito de um farol de um automóvel, nesse circuito a bateria é o gerador, e o farol o resistor externo, a figura 62 ilustra esse circuito.

Figura 115. Ilustração do circuito bateria e gerador.



Fonte: Próprio autor.

Claude Poillet foi um físico francês que observou que a ddp entre os polos do gerador da figura 62 é a mesma que nos terminais do resistor. Assim:

$$U_{AB} = \varepsilon - r.i \rightarrow U_{AB} = R.i \tag{86}$$

Então:

$$\varepsilon - r.i = R.i \tag{87}$$

Logo:

$$\varepsilon = (R + r)i \tag{88}$$

Essa expressão é conhecida como Lei de Pouillet.

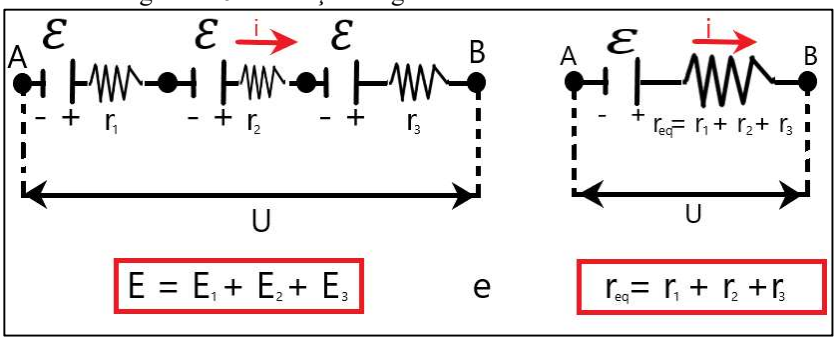
A corrente elétrica que circula no circuito, pode ser encontrada a partir da Lei de Pouillet, assim:

$$i = \frac{\varepsilon}{R+r} \tag{89}$$

Nota-se que quanto maior forem as resistências, menor a corrente elétrica no circuito.

Os geradores elétricos podem ser associados em série e em paralelo entre sí, segundo Xavier e Barreto (2010) na associação em série a potência fornecida aumenta em função do aumento da força eletromotriz. A corrente elétrica que passa pelos geradores é a mesma, a soma de todas as forças eletromotrizes dos componentes da associação é igual a força eletromotriz total da associação, e a resistência interna da associação é igual a soma de todas as resistências internas da associação, como mostra a figura 63.

Figura 116. Ilustração de geradores associados em série.



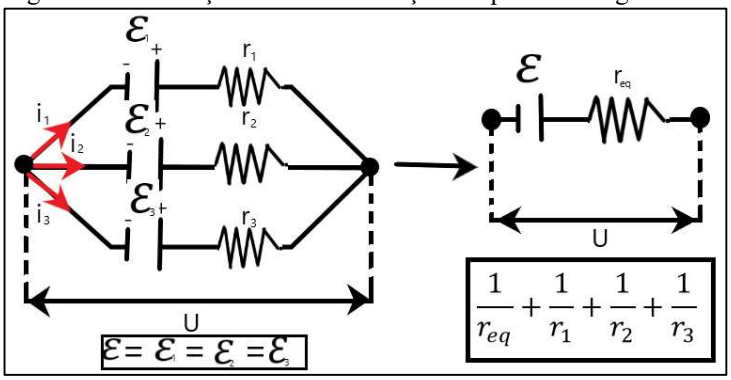
Fonte: Próprio autor.

Na associação em paralelo de geradores iguais, ocorre um aumente da potência fornecida ao circuito, devido a diminuição da resistência interna, assim pode-se afirmar que:

- A corrente elétrica é dividida entre os geradores.
- A força eletromotriz da associação de geradores, considerados idênticos, é igual à força eletromotriz da associação (XAVIER; BARRETO, 2010, p.141).

A soma do inverso de cada resistência da associação é igual ao inverso da resistência interna.

Figura 117. Ilustração de uma associação em paralelo de geradores.



Fonte: Próprio autor.

A associação em paralelo de geradores, não é muito utilizado por necessita que os geradores sejam idênticos.

1.3.16 *A interatividade com a turma*

O professor deve buscar sempre relacionar os conteúdos da aula passada com a aula que está sendo ministrada, também é importante que pequenos experimentos demonstrativos sejam levados para sala, para despertar o interesse dos alunos sobre os conceitos estudados, com o intuito de prepara-los para a experimentação do método de eletrorresistividade, quando o assunto for essencial para a compreensão do método de eletrorresistividade, o professor deve sempre relembrar do conceito e relaciona-lo com o método.

1.4 Abordagem integradora, diversificando o aprendizado

Após a aplicação do experimento de eletrorresistividade, o professor deve revisar a explicação do experimento, componente por componente, buscando sempre relacioná-los na medida do possível e

da conveniência de cada um.

O professor pode perguntar aos grupos que realizaram a experimentação sobre os valores de ddp e intensidade da corrente elétrica, sobre o que essas grandezas significam, e se é possível a partir delas, encontrar o valor da resistividade aparente do solo.

Diversos questionamentos podem ser levantados pelo docente, acerca do experimento e dos conceitos físicos que embasam o experimento, o professor docente deve aborda-los de acordo com seu planejamento e dificuldades dos discentes, em diversos graus de dificuldade.

1.5 Avaliação da sequência didática

A avaliação da sequência didática será avaliada com a aplicação do questionário pós-teste do apêndice B, nele os alunos deverão apresentar acertos significativos em relação ao questionário inicial e também sobre a aprendizagem do método de eletrorresistividade.

Apêndice A – Questionário pré-teste

Questionário Aplicado nas turmas de 3º ano do Ensino Médio de uma Escola Estadual de Ensino Médio, localizada no bairro Triângulo na cidade de Rio Branco, Acre.

8) Lembrando dos fenômenos do dia a dia que você vivencia, por exemplo como aqueles que ocorrem em momentos de chuva ou ao entrar em contato com aparelhos eletrônicos, diga quais fenômenos que você vivência no seu dia a dia, que você acredita que envolvam a eletricidade?

_____

_____

9) Marque abaixo, quais materiais você acredita que sejam condutores e quais sejam isolantes, marcando 1 para condutores e 2 para isolantes.

( ) Água mineral ( ) Ferro ( ) Ar úmido ( ) Solo
( ) Borracha ( ) Madeira ( ) Plástico ( ) Carbono

10) Lembrando que toda carga elétrica gera uma perturbação no espaço ao seu redor e que se ela pode se mover, logo esta carga elétrica possui uma grandeza associada a essa capacidade de se movimentar, assim como todo corpo ao redor da Terra possui energia potencial gravitacional de ser atraído para a Terra. De acordo com seus conhecimentos, marque todos os fenômenos que você acha que envolvam os fenômenos de campo elétrico, potencial elétrico e os processos de eletrização.

( ) Atração de um canudo com o cabelo
( ) Arrepio dos pelos dos braços ao se aproximar de uma televisão
( ) Cobertor com excesso de energia eletrostática
( ) Contato entre a mão e um corrimão metálico eletrizado

11) Lembrando dos fenômenos diários vivenciados por você, quando um fio de extensão elétrica é ligado a um aparelho elétrico, notamos que as vezes o fio aquece muito, diga com seus conhecimentos sobre o assunto, o que pode estar ocorrendo no interior do fio para que ele aqueça dessa forma.

_____

_____

12) Na grande maioria das residências domiciliares, notamos que a iluminação é feita por lâmpadas, e que algumas vezes quando elas param de funcionar, outras lâmpadas se apagam também, e notamos que em outros casos uma lâmpada para de funcionar, mas as outras que estão no mesmo cômodo não se apagam, marque todos os conceitos que você acha que estão envolvidos em relação à redes elétricas de residências.

( ) Ligação em Paralelo ( ) Potencial elétrico
( ) Ligação em serie ( ) Eletrização por contato
( ) Corrente elétrica ( ) Resistores
( ) Campo elétrico ( ) Eletrização por atrito

13) A geofísica é a ciência que estuda as propriedades físicas da Terra, nas camadas superficiais, para investigar seu interior, onde se alojam os recursos minerais (petróleo, minérios, água). De acordo com seus conhecimentos, descreva como ocorre o processo de descobrimento de petróleo, água e gás no subsolo.

_____

_____

14) Um método de analisar o solo é usar um fio com corrente elétrica e introduzi-lo no terreno através de dois eletrodos e medir as diferenças de potencial elétrico. Explique, com suas palavras, como isso é possível?

_____

_____

Apêndice B – Questionário pós-teste

Questionário a ser Aplicado nas turmas de 3º ano de uma escola Estadual de Ensino Médio, localizada no bairro Triângulo na cidade de Rio Branco, Acre.

1) Lembrando dos fenômenos do dia a dia que você vivencia, por exemplo como aqueles que ocorrem em momentos de chuva ou ao entrar em contato com aparelhos eletrônicos, diga quais fenômenos que você vivência no seu dia a dia, que você acredita que envolvam a eletricidade?

   _____

   _____

2) Marque abaixo, quais materiais você acredita que sejam condutores e quais sejam isolantes, marcando 1 para condutores e 2 para isolantes.

   ( ) Água mineral ( ) Ferro ( ) Ar úmido ( ) Solo
   ( ) Borracha ( ) Madeira ( ) Plástico ( ) Carbono

3) Lembrando que toda carga elétrica gera uma perturbação no espaço ao seu redor e que se ela pode se mover, logo esta carga elétrica possui uma grandeza associada a essa capacidade de se movimentar, assim como todo corpo ao redor da Terra possui energia potencial gravitacional de ser atraído para a Terra. De acordo com seus conhecimentos, marque todos os fenômenos que você acha que envolvam os fenômenos de campo elétrico, potencial elétrico e os processos de eletrização.

   ( ) Atração de um canudo com o cabelo
   ( ) Arrepio dos pelos dos braços ao se aproximar de uma televisão
   ( ) Cobertor com excesso de energia eletrostática
   ( ) Contato entre a mão e um corrimão metálico eletrizado
   ( ) Contato entre a mão e um corrimão metálico eletrizado
   ( ) imã de geladeira

4) Lembrando dos fenômenos diários vivenciados por você, quando um fio de extensão elétrica é ligado a um aparelho elétrico, notamos que as vezes o fio aquece muito, diga com seus conhecimentos sobre o assunto, o que pode estar ocorrendo no interior do fio para que ele aqueça dessa forma.

   _____

   _____

5) Na grande maioria das residências domiciliares, notamos que a iluminação é feita por lâmpadas, e que algumas vezes quando elas param de funcionar, outras lâmpadas se apagam também, e notamos que em outros casos uma lâmpada para de funcionar, mas as outras que estão no mesmo cômodo não se apagam, marque todos os conceitos que você acha que estão envolvidos em relação à redes elétricas de residências.

   ( ) Ligação em Paralelo ( ) Potencial elétrico
   ( ) Ligação em série ( ) Eletrização por contato
   ( ) Corrente elétrica ( ) Resistores
   ( ) Campo elétrico ( ) Eletrização por atrito

6) A geofísica é a ciência que estuda as propriedades físicas da Terra, nas camadas superficiais, para investigar seu interior, onde se alojam os recursos minerais (petróleo, minérios, água). De acordo com seus conhecimentos, descreva como ocorre o processo de descobrimento de petróleo, água e gás no subsolo.

   _____

   _____

7) Um método de analisar o solo é usar um fio com corrente elétrica e introduzi-lo no terreno através de dois eletrodos e medir as diferenças de potencial elétrico. Explique, com suas palavras, como isso é possível?

   _____

   _____

Apêndice C – Roteiro Experimental do método de eletrorresistividade

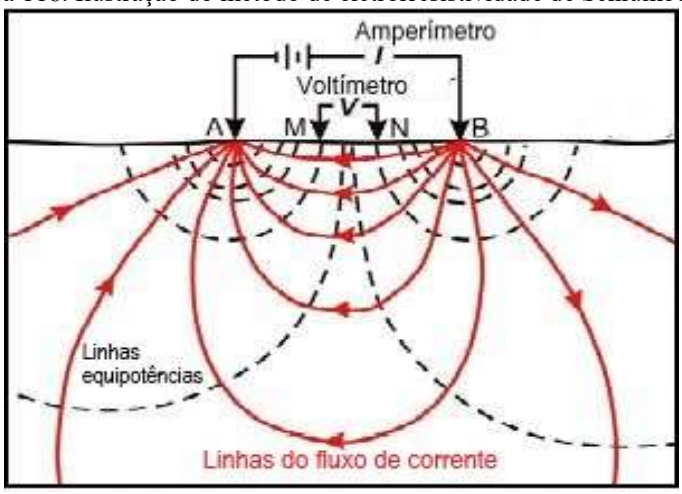
Título: Método de Eletrorresistividade no Arranjo de Schlumberger

Objetivo: Determinar a resistividade aparente do solo a partir do método de Schlumberger.

Introdução Teórica

O método de eletrorresistividade no arranjo de Schlumberger está ilustrado na figura 65.

Figura 118. Ilustração do método de eletrorresistividade de Schlumberger.



Fonte: CLARK; PAGE, 2011.

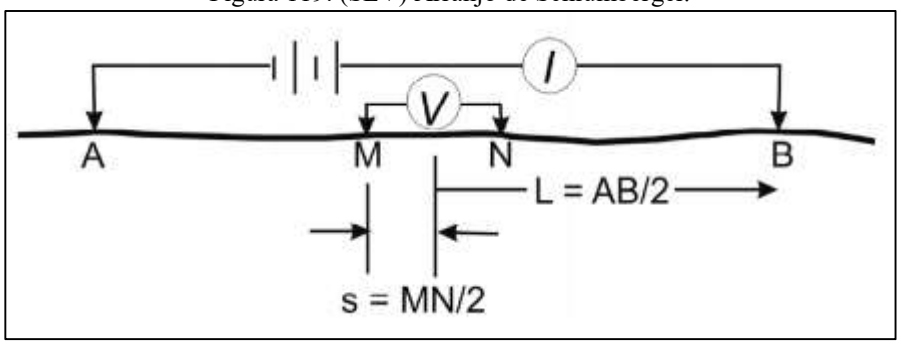
As linhas vermelhas representam as linhas do fluxo de corrente elétrica e as linhas pontilhadas pretas representam as linhas equipotenciais.

Equação parametrizada para se obter a resistividade aparente do solo para o arranjo de Schlumberger para o experimento é dada por

$$\rho_a = \frac{\pi v_m (L^2 - s^2)}{2sI}$$

Para identificação das variáveis da equação, a figura 65 apresenta todas as informações necessárias.

Figura 119. (SEV) Arranjo de Schlumberger.



Fonte: CLARK; PAGE, 2011.

Materiais:

1 Resistivímetro Caseiro

2 Multímetros

100 m de fio de cobre de 0,6 mm

10 Hastes de cobre ou alumínio

1 Marreta ou martelo

Procedimentos experimentais

Para realizar o experimento é importante realizar de forma correta os seguintes passos:

1º passo: Com o disjuntor desligado (circuito aberto) e os eletrodos (hastes de cobre) posicionados no campo de análise, os alunos responsáveis por esta etapa deverão fixar as garras nos eletrodos centrais que serem fixos para cada análise, onde serão verificadas as diferenças de potencial elétrico para cada aferição.

2º passo: Com a fonte ainda desligada e os eletrodos posicionados no campo de análise, os alunos responsáveis por esta etapa deverão fixar as garras nos eletrodos que serão utilizados para a análise da intensidade da corrente elétrica.

3º passo: Nesta etapa, o aluno responsável pela ligação da fonte de tensão elétrica do circuito irá aciona-la, ligando o disjuntor. Após isto ocorrer, o aluno responsável pelo acionamento do inversor de tensão elétrica fará o mesmo com o inversor de tensão elétrica.

4º passo: Os alunos responsáveis por esta etapa deverão ligar o amperímetro e observar se este está corretamente conectado ao circuito e se está funcionando perfeitamente, se isto ocorrer, estes devem anotar no relatório experimental em seu devido lugar, o valor da intensidade da corrente elétrica que está sendo aferido no amperímetro, se não ocorrer, o aluno responsável pelo disjuntor elétrico deve desliga-lo e deve-se voltar ao 3º passo.

5° passo: Os alunos responsáveis por esta etapa deverão analisar se o voltímetro está corretamente conectado aos eletrodos centrais fixos no solo, se assim estiverem deverão ligar o voltímetro e aferir o valor da diferença de potencial elétrico mostrado no voltímetro, se não, o aluno responsável pelo disjuntor elétrico deve desliga-lo e o 3° passo deve ser refeito.

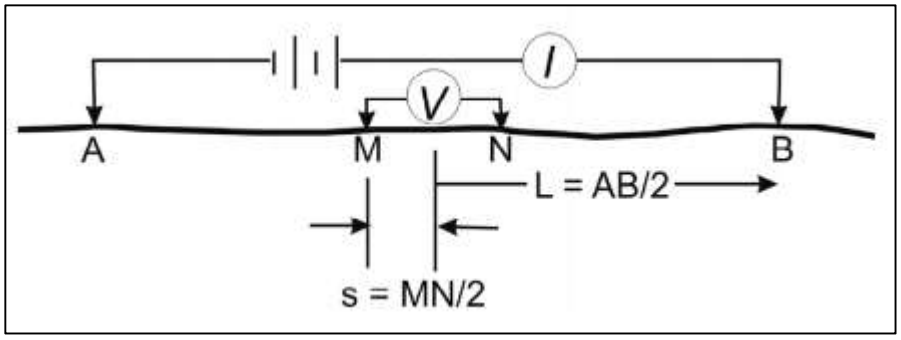
6º passo: Após os dados de intensidade da corrente elétrica e da diferença de potencial elétrico serem anotados no relatório experimental, o aluno responsável pelo inversor de tensão elétrica deverá desliga-lo e o aluno responsável pela fonte de tensão elétrica deverá fazer o mesmo, nesta sequência.

7º passo: Os passos anteriores devem ser refeitos consecutivamente até que todas as análises do experimento sejam concluídas, ao final o disjuntor elétrico deve ser desligado, chegando-se ao fim das análise.

Apêndice D – Relatório Experimental

Título: Método de eletrorresistividade no Arranjo de Schlumberger

Objetivo: Determinar a resistividade aparente do solo a partir do método de Schlumberger, de acordo com arranjo



e

$$\rho_a = \frac{\pi v_m (L^2 - s^2)}{2sI}$$

Resultados e discussões:

AB/2	**MN/2**	**V(V)**	**I(A)**	$\boldsymbol{\rho_a}$	**Medidas**
1	0,25 m				1ª
2	0,25 m				2ª
3	0,25 m				3ª
4	0,25 m				4ª

Conclusões:

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BONJORNO, José Roberto et al. **Física : eletromagnetismo, física moderna, 3° ano**. -3. ed. São Paulo: FTD. 2016, 367 p.

APRENDER ELETRICIDADE. 2018. Disponível em: http://aprendereletricidade.com/galvanometros/. Acesso em 09 de Junho de 2020.

BONJORNO, José Roberto et al. **Física : eletromagnetismo, física moderna, 3° ano**. -3. ed. São Paulo: FTD. 2016, p. 98.

BONJORNO, José Roberto et al. **Física : eletromagnetismo, física moderna, 3° ano**. 3. Ed. São Paulo: FTD, pg. 79, 2016.

BONJORNO, José Roberto et al. **Física : eletromagnetismo, física moderna, 3° ano**. 3. Ed. São Paulo: FTD, 2016.

BORTOLIN, J.R.M.; MALAGUTTI FILHO, W. **Método da eletrorresistividade aplicado no monitoramento temporal da pluma de contaminação em área de disposição de resíduos sólidos urbanos**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol. 15, n°4. Rio de Janeiro, p. 370, 2010.

BRAGA, A. C. O. **MÉTODOS DA ELETRORRESISTIVIDADE E POLARIZAÇÃO INDUZIDA APLICADOS NOS ESTUDOS DA CAPTAÇÃO E CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: UMA ABORDAGEM METODOLÓGICA E PRÁTICA**. São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 2006, 126 p.

BRAGA, A. C. O. **MÉTODOS DA ELETRORRESISTIVIDADE E POLARIZAÇÃO INDUZIDA APLICADOS NOS ESTUDOS DA CAPTAÇÃO E CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: UMA ABORDAGEM METODOLÓGICA E PRÁTICA**. São Paulo: Universidade Estadual Paulista, p. 16, 2006.

BRAGA, A. C. O. **MÉTODOS GEOELÉTRICOS APLICADOS: MÓDULO: HIDROGEOLOGIA**. Universidade Estadual Paulista. São Paulo, pg. 12, 1997.

CHAGAS, Aécio P. **OS 200 ANOS DA PILHA ELÉTRICA**. Instituto de Quimica- Universidade Estadual de Campinas: Campinas, São Paulo, 2000, 3 p.

CLARK, James A; PAGE, Richard. **Inexpensive Geophysical Instruments Supporting Groundwater Exploration in Developing Nations**. Journal of Water Resource and Protection. Wheaton, Illinois, 2011.

CLARK, James A; PAGE, Richard. **Inexpensive Geophysical Instruments Supporting Groundwater Exploration in Developing Nations.** Journal of Water Resource and Protection. Wheaton, Illinois, p.770, 2011.

ELÉCTRICAS, MEDIÇÃO DE GRANDEZAS; DO MULTÍMETRO, UTILIZAÇÃO DO OSCILOSCÓPIO E. TRABALHO PRÁTICO, pg.1, 2002.

FOGAÇA, Jennifer R. V. **Série triboelétrica**. [201?], [S.I.]. Disponível em: https://alunosonline.uol.com.br/quimica/serie-triboeletrica.html. Acesso em: 20 de abril de 2020.

FONTES, Rui. Gerador de Energia Solar: **O que é? Como Funciona?** [Guia Solar]. 2017. Disponível

em: https://blog.bluesol.com.br/gerador-de-energia-solar/. Acesso em: 05 de maio de 2020.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física, volume 3: eletromagnetismo / David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker**: **tradução André Soares de Azevedo, José Paulo Soares de Azevedo**. 6. ed. - Rio de Janeiro : LTC, 2003, 281 p.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física, volume 3: eletromagnetismo / David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker**: **tradução Ronaldo Sérgio de Biasi**. 10. ed. - Rio de Janeiro : LTC. pg. 667, 2016.

HELERBROCK, Rafael. **"Charles Coulomb"; Brasil Escola**. Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/fisica/charles-coulomb.htm. Acesso em 22 de abril de 2020. (Adaptado pelo autor).

HELERBROCK, Rafael. **"Linhas de força"; Brasil Escola**. Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/fisica/linhas-forca.htm. Acesso em 24 de abril de 2020.

HELERBROCK, Rafael. **"O que é capacitor?"; Brasil Escola**. Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-capacitor.htm. Acesso em 04 de maio de 2020.Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-capacitor.htm.

HERRERA C, Esteban de Jesús. **Modelo Atômico de Bohr**. 2015 Disponível em: http://modeloatomicobohrhc.blogspot.com/2015/02/en-memoria-de-niels-bohr.html. Acesso em: 20 de Abril de 2020. (Adaptado pelo autor).

KWIZERA, Christelle et al. **Inexpensive Resistivity Instruments for Groundwater Exploration: Experiences of African National Geophysical Teams**. 7th RWSN Forum "Water for Everyonde". Abidjan, 2016.

KWIZERA, Christelle et al. **Inexpensive Resistivity Instruments for Groundwater Exploration: Experiences of African National Geophysical Teams**. 7th RWSN Forum "Water for Everyonde". Abidjan, p.2, 2016. (Adaptada para o circuito utilizado no trabalho).

MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz; GUIMARÃES, Carla. **Física: contexto e aplicações: ensino médio/Antônio Máximo Ribeiro da Luz, Beatriz Alvarenga Álvarez, Carla da Costa Guimarães**. – 2. ed. São Paulo: Scipione, 2016, 352 p.

MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz; GUIMARÃES, Carla. **Física: contexto e aplicações: ensino médio/Antônio Máximo Ribeiro da Luz, Beatriz Alvarenga Álvarez, Carla da Costa Guimarães**. – 2. ed. São Paulo: Scipione, 2016, p. 45.

OLIVA, A. et al. **Utilização do Método da eletrorresistividade na Caracterização Hidrogeológica de área de recarga do sistema Aquífero Guarani**. XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. p. 6, 2006. Disponível em: https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/viewFile/23193/15304. Acesso em: 14 de maio de 2020.

Ribeiro, D. **André-Marie Ampère**. Rev. Ciência Elem. v. 2. 2014.

SAMPAIO, José Luiz; CALÇADA, Caio Sérgio. **Universo da física , 3: ondulatória,**

eletromagnetismo, física moderna. 2. ed. São Paulo: Atual, pg. 266, 2015.

SAMPAIO, José Luiz; CALÇADA, Caio Sérgio. **Universo da física, 3: ondulatória, eletromagnetismo, física moderna/ José Luiz Sampaio, Caio Sérgio Calçada**. – 2. ed. São Paulo: Atual, 2005, 500 p. (Coleção universo da física)

SILVA, Robson W. da C. **Aplicação do método da eletrorresistividade na investigação e mapeamento da contaminação por cemitérios: o exemplo do cemitério de Vila Rezende, Piracicaba/SP**. Rev. Bras. Geof., São Paulo, v. 27, n. 1, p. 137, Mar. 2008 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102261X2009000100012&lng=en&nrm=iso>. Acesso em Maio de 2019.

TEIXEIRA, Mariana M. **Associação de geradores**. Disponível em: <https://alunosonline.uol.com.br/fisica/associacao-geradores.html>. Acesso em: Março de 2020.

TELFORD, M. **Applied geophysics/ W. M. Telford, L. P. Geldart, R. E. Sheriff**. 2 ed. Cambridge: Press Syndicate of the University of Cambridge. 1990.

URANG, J. G; AWAK E, A; BAMIDELE, A S. **Design and construction of a simple resistivity meter for resistivity measurement**. Research Journal of Physical Sciences. Calabar, South Nigeria,Vol. 6, pg.1-7, 2018.

XAVIER, Claudio; BENIGNO, Barreto. **Física aula por aula: eletromagnetismo, ondulatória, física moderna/ Claudio Xavier da Silva, Benigno Barreto Filho**. -1.ed. Luciana Keler M. Corrêa. São Paulo: FTD, 2010, 384 p. (física aula por aula; v.3)

XAVIER, Claudio; BENIGNO, Barreto. **Física aula por aula: eletromagnetismo, ondulatória, física moderna/ Claudio Xavier da Silva, Benigno Barreto Filho**. -1.ed. Luciana Keler M. Corrêa. São Paulo: FTD, 2010, p. 132. (física aula por aula; v.3)

XAVIER, Claudio; BENIGNO, Barreto**. Física aula por aula: eletromagnetismo, ondulatória, física moderna/ Claudio Xavier da Silva, Benigno Barreto Filho**. -1.ed. Luciana Keler M. Corrêa. São Paulo: FTD, 2010, p. 141. (física aula por aula; v.3)

YOUNG, Hugh D; Roger A. Freedman. **Física III, Sears e Zemansky: eletromagnetismo/ Hugh D. Young, Roger A. Freedman**; colaborador A. Lewis Ford: tradução Lucas Pilar da Silva e Daniel Vieira; revisão técnica Adir Moysés Luiz. – 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2015, 470 p.