

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UMA INTRODUÇÃO AO ENSINO DA ELETRODINÂMICA POR MEIO DE
ROTEIROS, PARA ALUNOS DO ENSINO FUNDAMENTAL II E A CONFECÇÃO
DO MANUAL DE AUXÍLIO

Rafael Ferreira Lopes

Dissertação de mestrado submetida ao programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Amazonas e do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, no curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:

Prof. Dr. Denilson da Silva Borges

Manaus - AM
Agosto de 2017

UMA INTRODUÇÃO AO ENSINO DA ELETRODINÂMICA POR MEIO DE
ROTEIROS, PARA ALUNOS DO ENSINO FUNDAMENTAL II E A CONFECÇÃO
DO MANUAL DE AUXÍLIO

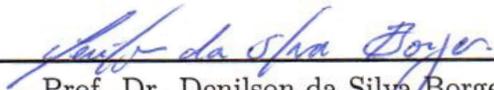
Rafael Ferreira Lopes

Orientador:

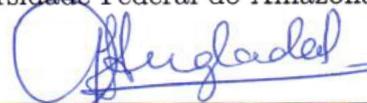
Prof. Dr. Denilson da Silva Borges

Dissertação de mestrado submetida ao programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Amazonas e do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, no curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

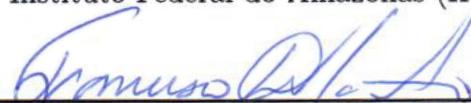
Aprovada por:



Prof. Dr. Denilson da Silva Borges
Universidade Federal do Amazonas (UFAM)



Prof. Dr. José Anglada Rivera
Instituto Federal do Amazonas (IFAM)



Prof. Dr. Francisco Dinóla Neto
Centro Universitário do Norte (UniNorte)

Manaus - AM
Agosto de 2017

L864i Lopes, Rafael Ferreira.
Uma introdução ao ensino da eletrodinâmica por meio de roteiros, para alunos do ensino fundamental II e a confecção do manual de auxílio. / Rafael Ferreira Lopes. – Manaus: IFAM, 2017.
163 f.: il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Centro, 2017.
Orientador: Prof. Dr. Denilson da Silva Borges.

1. Educação Tecnológica. 2. Física. 3. Ensino de Física I. Borges, Denilson da Silva (Orient.) II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas III. Título.

CDD 530.7

Ficha catalográfica elaborada por Márcia Auzier - CRB 11/597

Esta dissertação é dedicada ao saudoso amigo Jesus...

Agradecimentos

A Deus, que iluminou o meu caminho e me deu sabedoria para concluir este trabalho.
À minha esposa que, com muito carinho e apoio, não mediu esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida.

Aos meus pais, pelo incentivo e apoio.

À CAPES, pelo apoio financeiro através da concessão de bolsa.

A todos os professores do curso, que foram muito importantes na minha vida acadêmica e no desenvolvimento desta dissertação.

Aos Professores Dr. José Ricardo de Sousa e Dr. Márcio Gomes da Silva por idealizar o Projeto de Mestrado em Ensino de Física no Estado do Amazonas.

Finalmente, ao meu orientador Prof. Dr. Denilson da Silva Borges cuja valiosa orientação e paciência foram de suma importância para a realização desta dissertação.

“A linguagem da experiência tem mais autoridade do que qualquer raciocínio: fatos podem destruir o nosso raciocínio - o contrário, não.”
(Alessandro Volta)

Resumo

UMA INTRODUÇÃO AO ENSINO DA ELETRODINÂMICA POR MEIO DE ROTEIROS, PARA ALUNOS DO ENSINO FUNDAMENTAL II E A CONFECÇÃO DO MANUAL DE AUXÍLIO

Rafael Ferreira Lopes

Orientador:

Prof. Dr. Denilson da Silva Borges

Dissertação de mestrado submetida ao programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Amazonas e do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, no curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

O ensino da Eletrodinâmica, muitas vezes, é um dos maiores desafios para o professor de Física no ensino básico, pois fazer com que o aluno do Ensino Fundamental II imagine o mundo de forma macroscópica – o que acaba exigindo ainda mais do seu raciocínio - é infinitamente mais eficiente do que falar da forma microscópica. O professor, portanto, pode exemplificar teorias físicas como movimento uniformemente variado através de grandezas macro como um carro em funcionamento, o que será facilmente compreendido, pois o educando já tem em sua mente subsunçores que dão significados claros e precisos, diferentemente de quando ensinado a ele o movimento das cargas elétricas, posto não ser algo que presencia frequentemente.

Com o intuito de oferecer ao aluno uma forma de demonstrar a teoria da eletrodinâmica com mais clareza, propõe-se a construção de manuais desenvolvidos por meio de roteiros que abordem a temática através de textos de composição histórica, desenhos, investigação e realização de experimentos físicos capazes de demonstrar os fenômenos, o que certamente o ajudará a criar subsunçores para a aprendizagem em uma futura atividade. Ademais, o manuseio dos manuais de auxílio que foram construídos dará oportunidade ao professor de utilizar-se de tal recurso para criação de subsunçores em seus alunos. Por outro lado, os manuais, resultantes dos roteiros, têm como base metodológica a aprendizagem significativa de David Ausubel, por apresentar uma construção cognitiva de forma não-arbitrária, e sim por utilizar uma generalização existente na estrutura cognitiva, pois todos os alunos desde o primeiro ano de vida têm. Dessa forma, enquanto os alunos estão pondo a “mão na massa”, as atividades propostas estão representadas de acordo com a Taxonomia Solo de Jhon Biggs, possibilitando classificá-las em níveis de conhecimento.

Palavras-chave: Ensino de Física, Eletrodinâmica, Construtivismo.

Manaus - AM
Agosto de 2017

Abstract

AN INTRODUCTION TO ELETRODYNAMIC TEACHING BY ROUTES. FOR STUDENTS OF FUNDAMENTAL TEACHING II AND THE MANUFACTURE OF THE AID

Rafael Ferreira Lopes

Supervisor:

Prof. Dr. Denilson da Silva Borges

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Amazonas e do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

The teaching of electrodynamics is often one of the greatest challenges for the physics teacher in basic education, because to make the elementary school student imagine the world in a macroscopic way - which ends up requiring even more of his reasoning - is infinitely more efficient than speaking microscopically. The teacher, therefore, can exemplify physical theories as a uniformly varied movement through macro magnitudes such as a working car, which will be easily understood, since the student already has in his mind subsumes that give clear and precise meanings, unlike when taught to it the movement of electric charges, put is not something that often present.

In order to offer the student a way to demonstrate the theory of electrodynamics more clearly, it is proposed the construction of manuals developed through scripts that approach the subject through texts of historical composition, drawings, investigation and physical experiments able to demonstrate the phenomena, which will certainly help him to create subsuming for learning in a future activity. In addition, the handling of the aid manuals that were constructed will give the teacher the opportunity to use this resource to create subsumes in his students. On the other hand, the manuals, resulting from the scripts, are methodologically based on David Ausubel's meaningful learning, for presenting a non-arbitrary cognitive construct, but for using an existing generalization in the cognitive structure, since all students since the first year of life have. Thus, while the students are putting "hand in the mass", the proposed activities are represented according to the Soil Taxonomy of Jhon Bigss, allowing to classify them in levels of knowledge.

Keywords: Teaching physics, Electrodynamics, Constructivism.

Manaus - AM
August 2017

Lista de ilustrações

Figura 1 – Tales de Mileto	6
Figura 2 – A Terra, o grande ímã.	7
Figura 3 – Magdeburger Hemispheres	8
Figura 4 – O experimento com o corpo humano	9
Figura 5 – Eletrômetro de Abade Nollet.	11
Figura 6 – A balança de torção de Coulomb	13
Figura 7 – A pilha Voltaica	14
Figura 8 – A Rã de Luigi Galvani	15
Figura 9 – Modelo atômico de J. J. Thomson	17
Figura 10 – Feixe de partículas	18
Figura 11 – Modelo atômico de Rutherford	18
Figura 12 – Modelo atômico de Bohr	19
Figura 13 – Esquema do experimento de Thomson	21
Figura 14 – Gota de óleo de de Millikan	24
Figura 15 – Eletrização por atrito	29
Figura 16 – Eletrização por contato	30
Figura 17 – Eletrização por indução	31
Figura 18 – Atração e repulsão entre as cargas	32
Figura 19 – Cargas eletrizadas	34
Figura 20 – Corrente elétrica	43
Figura 21 – Exemplo de resistores em série	51
Figura 22 – Exemplo de resistores em paralelo	53
Figura 23 – Exemplo de associação mista de resistores	54
Figura 24 – Atividade 1	65
Figura 25 – Atividade 2	66
Figura 26 – Atividade 3	67
Figura 27 – Atividade 4	67
Figura 28 – Atividade 5	68
Figura 29 – Término das atividades	68
Figura 30 – Desenho dos circuitos	72
Figura 31 – Exercício - Objetos isolante e condutores	80
Figura 32 – Exercício - Máquina eletrostática	82
Figura 33 – Exercício - Balança de torção	87
Figura 34 – Exercício - Força elétrica entre as esferas	88
Figura 35 – Exercício - A Pilha de Volta	91

Figura 36 – Exercício - Eletrização por atrito	94
Figura 37 – Exercício - Objetos em atrito	97
Figura 38 – Exercício - Eletrização por contato	98
Figura 39 – Exercício - Esferas em contato	99
Figura 40 – Exercício - Eletrização por indução	102
Figura 41 – Exercício - Força elétrica entre as cargas	106
Figura 42 – Exercício - Campo elétrico gerado por cargas positiva e negativa	110
Figura 43 – Exercício - Cargas elétricas em movimento	116
Figura 44 – Exercício - Tipos de resistores	120
Figura 45 – O resistor e o código	124
Figura 46 – Exercício - Instalações elétricas nas cidades	125
Figura 47 – Exercício - Resistores em série	129
Figura 48 – Exercício - Resistor em série	131
Figura 49 – Exercício - Lâmpadas associadas em série	132
Figura 50 – Exercício - Resistores em paralelo	134
Figura 51 – Lâmpadas associadas em paralelo	136
Figura 52 – Exercício - Resistores em paralelo 2	138
Figura 53 – Exercício - Associação mista de resistores	139
Figura 54 – Exercício - Lâmpadas associadas em paralelo	141
Figura 55 – Exercício - Lâmpadas em circuito misto	142
Figura 56 – Exemplo do manual a ser imprimido	146
Figura 57 – Exemplo de impressão, páginas ímpares	147
Figura 58 – Exemplo de impressão, páginas pares	147
Figura 59 – Exemplo de impressão do manual 2	148
Figura 60 – Exemplo de impressão do manual 3	149

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Motivação e método de trabalho	3
1.2	Estrutura do trabalho	5
2	GENERALIDADES	6
2.1	Um breve histórico sobre a eletricidade	6
2.2	O conceito da eletrodinâmica	16
2.3	As cargas elétricas	20
2.3.1	A quantização da carga	20
2.3.2	O Experimento de Millikan	24
2.3.3	A conservação da carga elétrica	28
2.3.4	As interações entre corpos carregados com carga Q	29
2.3.5	A Lei de Gauss	37
3	CARGAS ELÉTRICA EM MOVIMENTO - ELETRODINÂMICA	40
3.1	A resistência elétrica e a lei de Ohm	44
3.1.1	O efeito Joule	45
3.2	Geradores e receptores elétricos	47
3.2.1	Geradores	47
3.2.2	Receptores	50
3.3	Resistores elétricos	51
3.3.1	Associação de resistores	51
3.3.1.1	Associação em série	51
3.3.1.2	Associação em paralelo	52
3.3.1.3	Associação mista de resistores	54
3.4	A corrente elétrica nos capacitores	54
3.5	Lei de Faraday	55
3.6	Lei de Ampère	56
4	A ELETRODINÂMICA NO ENSINO FUNDAMENTAL II	58
4.1	Proposta curricular do ensino fundamental II	58
4.2	O Método Construtivista de Ensino	59
4.3	A eletrodinâmica através de experimentos	61
4.4	O ensino com experimentos utilizando verbos de acordo com a taxinomia solo do alinhamento construtivo proposto por John Biggs	61

5	ABORDAGEM DA ELETRODINÂMICA ATRAVÉS DA CONFECÇÃO DE MANUAIS	64
5.1	A confecção dos manuais realizada pelos alunos	64
5.2	A utilização dos manuais e atividades realizadas pelos alunos	65
6	RESULTADOS	69
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO	74
	APÊNDICE B – PRODUTO - A ELETRICIDADE E SUA HISTÓRIA	76
	APÊNDICE C – PRODUTO - A ELETRICIDADE ESTÁTICA	93
	APÊNDICE D – PRODUTO - CARGAS EM MOVIMENTO	115
	APÊNDICE E – MODELO DE IMPRESSÃO	146
	Referências	150

1 Introdução

O ensino de Física nos dias de hoje tem sido um grande desafio para as escolas de Manaus, pois os professores não dispõem de espaço físico nem de instrumentos adequados para simular situações do cotidiano, inviabilizando a prática de atividade experimental. Ademais, os educadores devem cumprir um vasto conteúdo a ser ministrado em um curto período de tempo, o que acaba privando o aluno de criar uma estrutura cognitiva “organizada”, a fim de que conceitos e leis sejam assimilados de forma a servir como âncora para futuros conhecimentos e pesquisas.

Compreender a física de forma significativa requer do estudante experiências cognitivas encontradas em sala de aula e até mesmo em seu cotidiano, tendo em vista a realidade tecnológica. Segundo Moreira (Moreira, 1982), no curso da aprendizagem significativa, os conceitos que interagem com o novo conhecimento e servem de base para a atribuição de novos significados vão também se modificando em função de interação.

Em um período de constantes mudanças na educação com avanços científicos, tecnológicos e com exigências impostas pela sociedade atual, o profissional do ensino de Física deve encontrar-se apto para desempenhar a educação no século XXI e, de modo geral, elaborar mecanismos com estratégias potencialmente facilitadoras que necessariamente organizem de forma hierárquica o que deve ser absorvido, como os mapas conceituais que mapeiam a técnica significativa do ensino.

Assim, o professor deve despertar no aluno uma estrutura de aprendizagem de forma que, mais tarde, apresente evidências significativas e que requeiram a máxima transformação do conhecimento adquirido. Contudo o aluno, em sua concretização do conhecimento repassado pelo professor em sala de aula, tem encontrado algumas dificuldades.

Visando à realização de aulas teóricas e de práticas experimentais que primem pela construção do conhecimento e não pela simples realização de um conjunto de procedimentos, a presente dissertação busca propor uma estrutura didático-metodológica para a execução de atividades experimentais em física na orientação construtivista, propondo como estratégia de aprendizagem a criação de roteiros que abordem a eletrodinâmica em sala de aula ou em laboratório didático de Ciências para alunos do 6º ao 9º ano do Ensino Fundamental II.

O professor, com base em autores como Ausubel, Piaget, John Biggs e outros que se preocupam com o processo de compreensão, transformação, armazenamento e uso da informação envolvida na cognição, irá observar no aluno se houve regularidade

no processo mental e, conseqüentemente, um “amadurecimento” do que foi aprendido em sala de aula. Observar, de forma específica: o aprendizado dos conceitos básicos e estruturantes da quantidade de carga no conhecimento da eletrodinâmica; a capacidade de ilustrar corretamente a direção e o sentido em que a corrente elétrica alimenta as lâmpadas (resistores) em circuitos em série e paralelo; se é capaz de reconhecer, através do método de investigação científica, a forma em que a energia elétrica é dissipada nos circuitos; e, por fim, se o aprendiz classifica corretamente o tipo associação de lâmpadas presente nos circuitos elétricos.

A aplicação do método construtivista com o discente trará um melhor entendimento e aprimorará ainda mais o seu meio de investigação da forma como é vista a natureza, segundo seu ponto de vista, conduzindo-o a uma inserção inicial de conhecimento do fenômeno presente, a fim de que teorias e até mesmo leis da eletrodinâmica logo se tornem perceptivas. Além disso, manusear e criar experimentos auxilia os alunos na compreensão do fenômeno, como bem afirmam Quirino e Lavarda: “As aulas serão mais participativas e qualitativas, o que ajudará ainda mais na construção do conhecimento” (QUIRINO, 2010).

Dessa forma, será mostrado que o aluno terá uma melhor aprendizagem se o ensino for inicialmente proposto através de demonstrações experimentais, em seu primeiro contato com a linguagem de termos técnicos presentes nos vastos assuntos da teoria da eletrodinâmica – o que alavancará os conhecimentos, possibilitando a aprendizagem significativa e, conseqüentemente, facilitando a compreensão de novos conceitos.

Atualmente, os laboratórios são de suma importância para o desenvolvimento científico e educacional pois, no ensino de Física, é preciso dar atenção especial à discussão dos resultados e também à forma como foi realizada tal discussão. Vale ressaltar que existem muitas maneiras de levar o aluno a questionar os resultados e, se essa discussão não for trabalhada em sala de aula, deixaremos de ter resultados mais aprofundados do ensino. Por outro lado, o aluno tem que ter a possibilidade de observar tanto os acertos quanto os erros, bem como deve ser capaz de se questionar o porquê do erro para melhor compreender os acertos.

Em vista do exposto anteriormente, torna-se mister enfatizar que uma análise de resultados e de todo o processo de construção conceitual e experimental será de suma importância para melhor compreensão e objetividade do trabalho realizado, possibilitando ao aluno uma aprendizagem mais significativa e com resultados de ensino mais concretos para seu cotidiano.

1.1 Motivação e método de trabalho

Os laboratórios de física das escolas do Governo do Estado do Amazonas não estão preparados com roteiros ou manuais que auxiliem professores e alunos no manuseio e nas aplicações dos conceitos e experimentos. A utilização do laboratório ou da sala de aula para atividade experimental e conceitual no ensino da eletrodinâmica deve ser o mais pleno possível, sobretudo para as turmas do Ensino Fundamental II, visto que é conteúdo ministrado nos anos finais, na disciplina de ciências. Apesar da necessidade de plena atenção à temática e reconhecendo sua importância para os avanços tecnológicos e fenomenológicos, infelizmente, o assunto ainda é ministrado de forma muito básica.

Há muitos anos os laboratórios do ensino de ciências da rede estadual de ensino ou estão sucateados ou estão sem materiais indispensáveis para o pleno funcionamento. É importante aqui salientar que algumas atividades experimentais, para serem realizadas, exigem que professor e aluno disponham de um material que os auxilie, a fim de que se concretize a tarefa, mesmo que seja somente para observar um determinado fenômeno. Assim, criando roteiros que possam ser utilizados em sala de aula, sem a necessidade de ir ao laboratório, teremos uma alternativa a mais para que professor e aluno aprendam eletrodinâmica, conforme afirmam Cavalcante e Tavolaro:

“Se as escolas estivessem equipadas com roteiros em que auxiliasse os professores e os alunos para a análise e na montagem dos experimentos isso contribuirá ainda mais para o ensino. O método investigativo é fundamental para a criação de subsunções o que ajuda ainda mais na compreensão e aprendizagem dos alunos. Deve-se sempre demonstrar fenômenos que estão ligados ao dia a dia e instigar a investigação do aluno para a física moderna e contemporânea que facilitará sua compreensão e aprendizagem”.(Cavalcante, 2001)

O objetivo de promover o conhecimento de tópicos essenciais da física no Ensino Fundamental II é de suma importância, pois motiva ainda mais o aluno a conhecer algumas teorias e leis da natureza tão presentes no seu dia a dia, mas muitas vezes ignoradas por falta de conhecimento. Através do estudo da eletrodinâmica, o aprendiz vai conhecer princípios de funcionamento do seu celular, TV, geladeira, videogame e etc., aparelhos muito utilizados em sua casa, mas ele é desconhecedor da natureza física do desempenho de tais instrumentos. Segundo Ostermann e Cavalcanti, o que os alunos observam em seu dia a dia pode ajudar o professor no desenvolvimento de suas atividades.

“Uma vez tendo contato com algo que seja mais concreto o aluno estimulará a si mesmo a desenvolver a capacidade de compreensão e de ideias para os fenômenos e leis que estão sendo apresentados naquele momento a ele. O que nos faz concordar com Vygotsky quando ele diz que os sistemas de linguagem, e métodos que o professor utiliza têm um papel relevante”.(Ostermann, 2010)

Indubitavelmente, munindo-se as escolas de manuais que trabalhem a eletrodinâmica de forma mais concreta, ajudará o aluno não só a compreender conceitos como também a manusear e a criar experimentos, proporcionado ao professor a possibilidade de acompanhar com facilidade os alunos na aplicação experimental e no avanço da aprendizagem, bem como facilitará que ele realize uma avaliação diagnóstica do que foi proposto.

Se as atividades de experimentação em sala de aula ou nos laboratórios iniciarem no Ensino Fundamental II, especificamente no 6º ano, utilizando assuntos da eletrodinâmica, não existirá dificuldade alguma de compreensão do conteúdo ao ser abordado mais tarde, no Ensino Médio, quando o aluno irá se deparar, muitas vezes, com estes mesmos temas com fórmulas, cálculos e problemas, dando-lhes uma importância técnico-científica e modificando sua linguagem, como afirma Villani e Nascimento:

“A linguagem científica é, portanto, mais que o registro do pensamento científico. Ela possui uma estrutura particular e características específicas, indissociáveis do próprio conhecimento científico, estruturando e dando mobilidade ao próprio pensamento científico. O domínio da linguagem científica é uma competência essencial tanto para a prática da ciência quanto para o seu aprendizado [...]”.(Villani and do Nascimento, 2016)

Ao ministrar aulas de eletrodinâmica para os alunos do 3º ano do Ensino Médio, é notória a grande dificuldade deles em relacionar conceitos que estão presentes em experimentos com os materiais eletroeletrônicos, os mesmos utilizados em suas casas e na escola. Eles até sabem que a alimentação é proveniente da energia elétrica, contudo têm dificuldade de afirmar como se comportam determinados tipos de eletricidade, em outras situações. Então, nós professores, temos que recorrer a uma demonstração com menos matemática e ir em busca de algo que melhor represente a situação de forma concreta ao aluno.

Diante da problemática exposta, este trabalho propõe o ensino da eletrodinâmica por meio de roteiros que serão utilizados para a criação de manuais de auxílio. Mais especificamente, o estudo constitui-se em uma forma de compreender melhor os conceitos básicos e estruturantes da quantidade de carga, no conhecimento da eletrodinâmica, visando: identificar o comportamento das cargas elétricas quando as mesmas estão em um circuito aberto e fechado; ilustrar corretamente a direção e o sentido em que a corrente elétrica alimenta as lâmpadas (resistores) em circuitos em série e paralelo; reconhecer através do método de investigação científica a forma em que a energia elétrica é dissipada nos circuitos; e, por fim, examinar, com o uso de um multímetro, as grandezas físicas presentes na corrente elétrica, na tensão e nos resistores nas associações de lâmpadas.

1.2 Estrutura do trabalho

O trabalho será dividido em forma de roteiros a serem aplicados em salas de aula aos alunos e, posteriormente, será realizada a confecção dos manuais com a utilização dos próprios roteiros. Para a aplicação dos roteiros e a confecção do manual sobre a eletrodinâmica, a pesquisa foi realizada no turno matutino, envolvendo alunos de duas turmas distintas do 6º ano do Ensino Fundamental II, em uma escola da Secretaria de Estado de Educação e Qualidade de Ensino do Amazonas (SEDUC-AM), Escola Estadual Antônio da Encarnação Filho, localizada no bairro Lírio do Vale II, zona cento oeste de Manaus.

Os roteiros serão constituídos de contextos históricos, leis e fórmulas para, mais tarde, serem realizadas as atividades experimentais e as atividades propostas, que serão preenchidas com desenhos, problemas e cálculos. Vale ressaltar que em todos os roteiros a atividade experimental será a primeira a ser realizada em grupo pelos alunos, pois o manuseio inicial e a observação fenomenológica auxiliarão na compreensão do aluno, como bem afirmam Ostermann e Moreira:

“...fenômenos físicos modernos e contemporâneos através da construção de materiais, servirão para uma melhor compreensão de situações vividas pelos estudantes, sejam de origem natural ou tecnológica”. (Ostermann, 2000)

É importante aqui frisar que, ao iniciar as atividades, na primeira aula, será aplicado um questionário a ser respondido pelo professor e pelos alunos, sobre a utilidade do laboratório e, na sequência, os primeiros roteiros serão entregues aos alunos, sob a supervisão do professor. O primeiro roteiro abrangerá, de forma introdutória, a história da eletrodinâmica através de textos e as perguntas, baseadas nos mesmos, ficarão a cargo do segundo roteiro, também entregue. Assim, com as atividades do segundo roteiro, os alunos criam subsunçores que, mais à frente, em um terceiro roteiro, farão com que a atividade experimental seja compreendida com facilidade.

Dessa forma, com as construções de experimentos em sala de aula ou em laboratório (se houver) e possibilitando um contato entre o concreto e o teórico de cada roteiro, o aluno deve descrever as situações e conceitos físicos presentes e observados por ele. Ademais, cada aula também contém a forma teórica explanada por textos, fórmulas, cálculos e exercícios, bem como está dentro do que condiz a situação-problema.

A confecção dos manuais deu-se a partir da utilização dos roteiros elaborados. Ao invés de o professor se preocupar com cada roteiro, ele terá todos os roteiros divididos em três manuais, como se pode verificar no Apêndice A, Apêndice B, Apêndice C, por meio dos quais as atividades realizadas em sala de aula serão mais objetivas e melhor planejadas.

2 Generalidades

2.1 Um breve histórico sobre a eletricidade

A história da eletricidade inicia-se há muitos anos atrás com os gregos, que notaram a existência de uma substância resinosa e heterogênea com a capacidade de atração e repulsão através da fricção. Tal propriedade, que não era comum em nenhum outro material já visto, passou a ser observada e analisada com mais afincamento por estudiosos e filósofos da época, foi denominada de âmbar (em arábico significa *Anbar*).

Com uma cor amarelada, por muitos anos o âmbar também foi conhecido como *karabe*, nome dado por derivação oriental que significa “que atrai palha”. Um filósofo grego que analisou as propriedades desse material foi Tales de Mileto, por volta de 640 - 546 a.C. Ele estudou substâncias com as mesmas características que o âmbar apresentava no ato da fricção, como pelos de animais. Tales de Mileto que, além de filósofo era matemático, engenheiro e astrônomo, passou a chamar essa pedra de *elektron*, que significa eletricidade. O referido estudioso (Figura 1) é apontado como um dos mais sábios da Grécia Antiga, pois se esforçava não só em explicar como também exemplificar a vida na natureza e no mundo de forma única, o que favoreceu a evolução filosófica daquela época. (Boss and Caluzi, 2007)

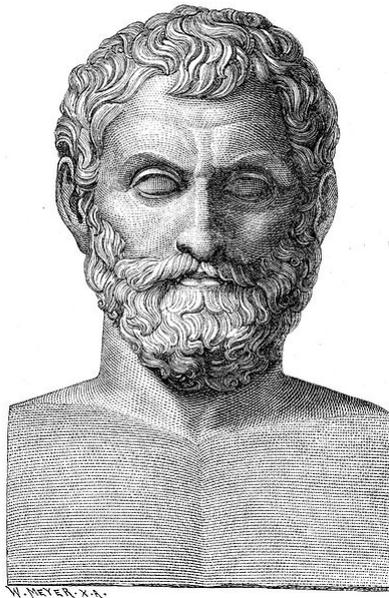


Figura 1 – Tales de Mileto
Busto de Tales de Mileto (639 ou 624 - 547 a.C.). Fonte: Extraído de (Wallis, 1875, p. 297)

Na Idade Média, o médico da Rainha Elisabeth I, William Gilbert (1540 - 1603),

que separava seus estudos de eletricidade e magnetismo, introduziu importantes conceitos na Física por meio de suas pesquisas sobre a eletricidade estática - força elétrica, atração elétrica e, no magnetismo, polo magnético. Utilizando o âmbar em suas análises, passou a chamá-lo de “eletricidade”, pois sempre argumentava que seus métodos de fricção em “corpos” constantemente apresentavam a eletricidade e, muitos desses “testes”, foram experimentados para uma melhor compreensão dos fenômenos físicos que estavam ocorrendo. Gilbert mostrou que o efeito elétrico em corpos não é restrito ao âmbar, mas a muitas outras substâncias que podem ser carregadas eletricamente ao serem atritadas.

Um dos importantes experimentos de William Gilbert foi a utilização de um frasco de vidro com uma tampa de cortiça perfurada por um fio de cobre em forma de L e uma esfera de metal em uma extremidade. No fio, colocou uma pequena folha fina de ouro que, quando ele trouxe elementos carregados quando esfregados, as extremidades da folha se separaram ao encontrar-se carregada com a mesma carga, fazendo com que repelisses nas extremidades, o que podia fazer com que o material fosse carregado ou não - origem do nome de condutores e isoladores ao qual chamou de eletroscópio. Seu maior trabalho, porém, foi *De Magnete*, que relacionava a eletricidade e o magnetismo cujo título completo era *De Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure: Physiologia Nova*, que fala sobre fenômenos elétricos e magnéticos como a ação do ímã e os corpos magnéticos, conseguindo explicar também a direção norte-sul da agulha magnética e sua inclinação, bem como definir o eixo de um ímã e as linhas de força do grande ímã, a Terra (Figura 2).

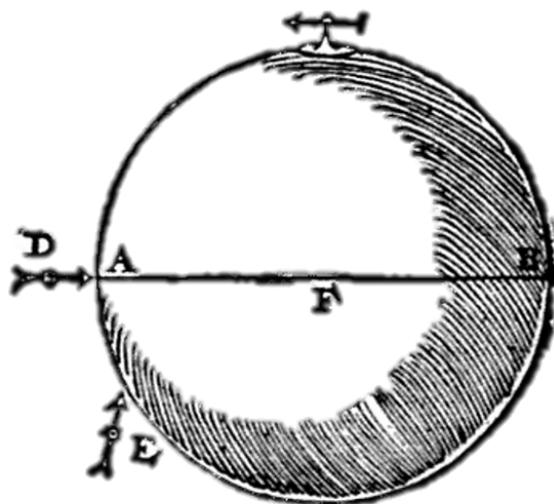


Figura 2 – A Terra, o grande ímã.

No topo da pedra AB é ajustado um versório de tal maneira que seu ponteiro possa permanecer em equilíbrio, na qual temos A e B para os polos, e F no centro. Se movermos para os pontos D ou E o ponteiro se moverá. Fonte: Extraído de (Gilbert, 1958).

Assim, “De Magnete” veio a influenciar diversos cientistas e pensadores da época, tais como o francês René Descartes (1596 - 1650), o inglês Francis Bacon (1561 - 1626) e o italiano Galileu Galilei (1564 - 1642). A mudança da prática científica à vista do mundo atingiria seu ápice na segunda metade do século XVII, com o inglês Isaac Newton (1642 - 1727) e, na Europa, o livro influenciou diversos autores, em especial Kepler e Galileu, mas este último fez críticas à falta de medidas e observações quantitativas na obra. Em seu livro Diálogo sobre dois grandes sistemas, o cientista italiano escreveu: “Tenho o maior respeito, admiração e inveja desse autor, que criou tão estupendo conceito em relação a um objeto que tantos homens de esplêndido intelecto manipularam sem dar a devida atenção [...]. O que eu desejaria para Gilbert é que ele tivesse sido mais matemático, especialmente com um forte fundamento em geometria, uma disciplina que o tornaria menos precipitado ao aceitar como provas rigorosas as razões que apresenta como verae causa e [causas verdadeiras] para as conclusões corretas às quais chegou.”(Guimarães, 2000)

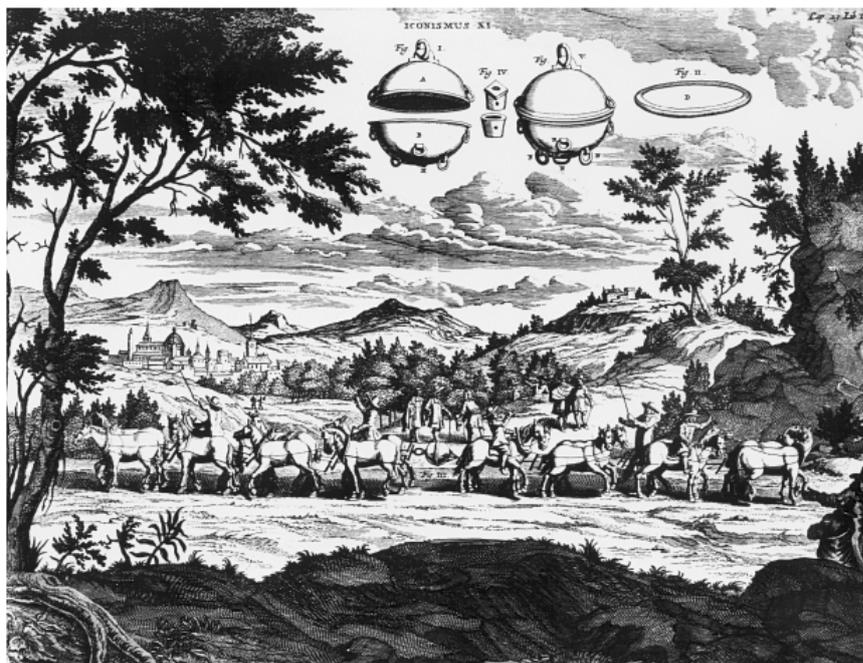


Figura 3 – Magdeburger Hemispheres

Experiência com hemisférios de Otto von Guericke, tirado de uma gravura de P. Gasparis. Nürnberg, 1664). Fonte: Extraído de (Marquardt, 1999).

Por sua vez, o inventor da máquina eletrostática Otto Von Guericke (1602 - 1686), que também defendeu a ideia da existência do vácuo, realizou trabalhos com esferas maciças, ocas e semiesferas. Em um de seus trabalhos com uma esfera oca partida ao meio e depois unida de tal forma que em seu interior o ar seja totalmente removido, provou que seus hemisférios permaneciam unidos e que seria praticamente impossível separá-los mas, contraditoriamente, foram necessários 16 cavalos para separá-los (Figura 3). Produzindo

vácuo através de um aparato experimental que ele mesmo inventara, demonstra que o ar possui massa e a existência da pressão atmosférica que hoje afirmamos ser a força exercida por uma coluna de ar sobre a unidade de área. (Marquardt, 1999)

Guericke, como era chamado, observou que uma esfera de enxofre se eletriza através do atrito manual contínuo, com a mão do operador coberta por uma “luva” de lã e, a partir daí, passará a manifestar propriedades elétricas de atração e de repulsão – na ocasião, verificou ainda a possibilidade de a eletricidade passar de um corpo para o outro por contato. Por outro lado, não existe uma evidência constando que ele elaborou uma teoria para explicar os fenômenos observados, pois o mesmo acreditava no comportamento dos corpos como sendo detentores de certas “virtudes”.

Estudos importantes sobre a condução da eletricidade e seus isolantes foram feitos por Stephan Gray (1670 - 1736), utilizando um experimento com a ideia análoga à de Otto Guericke e modificando a esfera de enxofre por uma de vidro, que mais tarde seria substituída por um tubo de vidro; atritando-o, observou, ao aproximar uma penugem ou algum outro objeto, a ocorrência de um movimento oscilatório entre o objeto e o vidro atritado, fato que o levou a usar também outros materiais como tecidos, linhas, pedaços de madeira, entre outros (Figura 4), possibilitando-lhe anotar quais destes eram atraídos e apresentavam eletricidade. Dessa forma, dá-se início à possibilidade da transmissão da eletricidade através dos corpos, como os tubos de vidro.

O estudioso Gray correlacionava a eletricidade com virtude elétrica e com suas contínuas observações à transmissão de eletricidade horizontalmente ao longo das paredes do seu laboratório. Para aprofundar suas experiências, pediu a colaboração do seu amigo Wheler e, juntos, dispuseram canas ao longo das paredes do laboratório suspensas por fitas de seda, conseguindo assim transmitir eletricidade a uma distância de cerca de 90m.

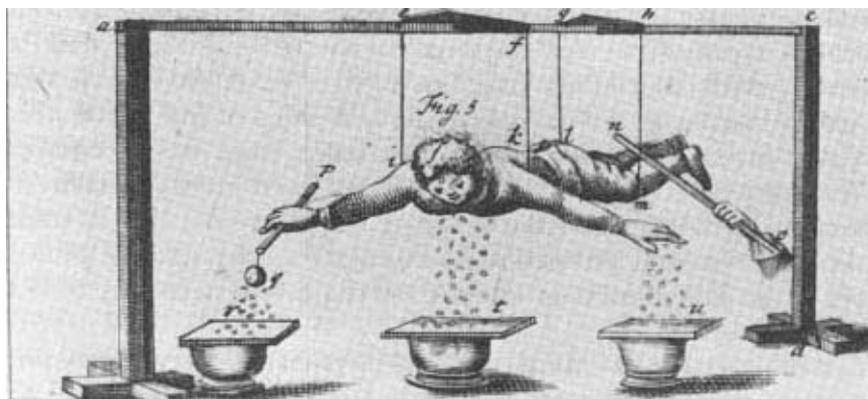


Figura 4 – O experimento com o corpo humano

Uma experiência famosa para mostrar que o corpo humano é condutor. Pendurou um rapaz por fios de seda, ligou-o a uma máquina eletrostática e verificou que o corpo dele atraía materiais leves. Fonte: Extraído de (Boss et al., 2012).

Por conta de sua experiência com suspensão utilizando fio de latão, Gray obteve importante descoberta da diferença entre os corpos condutores e não condutores de eletricidade e afirma que um fio metálico, qualquer que fosse a sua grossura, deixava sempre escapar a eletricidade, pois era da natureza do objeto, diferentemente da seda cuja natureza não o permitia. Mais tarde, levaria também a transportar eletricidade por cargas induzidas, fazendo com que a eletricidade fosse transportada sem contato direto do tubo com a linha, atritando o tubo em uma sessão anterior e aproximando com a linha de comunicação.

O assistente e divulgador de Isaac Newton, Jean Theophilus Desaguliers (1683 - 1744), mais conhecido como John Theophilus, foi um dos filósofos estudiosos das propriedades a apresentar a eletricidade logo após a morte de Stephan Gray, e acabou recebendo em 1741 a sua terceira Medalha Copley, por conta de seus experimentos dedicados à descoberta das propriedades da eletricidade da Royal Society. Foi John Theophilus que, realizando seus experimentos, passou a chamar de condutores a falta de condução de eletricidade de não elétricos e para os que conduziam eletricidade.(Soares, 2016)

Charles François de Cisternay du Fay (1698 - 1739), estudando fenômenos da eletricidade, escreve uma carta e envia a Royal Society, que a publica em 1735, afirmando que corpos igualmente eletrizados se repelem e que se atraem, se postos em contato com um não eletrizado. Aprofundando seus estudos, utilizou diversos materiais e observou que um fio de barbante seco era isolante, enquanto que o barbante úmido era condutor. Ademais, nomeou os materiais de referência, por vítrea, correspondente a hoje como carga positiva, e a resinosa, a forma negativa da carga elétrica.

“[...] e isto me fez pensar que estes corpos tornaram-se elétricos quando aproximados do tubo, e que então eles também atraíam a penugem ou a folha de ouro, e que assim ele era ainda atraído ou pelo tubo ou pelo corpo vizinho, mas que não haveria jamais uma repulsão real”.(Du Fay et al., 1733)

Em uma de suas atividades experimentais, Du Fay buscava uma forma de medir o tempo que leva um corpo a perder sua virtude elétrica. Então ele utilizou uma vara fina de ferro e um fio fino de linho dobrado em dois, de tal forma que as duas metades prendiam-se paralelamente uma à outra. Quando o ferro era eletrizado, os fios separavam-se e, depois, quando se provocava a descarga da vara de ferro, os dois fios voltavam à situação inicial, unindo-se. Existem relatos de que pendurou a si próprio em linhas de seda, quando refez o experimento em que Stephan Gray pendurou um garoto para observar a presença de eletricidade, enquanto atritava alguns materiais, analisando se as cores, os tipos de metais, a água e outras formas de tubos de vidro influenciavam na forma de eletrização.

Outro pesquisador e filósofo da época foi o físico francês Abade Jean-Antoine Nollet (1700 - 1770), professor de física experimental em Colégio de Navarra na Espanha e criador

do eletroscópio com folhas de ouro que, com sua necessidade de encontrar explicações para fenômenos que ocorriam resultantes da eletricidade, estudou formas que o possibilitasse medir o fluido elétrico, na época fundamentado como uma “virtude elétrica” dos corpos. Ele supôs também que esse fluido presente em um material dielétrico, quando excitado por fricção, parte dele escapava de seus poros. Assim, pretendendo medir a carga elétrica que estava presente nos corpos, ele criou o *Electrômetro*, com o intuito não só de medir a carga elétrica como também de detectá-la. O espectrômetro de Abade Nollet foi construído utilizando uma tela que continha uma escala capaz de fazer medidas em ângulo. (Figura 5)

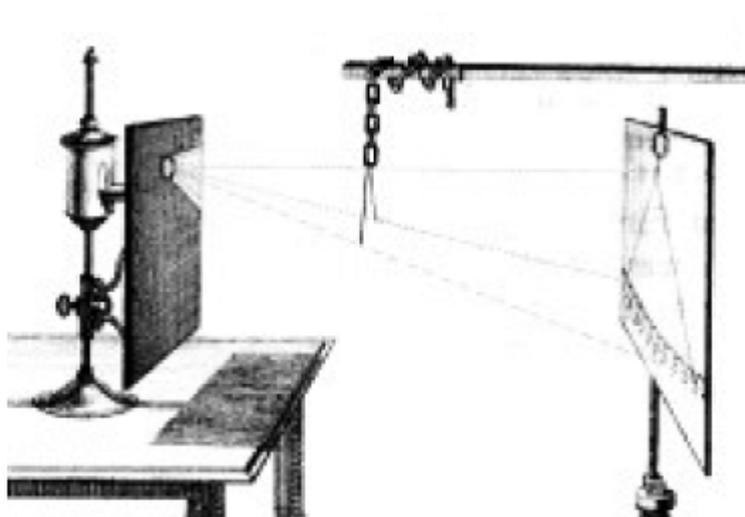


Figura 5 – Eletrômetro de Abade Nollet.

Uma lâmpada iluminava os fios e projetava suas sombras sobre uma tela graduada na qual se podia ler o ângulo de abertura dos fios. Fonte: Extraído de (Guedes, 2000).

Consistia o Eletrômetro de Nollet em dois fios finos (de linho) suspensos de uma corrente metálica (condutor elétrico) no interior do feixe luminoso de uma vela acesa. A sombra dos fios era projetada sobre uma tela onde estava impressa uma escala que permitia medir (em graus) o ângulo de abertura dos fios. A utilização desse instrumento fazia-se colocando a corrente metálica condutora em contato com um corpo eletrizado, ou uma máquina eletrostática, e visualizando na escala arbitrária da tela o afastamento provocado pela força de repulsão devido à carga elétrica dos dois fios em contato com a corrente metálica. Ele anotava os resultados e repetia o experimento sucessivas vezes, mas as medidas não eram precisas ao ponto de fornecer um valor para a carga elétrica, por isso sua ideia inicial de espectrômetro até hoje serve somente para observar a presença de eletricidade nos corpos.

Em 1747, a hipótese de que o relâmpago era um fenômeno elétrico foi defendida por Benjamin Franklin (1706 - 1790), que foi capaz de estudar a eletricidade através dos raios. Franklin, originalmente, queria testar sua teoria em cima de uma torre e isso o levou a utilizar uma pipa móvel, ao invés de uma torre estacionária, acreditando que, usando a

pipa, testaria melhor seus resultados. A pipa era comum, feita de seda e presa em uma linha que possuía uma chave de metal amarrada em sua extremidade final. Dessa forma, a pipa foi estendida para o ar por um pedaço de corda e a chave de metal ao longo da cadeia parecia conduzir a eletricidade.

Franklin propôs a hipótese de que o fio fosse chamado de “fogo elétrico” das nuvens de trovão, que passariam a ser realizadas através do aparelho e estariam contidas na chave. Ele ficou com a pipa no céu durante um bom tempo e, já desanimado, pensou em voltar outro dia mas, por acaso, a linha ficou reta e ele acreditou ser em razão da condução da eletricidade - deu-se, assim, a invenção do primeiro para-raios. Em julho de 1750 ele escreve para a Royal Society propondo um experimento que verifica a natureza elétrica dos relâmpagos:

“Para determinar esta questão, se as nuvens que contêm o relâmpago são eletrificadas ou não, eu proporei um experimento para que seja realizado em um lugar onde possa ser convenientemente testado. No topo de alguma torre ou precipício, coloque uma guarita suficientemente grande para conter uma pessoa e um suporte elétrico. No meio deste suporte, coloque uma vareta de ferro curvada para fora da porta e com uma envergadura para cima de 20 a 30 pés e deixe sua extremidade bem pontiaguda. Se o suporte elétrico for mantido limpo e seco, o homem que estiver sobre ele deverá ser eletrificado, quando uma dessas nuvens passar mais baixa e produzir faíscas enquanto a vareta atrai o fogo desta nuvem para si mesma. Se houver algum perigo ao homem (eu creio que não haverá nenhum), deixe-o em pé sobre o chão de sua caixa e de agora em diante, coloque próximo da vareta uma volta de arame com uma de suas extremidades afastadas e a outra envolvida em cera para que ele a segure; então a faísca, se a vareta estiver eletrificada, será lançada da vareta para o arame, sem afetá-lo”.(Silva and Pimentel, 2008)

De acordo com os estudos de Du Fay, Franklin estudou fenômenos elétricos produzidos pela existência de um “fluido elétrico” que estaria presente nos corpos e também utilizava a expressão para esses materiais como fluidos (vítreo e resinoso), apesar de estarem neutros. Dessa forma, não era observada a presença de eletrização, pois ele defendia que a troca de fluido entre os corpos era a mesma e, para haver eletrização, essas quantidades deveriam ser diferentes uma da outra, passando, portanto, a utilizar o termo positivo para corpos vítreo e negativo para corpos resinosos. Concluiu, então, que não existia a criação nem a destruição de cargas elétricas, mas apenas a transferência de fluidos em cada corpo no qual se deu o *princípio da conservação das cargas*. Além disso, afirmou que, quando se eletriza um corpo que possua uma cavidade, as cargas elétricas em excesso se distribuem apenas na superfície do mesmo e, em sua cavidade, não são encontradas cargas elétricas, isto é, o seu interior é eletricamente neutro.

Engenheiro de formação, Charles Augustin de Coulomb (1736 - 1806) foi principalmente físico, publicou 7 tratados sobre eletricidade e magnetismo, descreveu a interação

eletrostática entre dois corpos eletricamente carregados, inventou a balança de torção e, com seus trabalhos sobre as leis do atrito e sobre o magnetismo terrestre, foi premiado pela “Académie des Sciences”. Suas principais experiências com corpos sólidos foram realizadas com bastante rigor e dedicação às investigações, além de ter sido ele a propor leis que trariam um avanço imenso para a compreensão da eletrodinâmica.

Além do mais, Coulomb Idealizou a *balança de torção* que trata do equilíbrio de tração, para viabilizar medidas com uma grande precisão, feitas por forças pequenas – tal balança tinha um princípio parecido com o do físico e químico Henry Cavendish, estudioso da atração gravitacional. Assim, na máquina construída por Coulomb há uma haste suspensa por um fio, havendo uma esfera em cada uma de suas extremidades e, tomando outra haste com uma esfera, também eletrizada, faz a aproximação entre as duas. Em razão da força elétrica que se manifesta nesse processo, a haste que está suspensa por um fio acaba girando, provocando dessa forma uma torção no fio. Ao medir o ângulo de torção, Coulomb conseguia determinar a força entre as esferas e, após repetir várias vezes o procedimento experimental com as esferas separadas e variando a distancia entre elas, o estudioso acabou concluindo que a força elétrica era inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as duas esferas.

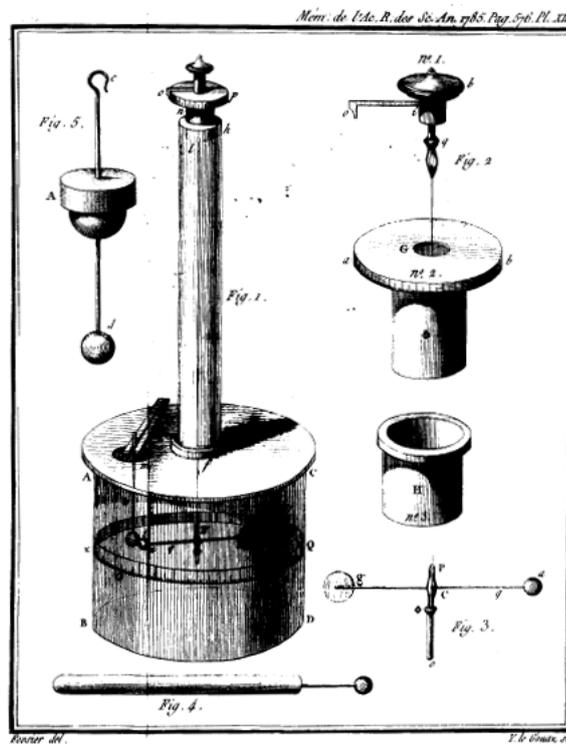


Figura 6 – A balança de torção de Coulomb
 Balança de torção de Coulomb. Fonte: Extraído de (Hartmann, 2015).

Em outras palavras, o que Coulomb enunciou foi que a intensidade da força elétrica de interação entre cargas puntiformes é diretamente proporcional ao produto dos módulos de cada carga e inversamente proporcional ao quadrado da distância que as separa.

Considerando carga elétrica puntiforme como sendo um corpo eletrizado cujas dimensões são desprezíveis, se comparadas às distâncias que o separam de outros corpos eletrizados, essas experiências realizadas por Coulomb (Figura 6) sobre os efeitos que provaram a atração e repulsão de duas cargas elétricas, permitiram-lhe verificar que a lei da atração universal de Isaac Newton também se aplicava à eletricidade.

Os estudos sobre a eletrização e sua forma de condução invadiam conceitos não só fenomenológicos presentes na natureza, como também interações químicas e biológicas passam a ser analisadas com bastante afincamento e, quando se trata de reações químicas para a produção de eletricidade, não temos como deixar de lado Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745 - 1827) que, em seus estudos para desvendar uma forma de “reter” a eletricidade de tal forma que possa utilizá-la novamente mais tarde, acabou criando a primeira pilha. Utilizando seus conhecimentos sobre a eletricidade estática e condução de eletricidade nos metais, o referido estudioso usou discos de zinco e cobre separando-os por pedaços de tecido embebidos em solução de ácido sulfúrico, com um fio condutor em suas extremidades.

Atualmente todo gerador que utiliza o processo químico como a *pilha voltaica* (pilha criada por Volta, Figura 7), é conhecido como *célula voltaica*. Entretanto, “*uma das possíveis motivações que levaram Volta à construção da pilha foram as discussões sobre a teoria de eletricidade animal proposta por Luigi Galvani. Após algumas investigações, Volta estabelece experimentalmente uma relação entre certos materiais e, posteriormente, elabora a teoria de contato em contraposição à teoria de eletricidade animal. A busca de Volta pelo entendimento da natureza de eletricidade gerada pelo seu eletromotor está diretamente relacionada com a construção da pilha*”.(Boni et al., 2007)

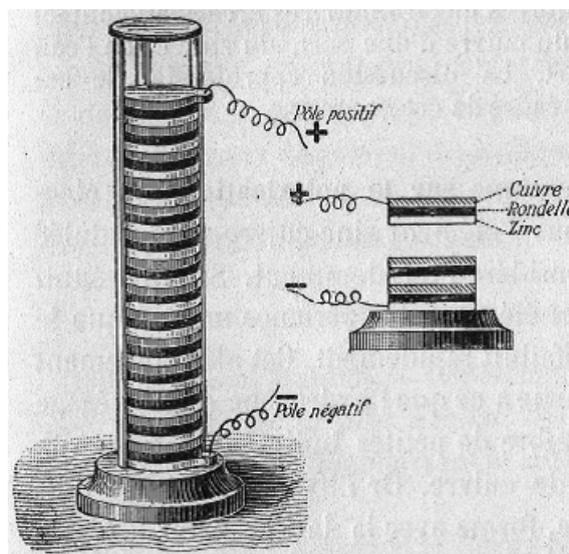


Figura 7 – A pilha Voltaica

Bateria elétrica construída por Volta. Fonte: Extraído de (de Souza Filho and Caluzi, 2009).

Em tempos atuais, tem-se o conhecimento com naturalidade da ocorrência da eletrodinâmica em animais, mas na segunda metade do século XVIII, Alessandro Volta e Luigi Galvani passaram a maior parte de seu tempo tentando desvendar a veracidade de tal ocorrência, pois Volta creditava a maior parte dos fenômenos elétricos à utilização de metais para o transporte de eletricidade, fato que observou quando dissecou rãs e utilizou de suas pernas duas placas metálicas e um fio condutor. Já Luigi Galvani creditava a ocorrência de tal evento a um “fluido animal” existente no próprio animal e, por sua vez, também utilizou rãs em seus experimentos, mas as colocava submetidas a uma forma de eletricidade que, no caso, passou a utilizar máquinas eletrostáticas em contato com os pares metálicos, o que o levou a observar a existência de contrações nas pernas das rãs (Figura 8). Atualmente, muitas escolas norte-americanas utilizam-se desse experimento como forma de ensino de ciências, mas no Brasil o método é pouco utilizado.

“Finalmente, cansado de esperar inutilmente, comecei a apertar e espremer os ganchos que estavam presos à espinha [das rãs] contra a grade de ferro, para ver se assim conseguiria estimular a contração dos músculos e se, em vez de depender das condições atmosféricas e de sua eletricidade, alguma outra mudança poderia ter influência”.(Magie, 1969)

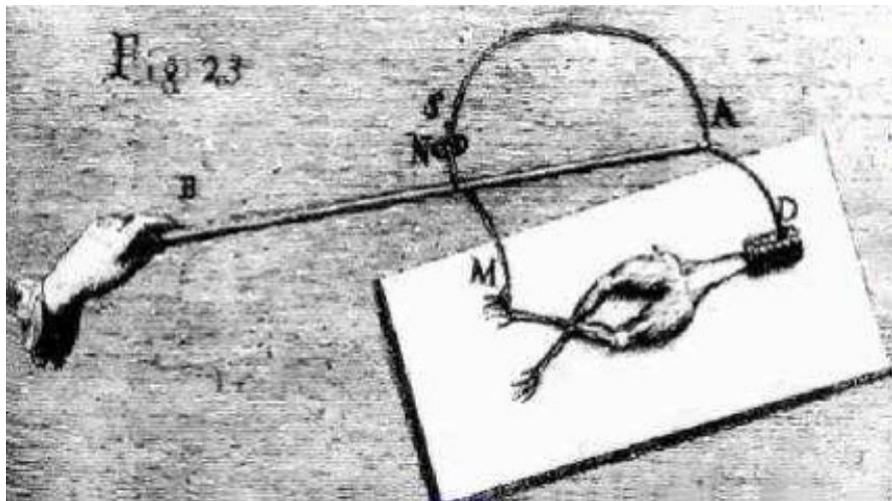


Figura 8 – A Rã de Luigi Galvani

Galvani conecta a medula da rã ao músculo da perna, utilizando condutores metálicos para obter o efeito. Fonte: Extraído de (Sabbatini, 2004).

Muito dos avanços tecnológicos da eletricidade dá-se a Michael Faraday (1791 - 1867), por seu conhecimento através de muitas leituras e pela reprodução de experimentos realizados por Hans Oersted e de Humphry Davy, dos quais era assistente. Faraday passou a compreender com mais profundidade os conceitos sobre a corrente elétrica e a produção da magnetização produzida por uma corrente, e então construiu um solenoide que transportava corrente elétrica criada por um gerador elétrico ligado em suas extremidades, introduzindo no solenoide um ímã. Quando ligou o solenoide a um Galvanômetro,

observou uma variação de corrente no momento em que fazia o movimento de introdução e retirada do ímã. Foi só anos mais tarde que conseguiu demonstrar a produção de corrente induzida em um circuito e criada por outro circuito elétrico, o que levaria à descoberta da indução eletromagnética. Assim, fez grandes descobertas e observações sobre os efeitos do magnetismo à luz polarizada em corpos diferentes, no qual aproximava pela primeira vez, à óptica do magnetismo, dois campos diferentes.

Em meio a tantos avanços científicos, as construções de máquinas elétricas eram cada vez mais possíveis de ser realizadas, gerando até mesmo a substituição de produções artesanais, quando se destacou Zénobe Gramme (1826 - 1901), que aperfeiçoou seus conhecimentos e montou seu próprio negócio.

Muitas empresas apareceram nessa década e muitos provaram suas habilidades na construção e na invenção de dispositivos elétricos, porém não podemos deixar de lembrar a invenção da luz elétrica realizada por Thomas Edison (1847 - 1931) que, depois de inúmeras tentativas, conseguiu realizar tal feito. Em 1893 é colocado no mercado o primeiro eletrodoméstico: o ferro elétrico inventado por Henry W. Seely no ano anterior - é o eletrodoméstico mais vendido do mundo, vale ressaltar.

2.2 O conceito da eletrodinâmica

A eletrodinâmica é a parte da eletricidade que estuda, analisa e observa o comportamento das cargas elétricas em movimento. À movimentação das cargas elétricas dá-se o nome de corrente elétrica, cujos exemplos existem em grande número, inclusive em nosso organismo, como as minúsculas correntes elétricas nervosas que propiciam a nossa atividade muscular na qual está presente a corrente elétrica. Então, para possibilitar a explicação de um fenômeno e até mesmo para fazer previsões, é importante conhecer os conceitos fundamentais da matéria, o que nos leva a iniciar algumas descrições do átomo.

Buscando compreender da melhor forma a natureza, primeiramente devemos lembrar que nas inúmeras tentativas de descrever o que seria e como se caracterizava o átomo, muitos cientistas criaram seus próprios “modelos”, procurando interpretar e se aproximar um pouco mais de sua complexidade. Dentre muitos cientistas, alguns se destacaram e são lembrados constantemente no ensino básico, pela descrição e pela simplicidade nas características da análise de seus modelos descritos, tais como: John Dalton, Joseph John Thomson, Ernest Rutherford e Niels Bohr.

Nos dias atuais, sabemos que é praticamente impossível descrever o átomo sem a teoria quântica. Mas, antes de qualquer afirmação, deve-se aqui frisar que modelos atômicos clássicos como o que Dalton descreveu em seu trabalho deu um passo inicial para futuros estudos. Ele idealizava o átomo como uma esfera maciça e indivisível, o

que se tornou um conceito bastante aceitável, em um primeiro momento, na ciência. Foi no final do século XIX que houve uma tentativa real de revogar essa teoria, quando Thomson conclui que o átomo não era uma esfera indivisível, através da construção de um aparato que permitia a emissão de raios catódicos e a dispersão de partículas α , uma vez que partículas negativas eram atraídas pelo polo positivo de um campo elétrico externo. (Figura 9)

“Temos assim, em primeiro lugar, uma esfera de eletricidade positiva uniforme e, dentro dessa esfera, um número de corpúsculos (elétrons) dispostos em uma série de anéis paralelos, com o número de corpúsculos em um anel variando de anel para anel: cada corpúsculo se move a alta velocidade sobre a circunferência do anel no qual está situado, e os anéis são dispostos de modo que aqueles que contêm um grande número de corpúsculo estão próximos à superfície da esfera, enquanto aqueles que há um número menor de corpúsculo estão mais no interior”. (Caruso and Oguri, 2006)

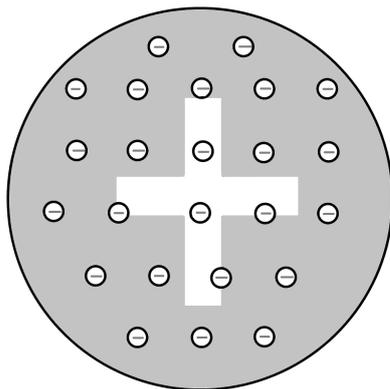


Figura 9 – Modelo atômico de J. J. Thomson

O modelo atômico de Thomson. O átomo consistia de elétrons, que estavam imerso em uma massa de carga positiva. Fonte: Disponível em: <http://timerime.com/es/evento/2137742> Acessado e modificado em mar. 2017.

Dessa forma, o modelo de Thomson não tem nada a ver com um *pudim de passas*, como muitos professores acabam afirmando a seus alunos, visto que as passas são distribuídas de forma aleatória. O modelo atômico do hidrogênio, por exemplo, era preenchido por milhares de elétrons, pois ele acreditava que a distribuição positiva das cargas não possuía massa. O que se tornou um problema foi quando a dispersão de partículas α (Figura 10) incidiram sobre uma lâmina metálica delgada, apresentando um espalhamento maior que 90° também nas direções de incidência. Assim, o elétron descrevia uma trajetória espiral diferente do que ele afirmou, o que mostrara uma instabilidade.

No início do século XX, a ideia de que o átomo se apresentava como uma esfera maciça como afirmou Dalton, também foi questionada nos experimentos realizados por Rutherford. Utilizando uma lâmina de ouro com 10^5 cm de espessura, envolvida por

uma tela de sulfeto de zinco, bombardeou com partículas α e comprovou que inúmeras partículas atravessavam pela lâmina e que pouquíssimas sofriam desvios. Dessa forma, comparando a quantidade de partículas emitidas com as desviadas, concluiu que o raio do átomo deveria ser entre 10.000 a 100.000 vezes maior que o raio do núcleo e que o restante seria preenchido por um vazio. Segundo ele, ocorreu uma reflexão pelo núcleo da lâmina de ouro ser positivo, o que possibilitou repelir as partículas alfa, que eram também positivas. As partículas que não atravessaram teriam colidido frontalmente com esses núcleos, sendo rebatidas.

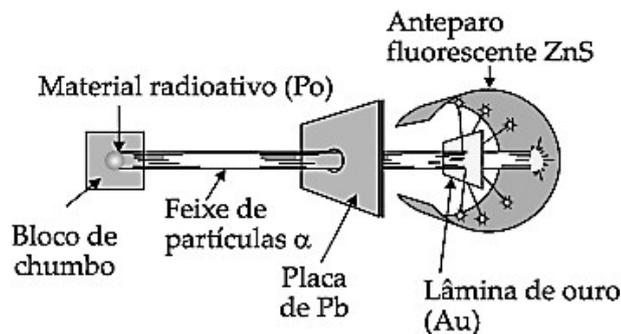


Figura 10 – Feixe de partículas

Aparato experimental utilizado por J. J. Thomson para o estudo de partículas α . Disponível em: <http://www.vestibulandoweb.com.br>. Acesso em fev. 2017.

[...] a questão da estabilidade do átomo proposto não precisa ser considerada nesse estágio, pois isso vai depender obviamente da estrutura minúscula do átomo e do movimento das partes carregadas que a constituem. (Caruso and Oguri, 2006)

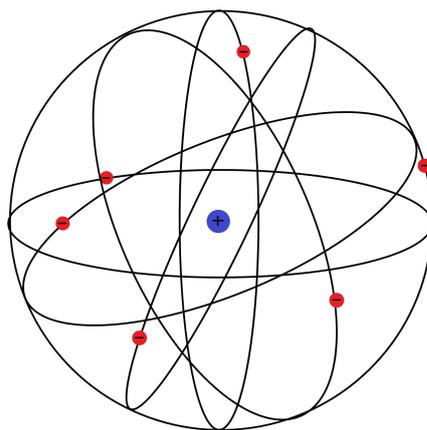


Figura 11 – Modelo atômico de Rutherford

Representação do modelo proposto por Rutherford. Cargas negativas em movimento, ao redor do núcleo. Fonte: Disponível em: <http://timerime.com/es/evento/3159677>. Acessado e modificado em mar. 2017.

Rutherford descreve o átomo como uma eletrosfera que apresenta em seu núcleo uma carga positiva e ao seu redor partículas em movimento, definidas como negativas, razão pela qual ele se neutralizasse (Figura 11). Embora esse experimento ajudasse na

compreensão de muitas reações químicas e físicas, ele ainda não estava totalmente sendo aceito pois, com o avanço da teoria quântica, a compreensão e a caracterização do átomo também tinham que ser observadas por outros conceitos.

O átomo é um dos principais conceitos utilizados para estudos e definições da teoria quântica, analisada e postulada por Niels Bohr, que trata o átomo como diferente de teorias clássicas (Figura 12). Ele não conseguia observar nem descrevê-la dessa forma, pois achava impossível ser assim, uma vez que elétrons perderiam energia e acabariam sendo atraídos pelo próprio núcleo. Então, utilizando a mesma ideia da época e baseando-se na teoria quântica proposta por Max Planck, Bohr formulou sua teoria sobre distribuição e movimento dos elétrons na descrição do átomo, descrevendo, pois, seu postulado.

- “1- Os átomos produzem as linhas espectrais uma de cada vez;
- 2 - O átomo de Rutherford oferece uma base satisfatória para os cálculos exatos dos comprimentos de onda das linhas espectrais;
- 3 - A produção dos espectros atômicos é um fenômeno quântico;
- 4 - Um simples elétron é o agente desse processo;
- 5 - Dois estados distintos do átomo estão envolvidos na produção de uma linha espectral;
- 6 - A relação $\epsilon = h\nu$, correlacionando a energia e a frequência da radiação, é válida tanto para a **emissão** como para **absorção**”.(Caruso and Oguri, 2006)

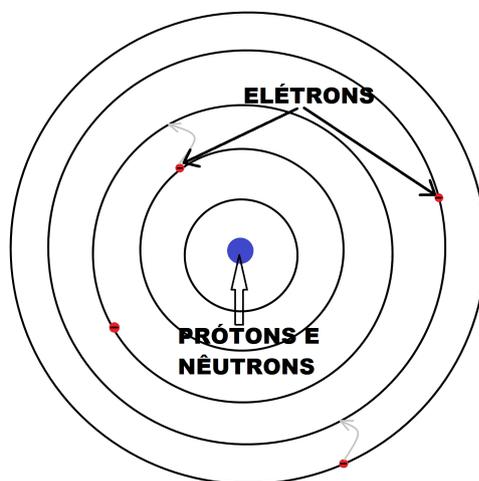


Figura 12 – Modelo atômico de Bohr

Representação do modelo do átomo de Bohr. Os prótons e nêutrons no núcleo do átomo e os elétrons se movendo entre níveis de energia. Fonte: Disponível em: <http://quimicacoma2108.blogspot.com.br>. Acessado e modificado em fev. 2017.

Atualmente, no Ensino Médio, os alunos não estudam os átomos de Rutherford e Bohr separadamente, mas sim como se fosse uma união entre as teorias Rutherford-Bohr, visando facilitar a compreensão e levá-los para um lado mais clássico do que é quântico.

2.3 As cargas elétricas

Nos modelos atômicos Thomson, a eletricidade positiva referia-se ao núcleo do átomo e comprovava a existência dos corpúsculos ao seu redor, no entanto hoje sabemos que esses corpúsculos referem-se aos elétrons. Mais tarde ele determinou, pela primeira vez, a razão carga/massa do elétron, porém somente anos depois foi comprovada a existência em um núcleo de hidrogênio - dos prótons e nêutrons -, cuja existência ficou comprovada com as experiências de J. Chadwick, em 1932. Assim, no início do século XX já era observável a emissão de radiação de algumas partículas e acreditava-se ser devido ao movimento dos elétrons.

A carga elétrica é uma propriedade fundamental da matéria que, em si mesma, possibilita a perda ou o ganho de elétrons e permite a interação da eletricidade com o magnetismo. Ela será estudada como carga elétrica e tem origem na antiguidade, geralmente atribuída aos gregos antigos pela descoberta de uma espécie de resina que tinha a capacidade de atrair pequenos corpos - em grego *Âmbar é $\acute{e}l\acute{e}ktron$* .

2.3.1 A quantização da carga

Um das tentativas de estimar a ordem de grandeza da carga elétrica foi proposta por Michael Faraday que, em um de seus estudos sobre a condução de eletricidade em soluções com pouca condutividade, propôs que todos os íons covalentes possuem a mesma carga elétrica. O que hoje é denominada como a lei de Faraday da eletrólise, a quantidade de eletricidade F , que decompõe um número de Avogadro N_A de íons monovalentes e , é descrita com a equação,

$$F = N_A e, \quad (2.1)$$

onde os valores de N_A e e na época ainda não podiam ser medidos.

Uma estimativa para os valores de N_A e e foi proposta por J. G. Stoney, em 1874, quando calcula o número de moléculas N_A em um milímetro cúbico de gás, à temperatura ambiente e pressão, a partir de dados obtidos da teoria cinética dos gases. Então propõe a magnitude do seu elétron e , a partir de dados obtidos da eletrólise e da teoria cinética dos gases encontra o valor de 10^{-20} C. O valor obtido, mais tarde ficou conhecido como Coulomb.

As primeiras provas da existência da relação carga/massa foram através da observação de *linhas espectrais* emitidas por átomos, na presença de um campo magnético, pois Pieter Zeeman, em 1896, descreve que as linhas espectrais se desdobram em três linhas muito próximas, de frequência ligeiramente diferentes, quando os átomos eram submetidos ao campo magnético - *efeito Zeeman*. Assim, a partir desse desdobramento das linhas

espectrais, o valor encontrado para relação carga/massa foi aproximadamente de $1,6 \times 10^{11}$ C/kg, valor bem próximo do que hoje é adotado, $1,759 \times 10^{11}$ C/kg.

Alguns experimentos realizados por J. J. Thomson tinham a intenção de medir direta ou indiretamente a quantidade de elétrons no átomo, mas ele já havia proposto que as cargas elétricas presentes no mesmo eram em grande número, intrigando-o mais ainda a forma como essas cargas se balanceavam. Em seus estudos, partia da ideia de que o responsável pela organização dos elétrons vinha de alguma forma da carga positiva e, no ano de 1897, Thomson descreve experimentalmente uma relação existente entre a carga e a massa do elétron.

Em seu experimento com tubos de vidro contendo gás à baixa pressão em seu interior e utilizando os raios catódicos como feixes, ele acreditava que os raios partiam do catodo, ganhavam velocidade, passavam por uma pequena abertura no anodo/colimador e atravessavam um campo magnético uniforme B , de valor conhecido, presente em volta de duas placas carregadas positivamente e negativamente - ou seja, um conjunto de espiras, região de deflexão onde os raios estão sujeitos a forças elétricas ou magnéticas, aplicadas perpendicularmente em sua direção original. (Figura 13).

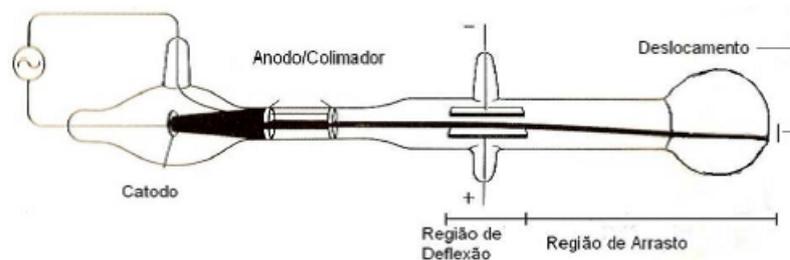


Figura 13 – Esquema do experimento de Thomson

Tubo de vidro contendo gás de baixa tensão, utilizando raios catódicos como feixes. Fonte: Extraído de (da Silva et al., 2011).

Após passar pela região de deflexão, o raio de incidência atravessa uma região de arrasto, livre de forças, onde se move com movimento retilíneo uniforme, até alcançar o fim do tubo. Na parede do final do tubo de vidro, as partículas do raio formam uma mancha luminosa e a cor do interior do tubo iluminado fica dependente das colisões de elétrons com as moléculas de gás. Apesar de suas medidas apresentarem uma grande dispersão nos resultados, podemos afirmar que Thomson foi o primeiro a supor e apresentar o elétron como parte da constituição da matéria.

Como o campo magnético é uniforme, o elétron descreve uma trajetória em hélice ao longo das linhas de força magnética, obtendo a força centrípeta de raio R . $\mathbf{a}_c = \frac{v^2}{R}$. Quando uma partícula de massa m_0 do elétron passa por um campo elétrico ele aumenta

sua velocidade. Então sujeita a uma energia potencial de

$$eU = m_0 \frac{v^2}{2}. \quad (2.2)$$

A força magnética em um fio, conhecida como Força de Lorentz, em um campo uniforme como no arranjo de bobinas de Helmholtz, o elétron fará uma trajetória em espiral ao longo das linhas de força do campo magnético, que se torna um círculo de raio R se a velocidade v for perpendicular a B . é dado por:

$$F_m = evB \sin \theta \quad (2.3)$$

Na velocidade v ortogonal ao campo magnético B , o ângulo entre eles é igual a 90° . E, como a força centrípeta do elétron de massa m_0 é igual à força magnética gerada pelo campo magnético, podemos então igualar as duas equações obtendo:

$$m_0 \frac{v^2}{R} = evB \quad (2.4)$$

$$m_0 \frac{v}{R} = eB$$

$$v = \frac{eBR}{m_0}. \quad (2.5)$$

Substituindo a velocidade v na energia potencial,

$$Ue = \frac{1}{2} m_0 \frac{e^2 B^2 R^2}{m_0^2}$$

$$U = \frac{1}{2} \frac{e B^2 R^2}{m_0}$$

$$m_0 U = \frac{1}{2} e B^2 R^2$$

$$\frac{m_0}{e} = \frac{B^2 R^2}{2U}, \quad (2.6)$$

que vamos obter,

$$\frac{e}{m_0} = \frac{2U}{B^2 R^2}. \quad (2.7)$$

Assim, através da medição dos campos E e B que realizam esta condição, permite a determinação da velocidade do feixe. Então, identificando a região de deflexão por L e a região de arrasto como A .

Temos, que a velocidade que as partículas atravessam na direção longitudinal é dada por:

$$v = \frac{E}{B}. \quad (2.8)$$

O tempo em que ele leva para atravessar a região entre as placas L (região de deflexão) é

$$t_L = \frac{L}{v_x} = L \frac{B}{E}, \quad (2.9)$$

com aceleração de,

$$a_y = \frac{eE}{m}. \quad (2.10)$$

Portanto, eles sofreriam um desvio transversal de

$$\Delta y_L = \frac{A_y t_L^2}{2} = \frac{e}{m} \frac{B^2 L^2}{2E}. \quad (2.11)$$

Ao sair da região onde atua o campo elétrico, as partículas possuíam a velocidade transversal,

$$y_L = A_y t_L = \frac{e}{m} B L. \quad (2.12)$$

Elas demoravam o tempo,

$$t_D = \frac{D}{v_x} = \frac{DB}{E}, \quad (2.13)$$

até chegar à tela, em movimento retilíneo uniforme. Portanto, durante esta segunda parte do percurso, elas sofriram o deslocamento transversal adicional

$$\Delta y_D = v_y t_D = \frac{e}{m} \frac{B^2 L D}{E}. \quad (2.14)$$

Então se somarmos, Δy_L com Δy_D , temos:

$$\Delta y = \Delta y_L + \Delta y_D \quad (2.15)$$

$$\Delta y = \frac{e}{m} \frac{B^2}{E} \left(\frac{L^2}{2} + LD \right). \quad (2.16)$$

Vê-se que, uma vez medidos os campos E e B , e sabendo-se as dimensões L e D características do tubo, é possível deduzir a razão $\frac{e}{m}$ pela determinação do desvio D_y do feixe sobre a tela.

2.3.2 O Experimento de Millikan

Robert A. Millikan, através de experimento, procura determinar o valor da carga elementar e , por meio do estudo do movimento de pequenas gotas carregadas sob a ação combinada da gravitação, do arraste do ar e de um campo elétrico vertical, além de confirmar a carga quantizada, ele encontra um novo valor para a carga elementar.

Dessa forma, temos as equações abaixo como as três forças fundamentais que agem diretamente na gota de óleo (Figura 14).

$$F_a = bv \quad (2.17)$$

$$F_g = Mg \quad (2.18)$$

$$F_e = qE \quad (2.19)$$

na qual é $b = 6\pi\eta r$ dado pela lei de Stokes. E que para obtermos o campo elétrico entre as placas, temos $E = \frac{V}{d}$, para V como potencial e d como a distância entre as placas.

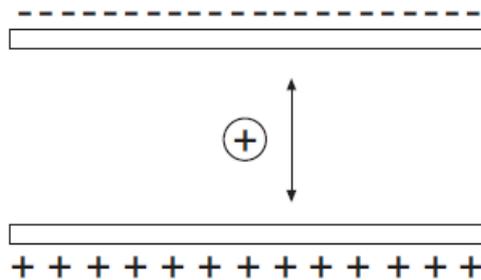


Figura 14 – Gota de óleo de de Millikan

Representação do momento em que a gota de óleo desce devido à gravidade, e sobe devido ao campo elétrico. Fonte: <http://www.geocities.ws/saladefisica9/biografias/millikan> Acessado e modificado em fev. 2017.

Podemos então representar como:

$$F_a = F_e - F_g. \quad (2.20)$$

Igualando a força de arraste no momento em que ela compensa a força peso com a massa da gota podemos ter:

$$\begin{aligned}bv &= Mg \\v_0 &= \frac{Mg}{b},\end{aligned}\tag{2.21}$$

para $v = v_0$. Substituindo a força de arraste, força peso e a força elétrica temos na equação,

$$\begin{aligned}F_a &= F_e - F_g \\bv &= F_e - F_g \\bv &= qE - Mg \\v_q &= \frac{qE - Mg}{b},\end{aligned}\tag{2.22}$$

e substituindo b por $\frac{Mg}{v_0}$ temos,

$$\begin{aligned}v_q &= \frac{qE - Mg}{\frac{Mg}{v_0}} \\v_q &= (qE - Mg) \frac{v_0}{Mg} \\v_q + v_0 &= \frac{v_0 qE}{Mg}\end{aligned}$$

$$\boxed{q = \frac{Mg}{E} \left(\frac{v_0 + v_q}{v_0} \right)}.$$

Analisando respectivamente os tempos de **descida** e de **subida**, na ausência de um campo elétrico temos o momento da descida, mas com a presença do campo elétrico é possível observar o tempo de subida, ambos a uma distancia d . Vale lembrar que, temos v_0 para a gota de óleo somente “sob ação da força gravitacional” e v_q quando a gota está também “sob a ação de um campo” E .

Supondo então que, os tempos de descida e de subida, chamando, o *tempo de descida* de t_d e para o *tempo de subida* de t_s , podemos re-escrever a **carga q** , que inicialmente está em função de v , em função de t ,

$$\begin{aligned}
q &= \frac{Mgt_d}{E} \left(\frac{t_s + t_d}{t_s} \right) \\
q &= \frac{Mgt_d}{E} \left(\frac{t_s}{t_d t_s} + \frac{1}{t_s} \right) \\
q &= \frac{Mgt_d}{E} \left(\frac{1}{t_d} + \frac{1}{t_s} \right). \tag{2.23}
\end{aligned}$$

Em seu experimento, Millikan observou sucessivas vezes o movimento da mesma gota de óleo com e sem a ação do campo, no momento em que ele interrompia o campo. Entre *subidas e descidas*, a gota era irradiada por raios α fazendo com que o tempo de subida t_s passe para t'_s , tornando-se visível a mudança na carga q entre subidas e descidas contínuas. Então, mudando o valor de q para q' , temos

$$q' = \frac{Mgt_d}{E} \left(\frac{1}{t_d} + \frac{1}{t'_s} \right). \tag{2.24}$$

Como a carga total q sendo um múltiplo inteiro da carga elementar e . Escrevemos:

$$q = ne, \tag{2.25}$$

e substituindo na equação (2.25), será escrita como:

$$\begin{aligned}
q &= \frac{Mgt_d}{E} \left(\frac{1}{t_d} + \frac{1}{t_s} \right) \\
ne &= \frac{Mgt_d}{E} \left(\frac{1}{t_d} + \frac{1}{t_s} \right) \\
\frac{eE}{Mgt_d} &= \frac{1}{n} \left(\frac{1}{t_d} + \frac{1}{t_s} \right). \tag{2.26}
\end{aligned}$$

E fazendo o mesmo com a equação (2.26). Uma carga total $q - q'$ poderá ser re-escrita na forma:

$$\begin{aligned}
q - q' &= (n - n')e \\
q - q' &= \Delta ne \tag{2.27}
\end{aligned}$$

substituindo na equação (2.26),

$$\begin{aligned}
(n - n')e &= \frac{Mgt_d}{E} \left(\frac{1}{t_d} + \frac{1}{t'_s} \right) \\
\Delta ne &= \frac{Mgt_d}{E} \left(\frac{1}{t_d} + \frac{1}{t'_s} \right) \\
\frac{eE}{Mgt_d} &= \frac{1}{\Delta n} \left(\frac{1}{t'_s} - \frac{1}{t_s} \right).
\end{aligned} \tag{2.28}$$

Assim igualando a equação (2.28) com a (2.30), temos

$$\frac{1}{n} \left(\frac{1}{t_d} + \frac{1}{t_s} \right) = \frac{1}{\Delta n} \left(\frac{1}{t'_s} - \frac{1}{t_s} \right) \equiv C \tag{2.29}$$

Se conseguirmos determinar o valor da massa M da gota, poderemos finalmente determinar o valor da carga elementar através de

$$C \equiv \frac{eE}{Mgt_d} \tag{2.30}$$

$$e = \frac{Mgt_d C}{E}. \tag{2.31}$$

Então para obter a massa M , observa-se que a mesma depende da densidade e do volume do óleo,

$$\rho = \frac{M}{V_{oleo}}. \tag{2.32}$$

Para $V_{oleo} = \frac{4}{3}\pi r^3$, então

$$\begin{aligned}
\rho &= \frac{3}{4\pi} \frac{M}{r^3} \\
M &= \frac{4\pi\rho}{3} r^3.
\end{aligned} \tag{2.33}$$

E para calcular o raio r de uma gota esférica utilizamos o teorema de Stokes. Para a força de arraste igual a força peso, como visto anteriormente. De acordo com $v_0 = \frac{Mg}{b}$ e $v_0 = \frac{L}{t_d}$ tendo $b = 6\pi\eta r$, temos:

$$\begin{aligned}
\frac{L}{t_d} &= \frac{Mg}{b} \\
\frac{L}{t_d} &= \frac{Mg}{6\pi\eta r} \\
\frac{L}{t_d} &= \frac{4\pi r^3 \rho}{3} \frac{g}{6\pi\eta r} \\
\frac{L}{t_d} &= \frac{2\rho g r^2}{9\eta} \\
r^2 &= \frac{9L\eta}{2t_d\rho g},
\end{aligned}$$

de forma que pode ser escrita como,

$$r = 3\sqrt{\frac{\eta L}{2\rho g t_d}}. \quad (2.34)$$

Por fim, foi possível determinar que as cargas sempre ocorriam em múltiplos de uma unidade fundamental e , com o valor estimado em $1,601 \times 10^{-19}$ C. O que hoje o valor utilizado é de $1,602176487 \times 10^{-19}$ C.

2.3.3 A conservação da carga elétrica

A conservação da carga elétrica é um dos princípios da física a estipular que a carga elétrica não pode ser criada ou destruída. A título de um exemplo simples, podemos afirmar que, quando atritamos dois objetos, digamos um bastão de vidro contra um pedaço de lã, o bastão de vidro adquire carga elétrica negativa porque elétrons da lã passam para o vidro. Da mesma forma, o pedaço de lã fica com carga elétrica positiva porque ele perdeu elétrons para o bastão de vidro. Entretanto, observamos que a quantidade de elétrons que passa para o bastão de vidro é precisamente igual ao que sai do pedaço de lã. Dessa forma, a carga elétrica não é nem destruída nem criada, mas apenas transferida de um corpo a outro.

Para um sistema constituído de N corpos. a carga total do sistema é dada por:

$$Q = \sum_{i=1}^N Q_i \quad (2.35)$$

$$\sum_{i=1}^N Q'_i = \sum_{i=1}^N Q_i = Q \quad (2.36)$$

Então pelo o princípio da conservação de energia afirmamos que soma algébrica de todas as cargas elétricas existentes em um sistema isolado permanece sempre constante.

2.3.4 As interações entre corpos carregados com carga Q

Como vimos inicialmente, diversos corpos foram postos em prova com intuito de estudar as propriedades de materiais presentes entre eles. Como na invenção de Otto Von Guericke que, através de uma máquina que utilizava a fricção para produzir eletricidade, Stephen Gray foi um pouco mais além porque analisou as propriedades de transmissão de um corpo para o outro, o que levou a classificá-los em dois grupos: condutores e isolantes, e Du Fay que utilizava da eletricidade vítrea para observar o comportamento dos corpos.

No entanto, podemos descrever processos importantes de eletrização, sem esquecer que foi através da eletricidade vítrea que representamos o sinal positivo (+) para o excesso de carga e sinal negativo (-) para a falta de carga. Benjamim Franklin, por sua vez, afirmou que a eletricidade partia do excesso (+) para a falta dela (-). Assim, descreveremos três processos resultantes de inúmeras tentativas de diversos estudiosos da antiguidade.

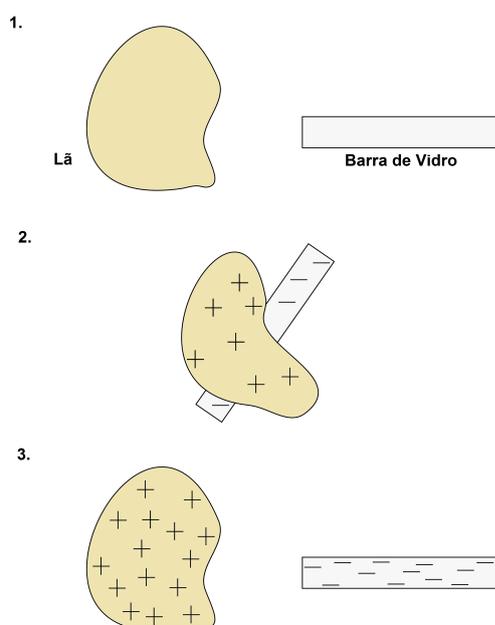


Figura 15 – Eletrização por atrito

Primeiramente a lâ e a barra de vidro estão neutro, e durante ao atrito ambos ficam eletrizados, e ao separa-los a lâ fica positivamente carregado e a barra de vidro fica negativamente carregado. Fonte: Elaborada pelo autor.

Encontrar uma forma para que as cargas fossem palpáveis no século XVIII foi um desafio, pois já eram vistas como um fluido contínuo, mas somente no século XX descobriu-se que o fluido elétrico não era contínuo, e sim quantizado, descoberta de Robert Millikan (1868 - 1953).

Classificando na forma de fricção (atrito) de contato e por indução, que são princípios da eletricidade, vamos obter resultados a serem analisados por meio da Figura 15. Iniciaremos pelo atrito pois, pela história, foi a primeira forma de observar a ocorrência da eletricidade, que consiste em obter um corpo eletrizado pela fricção de um corpo A

com outro B, como por exemplo: se friccionarmos um pedaço de lã e uma barra de vidro, haverá a passagem de elétrons do vidro para a lã e, no final do processo, ficam com sinais positivo e negativo respectivamente.

Para o processo de condução de eletricidade, geralmente é possível observar somente em corpos que contenham substâncias capazes de possibilitar tal feito, como é o caso de condutores metálicos que possuem elétrons livres, fazendo com que exista a possibilidade de eles se movimentarem livremente em suas superfícies. Então, é necessário que um corpo esteja inicialmente eletrizado para que exista a capacidade de transportar elétrons para outro corpo. Se ambos os corpos estiverem eletrizados, a troca de elétrons afetará as quantidades finais – por isso, é comum eletrizarmos um corpo que esteja eletricamente neutro.

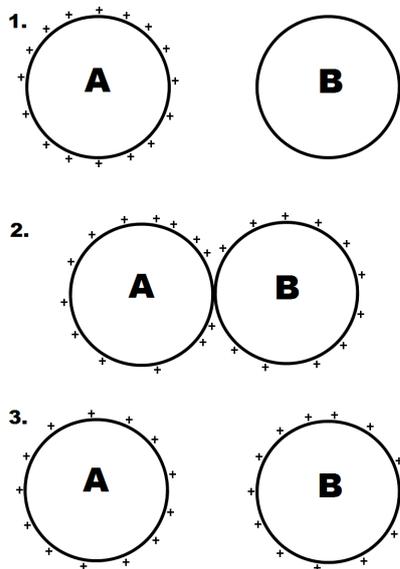


Figura 16 – Eletrização por contato

Inicialmente a esfera A está positivamente carregada e a esfera B está Neutra. Ao entrarem em contato e depois separadas, a esfera A e a esfera B ficam ambas carrega positivamente. Fonte: Elaborada pelo autor.

Se nos preocuparmos em demonstrar de forma matemática um método aproximado que represente a quantidade de elétrons transportada entre os corpos, ao final do contato, os corpos que forem postos em prova devem obedecer a alguns fatores para não influenciarem na distribuição. Como na simetria dos corpos, eles devem ser iguais nos materiais e em seus diâmetros, não permitindo assim o “efeito das pontas” entre outros. Em um caso bem particular, se esses corpos forem esféricos e idênticos, a redistribuição final das cargas faz-se com partes iguais de um todo.

Que descrevendo matematicamente, por exemplo Figura 16:

Inicialmente na região I,

temos para $A = Q$ e $B = N = \text{Neutro}$.

Durante o contato na região II,

temos $(A = Q) + (B = \text{Neutro})$.

Separadas na região III,

calculamos, $\frac{Q + N}{2}$,

e ambas por fim, ficam com cargas iguais, $A = \frac{Q}{2}$ e $B = \frac{Q}{2}$.

Esse tipo de processo é sempre realizado em dois em dois, mais de forma aleatória.

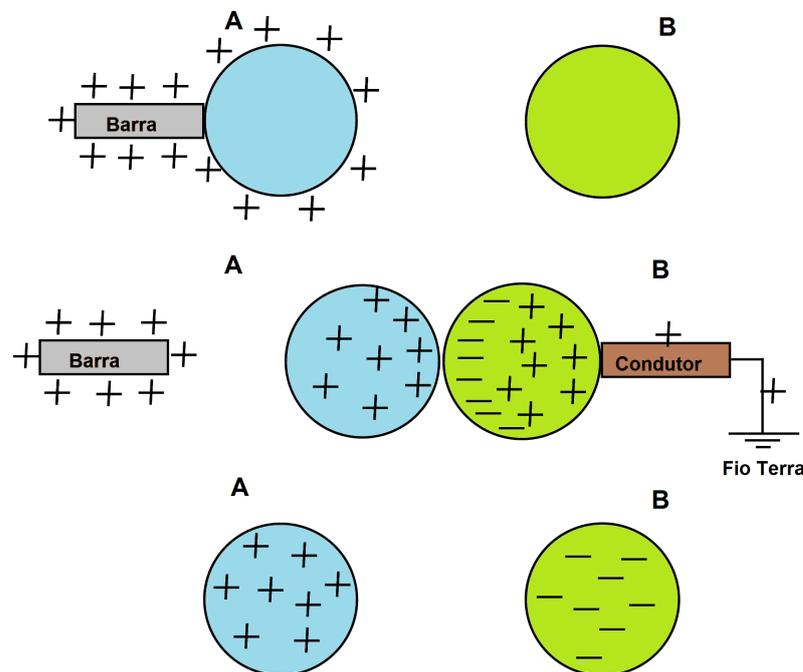


Figura 17 – Eletrização por indução

Inicialmente a esfera A é eletrizado por uma barra e a esfera B está eletricamente Neutra. Ao aproximar a esfera A da esfera B as cargas na superfície das esferas são atraídas, e ao mesmo tempo é posto em contato da esfera B um condutor ligado a Terra. E finalmente afastando as esferas A e B, ambas vão estar com cargas opostas. Fonte: Elaborada pelo autor.

Para o processo de indução elétrica, os casos em que são utilizados dois corpos de forma que um deve apresentar a eletrização e o outro deve estar neutro, os corpos necessariamente não precisam ser de um mesmo material, mas o transporte de carga não é suficiente para uma eletrização final, sendo assim necessário um terceiro agente que interaja com o corpo a ser eletrizado, para que realmente ocorra a eletrização. Esse corpo externo servirá como um fio-terra para possibilitar a passagem de cargas que foram postas em repulsão, possibilitando a eletrização do segundo corpo e, conseqüentemente, do terceiro. Iremos observar melhor como ocorre esse tipo de eletrização através do exemplo.

Aproximando um corpo negativo de um condutor neutro, provoca-se uma separação de cargas no condutor. Em ambos os casos, ao ligarmos o corpo B a um outro C,

por qualquer ponto de contato, este neutraliza em B as cargas com mesmo sinal de A, conforme Figura 17.

Nesta etapa do processo, se afastássemos o corpo eletrizado A, o corpo C descarregaria o corpo B, assim como ocorre no fio terra. Portanto, para mantermos o corpo B carregado, é preciso afastar primeiramente o corpo C e, só então, afastar o corpo A. Ao final do processo, o corpo B fica carregado com carga oposta à do corpo A.

Como foi observado no primeiro capítulo, a existência de cargas positivas e negativas em um corpo foi estabelecida por Benjamin Franklin como cargas positivas para prótons e cargas negativas para elétrons, sendo o corpo capaz de gerar campos estáticos devido a uma distribuição de cargas estáticas que, para Augustin Coulomb, só era possível através de forças resultantes de fluidos, que poderiam ser atrativa e repulsiva.

Coulomb utilizava suas ferramentas experimentais para analisar a ocorrência fenomenológica presente nos corpos e, com a construção de uma balança de torção, procurou quantizar a existência dessa força. Utilizando esferas com cargas de mesmo sinal, observou a repulsão; com as esferas com cargas de sinais diferentes, observou a repulsão recorrente (Figura 18).

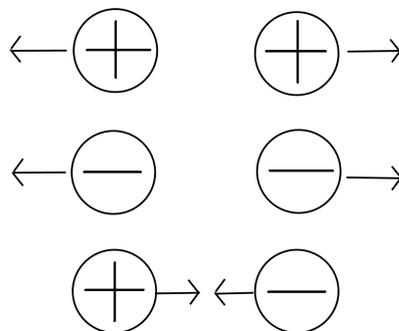


Figura 18 – Atração e repulsão entre as cargas

Representação de cargas. As de sinais iguais se atraem e as de sinais diferentes se repelem. Fonte: Elaborada pelo autor.

A força resultante no aparato experimental é devido à existência da carga em duas esferas idênticas, que podem estar carregadas tanto com sinais iguais como com sinais diferentes e, variando as distâncias entre si, a intensidade pode tanto diminuir como aumentar. Utilizando a Lei da Gravitação Universal de Isaac Newton (1642 - 1727), na qual ele postulou a existência da atração de duas massas em suas interações em módulo, temos

$$F_G = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad (2.37)$$

em que G é a constante da gravitação universal no vácuo é,

$$G = 6,675 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2 \text{ kg}^{-2} \quad (2.38)$$

que se apresenta no (SI).

Na teoria da força gravitacional, a força de repulsão não é presente, mas existe uma relação com a distância que exerce uma grande importância quando dois corpos são colocados em prova. Atualmente não se conhece o autor que a propôs pela primeira vez, no entanto foi utilizada por diversos físicos, como por exemplo, no conceito de campo elétrico apresentado por Gauss e pelo físico John Mitchell, este último afirmando que *a intensidade da força diminuía com o quadrado da distância* – embora, matematicamente, não conseguiu obter, com seus cálculos, a intensidade da atração dos corpos.

Alguns cientistas afirmavam ser impossível analisar as cargas com o mesmo comportamento das massas, pois a existência de atração em relação às mesmas era muito pequena e essa interação diferenciava-se demais. Foi somente quando Coulomb, utilizando seu experimento, observou que isso poderia ocorrer em um fluido elétrico. Então expressando matematicamente:

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{R^2}, \quad (2.39)$$

em módulo, onde k é a constante de proporcionalidade. As cargas Q_1 e Q_2 estão representadas em Coulomb (C), a distância R em metros (m), força em Newton (N) e por fim $k_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$, No qual todos devem estar representados no SI. A constante ϵ_0 é conhecida como permissividade no espaço livre (vácuo) e é representada em $\frac{\text{farads}}{\text{metro}}$. De modo que $\epsilon_0 \cong \frac{10^{-9} F}{36\pi m}$.

Então a equação pode ser escrita como,

$$\mathbf{F}_{12} = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 R^2} \mathbf{a}_{R_{12}}, \quad (2.40)$$

em que as cargas pontuais são localizadas pelo vetor posição, \mathbf{r}_1 e \mathbf{r}_2 . Para obtermos a \mathbf{F}_{12} sobre a carga Q_1 devido a interação com outra pontual Q_2 , como se observa na figura 19.

Se analisarmos um vetor unitário $\mathbf{a}_{R_{12}}$ temos,

$$\begin{aligned} \mathbf{a}_{R_{12}} &= \frac{\mathbf{R}_{12}}{R} \\ R &= |\mathbf{R}_{12}| \\ \mathbf{R}_{12} &= \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 \end{aligned}$$

então na equação,

$$\begin{aligned}\mathbf{F}_{12} &= \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 R^2} \mathbf{a}_{R_{12}} \\ \mathbf{F}_{12} &= \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 R^3} \mathbf{R}_{12}\end{aligned}\quad (2.41)$$

temos,

$$\mathbf{F}_{12} = \frac{Q_1 Q_2 (\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1)}{4\pi\epsilon_0 |\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1|^3} \quad (2.42)$$

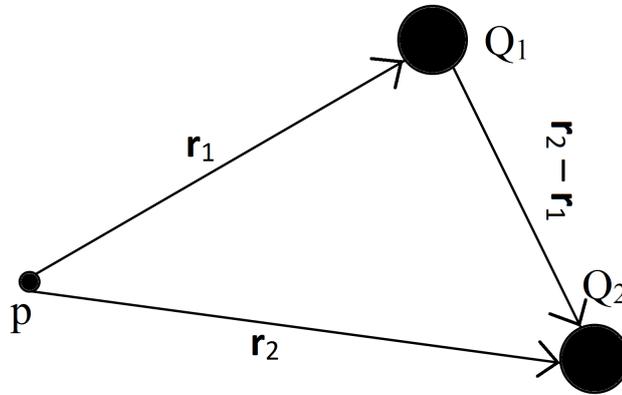


Figura 19 – Cargas eletrizadas
Distância entre duas cargas puntiformes. Fonte: Elaborada pelo autor.

Se for analisado em uma carga Q , na presença de várias outras cargas, como $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_N$, localizados no espaço cujo vetores de posição são respectivamente, $\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \mathbf{r}_3, \dots, \mathbf{r}_N$ a força resultante \mathbf{F} de encontro com Q pelo *princípio da superposição* é dado pela soma vetorial das forças exercidas sobre Q portanto,

$$\mathbf{F} = \frac{QQ_2(\mathbf{r} - \mathbf{r}_1)}{4\pi\epsilon_0 |\mathbf{r} - \mathbf{r}_1|^3} + \frac{QQ_2(\mathbf{r} - \mathbf{r}_2)}{4\pi\epsilon_0 |\mathbf{r} - \mathbf{r}_2|^3} + \dots + \frac{QQ_N(\mathbf{r} - \mathbf{r}_N)}{4\pi\epsilon_0 |\mathbf{r} - \mathbf{r}_N|^3} \quad (2.43)$$

Temos então, de uma forma geral representar a força resultante \mathbf{F} como:

$$\mathbf{F} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^N \frac{Q_i(\mathbf{r} - \mathbf{r}_i)}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_i|^3} \quad (2.44)$$

Se por exemplo uma carga puntiforme Q em um caso especial estiver sujeita somente uma carga puntiforme de prova Q_1 a uma distância r , temos a equação acima representada da forma:

$$\begin{aligned}\mathbf{F} &= \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^1 \frac{Q(\mathbf{r} - \mathbf{r}_1)}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_1|^3} \\ \mathbf{F} &= \frac{QQ_1}{4\pi\epsilon_0} \frac{(\mathbf{r} - \mathbf{r}_1)}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_1|^3}\end{aligned}\quad (2.45)$$

que em uma representação escalar no vácuo, de forma simplificada fica,

$$F = k_0 \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}, \quad (2.46)$$

para $k_0 \cong 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$.

O conceito de campo proposto por Michael Faraday foi um dos maiores conceitos introduzidos em sua história, por dar uma grande contribuição no avanço da ciência. Apesar de ter feito mais de 10 mil experimentos ao longo de sua vida, quando propôs que o campo era apresentado por *linhas de forças invisíveis dispostas no espaço*, as dificuldades de compreender a ação da força magnética, por exemplo, foram eliminadas - o que o levou a utilizar o modelo para explicar força elétrica de Coulomb.

Faraday propôs a ideia de campo imaginando que, ao espalhar limalha de ferro próximo ao ímã, a limalha se assentaria seguindo a orientação dos desvios que ligam aos dois polos do ímã. Observando o comportamento das linhas de força formadas ao redor do ímã e que saíam do polo norte, convergindo-se ao polo sul, ele imaginou uma disputa entre elas: as linhas de forças iguais eram ditas com o mesmo sentido e as que não eram iguais, ditas com sentidos contrários.

Presumiu-se então que, para ocorrer uma atração ou repulsão entre cargas elétricas, dependia-se exclusivamente da existência de um campo, pois a atração e repulsão de cargas elétricas deviam-se ao campo elétrico derivado de cargas elétricas positivas para cargas elétricas negativas. Tal dedução levou Faraday a descrever que as linhas de força elétrica saíam da carga positiva e convergia na carga positiva.

A intensidade desse campo elétrico, em um ponto, foi calculada por Carl Friedrich Gauss (1777 - 1855), que estabelece uma forma alternativa à lei de Coulomb, cuja aplicação do teorema de divergência resulta na Lei de Gauss e determina que o fluxo elétrico total através de qualquer superfície fechada é igual à carga total encerrada por essa superfície.

$$\Phi = Q_{enc} \quad (2.47)$$

onde Φ é o fluxo elétrico e a carga encerrada Q_{enc} .

$$\Phi = \oint_s d\Phi \quad (2.48)$$

$$\Phi = \oint_s \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S}. \quad (2.49)$$

A carga total se apresenta da forma:

$$Q_{enc} = \varepsilon_0 \oint_s \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} \quad (2.50)$$

$$Q_{enc} = \int_v \rho_v dv \quad (2.51)$$

Utilizando o teorema da divergência que estabelece que o fluxo total de um campo vetorial A que sai de uma superfície fechada S é igual à integral de volume da divergência de A .

$$\oint_s \mathbf{A} \cdot d\mathbf{S} = \int_v \nabla \cdot \mathbf{A} dv \quad (2.52)$$

E substituindo na equação $\Phi = Q_{enc}$.

$$\oint_s \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \int_v \nabla \cdot \mathbf{E} dv \quad (2.53)$$

O que facilmente podemos chegar, fazendo substituições:

$$\begin{aligned} \int_v \rho_v dv &= \varepsilon_0 \int_v \nabla \cdot \mathbf{E} dv \\ \rho_v &= \varepsilon_0 \nabla \cdot \mathbf{E}. \end{aligned} \quad (2.54)$$

Que é a primeira das quatro equações de Maxwell a serem determinadas.

E descrevendo a lei de Gauss para uma carga pontual.

$$\begin{aligned} Q_{enc} &= \varepsilon_0 \oint_s E \cdot dS \\ Q &= \varepsilon_0 E_r \oint_s dS \\ Q &= \varepsilon_0 E_r (4\pi r^2) \\ \mathbf{E} &= \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \mathbf{a}_r \end{aligned} \quad (2.55)$$

No qual se faz necessário utilizarmos cálculos diferencial e integral para generalizá-la. O que de forma mais simples, uma carga pontual em sua forma escalar, a lei de Gauss, no ensino fundamental pode ser escrita como:

$$\begin{aligned} \mathbf{E} &= k_0 \frac{Q}{r^2} \mathbf{a}_r \\ E &= k_0 \frac{Q}{d^2} \end{aligned} \quad (2.56)$$

onde E = campo elétrico; k = constante do meio, em que a carga pontual está localizada e $d = r$ = distância que separa a carga de um ponto qualquer. No vácuo $k_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$.

Pois há uma relação entre a força elétrica e o o campo elétrico, no qual observamos em

$$F = k_0 \frac{QQ_1}{d^2}$$

e

$$E = k_0 \frac{Q}{d^2}$$

temos,

$$\boxed{E = \frac{F}{Q}}$$

O vetor intensidade de campo elétrico E é dado pela força por unidade de carga imersa nesse campo elétrico. A intensidade de campo elétrico E está obviamente na direção da força F , e é medida em Newton/Coulomb ou em Volts/metro.

2.3.5 A Lei de Gauss

O fluxo de campo elétrico Φ é uma grandeza escalar em que consiste na passagem do campo elétrico, com movimento de modo contínuo e pode ser considerado como uma medida do número de linhas de campo em que atravessam a superfície. O fluxo do campo elétrico saindo da superfície da mesma é positiva, e se há linhas de campo elétrico entrando na superfície, o fluxo é negativo.

$$\Phi = \int_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} \quad (2.57)$$

Temos $\theta < 90^\circ$, $\Phi > 0$, fluxo saindo;

Para $\theta > 90^\circ$, $\Phi < 0$, fluxo entrando;

Para $\theta = 90^\circ$, $\Phi = 0$, sem fluxo.

O fluxo de um campo vetorial constante perpendicular a uma superfície A é definido como,

$$\begin{aligned} \Phi &= \int_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} \\ \Phi &= EA \cos\theta \\ \Phi &= EA. \end{aligned} \quad (2.58)$$

O Fluxo mede o quanto o campo atravessa a superfície, o que relaciona os valores do campo elétrico em pontos de uma superfície (gaussiana) com a carga total dentro da superfície. Como a Lei de Gauss relaciona o fluxo elétrico através de uma superfície fechada, então considere uma carga pontual cujo o campo elétrico esteja a uma distância r dado pela Lei de Coulomb. Considere o fluxo Φ atravessando uma superfície Gaussiana esférica de raio r e centro da carga temos,

$$\begin{aligned}
 \Phi &= \oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} \\
 \Phi &= \oint_S E \cdot dA \cos\theta \\
 \Phi &= E \oint_S dA \\
 \Phi &= EA \\
 \Phi &= \left(\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \right) (4\pi r^2) \\
 \Phi &= \frac{Q}{\epsilon_0}.
 \end{aligned} \tag{2.59}$$

Podemos afirmar, em outras palavras, que a lei de Gauss relaciona os campos elétricos em pontos sobre uma superfície gaussiana (fechada) com a carga resultante envolta por essa superfície. Matematicamente, a lei de Gauss é representada pela equação:

$$\oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \frac{Q}{\epsilon_0}. \tag{2.60}$$

Que pela equação (2.53) e pelo teorema da equação (2.55), Escrevendo a Lei de Gauss, também na forma diferencial,

$$\begin{aligned}
 \int_V (\nabla \cdot \mathbf{E}) dV &= \frac{Q}{\epsilon_0} \\
 \int_V (\nabla \cdot \mathbf{E}) dV &= \frac{1}{\epsilon_0} \int_V \rho dV \\
 (\nabla \cdot E) \int_V dV &= \frac{1}{\epsilon_0} \rho \int_V dV \\
 \nabla \cdot E &= \frac{\rho}{\epsilon_0}.
 \end{aligned} \tag{2.61}$$

Existe uma relação entre a Lei de Gauss e a Lei de Coulomb. Como uma é equivalente da outra, podendo deduzir a lei de Coulomb através da lei de Gauss.

$$\begin{aligned}\oint_S E dA &= \frac{Q}{\varepsilon_0} \\ E \oint_S dA &= \frac{Q}{\varepsilon_0} \\ EA &= \frac{Q}{\varepsilon_0} \\ E(4\pi r^2) &= \frac{Q}{\varepsilon_0} \\ E &= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q}{r^2}.\end{aligned}\tag{2.62}$$

o que demonstra exatamente a equação do campo elétrico para uma carga puntiforme, devido a Lei de Gauss.

3 Cargas elétrica em movimento - Eletrodinâmica

Quando a carga elétrica se movimenta, possibilita a transmissão de energia através de materiais condutores de eletricidade. Com a ocorrência desse movimento também é possível analisar o campo elétrico gerado no decorrer do mesmo, que também possibilita o aparecimento de um campo magnético, mas nesse campo os valores são bastante pequenos em comparação com o campo elétrico.

Fazer com que uma carga se movimente não é uma das atividades complicadas nos dias de hoje. Em um laboratório de física, no curso de graduação, um dos experimentos mais importantes é o de encontrar o valor exato ou aproximado da carga elementar, o que há um tempo Millikan não só idealizou como também controlou em seu laboratório: o que seria a menor carga existente, hoje chamada de elementar, carga essa presente no material e que apresenta um equilíbrio eletrostático, a não ser que exista uma influência externa.

A força eletromotriz é o nome dado a essa influência externa, quando a carga elétrica caminha através de um fio condutor em uma área de secção transversal, na qual é submetida a um campo elétrico externo constante, com orientação da esquerda para a direita. A força *fem* realiza um trabalho sobre as cargas no qual resulta em processo interno, que de alguma forma também resulta em forças internas. E ao conhecermos essa quantidade de carga *Q* presente no material em razão do tempo *t* de passagem na área de secção, podemos obtê-la.

Independente do fio, a *fem* produz em suas extremidades uma separação entre as cargas, mesmo não estando ligada a nenhum fio, chamando de *ânodo* e *cátodo* respectivamente para potencial elétrico maior e potencial elétrico menor. Orientando do ânodo para o cátodo com a existência da diferença de potencial e como a *fem* realiza o trabalho sobre as cargas, temos

$$\begin{aligned}\Delta U &= Q(V_{anodo} - V_{catodo}) \\ \Delta U &= QV\end{aligned}\tag{3.1}$$

E como o trabalho interno da fonte *fem* é

$$\Delta U = W_{fem}\tag{3.2}$$

Teremos,

$$W_{fem} = QV \quad (3.3)$$

Definindo a força eletromotriz ξ por meio de uma integral, em um circuito fechado C.

$$\xi = \oint_C \mathbf{f}_{int} \cdot d\mathbf{L} \quad (3.4)$$

$$\xi = \int_{catodo}^{anodo} \mathbf{f}_{int} \cdot d\mathbf{L} \quad (3.5)$$

e o trabalho realizado pela força interna, para transferir cargas do cátodo para o ânodo é

$$w = \int_{catodo}^{anodo} \mathbf{f}_{int} \cdot d\mathbf{L} \quad (3.6)$$

Na fonte *fem* a força total que age sobre a carga deve ser nula, força essa dada através da soma da força *fem* e da força gerada pelo campo elétrico \mathbf{E} . $\mathbf{f}_{int} + \mathbf{E}$.

$$\mathbf{f}_{int} = -E \quad (3.7)$$

$$\xi = - \int_{catodo}^{anodo} E \cdot d\mathbf{L} \quad (3.8)$$

Utilizando a segunda lei de Maxwell,

$$\begin{aligned} V_{catodo} - V_{anodo} &= - \int_{catodo}^{anodo} E \cdot d\mathbf{l} \\ V_{catodo} - V_{anodo} &= E \\ V &= E \end{aligned} \quad (3.9)$$

A diferença de potencial entre os terminais numa fonte ideal é igual em módulo a força eletromotriz.

No caso em que as cargas que passam pela fonte *fem* for negativa, a energia potencial fica,

$$\Delta U = - |Q| (V_{catodo} - V_{anodo}) \quad (3.10)$$

$$\Delta U = - |Q| (-V)$$

$$\Delta U = |Q| V \quad (3.11)$$

Dessa forma o trabalho realizado pela fonte é,

$$\Delta U = W_{fem} \quad (3.12)$$

$$W_{fem} = |Q| V, \quad (3.13)$$

temos então,

$$\xi' = - \int_{\text{catodo}}^{\text{anodo}} E \cdot d\mathbf{L} \quad (3.14)$$

Se as forças que agem nas cargas tem sentido oposto temos,

$$\xi' = -V$$

$$\xi' = \xi$$

O campo elétrico presente no fio produz uma força na carga elétrica que está no fio condutor. A fonte *fem* “empurra” as cargas por dentro dela, aumentando suas energias potenciais elétricas que, ao chamarmos de corrente elétrica por possibilitar a transmissão de energia através de cargas elétricas, essa corrente tem o mesmo sentido do campo elétrico gerado internamente (Figura 20).

No ano de 1820, Hans Oersted descobriu a passagem de uma corrente elétrica por um fio condutor, ao desviar uma agulha imantada próxima. Essa observação feita, até deveria unificar eletricidade e magnetismo, mas foi o que André Marie Ampère conseguiu provar pois, ao efetuar medidas precisas, ele descobriu que uma corrente elétrica não só cria um magnetismo que desvia uma agulha imantada, mas também é influenciada pela presença de outra corrente elétrica. Dessa forma, Ampère afirma que o magnetismo não é um fenômeno separado da eletricidade.

Dessa forma, a intensidade da corrente elétrica pode ser calculada através de um fio condutor ligado aos terminais de um gerador. No interior desse condutor há um número de elétrons N em que atravessam a seção transversal em um instante t até um instante $t + \Delta t$. Como cada carga elétrica é representado pela carga elementar e em um instante de tempo Δt , a carga total presente no fio é dado por:

O movimento uniforme dos elétrons no sentido da direita para esquerda em um fio condutor e a corrente elétrica sendo gerada por seu movimento. Fonte: (Silva, 2000). $\Delta Q = Ne$ (3.15)

Então a intensidade de corrente elétrica, por se tratar de uma vazão, em um intervalo de tempo dt . É dada por,

$$i = \frac{dQ}{dt}. \quad (3.16)$$

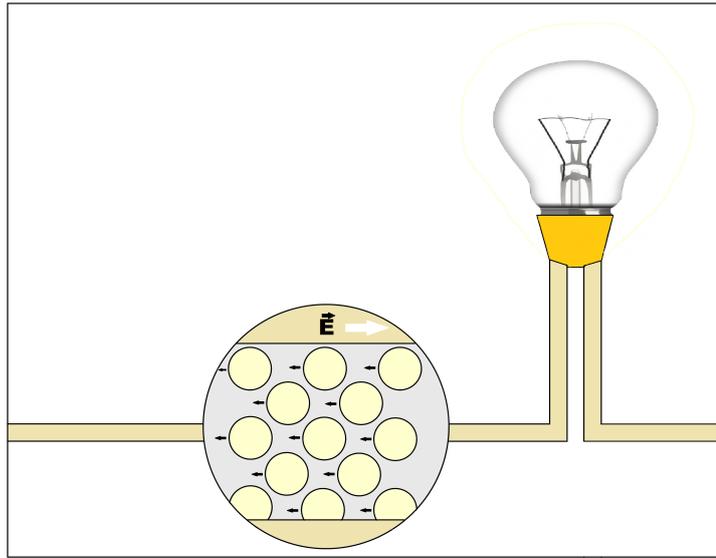


Figura 20 – Corrente elétrica

Em homenagem ao físico francês André Marie Ampère a unidade fundamental para corrente elétrica é $1A = \frac{1C}{1s}$

Então repetindo o exemplo do fio com área de seção transversal.

Temos,

$$dQ = \rho dV \quad (3.17)$$

Para $dV = AdL$, tendo A como a área de seção transversal, dV o elemento de volume e dL um elemento de extensão do fio. Obtendo $dQ = \rho AdL$

$$\begin{aligned} i &= \frac{dQ}{dt} \\ i &= \frac{\rho AdL}{dt} \\ i &= \rho A \frac{dL}{dt} \end{aligned}$$

para $\frac{dL}{dt} = \mathbf{v}$, que é a velocidade \mathbf{v} das cargas, obtemos,

$$i = \rho A \mathbf{v}. \quad (3.18)$$

Que é a corrente elétrica que passa por um fio condutor de densidade ρ e área de seção A . E é por meio do movimento das cargas elétricas de velocidade \mathbf{v} , que no fio, o surgimento do campo elétrico é possível.

3.1 A resistência elétrica e a lei de Ohm

Assim como as esferas de aço ao passarem pelo interior de um cano sofrem pela presença de atrito, fazendo com que haja uma diminuição em sua velocidade, a corrente elétrica sofre uma reação que chamamos de *resistência elétrica*. O que observamos agora é que todo material condutor, de alguma forma, apresenta uma resistência no momento da passagem de corrente elétrica e esta, por sua vez, quando passa pelo interior do material está sujeita também a uma diferença de potencial frequente. Essa diferença de potencial que será chamada de *tensão* é diretamente proporcional à corrente elétrica.

$$i = \kappa V \quad (3.19)$$

$$i = \kappa V \quad (3.20)$$

Temos κ como a *condutância* que permite ao material uma possibilidade de conduzir melhor a corrente elétrica nos materiais. Ou seja, quanto maior a condutância melhor a condução de corrente. A condutância recebeu em homenagem ao engenheiro elétrico e inventor Sir William Karl Wilhelm Von Siemens a unidade de $1S = \frac{1A}{1V}$.

Então podemos reescrever a equação, obtendo

$$\begin{aligned} i &= \kappa V \\ V &= \frac{1}{\kappa} i \end{aligned} \quad (3.21)$$

Dessa forma definimos a *resistência elétrica* R ,

$$R = \frac{1}{\kappa} \quad (3.22)$$

Obtendo enfim,

$$V = Ri \quad (3.23)$$

Então podemos notar que quanto maior a resistência do material, maior será a dificuldade das cargas se movimentarem no fio. A unidade de resistência elétrica é siemens^{-1} que por causa do físico alemão George Simon Ohm, temos o Ω (Ohm) em sua homenagem por ser o primeiro a relacionar a corrente elétrica e a tensão nos materiais. Dessa forma temos,

$$1\Omega = 1S^{-1} = \frac{1V}{1A} \quad (3.24)$$

Quando a resistência ou condutância são constantes a tensão é uma função linear da corrente, ou vice versa, e nesse caso o material condutor é chamado *ôhmico*. Quando a resistência ou condutância não são mais constantes deixam de ser linear, e dependem da tensão aplicada ou da corrente que circula no condutor, sendo chamado de *não ôhmico* - o que conhecemos como as *leis de Ohm*.

3.1.1 O efeito Joule

No momento em que os elétrons se movimentam em um determinado material condutor, eles acaba colidindo também com a matéria constituinte desse material, o que acarreta em uma transferência de energia para esse constituintes e produz uma elevação na temperatura do material condutor, através do fluxo de calor. Esse efeito é conhecido como *efeito Joule*.

Então, como $V = R i$.

E utilizando a fórmula da força que transfere a carga dQ através de um condutor de comprimento L . temos,

$$dF = EdQ \quad (3.25)$$

Que ao realizar trabalho no fio,

$$dW = LdF \quad (3.26)$$

Dessa forma,

$$\begin{aligned} dW &= LdF \\ dW &= L(EdQ) \end{aligned} \quad (3.27)$$

E como, $E = \frac{V}{L}$,

$$dW = VdQ. \quad (3.28)$$

Que obtendo esse trabalho em razão do tempo, temos:

$$\frac{dW}{dt} = V \frac{dQ}{dt}. \quad (3.29)$$

Sabendo que $i = \frac{dQ}{dt}$. Iremos reescrever a equação,

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{dW}{dt} = Vi \\
 P &= Vi.
 \end{aligned}
 \tag{3.30}$$

Essa equação é conhecida como a *lei de Joule*. Que pode se escrita pela resistência elétrica,

$$\begin{aligned}
 P &= Vi \\
 P &= Ri \\
 P &= Ri^2.
 \end{aligned}
 \tag{3.31}$$

E em função da tensão de da resistência elétrica, temos

$$\begin{aligned}
 P &= Vi \\
 P &= V \frac{V}{R} \\
 P &= \frac{V^2}{R}.
 \end{aligned}
 \tag{3.32}$$

O que condiz que a potência elétrica dissipada no resistor é proporcional ao quadrado da tensão entre seus extremos.

Outros efeitos também são ligados à corrente elétrica, como por exemplo, o *Efeito Seebeck*, também conhecido como efeito termoelétrico, que consiste na produção de uma gradiente de temperaturas em uma tensão elétrica entre duas extremidades de condutores de materiais diferentes, provocada pela corrente de condução térmica e de corrente eletrônica.

O *Efeito Peltier* ocorre quando a temperatura da junção entre os metais varia. Sua temperatura pode aumentar quando a corrente circula em um sentido e diminui quando essa corrente circula no sentido oposto.

O *Efeito Thomson* se apresenta quando, considerando dois reservatórios com temperaturas diferentes T_1 e T_2 e um fio condutor que os conecta pelas extremidades, pela ocorrência da passagem de uma corrente elétrica pelo fio, aparecerá uma corrente térmica que altera o fluxo de calor entre os recipientes, fazendo com que anule a transferência de calor tanto do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura como impede que o corpo de menor temperatura ceda energia para o corpo de maior temperatura, ao invés de receber.

O efeito descoberto pelo físico brasileiro Joaquim Costa Ribeiro ao propor que, quando um material dielétrico é submetido a uma mudança de fase, aparece uma corrente elétrica entre as duas faces presentes na mudança, denominado **Efeito Costa Ribeiro**. E por fim o *Efeito Piezoelétrico* afirmando que, no momento em que qualquer tipo de cristal sofre algum tipo de tensão ou compressão, ocorre o aparecimento de dipolo elétrico e uma polarização macroscópica, a qual produz um campo elétrico.

3.2 Geradores e receptores elétricos

3.2.1 Geradores

Observamos anteriormente que a *fem* é responsável pela conservação da corrente elétrica em condutores. As fontes *fem* tem em sua própria características sempre de alguma forma uma resistência interna independente das diferenças de potenciais provocado por suas extremidades. E dessa forma acaba fazendo com que exista um diminuição da tensão, que podemos escrever da forma:

$$V_{R_i} = R_i i \quad (3.33)$$

Para R_i como resistência interna. No caso de $R_i = 0$ a *fem* é considerada ideal.

Temos então, que em um gerador existe uma transmissão de energia para a carga e parte dessa energia acaba sendo perdida pela resistência interna R_i por meio do efeito Joule, o que nos leva a obter uma potência consumível menor pelo gerador. Dessa forma, a potência consumida e a útil apresentam-se das formas:

$$P_c = \xi i. \quad (3.34)$$

$$P_u = Vi. \quad (3.35)$$

Como a potencia útil se apresenta através de $P_c - P_d$, para a potencia dissipada $P_d = R_i i^2$. Temos,

$$P_u = P_c - P_d \quad (3.36)$$

$$Vi = \xi i - R_i i^2$$

$$Vi = i(\xi - R_i i)$$

$$V = \xi - R_i i. \quad (3.37)$$

Na qual essa última é conhecida como a *equação do gerador*. E para o rendimento elétrico η ,

$$\eta = \frac{P_u}{P_c}. \quad (3.38)$$

No que substituindo as expressões,

$$\eta = \frac{Vi}{\xi i} \quad (3.39)$$

$$\eta = \frac{V}{\xi}. \quad (3.40)$$

Temos alguns casos, como por exemplo, na existência de um fio com resistência desprezível os potenciais V_A e V_B em seus terminais acabam sendo iguais e dessa forma V acaba sendo nula, ou seja

$$V = V_A = V_B = 0$$

Então utilizando a equação do gerador, temos

$$\begin{aligned} 0 &= \xi - R_i i \\ R_i i &= \xi \\ i_{cc} &= \frac{\xi}{R_i} \end{aligned} \quad (3.41)$$

O que nos leva a demonstrar a *corrente de curto circuito*.

Então recuperando a equação da potencia útil, e calculando em um *circuito aberto*, temos

$$\begin{aligned} P &= \xi i - R_i i^2 \\ 0 &= i(\xi - R_i i) \\ i &= 0. \end{aligned} \quad (3.42)$$

O gerador acaba não funcionando pois a sua corrente é nula.

Mas também ocorre a situação de o do gerador estar com circuito fechado e, mesmo assim, não está em funcionamento; é quando a corrente que circula é uma corrente de curto circuito i_{cc} , ou seja,

$$0 = \xi - R_i i \quad (3.43)$$

$$\begin{aligned} R_i i &= \xi \\ i &= \frac{\xi}{R_i}. \end{aligned} \quad (3.44)$$

Assim, temos

$$i = i_{cc}. \quad (3.45)$$

Se por acaso esse gerador for levado a potência máxima P_{Max} , a corrente é a metade da corrente de curto circuito $i = \frac{i_{cc}}{2}$. Então temos a potência máxima dada por:

$$\begin{aligned} P &= \xi i - R_i i^2 \\ P_{Max} &= \xi \frac{\xi}{2R_i} - R_i \left(\frac{\xi}{2R_i} \right)^2 \\ P_{Max} &= \frac{\xi^2}{2R_i} - R_i \frac{\xi^2}{4R_i^2} \\ P_{Max} &= \frac{\xi^2}{2R_i} - \frac{\xi^2}{4R_i} \\ P_{Max} &= \frac{2\xi^2 - \xi^2}{4R_i} \\ P_{Max} &= \frac{\xi^2}{4R_i} \end{aligned} \quad (3.46)$$

Então a tensão disponibilizado ao circuito é de:

$$\begin{aligned} V &= \xi - R_i i \\ V &= \xi - R_i \frac{i_{cc}}{2} \\ V &= \xi - R_i \frac{\xi}{2R_i} \\ V &= \xi - \frac{\xi}{2} \\ V &= \frac{2\xi - \xi}{2} \\ V &= \frac{\xi}{2}, \end{aligned} \quad (3.47)$$

ou seja a tensão é a metade da *fem* do gerador. O que nos leva a um rendimento η de,

$$\begin{aligned}
\eta &= \frac{V}{\xi} \\
\eta &= \frac{\xi}{2} \\
\eta &= \frac{\xi}{2} \frac{1}{\xi} \\
\eta &= \frac{1}{2},
\end{aligned} \tag{3.48}$$

necessariamente 50% de sua eficiência.

3.2.2 Receptores

Assim como os geradores, os receptores também têm uma resistência interna R_i , pois alguns equipamentos, além de utilizar os geradores, acabam transformando essa energia elétrica em diversas outras energias. Ou seja, para que os receptores elétricos funcionem, elas devem receber primeiramente a energia elétrica. Recebendo essa energia em forma de potência elétrica faz com que o aparelho funcione P_u e ao mesmo tempo seja dissipada uma por uma resistência interna proveniente do próprio aparelho. E como esse processo é inverso ao do gerador, determinamos como a *força contra eletromotriz fcm* ξ' , na qual será descrita pela razão entre o trabalho realizado pelo receptor W e a carga em transporte Q .

$$\begin{aligned}
\xi' &= \frac{W_u}{Q} \\
\xi' &= \frac{W_u \Delta t}{Q \Delta t} \\
\xi' &= \frac{W_u \Delta t}{\Delta t Q} \\
\xi' &= \frac{P_u}{i}.
\end{aligned} \tag{3.49}$$

E dessa forma para um receptor constante, temos:

$$P = P_u + P_d \tag{3.51}$$

$$Vi = \xi'i + R_i i^2$$

$$Vi = i(\xi' + R_i i)$$

$$V = \xi' + R_i i. \tag{3.52}$$

Que dessa forma temos, como representar o rendimento elétrico através de:

$$\eta = \frac{P_u}{P} \quad (3.53)$$

$$\eta = \frac{\xi'_i}{V_i}$$

$$\eta = \frac{\xi'}{V}. \quad (3.54)$$

Temos que, sempre o rendimento será menor ou igual a um.

3.3 Resistores elétricos

Quando uma corrente atravessa uma seção transversal, ela acaba sofrendo uma resistência, que também se deve ao tipo de material a ser utilizado na montagem do circuito. De maneira geral, dois tipos são mais usuais, os quais classificamos como *resistores de fio* e *resistores de carvão*.

Os resistores de carvão são analisados através de códigos de modo que, sendo implementados, facilitem ao leitor uma melhor e rápida leitura do resistor que será por utilizado. O resistor de carvão também não é uma matéria prima exata, portanto, para prever alguns erros em sua fabricação ou manuseio, existe uma faixa para a tolerância, que pode ser tanto para mais quanto para menos do seu real valor.

3.3.1 Associação de resistores

Os resistores podem ser associados de três formas: em série ou simples, em paralelo ou associação mista, sendo todos bastante empregados nos dias de hoje.

3.3.1.1 Associação em série

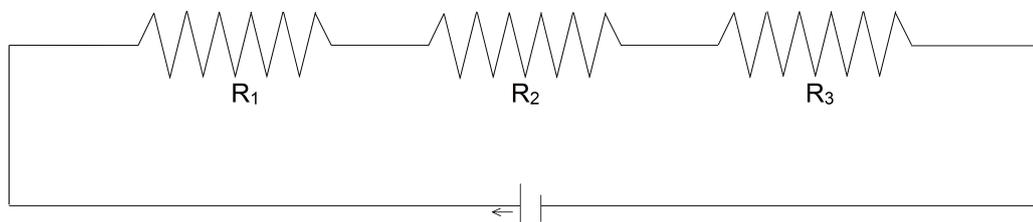


Figura 21 – Exemplo de resistores em série

Fonte: Elaborado pelo autor..

Na associação em série, temos um conjunto de resistores arrumados de forma que a passagem da corrente elétrica por todos eles não sofra mudança alguma, mantendo a mesma corrente a todo instante. Assim, a diferença de potencial V entre os pontos será relacionada a cada resistor, como por exemplo:

$$V_{AB} = V_A - V_B \quad (3.55)$$

$$V_{AB} = R_1 i. \quad (3.56)$$

O que também será perceptível para o resistor dois,

$$V_{BC} = V_B - V_C \quad (3.57)$$

$$V_{BC} = R_2 i. \quad (3.58)$$

O que definirá a diferença de potencial entre os pontos A e C,

$$V_{AC} = V_A - V_C \quad (3.59)$$

$$V_{AC} = V_{AB} + V_B - (V_B - V_{BC})$$

$$V_{AC} = V_{AB} + V_B - V_B + V_{BC}$$

$$V_{AC} = V_{AB} + V_{BC}. \quad (3.60)$$

O que facilmente podemos obter o resistor equivalente no circuito, com sendo:

$$V_{AC} = V_{AB} + V_{BC}$$

$$Ri = R_1 i + R_2 i$$

$$R = R_1 + R_2. \quad (3.61)$$

Onde podemos representar na forma de somatória,

$$R = \sum_{i=1}^N R_i. \quad (3.62)$$

3.3.1.2 Associação em paralelo

Nos resistores associados em paralelo, a diferença de potencial é a mesma apresentada em cada resistor, e isso se deve à divisão de corrente realizada ao longo do circuito.

Como vamos observar no exemplo, para cada resistor R teremos uma tensão V.

$$V_{AB} = R_1 i_1 \quad (3.63)$$

e

$$V_{AB} = R_2 i_2. \quad (3.64)$$

Observe assim como nos resistores as correntes também mudam. No total a corrente que sai deve ser a mesma que chega, então podemos escrever que,

$$i = i_1 + i_2. \quad (3.65)$$

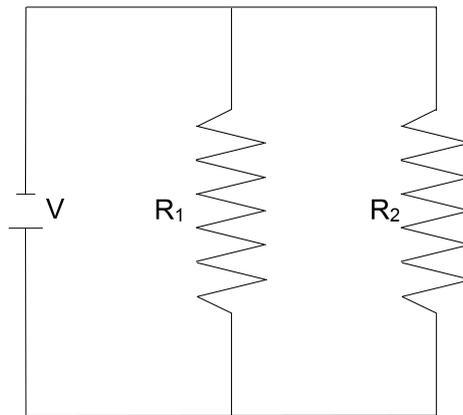


Figura 22 – Exemplo de resistores em paralelo
Fonte: Elaborado pelo autor.

Que na realidade i será a corrente que passará pelo resistor equivalente. Que de forma geral pode ser encontrado fazendo,

$$\begin{aligned} V_{AB} &= Ri \\ V_{AB} &= R(i_1 + i_2) \\ V_{AB} &= R\left(\frac{V_{AB}}{R_1} + \frac{V_{AB}}{R_2}\right) \\ \frac{V_{AB}}{R} &= V_{AB}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \\ \frac{1}{R} &= \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \end{aligned} \quad (3.66)$$

Que poderá ser representada de uma forma mais simplificada, sendo:

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{R_i}. \quad (3.67)$$

3.3.1.3 Associação mista de resistores

Para a associação mista de resistores é utilizado tanto as associações em série como as em paralelo ao mesmo tempo, em um só circuito.

Na Figura 23, temos os resistores R_1 , R_2 , R_3 , R_4 e R_5 em associação mista.

Retirando os dados contidos no circuito e tomando como base as propriedades da associação em **série** e em **paralelo**, podemos encontrar o valor da tensão e da corrente elétrica que passa em todos elementos do circuito.

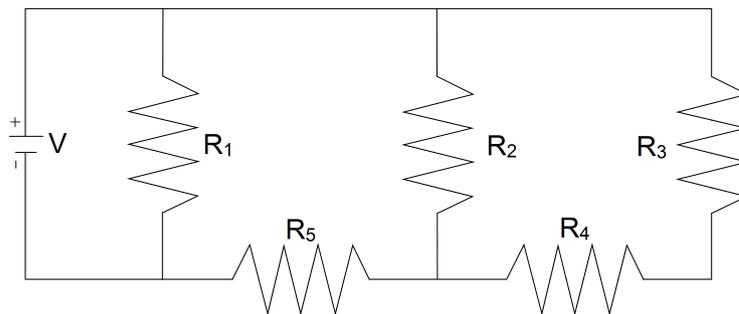


Figura 23 – Exemplo de associação mista de resistores

Fonte: Elaborado pelo autor..

3.4 A corrente elétrica nos capacitores

Os capacitores têm a principal função de servir como fonte de alimentação, como por exemplo, o acúmulo de cargas elétricas entre suas placas, podendo também transformar corrente alternada em direta. E, para bloquear corrente direta e deixar passar somente corrente alternada, quanto maior o valor da capacitância, mais fácil para corrente alternada passar pelo capacitor.

Nos circuitos, os capacitores podem estar presentes para exercer diversas funções, o que nos leva a calcular o seu valor equivalente. Diferentemente da associação em série dos resistores que oferece “resistência na passagem de corrente”, os capacitores em série são

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}, \quad (3.68)$$

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i}. \quad (3.69)$$

Para capacitores que estão organizados no circuito de forma paralela, é possível obter seu valor equivalente, por meio de,

$$C = C_1 + C_2, \quad (3.70)$$

obtendo por fim,

$$C = \sum_{i=1}^N C_i. \quad (3.71)$$

3.5 Lei de Faraday

Por meio de uma atividade experimental, Michael Faraday em 1831, utilizando uma espira de fio, por meio de um campo magnético gerado por um ímã \mathbf{B} , observou, com o ímã em seu interior, uma corrente i na espira ao movimentá-la para a direita e depois, movimentando o ímã, percebeu que a corrente i também passava pela espira.

A observação de que a força eletromotriz *fem* presente é devido ao movimento do campo \mathbf{B} , é expresso por:

$$\xi = -\frac{d\Phi_B}{dt}. \quad (3.72)$$

E como o campo magnético induz ao campo elétrico $\xi = \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{L}$. Temos,

$$\xi = \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{L} = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (3.73)$$

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{L} = -\frac{d\Phi_B}{dt}. \quad (3.74)$$

Como o fluxo de \mathbf{B} é $\Phi_B = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}$ escrevemos,

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{L} = -\int \frac{d\mathbf{B}}{dt} \cdot d\mathbf{A}. \quad (3.75)$$

Que de acordo com o teorema de Stokes,

$$\oint_L \mathbf{A} \cdot d\mathbf{L} = \int_S (\nabla \times \mathbf{A}) \cdot d\mathbf{S}, \quad (3.76)$$

temos por fim,

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{d\mathbf{B}}{dt}. \quad (3.77)$$

Conhecida como *lei de indução de Faraday*.

3.6 Lei de Ampère

A Lei de Ampère associa a corrente elétrica que atravessa um circuito com a circulação sobre este circuito do campo magnético \mathbf{B} , criado pela corrente. O que nos compete afirmar que a integral de linha sobre um caminho fechado do campo magnético \mathbf{B} , produzido por correntes, é proporcional à corrente líquida que atravessa a superfície limitada pelo caminho de integração.

Representado, por,

$$\begin{aligned}\oint_L \mathbf{B} \cdot d\mathbf{L} &= \mu_0 \frac{dQ}{dt} \\ \oint_L \mathbf{B} \cdot d\mathbf{L} &= \mu_0 i_{in}.\end{aligned}\quad (3.78)$$

Que corresponde ao campo magnético produzido pelo fio infinito com corrente.

A corrente i , que abrange um todo na Lei de Ampère, é a corrente total, ou seja, a soma das correntes positiva e negativa dependente da direção que atravessam o circuito - correntes “externas” do circuito não contribuem. A Lei de Ampère, portanto, é semelhante à Lei de Gauss, inclusive quanto à utilidade em problemas são práticos.

A Lei de Ampère é uma das Equações de Maxwell e, portanto, é uma lei fundamental do eletromagnetismo. Podemos então, verificar que a Lei de Ampère vale para um fio infinito de corrente,

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r} \quad (3.79)$$

onde μ_0 é a permeabilidade magnética no vácuo com o valor no Sistema Internacional de Unidades (SI):

$$\mu_0 = 4 \times 10^{-7} \frac{N}{A^2}. \quad (3.80)$$

Neste caso temos, para um circuito C circular ao fio, onde sabemos que \mathbf{B} tem o mesmo valor, e aponta na direção de $d\mathbf{L}$,

$$\oint_L \mathbf{B} \cdot d\mathbf{L} = \oint B dL = B \oint dL = \left(\frac{\mu_0 i}{2\pi r} \right) (2\pi r) = \mu_0 i_{in}. \quad (3.81)$$

Sendo uma lei fundamental, a Lei de Ampère vale não apenas neste caso, mas sempre. Esta lei também pode ser escrita na forma diferencial por meio do teorema de Stokes:

$$\oint_c \mathbf{B} \cdot d\mathbf{L} = \mu_0 \int_s \mathbf{J} \cdot d\mathbf{A} = \int \nabla \times \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}, \quad (3.82)$$

onde S é qualquer superfície cuja curva suporte seja C . Dado que tal igualdade entre integrais deve valer para qualquer superfície cuja curva suporte seja C , tem-se finalmente:

$$(\nabla \times \mathbf{B}) \cdot d\mathbf{A} = \mu_0 J \quad (3.83)$$

$\int J \cdot d\mathbf{A}$ representa a corrente total que passa pela superfície da linha de contorno onde J é a densidade de corrente elétrica.

4 A Eletrodinâmica no Ensino Fundamental II

4.1 Proposta curricular do ensino fundamental II

A proposta curricular tem como objetivo proporcionar aos professores a possibilidade de estimular os alunos do ensino básico a aumentar seus conhecimentos sobre a sociedade moderna e suas tecnologias, exercitando seus deveres e direitos, preparando-os para um futuro profissional.

No Brasil existe a gratuidade do ensino público descrito no artigo 3 da Lei No 9.394, de 20 de dezembro de 1996, que fala sobre As Leis das Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB). A seção III do ensino fundamental, Art. 32, afirma que:

“(...) II - a compreensão do ambiente natural e social, do sistema político, da tecnologia, das artes e dos valores em que se fundamenta a sociedade; III - o desenvolvimento da capacidade de aprendizagem, tendo em vista a aquisição de conhecimentos e habilidades e a formação de atitudes e valores; (...)”.(de Diretrizes and da Educação)

A proposta curricular homologada pelo secretário de educação do estado do Amazonas, Gedeão Timóteo Amorim, foi construída com a participação de professores de diversas áreas, como Artes, Educação Física, Língua Portuguesa, Geografia, História, Ciências, Matemática, Ensino Religioso, Língua Inglesa e Língua Espanhola. Atualmente, a Língua Japonesa está sendo ministrada em algumas escolas de ensino fundamental, mas não está na proposta curricular do estado por não ter sido atualizada.

Há grande atenção na proposta do ensino de ciências, pois é importante que, nessa área, o aluno tenha condições de adquirir uma visão global em relação aos conhecimentos científicos e tecnológicos, enquanto processo de evolução do homem, sem esquecer a relação do mesmo com a própria natureza, visando à importância dessa compreensão diante da diversidade que lhe é apresentada pelo planeta Terra, tomando para si a postura de como agir e atuar perante a velocidade constante das transformações bruscas e da destruição do meio ambiente.(de Estado de Educação do Amazonas, 2006)

Alguns verbos são utilizados como forma de objetivos propostos pelo professor em sala de aula ou em laboratório, com o intuito de serem alcançados pelo aluno, como investigar, identificar, conhecer, perceber, reconhecer, valorizar, compreender, classificar, discutir, desenvolver, discutir, explicar, citar, definir, listar, demonstrar.

No 9º ano do Ensino Fundamental II do estado do Amazonas, os conteúdos de ensino são divididos em Ciências, Química e Física, analisando assuntos presentes na proposta curricular. Observa-se uma mistura entre os conteúdos de todo o Ensino Médio e somente no segundo semestre do 9º ano o professor ministra de forma geral temas como Forças: Leis de Newton, Trabalho, Energia, Potência; Terminologia: temperatura e calor, Ondas, Som, Luz, Eletricidade e Magnetismo - assuntos que vão aprimorar conceitos, procedimentos e atitudes.

Atualmente se discute uma proposta preliminar da Base Curricular Comum (2ª versão revista), debatida e sancionada pelo Presidente da República Brasileira Michel Temer e que, provavelmente, será utilizada a partir do ano de 2018, o que nos exige estar sempre atualizados para melhor prepararmos o aluno.

A proposta preliminar da Base Curricular Comum (2ª versão revisada) afirma que:

“Os processos e práticas de investigação, nos anos iniciais do Ensino Fundamental, estão relacionados à proposição de investigações simples, que possam envolver as crianças em ações como comparar, classificar, fazer perguntas e conjecturas, buscar informações, registrar dados, comunicar resultados. Tais ações proporcionam tanto a apropriação de explicações quanto a compreensão dos processos envolvidos na construção das ciências”.(de Currículo, 2016)

Para os anos iniciais do Ensino Fundamental II, de acordo com a base curricular comum, fica para o 6º ano a importância de introduzir a “eletrodinâmica”. Como um fenômeno comum do dia a dia, em uma das unidades de conhecimento, que descreve: sentidos, percepção e interações. O que compete de acordo com a Base Nacional Comum, “esquematizar por meio de desenhos e montar circuitos elétricos constituídos de pilha/bateria, fios e uma lâmpada ou outros dispositivos, explicitando destaque à continuidade da corrente e comparar a circuitos elétricos residenciais. O que fica a cargo do 9º ano de representar as radiações eletromagnéticas”.(de Currículo, 2016)

4.2 O Método Construtivista de Ensino

Todo professor quer queira ou não, tem um método que aplica em sala de aula. Ele pode até mudar seu método de uma aula para outra, mas sempre será identificado pelo que ele tem mais afinidade de aplicar. Conhecer o seu método de ensino não é uma das tarefas mais fáceis, mas existem alguns métodos que o ajudam a se identificar, até mesmo para se desenvolver ou até criticar.

“Construtivismo significa isto: a ideia de que nada, a rigor, está pronto, acabado, e de que, especificamente, o conhecimento não é dado, em nenhuma instância, como algo terminado. Ele se constitui pela interação do indivíduo com o meio físico e social, com o simbolismo humano, com o mundo das relações sociais; e se constitui por força de sua ação

e não por qualquer dotação prévia, na bagagem hereditária ou no meio, de tal modo que podemos afirmar que antes da ação não há psiquismo nem consciência e, muito menos, pensamento”.(Becker, 1994)

Em sala de aula, o professor pode ensinar circuitos elétricos levando aos alunos experimentos que os próprios possam manusear. Dessa forma, no momento em que se torna familiar o objeto de estudo, a linguagem técnica presente deve ser empregada, preparando o aluno para uma inserção inicial de conhecimento do fenômeno presente para, quando a teoria ou leis forem passadas, exista um melhor entendimento e, por fim, uma aprendizagem.

Através do que idealiza Jerome Bruner, que afirma que “O método da descoberta consiste de conteúdos de ensino percebidos pelo aprendiz em termos de problemas, relações e lacunas que ele deve preencher, a fim de que a aprendizagem seja considerada significativa e relevante”(Ostermann, 2010), é perceptível que toda atividade feita com o aluno deve ser preparado de forma que estimule uma aprendizagem de desenvolvimento intelectual considerada relevante.

“O ensino, no método demonstrativo, possibilitando a ação direta de quem está presente, é a forma mais simples de provocar um desequilíbrio no cognitivo do aluno. Tarefa essa que o professor deve se apropriar para que crie um caminho para entendimento. Segundo Piaget, o crescimento cognitivo da criança se dá através de assimilação e acomodação. O indivíduo constrói esquemas de assimilação mentais para abordar a realidade”.(Ostermann, 2010)

Fazer com que o aluno entenda o que está sendo ministrado é um desafio para o professor que não se preocupa com o que o aluno espera aprender. A criação de situações que possibilitem a interação do aluno com o ensino deve ser focada, e é essencial para que ele entenda o que está sendo ministrado, pois o que assimilar irá ajudá-lo na construção de esquemas da situação-problema e, mais tarde, existirá uma acomodação e criação de novos conhecimentos.

Quando o aluno tem informações pré-definidas presentes em sua cognição, existe uma possibilidade de uma melhor compreensão do que está sendo ensinado. Se o educando for estudar eletrodinâmica conhecendo alguns conceitos ou fenômenos presentes em seu dia a dia, assuntos que necessitam de um vasto conhecimento de ferramentas matemáticas, ou até mesmo químicas, tornam-se menos complicados por meio de uma aprendizagem significativa. Aprendizagem através de subsunçores é uma concepção criada por David Ausubel (1918 - 2008), considerando “subsunçor como uma estrutura específica no qual uma nova informação pode se agregar ao cérebro humano, que é altamente organizado e detentor de uma hierarquia conceitual que armazena prévias do sujeito”.(Ausubel, 1973)

4.3 A eletrodinâmica através de experimentos

Encontrar uma forma de demonstrar os fenômenos eletrodinâmicos presentes no meio em que vivemos é uma arte particular e essencial que o professor deve ter consigo mesmo no preparo de suas aulas. Fenômenos elétricos como a luz de uma lâmpada são simplesmente fáceis de serem presenciados pelos alunos e, aprimorar esse conhecimento exemplificando o que o antecede, até o momento da lâmpada acender, trará aos alunos uma melhor compreensão do fenômeno estudado.

“Como nem sempre os experimentos confirmam uma hipótese na forma de generalização ou lei, em muitas escolas não existem laboratórios específicos para o ensino de Física, o que aumenta a possibilidade de um experimento não atingir seus objetivos. Assim, cabe ao professor encontrar atividades que demonstrem fenômenos aos alunos, com a finalidade de motivá-los, bem como ilustrar sua exposição e buscar alternativas para desenvolver as habilidades e competências” (Alves, 2005). A representação de circuitos elétricos através de associações de resistores em experimentos desperta no aluno uma iniciativa na compreensão do conceito de eletricidade com mais clareza de objetivos.

O professor utilizará de alguns conceitos ou fórmulas para que o aluno, com organizadores prévios como estratégia para manipular a estrutura cognitiva, de tal forma que o entendimento alcance um grau de abstração capaz de facilitar a integração de nova ideia. A eletrodinâmica e muitos fenômenos físicos são melhores compreendidos através de demonstrações feitas aos alunos, ou pelos alunos, do que somente textos teóricos ou cálculos. Uma atividade bem definida experimentalmente pelo educador desperta no aluno uma “vontade extra” de aprender e compreender o que está presente ao seu redor. Os cálculos e teorias apresentados através dos experimentos ativam no aluno melhor clareza sobre os fenômenos e, conseqüentemente, a aprendizagem acaba significativa.

Ministrar aulas com experimentos de física deve ser uma das tarefas mais simples para o professor visto que, diante das atuais tecnologias, as atividades experimentais são as que mais chamam atenção de estudantes, favorecendo o resultado esperado, bem como ensino e aprendizagem completos, de forma que surja a criação de novas ideias e construção de novas teorias.

4.4 O ensino com experimentos utilizando verbos de acordo com a taxinomia solo do alinhamento construtivo proposto por John Biggs

John Biggs nasceu na Austrália em 1934. Em 1957 terminou seus estudos de Psicologia na Universidade da Tasmânia e emigrou para a Inglaterra, no intuito de começar

seus estudos de pós-graduação na Escola de Ensino Luton. Famoso por suas contribuições na inovação do ensino universitário, sua produção literária inclui artigos e livros acadêmicos, bem como vários romances e contos, muitos deles relacionados com a experiência adquirida durante suas viagens através do contato com outras culturas. Como ele próprio definiu em seu site pessoal: “Bem, você poderia dizer que a sua atividade pode ser resumida em três pilares: a sua vida como escritor, professor universitário e como um viajante”.

No momento de suas pesquisas e práticas sobre os métodos de ensino em relação à aritmética na Fundação Nacional para a Investigação Educativa, com sede em Londres, seus interesses passaram a demonstrar algum tipo de relação entre a teoria psicológica e a prática educativa. Assim, manteve-se dedicado a seus últimos trabalhos acadêmicos para aprofundar o conceito de alinhamento construtivo com sua parceira e esposa, Catherine Tang.

Com suas contribuições e o seu vínculo ativo com a vida acadêmica, John Biggs é conhecido por desenvolver a taxonomia SOLO, que implica em analisar a *Estrutura de resultados de aprendizagem observados*. Isso permitirá ao professor dar mais praticidade em se concentrar nos resultados da aprendizagem, com o intuito de melhorar a forma de ensino e conhecer melhor seus alunos. Então, ele definiu a taxonomia em cinco níveis descrita a seguir por (Brabrand and Dahl, 2007, p. 5):

- Pré-estrutural: neste nível, o aluno demonstra pouco entendimento sobre determinado conteúdo, aquém do que é solicitado. As respostas são constituídas de informações dispersas, confusas e até irrelevantes;
- Uni-estrutural: neste nível, o aluno produz respostas simples, sendo capaz de lidar com um aspecto relevante ou conhecido da pergunta ou problema. São verbos típicos deste nível: memorizar, identificar, reconhecer, nomear, citar e ordenar.
- Multi-estrutural: neste nível, o aluno lida com múltiplas informações relevantes e corretas, mas estas informações não apresentam as devidas relações/conexões e por isto, o aluno apresenta dificuldades em compor o todo. São verbos típicos deste nível: classificar, descrever, listar, fazer algoritmos e ilustrar.
- Relacional: neste nível, o aluno é capaz de perceber as relações entre as várias informações e como elas se integram para formar o todo. São verbos típicos deste nível: comparar, analisar, diferenciar e resolver (para um dado domínio).
- Abstrato Estendido: neste nível, o aluno é capaz de generalizar e lidar com respostas bem mais estruturadas, conseguindo, inclusive, formular hipóteses. São verbos típicos deste nível: teorizar, criar hipóteses, generalizar e transferir a teoria (para um novo domínio).

O ensino do eletromagnetismo, através do alinhamento construtivo como atividade experimental, possibilitará uma melhor compreensão e um melhor resultado no desenvolvimento cognitivo do aluno. Dando uma importância maior para o planejamento de ensino, o método de construção do conhecimento é uma proposta que será utilizada no ensino de

física. John Biggs idealizou o alinhamento construtivo focando na importância da interação entre os professores e os alunos estarem “sintonizados” entre si. Dessa forma, uma atividade experimental bem elaborada ocorre quando o professor se preocupa em produzir suas aulas em cima do que o aluno quer aprender e, como resultado, suas aulas serão mais produtivas.

“Na perspectiva do alinhamento construtivo, o professor não inicia sobre o que ele vai ensinar mais sobre quais resultados ele pretende alcançar com o seu ensino. Ou seja, o que ele deseja que os estudantes aprendam”.(Mendonça, 2015)

Estar com os alunos em sala de aula é abrir uma porta para um novo conhecimento e, através de experimentos com a participação direta do aluno na construção para compreensão técnica e teórica do fenômeno, consegue-se ativar o conhecimento. Dessa forma, o professor deve se organizar antes de cada aula para que a atividade experimental definida por assuntos seja qualitativa, o que dará uma melhor compreensão sobre a eletrodinâmica. Será definido aos alunos o que se espera, apresentando os resultados pretendidos de aprendizagem e, a cada resultado, uma ou mais atividades de ensino; por fim, deverão ser estabelecidos os critérios de avaliação.

“[...] Pode-se verificar que para por em prática o alinhamento construtivo faz-se necessário:

- Definir os resultados pretendidos de aprendizagem;
- Planejar as atividades de ensino e aprendizagem capazes de possibilitar o alcance dos resultados pretendidos;
- Elaborar a avaliação de tal modo que seja possível verificar quão bem os estudantes corresponderam ao que era pretendido”.(Mendonça, 2015)

5 Abordagem da Eletrodinâmica Através da Confecção de Manuais

5.1 A confecção dos manuais realizada pelos alunos

Para ajudar na compreensão e, futuramente, para melhor aperfeiçoamento e aprofundamento do ensino da eletrodinâmica, alunos do 6º e 9º anos do Ensino Fundamental aprenderam, por meio de desenhos, o desenvolvimento dos experimentos dirigidos por roteiros para, mais tarde, serem utilizados na confecção do material de auxílio. Para tanto, as aulas devem ser organizadas pelo professor com atividades propostas em roteiros; para a criação dos manuais, o momento da montagem deve ser dividido em três partes - atividade experimental em grupo, leitura e exercícios.

É importante destacar que todas as atividades realizadas ajudaram o aluno a idealizar seus próprios manuais, além de servirem como ferramenta de ensino do professor para utilização em outras turmas. Ademais, os referidos manuais podem também tornar as aulas mais atraentes e ainda fazer com que o aluno adquira um interesse maior pelo assunto, pois foi algo construído por ele mesmo, e não por outro colega. Dessa forma, o educando passará a ser um agente ativo no desenvolvimento da ciência, por implementar suas ideias na conclusão de seu trabalho, aumentando e até melhorando sua cognição para fins de aprendizagem.

Para a confecção dos manuais, será empregada a seguinte estratégia: Os roteiros serão pré-determinados pelo professor e aplicados por escrito em sala de aula, através de cópias impressas ou copiadas no “quadro branco”. Os alunos irão ler e desenvolver perguntas de acordo com os roteiros e, depois, respondê-las. No momento da atividade experimental, deverão se dividir em grupos para realizar a atividade e descrever cada momento do experimento. Depois, juntamente com o professor, os alunos dividirão os roteiros de acordo com os tópicos da eletrodinâmica, já definidos, e desenvolverão a criação do manual, dando um tema central a cada trabalho pronto e dividindo por temas como, por exemplo, no Apêndice B - *A eletricidade e sua história* e no Apêndice C - *A eletricidade estática*.

Alguns desses experimentos podem ser naturalmente recriados, levando em consideração o custo-benefício do aluno. A confecção será realizada de maneira mais simples possível, de acordo com a manipulação e o grau de importância, porém, torna-se complicado o momento da orientação e das formulações de problemas, uma vez que há um grande número de alunos na turma. Assim, confeccionar é uma forma de o aluno descre-

ver a atividade experimental, por etapas e de forma organizada, através da escrita e pela visão artística.

Uma forma nova de ensinar, pois, irá proporcionar ao aluno a atividade experimental na construção histórica com textos e, na matemática, com fórmulas. Por outro lado, para alunos do Ensino fundamental II, pode tornar-se complexa a utilização de teorias e fórmulas, por ser um primeiro contato com a eletrodinâmica. A formação do aluno deve-se focar também na investigação científica, uma vez que agrega uma enorme facilidade em sua manipulação e imaginação, além de ser mais objetiva em sua recepção de coleta de dados nas situações.

Vale ressaltar que o método de confeccionar os manuais de auxílio em sala de aula tem como objetivo fazer com que o aluno raciocine melhor a matemática. Através das fórmulas apresentadas, ele irá compreendê-las com mais facilidade, tornando possível ao aluno, com o manual em mãos após resolver determinado problema, verificar seus resultados trabalhados com papel e caneta, além de confirmar um concreto aprendizado.

5.2 A utilização dos manuais e atividades realizadas pelos alunos

Para resolvermos as dificuldades de aprendizagem, será apresentado aos alunos de duas turmas do 6º ano do Ensino Fundamental II, da Escola Estadual Antônio da Encarnação Filho, da zona centro-oeste de Manaus, pelo turno da manhã, um plano de aprendizagem que contará com aulas divididas em alguns dias, através da aplicação de um questionário, históricos, teorias, atividades experimentais e avaliação diagnóstica baseada na eletrodinâmica. Como conclusão das atividades, o aluno deverá elaborar um trabalho final apresentando seus manuais em grupo.



Figura 24 – Atividade 1
Desenho de um aparelho presente no dia a dia do aluno. Fonte: Elaborada por aluno.

As turmas eram compostas tanto por meninos como por meninas na faixa etária de 11 a 12 anos. Na primeira aula, foi aplicado um questionário em cada turma, abordando

a importância do ensino por meio de atividades experimentais, no intuito de conhecer um pouco mais sobre os alunos e suas conexões do ensino com as práticas. Eles respondiam o questionário e descreviam sobre suas atividades experimentais, se já praticaram em suas escolas ou se já visualizaram.

Os primeiros roteiros apreciados pelos alunos iniciam-se com a breve história de um dos acontecimentos mais marcantes para o desenvolvimento da ciência, destacando sempre o termo da linguagem empregada e o cuidado de não colocar um texto extenso, pois a ideia é fazer com que o educando tenha, por meio do texto, uma iniciativa na criação cognitiva e que, através de outras atividades de integração do conteúdo, concretize uma edificação mental ordenada. No ensejo, vale ressaltar que um relato descrito por um dos alunos pode ser observado na (Figura 24).

No manual com o tema *A eletricidade e sua história* os alunos relatam, depois de ler o texto pré-determinado, um esquema de desenho e uma série de perguntas que representem o que ele acabou de aprender. Alguns exercícios como desenhos sobre o texto também são implementados, como por exemplo, exemplificar no manual uma atividade do dia a dia que apresente alguma forma de representação textual. (Figura 25)

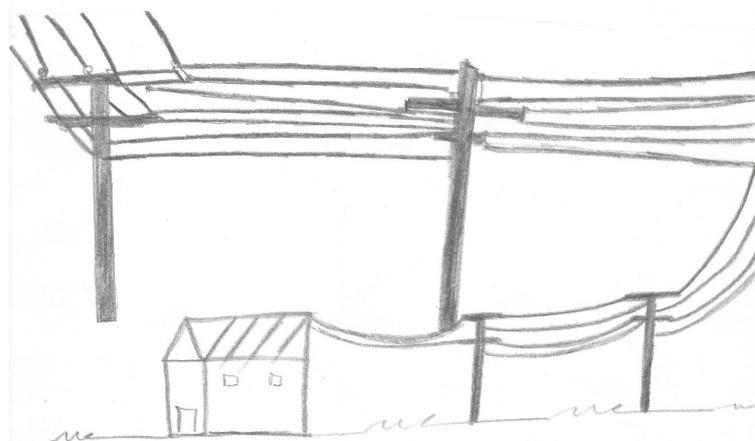


Figura 25 – Atividade 2

Representação do aluno de como a energia chega em sua casa. Fonte: Elaborada pelo aluno.

Nas aulas seguintes, os roteiros foram concentrados em teorias e fórmulas matemáticas, dando importância maior às fórmulas empregadas em tais teorias. O manual resultante é o que aborda *A eletricidade estática*, no Apêndice C, através de um novo texto que apresenta os tipos de eletrização e propicia que os alunos desenvolvam a atividade com papéis picados de uma folha de A4, aproximando balões a eles, atritando-os.

Os últimos roteiros, que se concentram no movimento uniforme das cargas e no aparecimento de corrente elétrica, foram preparados e utilizados pelos alunos através da descrição de desenhos (Figura 26), realização da atividade experimental e resolução de problemas de forma mais coesa, resultando no último manual que foi abordado como

Cargas em movimento, Apêndice D. Nessas aulas, os roteiros abordados em sala de aula descrevem inicialmente como ocorre o funcionamento de aparelhos e lâmpadas em suas casas, descrevendo, de forma breve, o caminho percorrido pela corrente elétrica até chegar ao seu destino. Em forma de desenho, o aluno descreve o momento em que as cargas passam pelo caminho, dando ênfase ao comportamento dessas cargas por ele analisadas. (Figura 27).

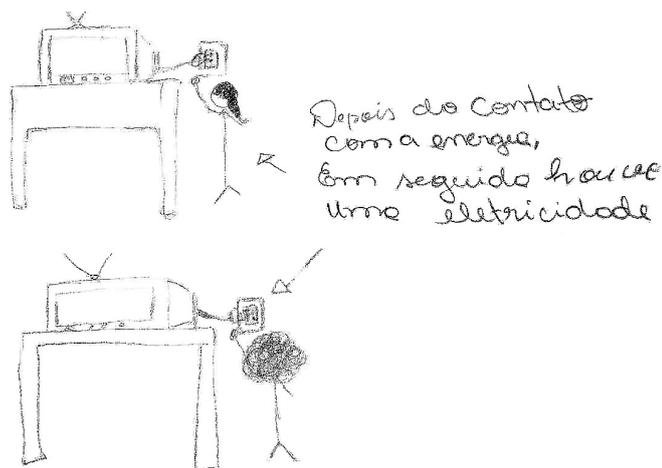


Figura 26 – Atividade 3
O aluno descreve como conheceu a eletricidade. Fonte: Elaborada pelo aluno.

Com figuras de materiais elétricos utilizados em suas casas, foram desenvolvidos pelos alunos caminhos que possibilitem a passagem de corrente para um completo funcionamento dos aparelhos. Nessa atividade de criação de circuitos e colagem, o aluno observa que é necessária uma boa organização para que o caminho dos fios não fique “embaraçado”. (Figura 28)

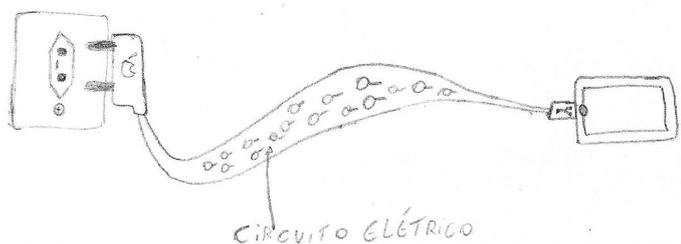


Figura 27 – Atividade 4
O aluno tenta demonstrar como é feita a alimentação do celular. Fonte: Elaborada pelo aluno.

Serão utilizadas caixas de aparelhos que funcionem com alguma forma de eletricidade e que os alunos tenham em suas casas, para uma comparação entre as medidas elétricas informadas nas caixas do produto, dando atenção às unidades utilizadas.

O professor e os alunos levam alguns tipos e diferentes lâmpadas para todos assimilarem que o tamanho não necessariamente condiz com a sua potência, mas interfere

diretamente na luminosidade. Alguns circuitos em série e paralelo, pré-definidos e desenhados no quadro pelo professor, são redesenhados pelo aluno no manual e este, utilizando os valores das potências mostradas, distribui em forma de desenho a lâmpada nos circuitos.

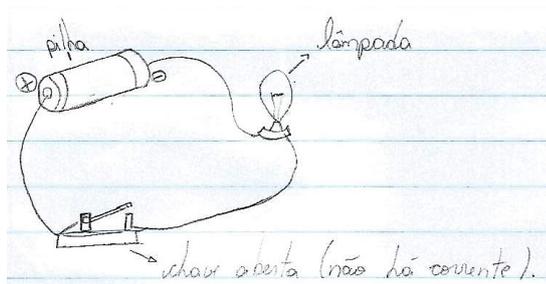


Figura 28 – Atividade 5

O circuito elétrico feito pelo aluno em seu caderno, com uma pilha, chave, lâmpada e fio. Fonte: Elaborada pelo aluno.

Os alunos foram divididos em grupos para a construção do último aparato experimental realizado em sala de aula. Os grupos tiveram dois dias, sendo que no primeiro eles criaram seu próprio circuito em série e em paralelo, contendo fios, receptáculo, lâmpadas e um plugue macho. O último dia foi para a montagem (Figura 29) e o grupo que montou com mais rapidez e qualidade de detalhes alcançou a nota máxima.

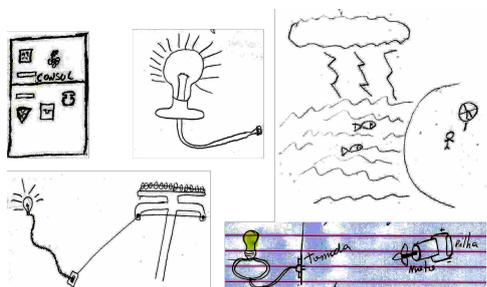


Figura 29 – Término das atividades

Dia do encerramento das atividades. Fonte: Foto feita pelo autor.

Por fim, foi aplicado um exercício diagnóstico com perguntas teóricas e com representação artística do que foi ensinado nas últimas aulas. No ensejo, o professor revisou o que foi repassado anteriormente e, na sequência, aplicou o questionário como forma de avaliação, preocupando-se em observar se o resultado de ensino e aprendizagem foi alcançado e em que nível de ensino o aluno se encontra para o determinado assunto da eletrodinâmica. Dessa forma, utilizando os roteiros que resultaram nos manuais apresentados nos Apêndices B, C e D, o professor teve acesso a uma representação dessas atividades em livreto dividido em formas de produtos que podem ser impressos, conforme Apêndice E.

6 Resultados

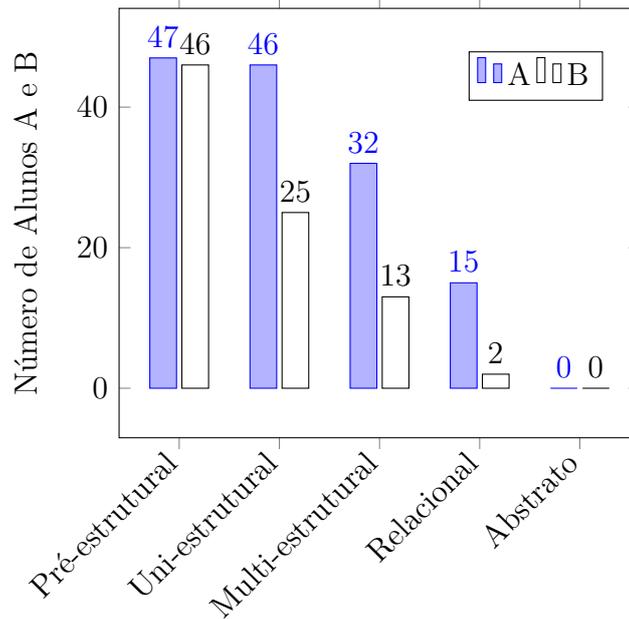
Foram necessárias 12 aulas no total para aplicação, análises e correções nas turmas do Ensino Fundamental II, especificamente no 9º ano, série em que a eletrodinâmica é um dos assuntos essenciais no ensino de Ciências. Nas aulas iniciais, foi aplicado para as turmas A e B um questionário que abordava a importância do uso do laboratório de ciências, com o intuito de conhecer um pouco mais sobre a conexão do ensino com a prática do aluno, observando e debatendo os relatos dos alunos em relação à importância de atividades práticas com as teóricas.

Depois, somente para a turma A foram aplicados os primeiros roteiros presentes no manual *A eletricidade e sua história* (Apêndice B) e as primeiras atividades concernentes a esses roteiros foram realizadas. Para a turma B, as aulas iniciais foram ministradas de modo tradicional, a partir de uma introdução do que seria a eletrodinâmica. Por meio do questionário, foi possível observar que, apesar de a escolar ter um espaço para realizar as atividades de laboratório, o mesmo encontra-se totalmente sucateado e com extrema falta de materiais, privando o aluno de realizar quaisquer atividades que envolvam experimentos e impossibilitando o professor de planejar uma atividade com o manuseio de materiais.

Dessa forma, as atividades que exigiam a manipulação de materiais pelos alunos foram feitas na própria sala de aula e raramente eram propostas pelo professor. Ao ser indagado no questionário se o estudante gostaria de que o professor utilizasse manuais para o auxílio que contenham atividades experimentais do professor e do aluno em sala de aula, a resposta foi unânime, ou seja, “as aulas seriam mais atrativas e me despertaria mais vontade de estudar”, responde um dos alunos.

Na representação a seguir (Gráfico 1), será mostrado o nível inicialmente alcançado pelos alunos na resolução de atividades e o total de participantes, tanto para a turma A quanto para a turma B, no intuito de melhor classificar o que foi compreendido e encaixar os resultados na Taxonomia SOLO, proposta de John Biggs. Ademais, o professor obedeceu à lista de verbos (memorizar, identificar, reconhecer, nomear, citar, ordenar, comparar, analisar, diferenciar, resolver, teorizar, criar hipóteses, generalizar e transferir) e observará o que foi alcançado, considerando que há duas principais mudanças, a quantitativa e a qualitativa – para a primeira, temos: Pré-estrutural, Uni-estrutural e Multi-estrutural; para a segunda fase, temos Relacional Abstrato estendido.

Gráfico 1 - Resultado das atividades iniciais

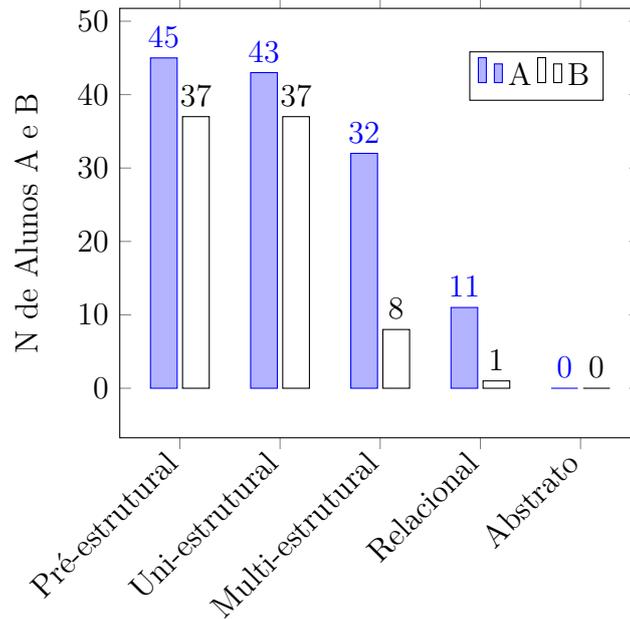


O gráfico 1 representa o número de alunos da turma **A** com 47 participantes e com a turma **B** com 46 participantes, que resolveram as atividades dos roteiros presente no manual (Apêndice B) e alcançaram os níveis: Pré-estrutural, Uni-estrutural, Multi-estrutural, Relacional e Abstrato estendido.

Para a segunda metade das aulas foi utilizada, continuamente, a sala de aula para, então, continuar o assunto da eletrodinâmica e aplicar o restante dos roteiros presentes nos manuais *A eletricidade estática* e *Cargas em movimento*, dos Apêndices C e D, a fim de que o aluno compreenda melhor quando se fala sobre eletricidade, carga e corrente. No roteiro inicial apresentado, que aborda sobre a eletricidade estática, está presente a nossa primeira atividade experimental.

Para esse tipo de atividade foram necessárias duas aulas: na primeira, ocorreu a montagem e a prática dos experimentos; na segunda, foi feita a análise de resultados. A montagem “mecanicamente” simulava a “passagem de cargas por um condutor”, cujos materiais utilizados foram esferas de aço, um cano flexível e uma tábua com 40 x 50cm. Essa atividade foi realizada pelos próprios alunos com auxílio do professor e, quanto aos níveis que os alunos apresentaram no andamento das atividades, que contaram com mais fórmulas, cálculos e menos teoria, estes estão representados no (Gráfico 2).

Gráfico 2 - Resultado das atividades finais



O gráfico 2 representa o número de alunos da turma **A** com 47 participantes e com a turma **B** com 46 participantes, que resolveram as atividades dos roteiros presentes nos manuais (Apêndice C e D) e alcançaram os níveis: Pré-estrutural, Uni-estrutural, Multi-estrutural, Relacional e Abstrato estendido.

As aulas com roteiros presentes no manual do Apêndice D abordam os tipos de associações em série, paralelo e mista de resistores, destacando os possíveis caminhos que a corrente elétrica i encontra durante o movimento dos elétrons - processo também presente no cotidiano do aluno. Os tipos de associações foram representados por meio de atividades experimentais, utilizando-se um pedaço de mangueira (que serviu como fio) em cujo interior foram colocados obstáculos e, criando novas ligações (caminhos), fizeram com que as esferas de aço (no caso, as cargas), depois de soltas e passadas pelo interior da mangueira, simbolizassem as associações.

Para uma representação do que geraria a luz elétrica, foram utilizadas lâmpadas trazidas das próprias casas dos alunos. Assim, com lâmpadas incandescentes, fluorescentes, as atuais lâmpadas LED e com duas associações diferentes - em série e paralelo -, recriamos os conceitos de associações através de desenhos (Figura 30) e os utilizamos para a construção de um experimento.

Para o experimento de encerramento foram utilizados os seguintes materiais: 1m de fio paralelo, lâmpadas (1 fluorescente, 2 incandescentes e 1 led), 1 Plugue macho, 2 receptáculos e uma tábua com 40 x 50cm. A montagem foi realizada pelos alunos com o acompanhamento do professor, principalmente no momento dos cortes nos fios, e foram criadas associações de lâmpadas em série, em paralelo e mista. Utilizando o multímetro, eles analisam os valores fixados no experimento e os colocam com as respectivas grandezas físicas presentes no circuito. Foram observados valores de resistência, tensão e corrente.

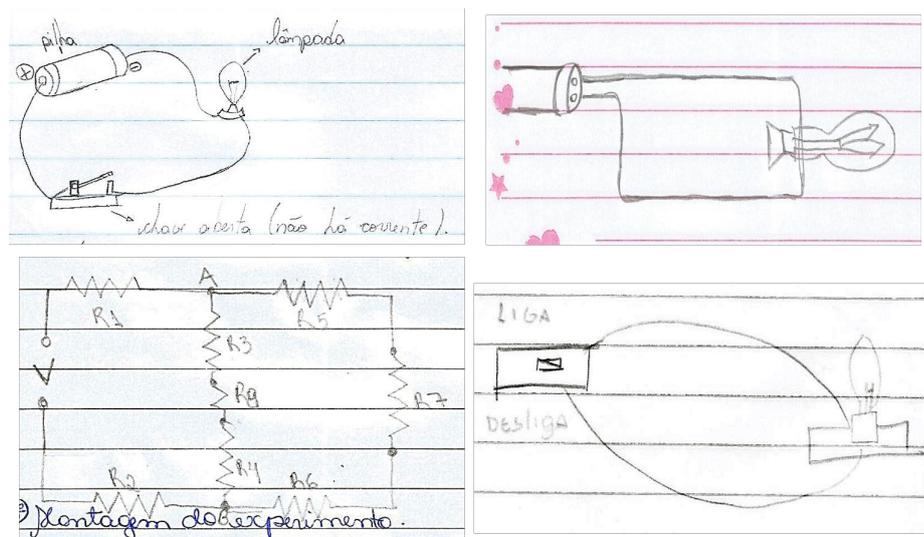


Figura 30 – Desenho dos circuitos

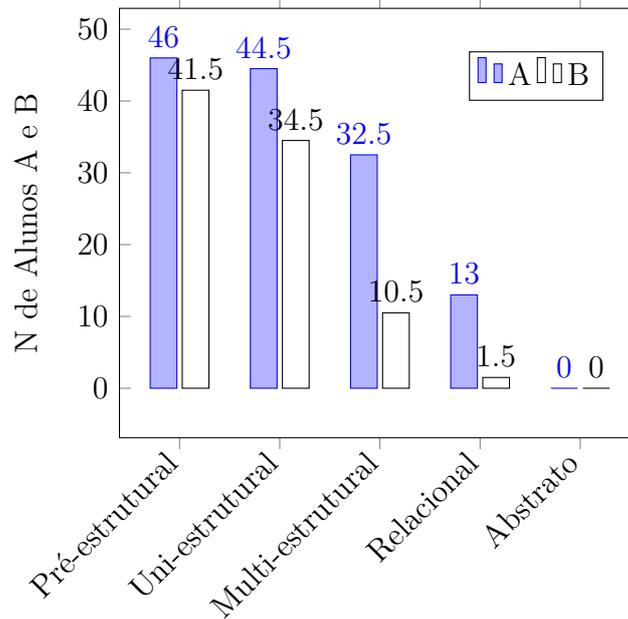
Desenhos realizados pelos alunos de possíveis circuitos, para montagem dos experimentos. Fonte: Elaborada pelos alunos.

Todo o trabalho de montagem do experimento e verificação das medidas com a utilização do multímetro foi realizado pelos alunos com o acompanhamento do professor, pois é uma atividade que demonstra o conhecimento fundamental da eletrodinâmica. No último dia de aula, os roteiros foram pegos e analisados para o término das correções das respostas teóricas e das representações artísticas, com desenho do que foi ensinado nas últimas aulas e, aproveitando o momento, o professor revisou o que foi aprendido nas aulas anteriores.

Preocupando-se em observar se o resultado de ensino e aprendizagem foi alcançado, o professor identifica em que nível de ensino o aluno se encontra para o determinado assunto da eletrodinâmica. Então o aluno, através de desenhos em uma folha de papel A4, representa o que compreendeu sobre a eletrodinâmica na atividade que exigiu manuseio dos materiais do experimento. Assim, com a aplicação dos roteiros foi possível a confecção dos manuais de auxílio.

A análise dos resultados foi diferente do esperado e retrata a realidade do aluno de escola pública da cidade de Manaus, em particular da escola em que foi aplicado o trabalho, posto que existe uma grande dificuldade dos alunos na interpretação e nos cálculos básicos realizados. Dessa forma, o retrato em níveis de acordo com a Taxonomia SOLO em que, obedecendo à lista de verbos para observar o que foi alcançado e dividindo como quantitativa e qualitativa, levou ao resultado em que poucos alunos alcançaram o nível Multi-estrutural e muitos se apresentaram no nível Uni-estrutural, conforme pode ser observado no (Gráfico 3).

Gráfico 3 - Média das atividades iniciais e finais



O gráfico 3 representa uma média aritmética de alunos da turma **A** com 47 participantes e com a turma **B** com 46 participantes, que resolveram as atividades dos roteiros presente nos manuais (Apêndice B, C e D) e alcançaram os níveis: Pré-estrutural, Uni-estrutural, Multi-estrutural, Relacional e Abstrato estendido.

Finalmente, é importante ressaltar que esta dissertação destina-se a auxiliar os professores de Ciências e/ou de Física do Ensino Básico, particularmente no Ensino Fundamental II, no ensino da eletrodinâmica. Além disso, servirá para tirar dúvidas dos alunos sobre os fenômenos eletrodinâmicos presentes na natureza e, dependendo da turma e do professor, os três manuais podem ser apresentados e utilizados por alunos do 6º ao 9º ano do Ensino Fundamental II, utilizando-se dos três ou somente de um, para despertar maior interesse das crianças em fatos históricos, fórmulas e cálculos que poderão auxiliá-las futuramente.

APÊNDICE A – Questionário

Ensino de Física

Questionário 1

1. Sua escola tem laboratório?

() Sim () Não

2. Você tem acesso ao laboratório?

() Sim () Não

3. Com que frequência você gostaria de realizar, atividades no laboratório?

() Todo dia () Uma vez por semana () Somente nos finais de semana

4. Você já utilizou algum experimento para apresentar em sala de aula?

() Sim () Não

5. Qual é o experimento em que você já utilizou ou ouviu falar?

6. Em média, a quanto tempo, em dias ou horas, você não utiliza o laboratório?

7. Você já utilizou a sala de aula para concluir alguma atividade experimental?

() Sim () Não

8. Você já assistiu algum vídeo do YouTube, que te ajude a compreender melhor os assuntos ministrados pelo professor em sala de aula que nele contenha atividade experimental?

() Sim () Não

9. Seu professor utiliza o acesso á experimentos em sala de aula como apoio para entendimento e compreensão dos alunos?

Sim As vezes Não

10. Você acha que é possível utilizar da manuais para o auxilio do professor e do aluno em sala de aula?

Com certeza Nem tanto assim Não é possível

11. De acordo com a sua resposta da questão 9. Como deveriam ser as aulas, utilizando manuais e a atividade experimental?

APÊNDICE B – Produto - A eletricidade e sua história

ESCOLA:

PROFESSOR(A):

ALUNO(A):

SÉRIE: TURMA: TURNO:

A eletricidade e sua história

RAFAEL FERREIRA LOPES

DENILSON DA SILVA BORGES

1 Como se inicia a eletrização?

Segredos da “pedra” preciosa

A história da eletricidade inicia-se a muitos anos atrás com os gregos que notaram a existência de uma substância resinosa e heterogênea que tem a capacidade de atração e repulsão através da fricção. Ele provém dos arbustos de outrora, que se erguiam sobre o solo há milhões de anos atrás, na qual esse elemento tinha a utilidade de evitar a invasão de bactérias e insetos na madeira destas árvores. Esta propriedade que não era comum em nenhum outro material já visto, passou a ser observado e analisado com mais afinco por estudiosos e filósofos dessa época, no qual foi denominado de **âmbar** que no árabe significa *Anbar*. Com uma cor amarelada, por muitos anos o âmbar também foi conhecido como *karabe* nome dado por derivação oriental que significa “que atrai palha”. Um filósofo grego que analisou as propriedades desse material foi Tales de Mileto que por volta de (640 - 546 a.C.) estudou substâncias com a mesma característica em que o âmbar apresentava no ato da fricção, como pelos de animais. Tales de Mileto em sua época além de ser filósofo, matemático, engenheiro, astrônomo e etc, passou a chamar essa pedra no grego de *elektron*, o que significa eletricidade. Tales de Mileto é apontado como um dos mais sábios da Grécia Antiga, pois se esforçava em não só em explicar, como também exemplificar a vida na natureza, de forma única. O que ajudou muito a levar a evolução filosófica daquela época. No Mar Báltico, entre a Península Escandinava e a costa da Polônia, Estônia, Letônia, Lituânia, Rússia e Finlândia. Possui, desde a era pré-histórica, a maior quantidade de âmbar.

Atividade:

1. De acordo com o texto, Relacione a 1ª coluna com a 2ª.

- | | |
|---------------------|----------------------------------|
| (A) Tales de Mileto | () Atritar substâncias. |
| (B) Âmbar | () Material amarelo. |
| | () Matemático, astrônomo e etc. |
| | () Conhecido como karabe. |
| | () Substancia amarelada |
| | () Tem poder de atração |

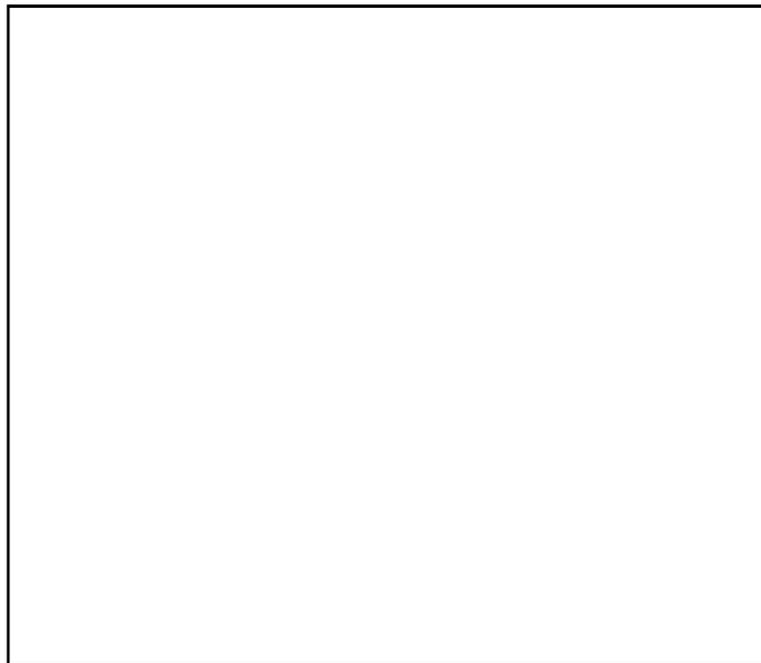
2. Quais são as características do âmbar, notada pelos Gregos?

3. Onde se concentra uma maior quantidade de âmbar e qual povo observou, que após de atritá-lo passa a atrair corpos leves?

4. Complete:

- a) _____ é apontado como um dos mais sábios da _____ .
- b) Os gregos notaram a existência de uma _____ resinosa e _____ que tem a capacidade de _____ e _____ através da _____ .
- c) Com uma cor _____ o _____ também conhecido como _____ [...] que significa “ _____ ” .

5. No quadro a seguir desenhe, um outro tipo de material que apresente a mesma característica de atração que o âmbar descrito no texto em seu cotidiano.



2 O Método de fricção

O médico e o método de atrito

O pesquisador, físico e médico inglês da rainha da Inglaterra, Elizabeth I, William Gilbert (1540 - 1603), que separava seus estudos de eletricidade e do magnetismo, introduziu importantes conceitos na física através de seus estudos sobre a eletricidade estática. Como força elétrica, atração elétrica e no magnetismo como polo magnético. Utilizando o âmbar em suas análises passou a chama-lo de “eletricidade” ele argumentava que seus métodos de fricção em “corpos” sempre apresentava a eletricidade. E muitos desses “testes”, foram experimentados para uma melhor compreensão dos fenômenos físicos que estavam ocorrendo. Gilbert mostrou que o efeito elétrico em corpos não é restrito ao âmbar, mas em muitas outras substâncias que podem ser carregadas eletricamente ao serem atritadas. Um de seus importantes experimentos, foi a utilização de um frasco de vidro com uma tampa de rolha atravessada por um fio de cobre em forma de L e uma esfera de metal numa ponta. No fio colocou uma pequena folha de ouro fina que ao aproximá-lo de materiais, carregado por ser esfregada, as extremidades da folha são separadas porque foi carregado com a mesma carga fazendo com que eles se repelem nas extremidades. Foi o que fez, para que o material apresentasse uma forma de ser carregado ou não, origem do nome de condutores e isoladores e chamou esse instrumento de eletroscópio.

Atividade:

1. Para William Gilbert o âmbar foi chamado de quê e porquê?

2. Descreva o experimento citado no texto, completando a seguir:

a) Utilizando de um _____ de _____, com uma tampa _____ atravessada por um _____ de _____ em forma de L e uma _____ de _____ numa ponta.

b) No fio colocou uma _____ folha de _____, que ao aproximá-lo de _____ carregado por ser _____, as _____ da folha são separadas.

c) Porque foi _____ com a _____ carga fazendo com que eles _____ nas _____. Foi o que fez, para que o material apresentasse uma forma de ser _____ ou _____, origem do nome de _____ e _____ e chamou esse instrumento de _____.

3. Pinte abaixo os materiais que são isolantes e separe de acordo com as colunas (A) condutores e (B) isolantes ?

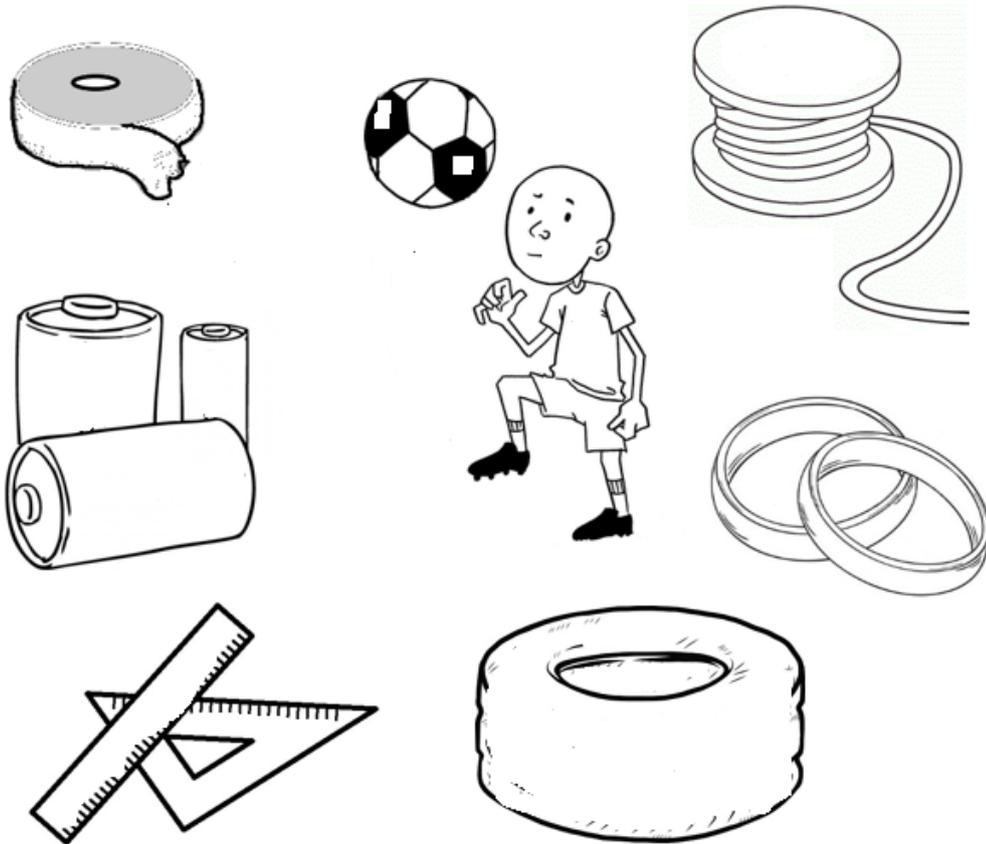


Figura 31 – Exercício - Objetos isolante e condutores

Fonte: Elaborado pelo autor

(A) condutores

(B) isolantes

4. De acordo com William Gilbert o efeito elétrico em corpos não é restrito ao âmbar.

Por quê?

5. No quadro a seguir desenhe um fato, que você observou em seu dia a dia, a necessidade de isolar um material para que não exista a passagem da eletricidade.



Qual é a necessidade de utilizar um material isolante em casa?

3 A máquina eletrostática

A máquina eletrostática

O inventor da máquina eletrostática Otto Von Guericke (1602 - 1686) que também defendeu a ideia da existência do vácuo, realizou trabalhos com esferas maciças, ocas e semi esferas. E em um de seus trabalhos mostrou que uma esfera oca partida ao meio, e depois unida de tal forma que, em seu interior o ar seja totalmente removido provou que seus hemisférios permaneciam unidos e que seria praticamente impossível de separá-los, que no entanto foram necessárias 16 cavalos para separá-las. Produzindo vácuo através de um aparato experimental que ele mesmo inventara, demonstra que o ar possui massa e a existência da pressão atmosférica. Que hoje afirmamos ser a força exercida por uma coluna de ar sobre uma unidade de área. Guericke como era chamado, observou que uma esfera de enxofre se eletriza através do atrito manual contínuo, com a mão do operador coberta por uma “luva” de lã, e a partir daí passará a manifestar propriedades elétricas de atração e de repulsão. O que fez verificar ainda a possibilidade da eletricidade passar de um corpo para outro por meio do contato, do modo que acumule cargas elétricas na superfície. Tal feito que pode se manifestar em qualquer material, é conhecido também como eletricidade estática.

Atividade:

1. De acordo com Otto Von Guericke o que é possível verificar na eletrização por contato?

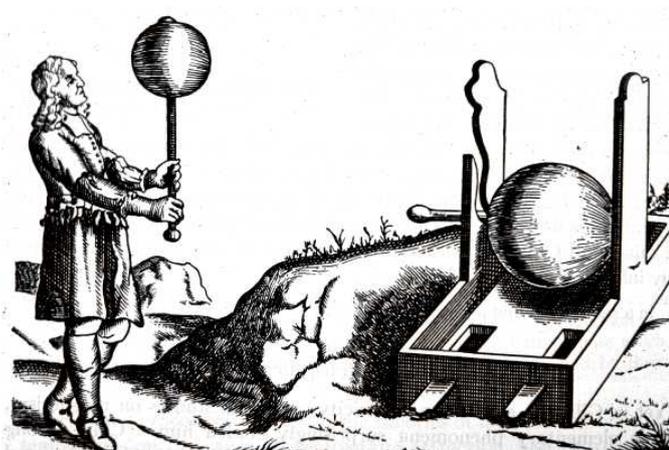


Figura 32 – Exercício - Máquina eletrostática

Otto von Guericke inventa uma máquina que produz eletricidade estática em 1660. Fonte: Extraído de (GUERICKE, 1672, p.241).

2. A eletrização produzida através do globo de enxofre que podia ser girado e friccionado, que foi utilizado por Guericke é:

- a) uma forma capaz de gerar circuito elétrico.
- b) um método utilizado para criar fluido.
- c) uma forma de criar vácuo.
- d) um método utilizado na criação da semi-esfera.
- e) uma forma capaz de manifestar propriedades elétricas.

3. O que é a eletricidade estática?

4. No texto Otto Von Guericke, extraiu totalmente o ar existente entre as esferas de aço:

- a) para que a umidade não dificultasse a união das esferas.
- b) para unir as esferas era necessário estar totalmente eletrizado.
- c) para que fosse possível separá-los com mais facilidade.
- d) Para unir as esferas pelo processo de contato.
- e) para provar que seus hemisférios permaneciam unidos e que seria praticamente impossível de separá-los.

5. De acordo com o texto o que seria vácuo?

4 O fenômeno elétrico

O relâmpago de Franklin

Em 1747 a hipótese de que o relâmpago era um fenômeno elétrico foi defendido por Benjamin Franklin (1706 - 1790), e que foi capaz de estudar a eletricidade através dos raios. Franklin originalmente queria testar suas teorias em cima de uma torre, no qual devia ser construído em uma igreja de Filadélfia. O que o levou a utilizar uma pipa móvel, ao invés de uma torre estacionária. Ele acreditava que usando a “pipa”, testaria melhor os resultados. Então Franklin preparou o seu experimento amarrando um lenço em cada uma das duas varas e cruzando-as, de comprimento calculado e idênticos. Estendendo-se verticalmente sobre um pé e ao topo da vara vertical foi um fio. O papagaio, (como é conhecido em Manaus), foi estendido para o ar por um pedaço de corda. Ao longo da cadeia do aparelho estava amarrado uma chave de metal, que neste caso, ajuda a parece conduzir a eletricidade.

Atividade:

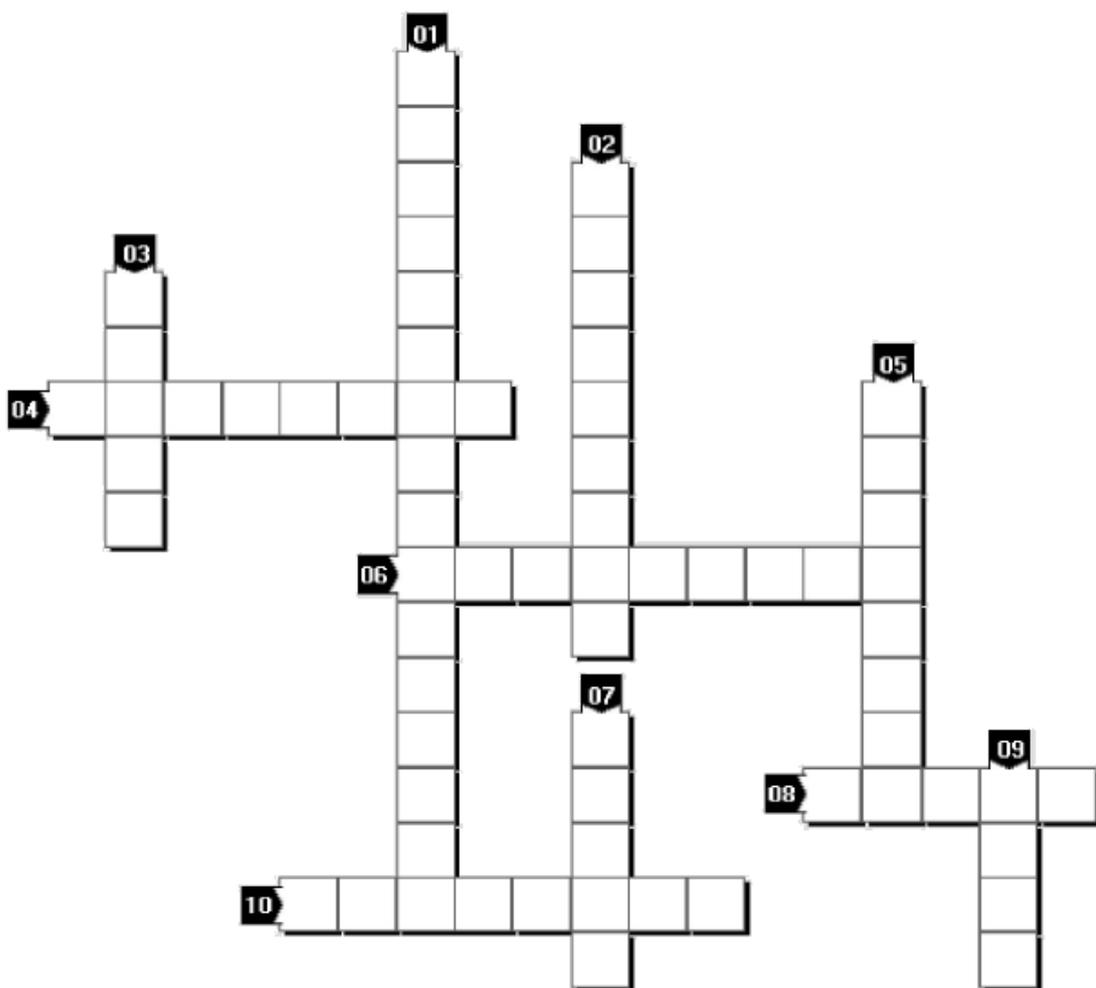
1. O que possibilitou a condução de eletricidade? Por quê?

2. Por quê é possível uma pessoa levar choque?

3. O que deveria ser utilizado por Benjamin Franklin para que a eletricidade conduzida pelo fio até sua mão, **não o levasse** ao choque elétrico? Dê exemplos:

4. Complete as palavras cruzadas:

01) Viveu entre (1706 - 1790).; 02) Varas muito parecidas.; 03) Utilizou esse material de metal que conduz eletricidade.; 04) Estendeu para o ar por um pedaço de corda.; 05) Procurou produzir em seus testes para efeito de observação da natureza o elétrico.; 06) Fenômeno elétrico defendido por Franklin; 07) O que Franklin amarrou em cada uma das varas?; 08) Tentou primeiramente fazer seus testes em cima de uma ; 09) Estudou fenômenos elétricos através dele.; 10) Para produzir a eletricidade utilizou uma chave no experimento por ter efeito de?.



5. No quadro a seguir desenhe, uma descarga elétrica (relâmpago) que foi avistada por você, próximo de sua casa ou no bairro vizinho.



No bairro de Benjamin Franklin era possível avistar vários relâmpagos.

5 A lei de Coulomb

A balança de torção

Engenheiro de formação, Charles Augustin de Coulomb (1736 - 1806) foi principalmente físico. Idealizou a *balança de torção* que se trata de equilíbrio de tração, para viabilizar medidas com uma grande precisão feitas por forças pequenas. Na balança construída por Coulomb há uma haste que é suspensa por um fio e em cada uma de suas extremidades há uma esfera. Tomando outra haste com uma esfera também eletrizada, faz a aproximação entre as duas. Em razão da força elétrica que se manifesta nesse processo, a haste que está suspensa por um fio acaba girando, provocando dessa forma uma torção no fio. Ao medir o ângulo de torção, Coulomb conseguia determinar a força entre as esferas e após repetir várias vezes o procedimento experimental com as esferas separadas variando a distância entre elas, Coulomb acabou concluindo que a força elétrica era inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as duas esferas.

Atividade:

1. De acordo com o texto, Identifique o experimento descrito no texto.

- (a) fio de sustentação da haste.
- (b) haste com esferas na extremidade.
- (c) haste com a esfera na extremidade.
- (d) distância entre as cargas.

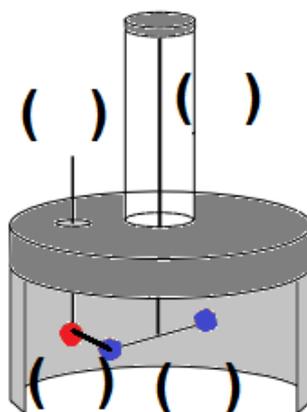


Figura 33 – Exercício - Balança de torção

Fonte: Disponível em: <http://www.mspc.eng.br> Acesso em mar. 2017.

2. De acordo com o texto, como Charles Coulomb defini, o que é força elétrica?

3. No quadro a seguir, escreva o sentido em que as setas iram apresentar na existência de duas cargas em interação. Definindo a atração e repulsão utilizando, \Leftarrow , --- ou \Rightarrow nos espaços em branco.

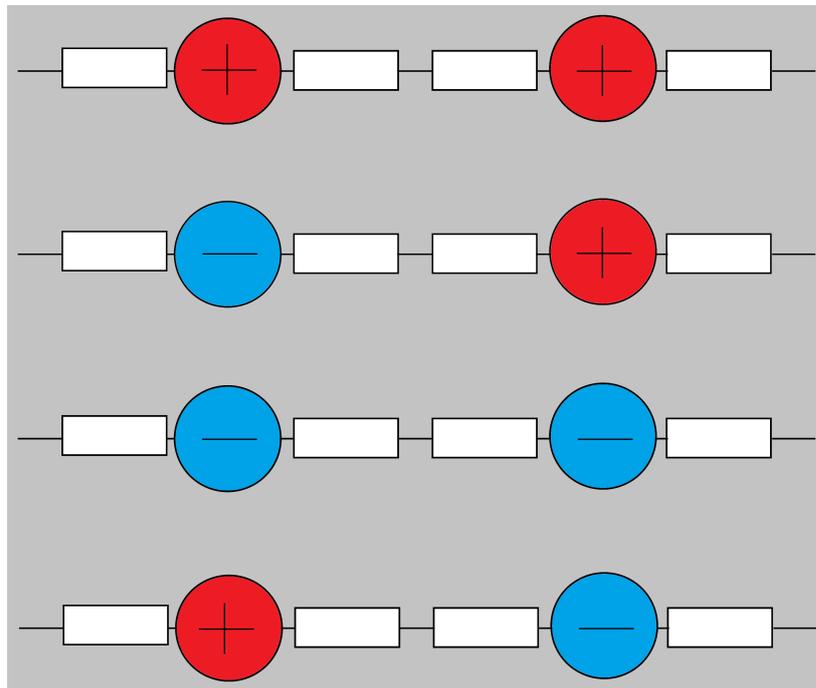


Figura 34 – Exercício - Força elétrica entre as esferas

Fonte: Elaborada pelo autor

4. Defina o significado de repulsão e atração de cargas?

5. Complete, utilizando palavras abaixo:

contatos	indução	elétricos	cargas	Darwin
formato	razão	inverso	atrito	condução
diretamente	Franklin	quadrado	vácuo	Coulomb

Para que exista interação entre as _____ é necessário a existência de, ao menos, mais de uma carga em teste no meio qualquer. E através da definição dada por Charles _____ em que afirma que, a força dessa interação é diretamente dependente da carga em relação a uma carga de prova, e ao _____ da distância que as separa ao _____. Que no caso de Coulomb essa força é calculada considerando o meio _____.

6 Alessandro Volta e Luigi Galvani

A pilha voltaica

Atualmente todo gerador que utiliza do processo químico como a “pilha voltaica”, pilha criada por Volta, é conhecida como *célula voltaica*. Colocando um disco de prata, um disco de zinco por cima e um disco de papelão embebido em uma solução de salmoura, conectando as extremidades por um fio condutor externo. Entretanto, uma das possíveis motivações que levaram Volta a construção da pilha foram as discussões sobre a teoria de eletricidade animal proposta por Luigi Galvani. Após algumas investigações, Volta estabelece experimentalmente uma relação entre certos materiais, e posteriormente elabora a teoria de contato em contraposição à teoria de eletricidade animal. A busca de Volta pelo entendimento da natureza de eletricidade gerada pelo seu eletromotor está diretamente relacionada com a construção da pilha. O que na segunda metade do século XVIII, Alessandro Volta e Luigi Galvani passaram maior parte de seu tempo tentando desvendar a veracidade de tal ocorrência. Já Luigi Galvani creditava a ocorrência de tal evento a um “fluido animal” existente no animal. Galvani também utilizou rãs em seus experimentos mais as colocava submetidas a uma forma de eletricidade que no caso passou a utilizar máquinas eletrostática em contato com os pares metálicos o que levou a observar a existência de contrações nas pernas das rãs. O que para Alessandro Volta a origem da corrente elétrica, não estava nos seres vivos mas sim no contato entre dois metais diferentes num meio ionizado.

Atividade:

1. A pilha de Alessandro Volta foi construída seguindo qual tipo de processo?

2. Qual foi o animal que Luigi Galvani utilizou para a sua descoberta? Qual animal você conhece capaz de produzir eletricidade?

3. Considere as afirmações (C) para corretas e (E) para as erradas, conforme o texto.

- () A busca de volta pela natureza da eletricidade gerada pelo eletromotor não estava relacionado a construção da pilha.
- () Galvani utilizou rãs em seus experimentos.
- () Uma das possíveis movimentação, que levou Volta a construção da pilha foi a discussão da eletricidade animal.
- () Volta estabeleceu na maior parte do seu tempo a veracidade do evento à um fluido animal como uma forma de eletricidade.
- () processo biológico foi possível obter a pilha criada por Volta, que é conhecida como célula voltaica.

4. Preencha o espaço em branco da figura com a ordem correta da distribuição de discos para a construção da pilha de volta.

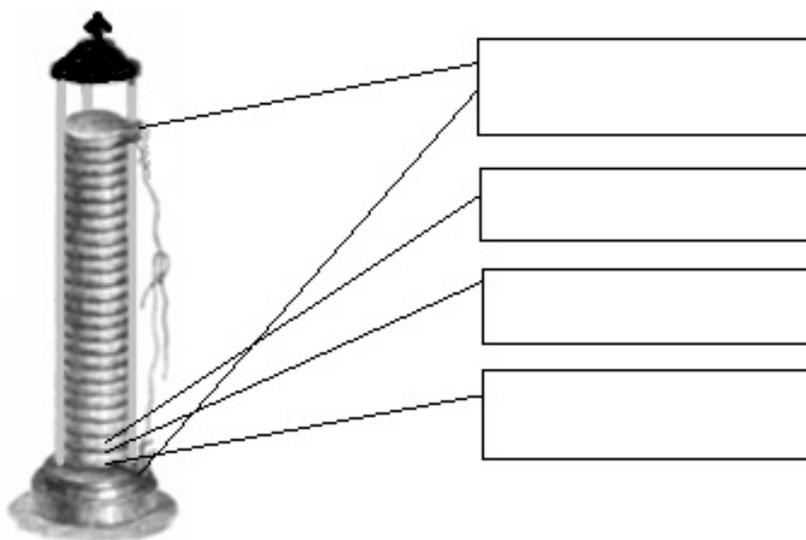


Figura 35 – Exercício - A Pilha de Volta

Fonte: Brasil Escola - Disponível em: <http://brasilecola.uol.com.br/quimica/alessandro-volta>
 Acessado e modificado em março de 2017.

5. De acordo com Alessandro Volta o que produzia a eletricidade animal?

Bibliografia:

S. L. B. Boss and J. J. Caluzi, “Os conceitos de eletricidade vítrea e eletricidade resinosa segundo du fay”, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 29, no. 4, pp. 635–644, 2007.

W. Gilbert, *De magnete*. Courier Corporation, 1958.

N. Marquardt, “Introduction to the principles of vacuum physics”, 1999.

GUERICKE, Otto Von. *Experimenta Nova (ut vocantur) Magdeburgica de Vacuo Spatio Primùm à R.P. Gaspare Schotto*. Amsterdam: J. Janssonium a Waesberge, 1672, 244p.

C. C. Silva and A. C. Pimentel, “Uma análise da história da eletricidade presente em livros didáticos: o caso de Benjamin Franklin”, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, vol. 25, no. 1, pp. 141–159, 2008.

A. E. Hartmann, “Coulomb e a tradição científica”, 2015.

R. S. Boni et al., “A pilha de alessandro volta (1745-1827): diálogos e conflitos no final do século XVIII e início do século XIX”, 2007.

Sites importantes:

Mestrado Nacional Profissional em ensino de Física - produtos de ensino

<http://www1.fisica.org.br/mnpef/?q=defesas/produtos>

Olimpíada Brasileira de Física das Escolas Públicas

<http://www.sbfisica.org.br/obfep/>

Sociedade Brasileira de Física

<http://www.sbfisica.org.br/v1/>

APÊNDICE C – Produto - A eletricidade estática

ESCOLA:

PROFESSOR(A):

ALUNO(A):

SÉRIE: TURMA: TURNO:

A eletricidade estática

RAFAEL FERREIRA LOPES

DENILSON DA SILVA BORGES

1 Processos de eletrização

Como vimos inicialmente diversos corpos foram postos em prova com intuito de estudar as propriedades de materiais presente entre elas. Como na invenção de Otto Von Guerick que através de uma máquina que utilizava a fricção para produzir eletricidade. Stephen Gray foi um pouco mais além, analisando as propriedades de transmissão de um corpo para o outro o que levou a classifica-los em dois grupos: condutores e isolantes. E Du Fay que utilizava da eletricidade vítrea para observar o comportamento dos corpos. No entanto podemos descrever processos importantes de eletrização sem esquecer que foi através da eletricidade vítrea que representaremos o sinal positivo (+) para o excesso de carga e sinal negativo (-) para a falta de carga, no qual Benjamim Franklin as classificou afirmando que eletricidade partia do excesso (+) para a falta dela (-). Então vamos descrever três processos resultantes de inúmeras tentativas de diversos estudiosos da antiguidade.

Figura 36 – Exercício - Eletrização por atrito



Na figura (a) temos dois objetos em atrito e em (b) uma tabela. Fonte: (a) Elaborada pelo autor; (b) Disponível em: <https://www.stoodi.com.br/exercicios/ifsp/2016/questao> Acesso em fev. 2017.

2 A eletrização por atrito

Classificando na forma de fricção (atrito), de contato e por indução, que são princípios da eletricidade vamos obter resultados que serão analisados através das figuras abaixo iniciaremos através do atrito pois pela história foi a primeira forma de observar a ocorrência da eletricidade. Em que consiste em obter um corpo eletrizado através a fricção de um corpo A com outro B. como por exemplo: Se friccionarmos um um pedaço de lã e uma barra de vidro existirá a passagem de elétrons do vidro para a lã, que ao final do processo ficam com sinais positivo e negativo respectivamente.

Atividade Experimental:

Materiais:

1. Uma toalha de rosto;
2. Dois balões;
3. Dois espetos de fruta.

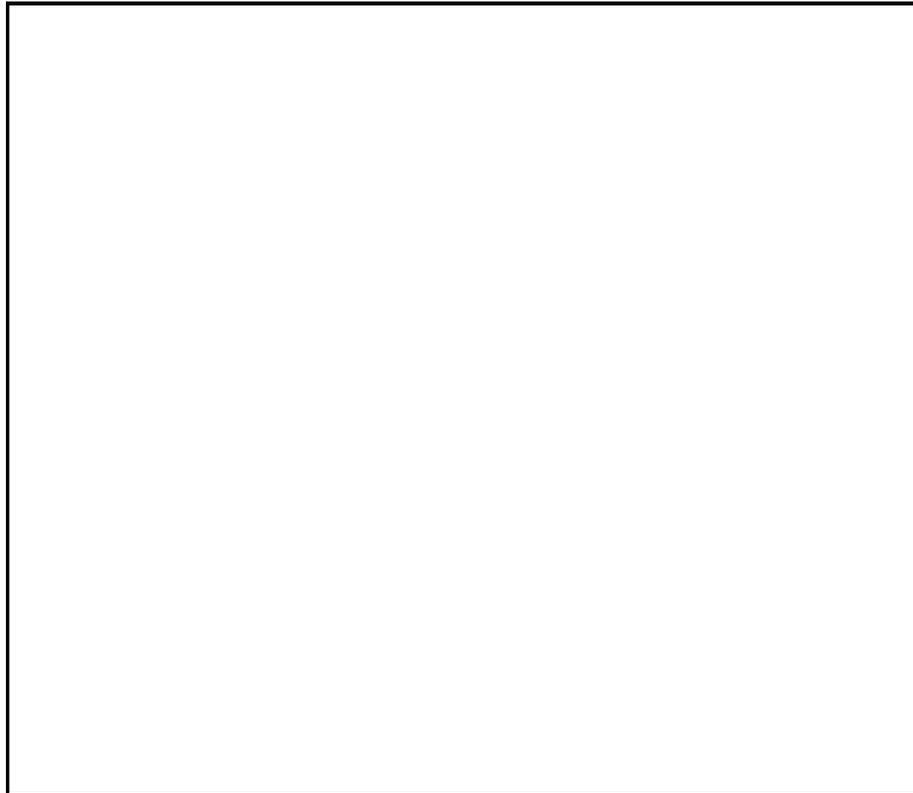
Montagem:

- a) Encher os balões e amarrar os balões em separado em cada espeto;
 - b) Atritar um dos balões com a toalha de rosto e fazer a mesma coisa com o segundo balão;
 - c) Aproximar os balões.
- o Descreva o resultado obtido no experimento:

Responda:

1. Ao pentearmos nossos cabelos utilizamos diferentes tipos de pente. Os mais comuns são os de plástico e os de madeira. Qual processo de eletrização utilizamos ao pentearmos o cabelo? e qual dos dois (cabelo e pente) se apresenta eletricamente positivo?

2. No quadro abaixo divida em quatro pequenos quadrados iguais fazendo uma cruz ao meio, e depois desenhe os quatro momentos citados, durante o experimento.



3. Em noites com ambiente em que a temperatura se apresenta muito baixa é comum utilizarmos cobertores, quando estamos deitados na cama. E ao nos mexermos o cobertor que está em contato com nossa pele acaba sendo atritado. É possível no decorrer de todo esse atrito, algum tipo de descarga elétrica?

4. Em noites com ambiente em que a temperatura se apresenta muito baixa é comum utilizarmos cobertores, quando estamos deitados na cama. E ao nos mexermos o cobertor que está em contato com nossa pele acaba sendo atritado. É possível no decorrer de todo esse atrito, algum tipo de descarga elétrica?

5. Ao atritarmos os objetos da figura a baixo em pares, será possível observar que por atrito todos, depois de separados, estarão eletrizados. De acordo com a série triboelétrica, liste abaixo os objetos que ao atritar está eletricamente positivo e eletricamente negativo.



Figura 37 – Exercício - Objetos em atrito

Fonte: <http://cienciasentreciencias.blogspot.com.br/2011/04/o-que-e-ambar.html> Acessado e modificado em fev. 2017

Positivo

Negativo

3 A eletrização por contato

Para o processo de eletrização por contato, no geral é possível observar somente em corpos que continham substâncias capazes de possibilitar a condução de eletricidade. Que no caso de condutores metálicos possuem elétrons livres fazendo que existisse a possibilidade de movimenta-se livremente em suas superfícies. Então é necessário que um corpo esteja inicialmente eletrizado para que exista a capacidade de transportar elétrons para outro corpo. Se ambos os corpos estiverem eletrizados, a troca de elétrons afetará as quantidades finais. Então é comum eletrizarmos um corpo que esteja eletricamente neutro.

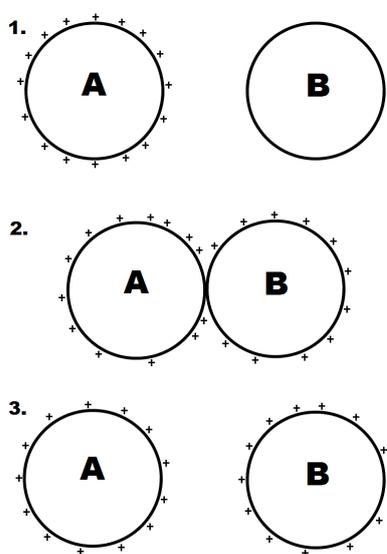


Figura 38 – Exercício - Eletrização por contato

Fonte: Elaborada pelo autor

Atividade Experimental:

Materiais:

1. Duas bolas pequenas de isopor;
2. Papel de alumínio;
3. Toalha de rosto.

Montagem:

- a) Envolver as duas bolas de isopor com o papel de alumínio;
- b) Atritar uma das bolas com o pano de lã;
- c) Aproximar, até tocar na segunda esfera e depois separar;

d) Repetir a aproximação mais uma vez.

o Descreva o resultado obtido no experimento:

Responda:

1. Ao colocarmos em contato duas esferas metálicas, ambas iram apresentar cargas diferentes, da carga que inicialmente, antes do contato, apresentam. Uma representação matemática foi descrita abaixo, mostrando o antes e durante do contado. Qual é o valor das esferas A e B, após o contato?

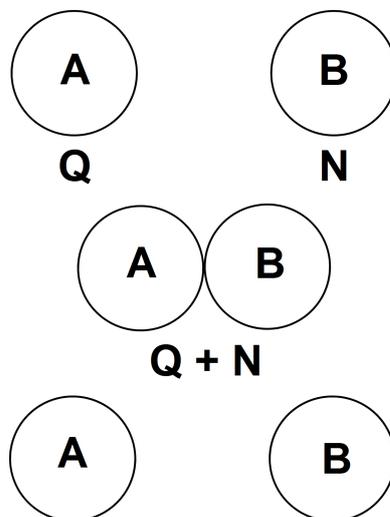


Figura 39 – Exercício - Esferas em contato

Fonte: Elaborado pelo autor.

- a) ambas ficam com $2Q$
- b) a esfera A apresenta $2Q$
- c) a esfera B apresenta Q
- d) ambas ficam com $\frac{Q}{2}$

e) as esferas A e B ficam $\frac{Q}{4}$

2. Imagine a existência de duas esferas perfeitamente redondas com o mesmo diâmetro e de mesmo material. Se uma das esferas, que a chamaremos de A, estiver eletricamente carregada com carga positiva e a segunda esfera, a esfera B, estiver apresentar eletricamente neutra ao entrarem em contato e depois separados eles ficaram eletrizados com cargas eletricamente positivas, negativas ou neutras?

3. Calcule:

Uma esfera A eletricamente carregada com uma carga $\frac{Q}{2}$ é posta em contato com outras duas esferas B e C idênticas, com cargas Q e -Q, seguindo os contatos abaixo:

1. a esfera A toca a esfera B;
2. a esfera B toca a esfera C;
3. a esfera C toca a esfera A.

Responda qual é o novo valor de A, B e C, após o contato?

<p>Cálculo:</p>

4. O que acontece se tivermos duas esferas inicialmente postas em contato tendo uma delas carregado negativamente e a outra com o diâmetro menor do que a esfera carregada?

5. Complete de acordo com o texto:

Que afirma, que no caso de _____ metálicos possuem elétrons _____ fazendo que existisse a possibilidade de _____ livremente em suas superfícies. Então é necessário que um corpo esteja _____ eletrizado para que exista a capacidade de _____ elétrons para outro corpo. Se ambos os corpos estiverem eletrizados, a troca de elétrons afetará as _____ finais. Então é comum eletrizarmos um corpo que esteja eletricamente _____.

4 A eletrização por indução

Para o processo de indução elétrica os corpos que são utilizados dois corpos de forma que um corpo deve apresentar a eletrização e o outro deve está neutro. Os corpos necessariamente não precisam ser de um mesmo material mais o transporte de cargas não é suficiente para uma eletrização final, sendo assim necessário um terceiro agente que interaja que o corpo que será eletrizado, para que realmente ocorra a eletrização. Esse corpo externo servirá como um fio terra para possibilitar a passagem de cargas que foram postas em repulsão e assim possibilitando a eletrização do segundo corpo e conseqüentemente o terceiro. Iremos observar melhor como ocorre esse tipo de eletrização através do exemplo.

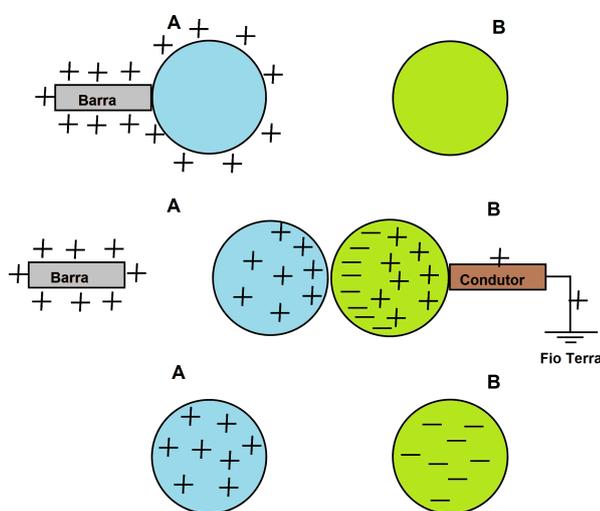


Figura 40 – Exercício - Eletrização por indução

Fonte: Elaborado pelo autor.

Atividade Experimental:

Materiais:

1. Três balões;
2. Linha de algodão;
3. Dois espetos.

Montagem:

- a) Encher os dois balões com ar;
- b) Amarar os balões separadamente em um espeto;
- c) Atritar um dos balões com a toalha de rosto;

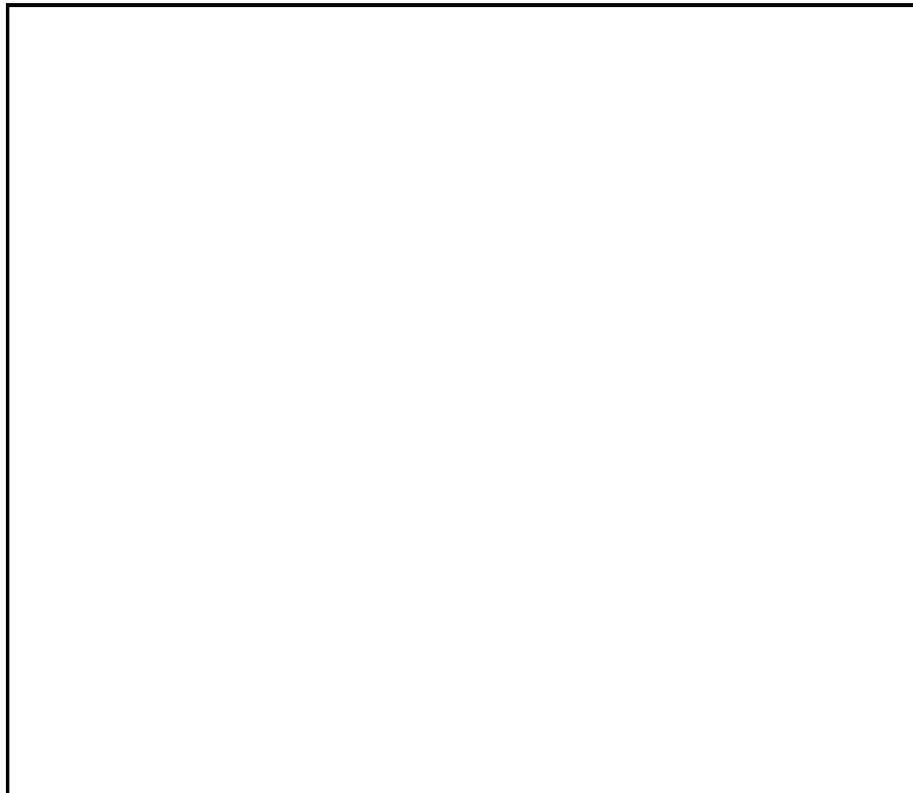
d) Aproximar o balão **A** eletrizado sem tocar o segundo balão **B** e ao mesmo tempo tocar um terceiro balão **C** ao balão **B**;

e) Separe o balão **C** do balão **B** e depois retire o balão **A**.

o Descreva o resultado obtido no experimento:

Responda:

1. No quadro abaixo desenhe a função do fio terra presente nos para raios.



2. Para o processo de indução elétrica na atividade experimental é necessário quantos corpos. E por quê?

3. Indique (V) para verdadeiro e (F) para Falso nas as alternativas abaixo, sobre o que ocorreu na atividade experimental.

() O barra que serve como fio terra não é necessário para possibilitar a passagem de cargas.

() Um corpo deve apresentar eletrização e o outro deve estar neutro para o processo de indução elétrica.

() Para que dois corpos tenham a mesma eletrização no final basta utilizar o processo de indução e não é necessário serem do mesmo material.

() Um corpo externo servirá como fio terra para possibilitar a passagem de cargas.

4. Conforme o texto o que você aprendeu sobre eletrização por indução?

5. Um corpo A eletrizado positivamente entra em contato com outro corpo B inicialmente neutro conforme a figura abaixo, houve uma indução elétrica ou precisou de um terceiro corpo? Justifique.

5 Notação científica

Potência de base 10, ou notação científica.

Para continuarmos nossos estudos utilizaremos algumas representações matemáticas necessárias para uma melhor compreensão da interação elétrica.

Tipos de notação que serão utilizadas:

⇒ Para números muito grande:

Ex: 720000000 será escrito como $7,2 \times 10^8$

⇒ Para números muito pequeno:

Ex: 000000072 será escrito como $7,2 \times 10^{-8}$

Os números representados ao lado da base 10 (Ex: 7,2) estarão sempre entre 0 e 9.

Multiplicação de notação

Multiplique os termos (números) que estão ao lado da base 10, repita a base e some os expoentes.

Ex: $A \times 10^B \cdot C \times 10^D = (A \cdot C) \times 10^{B+D}$

$$3,0 \times 10^7 \cdot 2,0 \times 10^6 = 6,0 \times 10^{13}$$

Divisão de notação

Divida os termos (números) que estão ao lado da base 10, repita a base e subtraia os expoentes.

Ex: $\frac{A \times 10^B}{C \times 10^D} = \frac{A}{C} \times 10^{B-D}$

$$\frac{6,0 \times 10^5}{3,0 \times 10^6} = \frac{6,0}{3,0} \times 10^{5-6} = 2,0 \times 10^{-1}$$

6 Intensidade da força elétrica

A força elétrica entre as cargas

A existência de cargas positivas e negativas em um corpo foram estabelecidas por Benjamin Franklin como cargas positivas para prótons e de cargas negativas para os elétrons, e esse corpos eram capazes de gerar campos estáticos devido a uma distribuição de cargas estáticas que para Augustin Coulomb só era possível através de forças resultantes de fluidos que poderiam ser atrativa e repulsiva. Coulomb utilizava suas ferramentas experimentais para analisar a ocorrência fenomenológica presente nos corpos e com a construção de uma balança de torção procurou quantizar a existência dessa força. Então utilizando as cargas como mesmo sinal observou a repulsão das esferas e com as cargas com sinais diferentes a repulsão recorrente. o que se observa na figura abaixo.

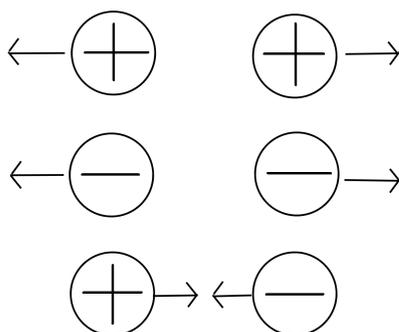


Figura 41 – Exercício - Força elétrica entre as cargas

Fonte: Elaborado pelo autor

$$F = k_0 \frac{Q_1 Q_2}{d^2}$$

Temos, de acordo com Coulomb:

<p>F → Força elétrica; Q₁ e Q₂ → Cargas elétrica; d → distância entre as cargas; K₀ → Constante eletrostática no vácuo.</p>
--

Boa parte das unidades utilizadas são tiradas de de nomes de grandes cientistas que contribuíram bastante para o desenvolvimento do estudo de determinada grandeza, como uma forma de homenagens.

Temos então no Sistema Internacional (S.I):

F (Força) \Rightarrow N (Newton)
Q (Carga) \Rightarrow C (Coulomb)
d (distância) \Rightarrow m (metros).

Para k_0 (constante eletrostática) temos,

$$F = k_0 \frac{Q_1 Q_2}{d^2}$$
$$1N = k_0 \frac{1C \cdot 1C}{1m^2}$$
$$k_0 = 1 \frac{N \cdot m^2}{C^2},$$

que é a unidade utilizada para a constante eletrostática no vácuo.

Atividade Experimental:

Materiais:

1. Uma toalha de rosto de lã;
2. Três bolas de isopor pequenas;
3. Dois espetos;
4. Linha de algodão;
5. Papel de alumínio.

Montagem:

- a) Cobrir as três bolas com papel de alumínio.
 - b) Amarar as duas bolas com o fio, e em seguida na outra extremidade amarrar-los no espeto e suspender o espeto com o fio.
 - c) Espetar a outra esfera e depois atritar a esfera com pano de lã.
 - d) Tocar com a esfera **C** as esferas **A** e **B** e depois afastar **C**.
 - e) Aproximar novamente a esfera **C** da esfera **A**.
 - f) Aproximar novamente a esfera **C** da esfera **B**.
- o Descreva o resultado obtido no experimento:
-
-

Responda:

1. Para o cálculo do campo elétrico, substitua os valores do quadro abaixo nos espaços da fórmula abaixo:

$3,0 \times 10^9 \text{ N/C}$	$6,0 \times 10^{-6} \text{ C}$	$9,0 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$
$6,0 \times 10^3 \text{ m}^3$	$9,0 \times 10^9 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$	$4,0 \times 10^9 \text{ N}$
$4,0 \times 10^{-6} \text{ C}$	$2,0 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$	$2,0 \times 10^9 \text{ m}$

F =

²

2. Temos na teoria descrita por Coulomb que a força é inversamente dependente da distância entre as cargas, o que isso significa?

3. Quais são as unidades utilizada pelas cargas, pela força e são unidades com homenagem a quais cientistas?

4. Para quê utilizamos a constante eletrostática no vácuo (k_0)?

5. Qual é a força resultante presente entre duas cargas elétricas que estão com $2,0 \times 10^{-3}$ C e $3,0 \times 10^{-5}$ C, respectivamente, com distância de 200 cm entre elas. sabendo que a constante eletrostática seja de $k_0 = 9 \times 10^9$ Nm²/C²?

Cálculo:

7 O campo elétrico

O campo elétrico gerado pelas cargas

O conceito de campo, proposto por Michael Faraday foi uma das maiores descobertas de sua história, por ser sua maior contribuição no avanço da ciência. Apesar de ter feito mais de 10 mil experimentos ao longo de sua vida, quando propôs que o campo era apresentado por *linhas de forças invisíveis dispostas no espaço* as dificuldades de compreender a ação da força magnética por exemplo foram eliminadas. Observando o comportamento da linhas de força que eram formadas ao redor do ímã, que estavam saindo do polo norte e convergindo ao polo sul. ele assemelhou a uma disputa entre as linhas de forças, o que ocorre a, linhas de forças que eram iguais eram ditas com mesmo sentido e as linhas que não fossem iguais ditas com sentidos contrários.

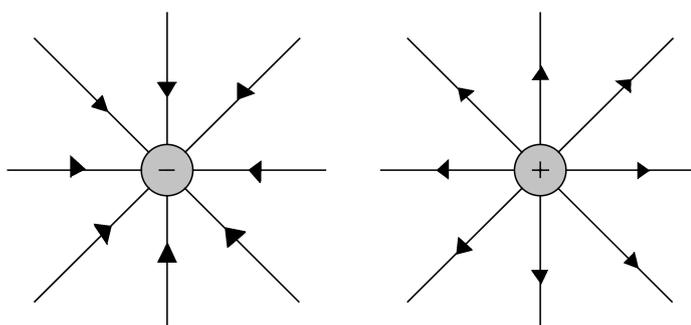


Figura 42 – Exercício - Campo elétrico gerado por cargas positiva e negativa

Fonte: Elaborado pelo autor.

$$E = k_0 \frac{Q}{d^2}$$

Temos:

E → Campo elétrico;

Q → Cargas elétrica;

d → Distância entre as cargas;

k_0 → Constante eletrostática no vácuo.

Para analisar o campo elétrico basta ter uma carga elétrica em relação a um ponto p qualquer.

Unidades no Sistema Internacional (S.I):

E (Campo) \Rightarrow N/C (Newton/Coulomb);
 Q (Carga) \Rightarrow C (Coulomb);
 d (distância) \Rightarrow m (metros);
 k_0 (constante eletrostática) \Rightarrow Nm²/C² (Newton metro ao quadrado/Coulomb ao quadrado).

Atividade Experimental:

Materiais:

1. Uma folha de papel A4;
2. Dois ímãs pequenos;
3. Limalha de ferro.

Montagem:

- a) Coloque os ímãs sob uma mesa plana com 10cm de distancia entre eles;
 - b) Sobre os ímãs coloque a folha de papel A4;
 - c) Mexa o papel para espalhar bem a limalha de ferro sob a superfície.
- o Descreva o resultado obtido no experimento:

Responda:

1. Qual é o valor da constante eletrostática no vácuo k_0 e em que condição o campo elétrico também pode utilizar o mesmo valor da constante eletrostática no vácuo k_0 , que é utilizado para calcular a força elétrica?

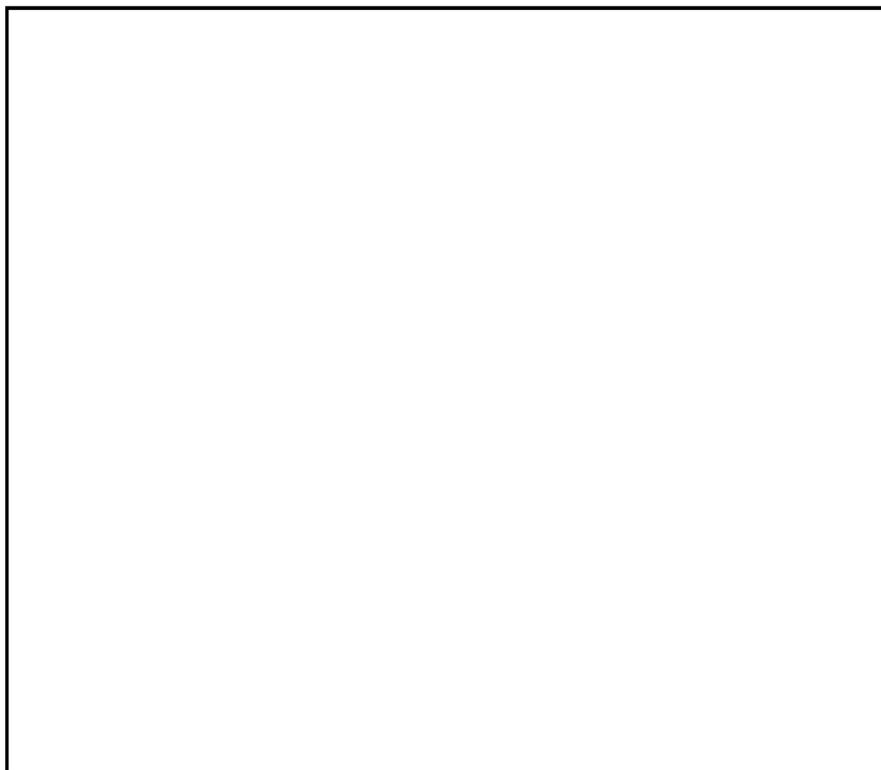
2. Para o cálculo do campo elétrico, substitua os valores do quadro abaixo nos espaços da fórmula do campo elétrico:

$3,0 \times 10^9 \text{ N/C}$	$6,0 \times 10^{-6} \text{ C}$	$9,0 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$
$6,0 \times 10^3 \text{ m}$	$9,0 \times 10^9 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$	$4,0 \times 10^9 \text{ N}$
$4,0 \times 10^{-6} \text{ Kg}$	$2,0 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$	$2,0 \times 10^9 \text{ m}^2$
$7,0 \times 10^9 \text{ } ^\circ\text{C}$	$6,0 \times 10^{-6} \text{ m/s}$	$9,0 \times 10^9 \text{ Nm}^2$

$E =$

2

3. No quadro abaixo desenhe como seria o campo gerado por uma carga positiva em uma superfície S plana.



4. Complete corretamente utilizando as palavras no interior do retângulo:

contrário polo norte disputa avanço Darwin
ímã linhas de força Michael Faraday história
diretamente Franklin mesmo sentido campo
condução polo sul mesma direção matemática

O conceito de _____, proposto por _____ foi uma das maiores descobertas de sua _____, por ser sua maior contribuição no _____ da ciência. Observando o comportamento das _____ que eram formadas ao redor do _____, que estavam saindo do _____ e convergindo ao _____. ele assemelhou a uma _____ entre as linhas de forças, o que concorre a, linhas de forças que eram iguais eram ditas com _____ e as linhas que não fossem iguais ditas com sentidos _____.

5. Calcule a intensidade do campo elétrico que foi gerado por uma carga de $3,0 \times 10^{-6}$ C, que está a uma distância de 300 cm de um ponto p. (dado: $k_0 = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$)

Cálculo:

Bibliografia:

Biscuola, Gualter José. Física 3: Gualter José Biscuola, Newton Villas Bôas, Ricardo Helou Doca – 2. ed. - São Paulo : Saraiva, 2013.

Gowdak, Demétrio Ossowski. Ciências novo pensar – Edição renovada, química e física, 9º. ano: Demétrio Ossowski Gowdak, Eduardo Lavieri Martins. –1.ed.- São Paulo: FTD, 2012.

Luz, Antônio Máximo Ribeiro da. Física contexto e aplicações : ensino médio / Antônio Máximo Ribeiro da luz, Beatriz Alvarenga Álvares. - 1. ed. -São Paulo: Scipione, 2013.

Ramalho Junior, Francisco, 1940 - Os fundamentos da física / Francisco Ramalho Junior, Nicolau Gilberto Ferraro, Paulo Antônio de Toledo Soares,-9. ed. rev. e ampl. - São Paulo: Moderna, 2007.

Silva, Claudio Xavier da. Física aula por aula: eletromagnetismo, ondulatória, física moderna / Claudio Xavier da Silva, Benigno Barreto Filho. - 1.ed - São Paulo: FDT, 2010 (Coleção de física aula por aula: v.3).

Sites importantes:

Mestrado Nacional Profissional em ensino de Física - produtos de ensino

<http://www1.fisica.org.br/mnpef/?q=defesas/produtos>

Olimpíada Brasileira de Física das Escolas Públicas

<http://www.sbfisica.org.br/obfep/>

Sociedade Brasileira de Física

<http://www.sbfisica.org.br/v1/>

APÊNDICE D – Produto - Cargas em movimento

ESCOLA:

PROFESSOR(A):

ALUNO(A):

SÉRIE: TURMA: TURNO:

Cargas em movimento

RAFAEL FERREIRA LOPES

DENILSON DA SILVA BORGES

1 Corrente elétrica

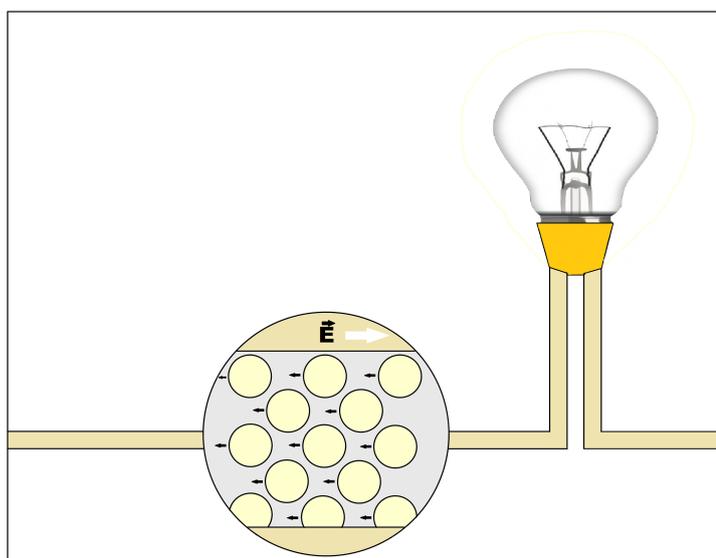
As cargas elétricas em movimento

Quando a carga elétrica se movimenta, possibilita a transmissão de energia através de materiais condutores de eletricidade. Com a ocorrência desse movimento também é possível analisar o campo elétrico gerado no decorrer desse movimento, que também possibilita o aparecimento de um campo magnético, mas nesse campo os valores são bastante pequenos em comparação com o campo elétrico

Corrente elétrica

O campo elétrico presente no fio produz uma força na cargas elétrica que estão no fio condutor. A fonte *fem* “empurra” as cargas por dentro delas aumentando suas energias potenciais elétricas que ao chamarmos de corrente elétrica por possibilitar a transmissão de energia através de cargas elétricas, essa corrente tem o mesmo sentido do campo elétrico gerado internamente.

Figura 43 – Exercício - Cargas elétricas em movimento



Fonte: Silva, José Alves da. 2000.

A corrente elétrica é diretamente dependente da passagem da carga Q em razão da taxa temporal t , na qual pode ser descrita matematicamente como

$$i = \frac{Q}{t}.$$

A corrente elétrica **i** tem como unidade fundamental no Sistema Internacional de Unidade apresentada como **A (Ampère)** em homenagem ao físico físico francês André Marie Ampère.

Temos então,

$$1A = \frac{1C}{s}.$$

Que por extenso lemos (um Ampère é igual a um Coulomb por segundo).

Atividade Experimental:

Materiais:

A montagem será realizada pelos alunos com o acompanhamento do professor

1. Bolas de gude;
2. 2 metros de mangueira 3/4"transparente;
3. 1 balão;
4. 1 garrafa pet 2 litros.
5. Fita adesiva.

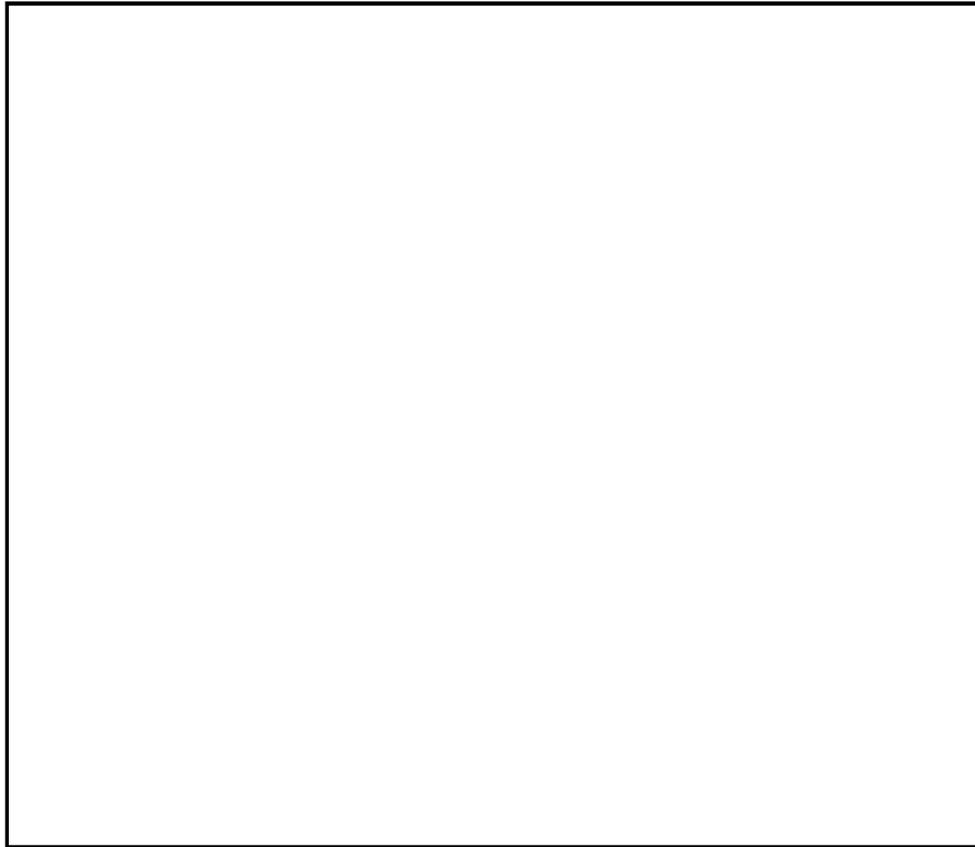
Montagem:

- a) Encher a mangueira totalmente com bolas de gude em uma superfície plana.
- b) Colocar 3 ou 4 bolas de gude no interior do balão e depois prender a boca da mangueira com o balão e passar a fita crepe para que não saia.
- c) Na outra extremidade da mangueira amarrar com a frita crepe a boca da garrafa pet em volta da boca da mangueira.
- d) Fazer um pequeno furo na garrafa pet.
- e) Amassar a garrafa pet, sucessivamente.

o Descreva o resultado obtido no experimento:

Responda:

1. No quadro abaixo divida em quatro pequenos quadrados iguais fazendo uma cruz ao meio, e depois desenhe os quatro momentos citados, durante o experimento.

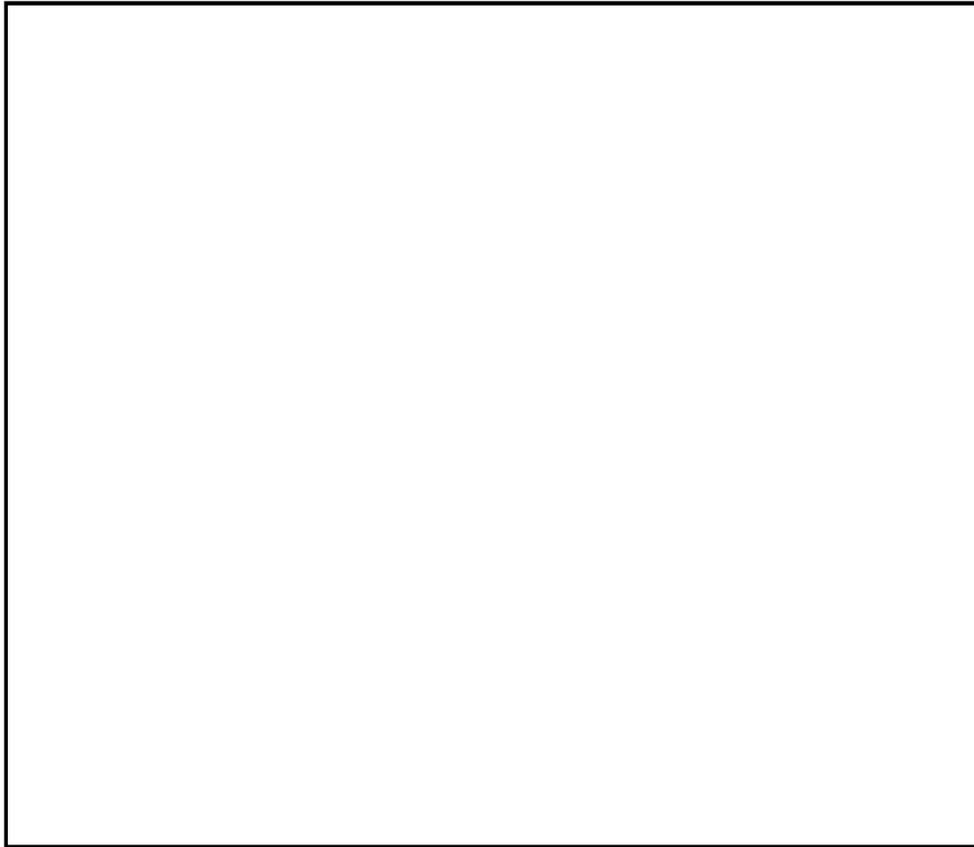


2. Qual é o sentido do ar para que enche completamente o balão?

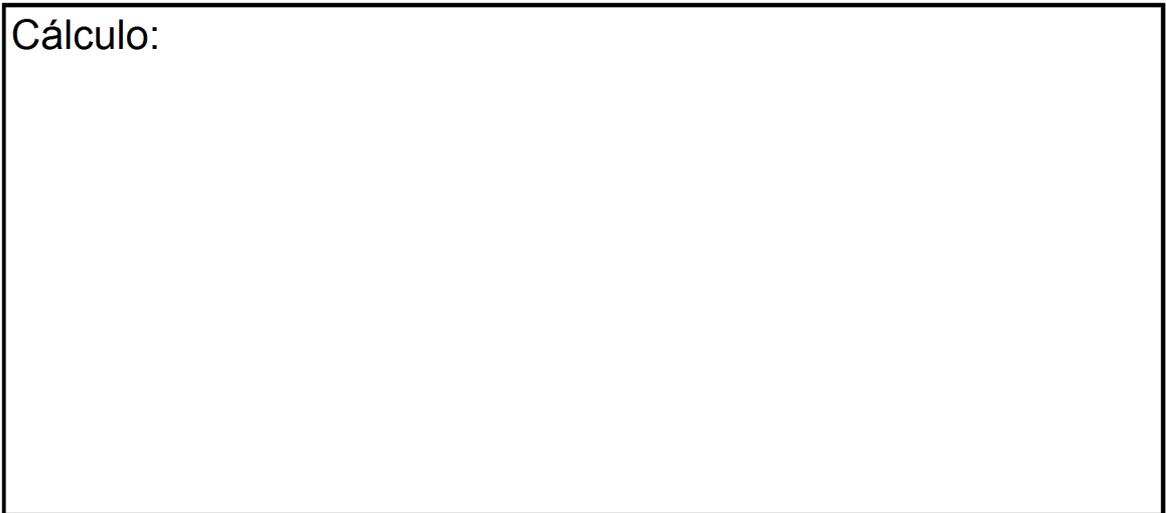
3. Quando a corrente percorre um fio ele percorre o mesmo sentido das cargas elétricas? Justifique.

4. A passagem de corrente elétrica nos meios condutores como por exemplo, o fio de cobre, é devido a condutividade do material. Explique por quê a madeira é considerada um material isolante?

5. Desenhe no quadro abaixo, de como se daria o comportamento das cargas elétricas no interior de um fio condutor de eletricidade. E responda se por esse fio estiver um número N de 5×10^6 elétrons em 5 segundos, qual será a intensidade de corrente i presente? dado o valor da carga elementar encontrada por Millikan $e = 1,6 \times 10^{-19}$ C.



Cálculo:

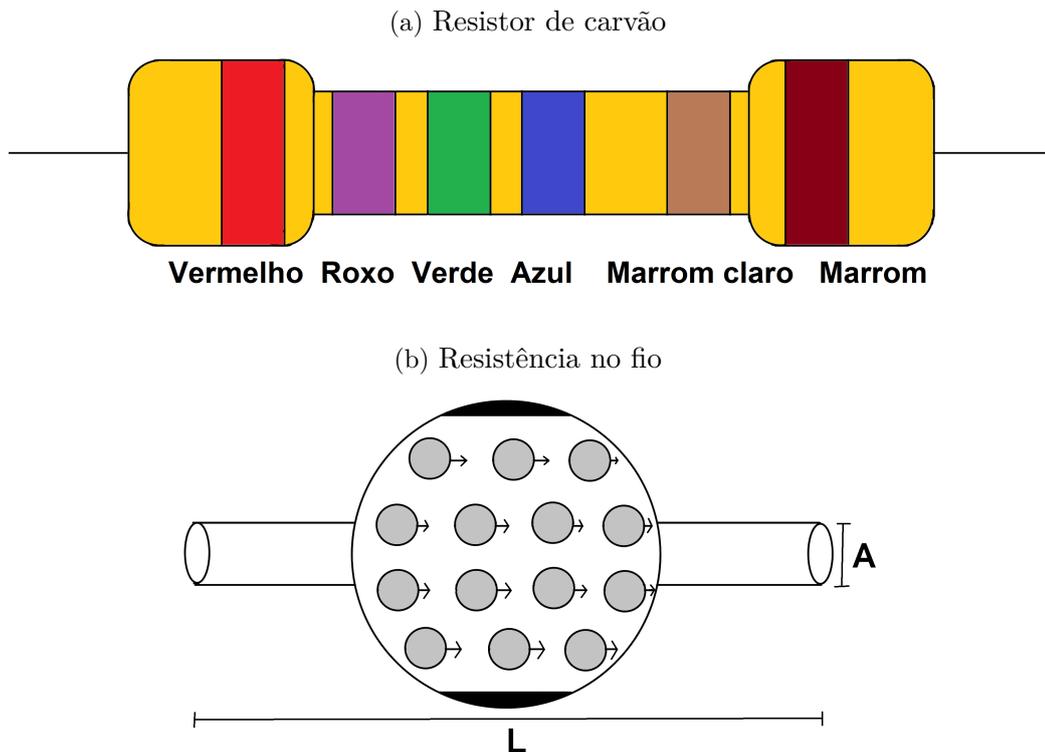


2 A resistência elétrica

A resistência elétrica

Assim, para as gotas de ar em contato com a água, os obstáculos dificultam a passarem pelo interior da mangueira, pois sofrem pela presença de atrito, fazendo com que haja uma diminuição em sua velocidade, a corrente elétrica sofre uma reação que chamamos de *resistência elétrica*. E o que observamos agora é que todo material condutor de alguma forma apresenta uma resistência no momento da passagem de corrente elétrica. A corrente quando passa pelo interior desse material está sujeita também a uma diferença de potencial frequente. Essa diferença de potencial que será chamada de *tensão* é diretamente proporcional a corrente elétrica e a sua resistência.

Figura 44 – Exercício - Tipos de resistores



Fonte: Elaborado pelo autor.

Matematicamente falando, temos

$$V = Ri.$$

Que na Lei de Ohm pode ser escrita como,

$$R = \frac{V}{i}.$$

Temos como unidade no Sistema Internacional (S.I):

$$\begin{aligned} V \text{ (tensão)} &= \mathbf{V} \text{ (volts)} \\ i \text{ (corrente)} &= \mathbf{A} \text{ (ampère)} \\ R \text{ (resistor)} &= \frac{V}{A} = \Omega \text{ (Ohm)}. \end{aligned}$$

Para o resistor a unidade Ω (Ohm) é em homenagem a Georg Simon Ohm. Responsável em conceituar a resistência elétrica.

Em um fio condutor a dependência é maior, pois o resistor R é diretamente dependente do tipo de resistividade do material condutor utilizado e do seu comprimento e inversamente proporcional a área de seção na qual atravessa a corrente elétrica. O que pode ser deduzido como:

$$R = \rho \frac{L}{A}.$$

Temos como unidade no Sistema Internacional (S.I):

$$\begin{aligned} R \text{ (resistor)} &= \Omega \text{ (Ohm)}; \\ \rho \text{ (resistividade do material)} &= \Omega \cdot \text{m} \text{ (Ohm} \cdot \text{ metro)}; \\ L \text{ (comprimento do fio)} &= \text{m} \text{ (metro)}; \\ A \text{ (área de seção do fio)} &= \text{m}^2 \text{ (metro quadrado)}. \end{aligned}$$

Para a representação da unidade da resistividade do material condutor partimos por: $R = \rho \frac{L}{A}$ que isolando ρ , e substituindo as unidades do Resistor R , da Área A e do comprimento do fio L , temos,

$$\begin{aligned} \rho &= 1 \frac{R \cdot A}{L} \\ \rho &= 1 \frac{\Omega \cdot \text{m}^2}{\text{m}} \\ \rho &= 1 \Omega \cdot \text{m}. \end{aligned}$$

Atividade Experimental:

Materiais:

1. Um rodo de papel higiênico;
2. Duas folhas de papel A4;
3. Um tubo de cola;
4. Um espeto de churrasco;

5. Lápis de cor;
6. Régua de 30 cm.

Montagem:

- a) Partir ao meio o papel A4 e em uma das folhas partida ao meio, desenhar um retângulo em pé próximo as extremidades do papel. E da esquerda para direita desenhar mais três retângulos em pé com distância de 1 cm uma da outra.
- b) Pintar os retângulos, utilizando cores que obedecem o código de cores do resistor de carvão.
- c) Partir ao meio o papel A4 e colar na área circular de cada extremidade do rodo de papel higiênico, e com bastante cuidado atravessar pelo centro do interior do rodo de papel de uma extremidade a outra o espeto;
- d) Colar a folha de papel em que os retângulos estão desenhado envolvendo o rodo de papel;
- e) Deixe secar.

o Descreva os resultados obtidos no experimento:

Responda:

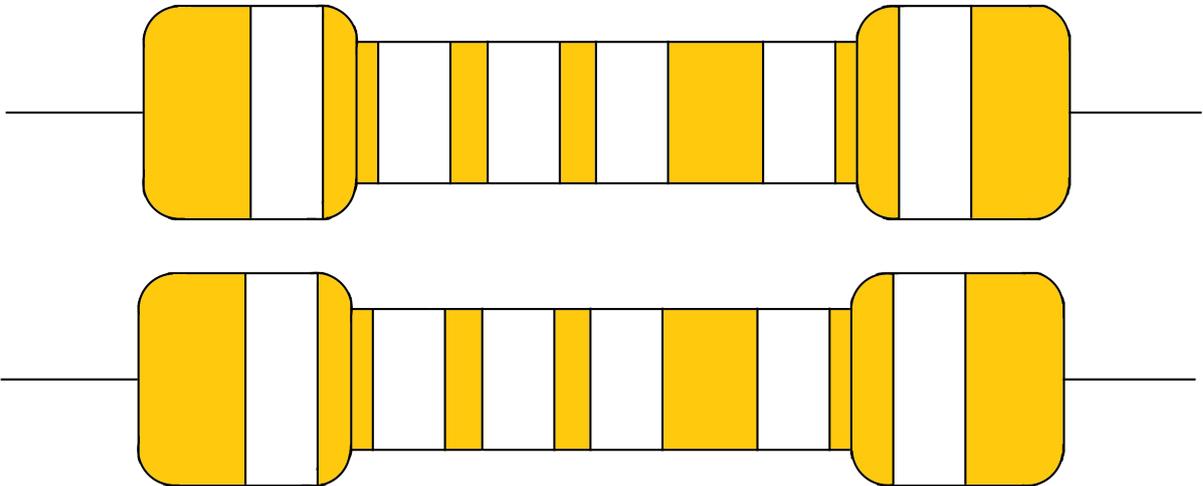
1. O que pode ser feito, para que a resistência, em que a corrente esteja sofrendo diminua?

2. Quando a corrente elétrica passar por um fio condutor ele sofre resistência devido a quê?

3. Pinte abaixo as cores do resistor correspondente aos valores da figura 41:

a) $276\Omega \pm 5\%$ 50ppm

b) $465\Omega \pm 2\%$ 100ppm



4. É importante conhecer a resistividade ρ presente nos materiais. No cobre a sua resistividade elétrica é de $1,7 \times 10^{-2} \frac{\Omega mm^2}{m}$ sem o fio tiver o comprimento de 0,60 m com uma área de $4,0 \text{ mm}^2$, calcule a resistência elétrica sofrida pela corrente no momento em que ela atravessa o fio.

Cálculo:

5. Calcule o valor da resistência elétrica presente em um fio que tem a tensão de 15 V (volts) quando atravessa uma corrente de 0.1 A (Ampère).

Cálculo:

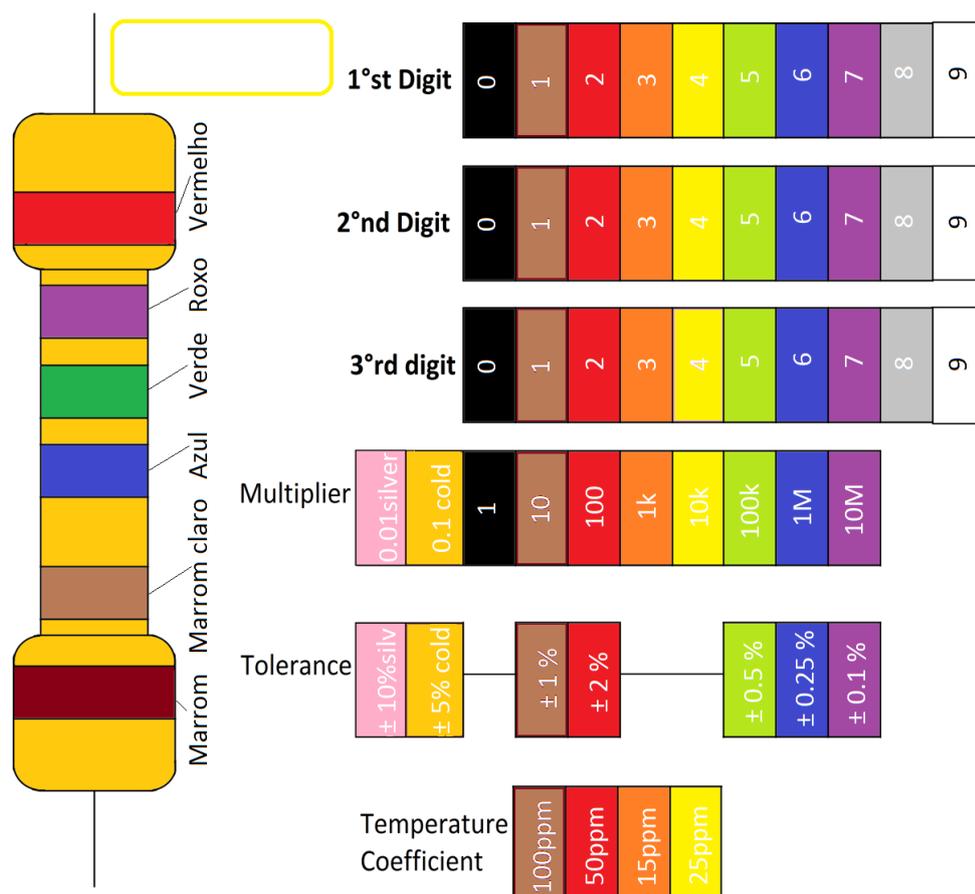


Figura 45 – O resistor e o código

Fonte: <http://euexplicolhe.blogspot.com.br/2011/04/codigo-de-cores-de-resistencias.html> Acessado e modificado em fev. 2017

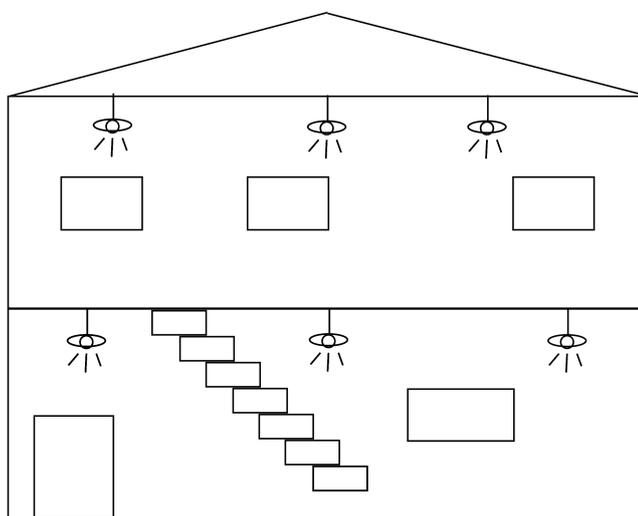
3 Circuitos elétricos

Circuitos elétricos

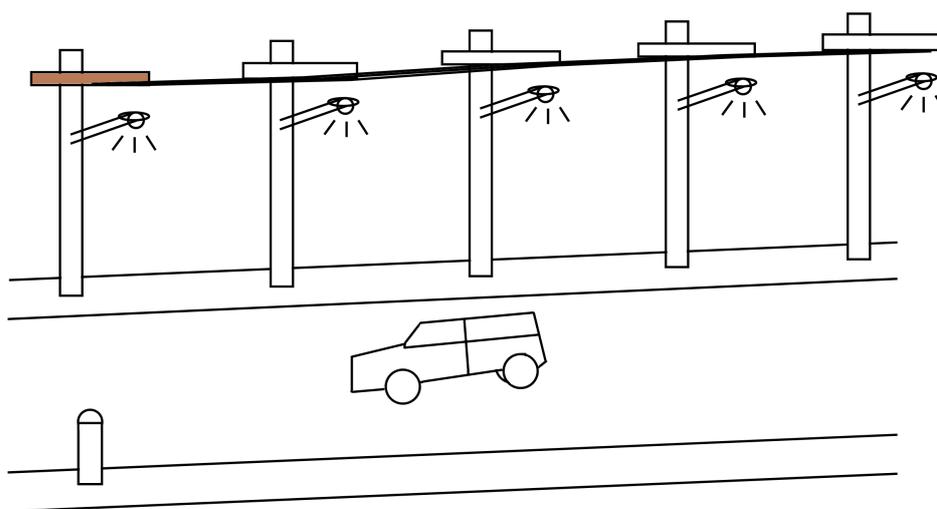
Os circuitos elétricos são apresentados de diversas formas e tamanho. Temos circuitos elétricos nas casa, nos prédios, automóveis, barcos, nos aparelhos eletrodomésticos, celulares e chips. Todos com grandezas diferentes mais com o mesmo objetivo, que é de possibilitar a passagem da corrente elétrica em meios tanto sólidos como em líquidos.

Figura 46 – Exercício - Instalações elétricas nas cidades

(a) Instalações em casa



(b) Instalações em ruas



Fonte: Elaborado

pelo autor.

Atividade Experimental:

Materiais:

1. Fio paralelo de 5mm;
2. Uma tábua contada com 50x60;
3. Um lápis de ponta grossa;
4. Borracha;
5. Régua;
6. tampa de refrigerante;
7. Tesoura.

Montagem:

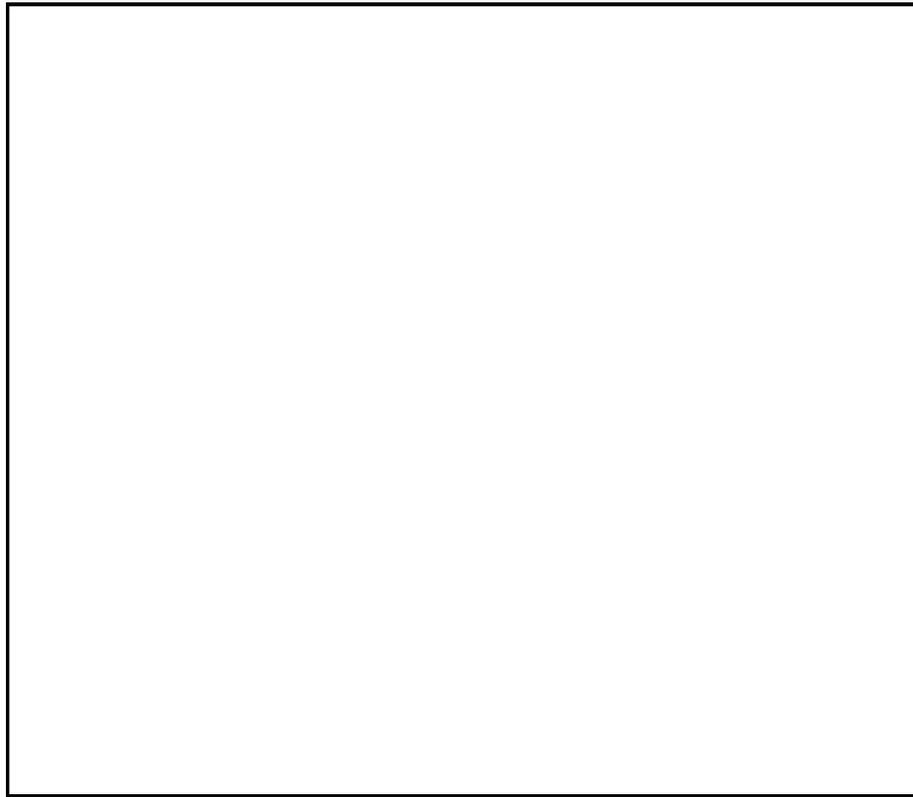
- a) Desenhar com o lápis na tábua um retângulo e dois triângulos iguais.
- b) Abrir o fio paralelo em dois.
- c) Colar em cima da linha reta desenhada o fio cortando no momento em que chegar em cada no bem no centro do círculo, desenhado com a tampa de refrigerante .
- d) em fim circuito montado.

o Descreva os resultados obtidos no experimento:

Responda:

1. Atualmente muitos eletrodomésticos como a geladeira são bem mais tecnológicas. A alguns anos atrás, por exemplo a variação de temperatura interna era feita manualmente e diretamente no reostato. Hoje em dia existem geladeiras com monitores e sensíveis ao toque que sua temperatura pode ser ajustada sem que a porta esteja aberta e que exista um toque direto no reostato, através da tela digital. Em sua opinião ao que se deve todo esse avanço no transporte de corrente?

2. Quando se fala sobre a eletricidade elétrica, desenhe uma imagem de poderia definir a sua ocorrência presente em seu dia a dia.



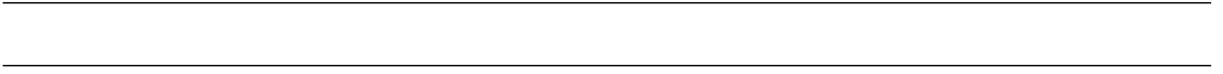
3. Dê exemplos identificando na coluna 1 os materiais que utilizam circuitos elétricos, para o seu funcionamento e na coluna 2 os materiais que não utilizam circuitos elétricos.

Coluna 1

Coluna 2

4. Porque os eletrodomésticos ficam quente?

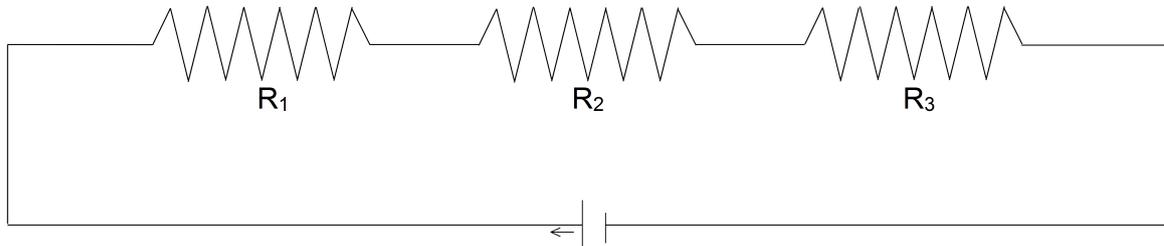
5. Qual é a principal fonte de alimentação para o funcionamento das lâmpadas incandescente e as fluorecente, e qual é a diferença entre elas?



4 Associação em série de resistores

Os circuitos elétricos são apresentados de diversas formas e tamanho. Temos circuitos elétricos nas casa, nos prédios, automóveis, barcos, nos aparelhos eletrodomésticos, celulares e chips. Todos com grandezas diferentes mais com o mesmo objetivo, que é de possibilitar a passagem da corrente elétrica em meios tanto sólidos como em líquidos.

Figura 47 – Exercício - Resistores em série



Fonte: Elaborado pelo autor.

A passagem da corrente i através de resistores que estão em série no circuito fechado é sempre constante, mais a tensão V dependerá diretamente do valor da resistência produzida.

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$Ri = R_1i_1 + R_2i_2 + R_3i_3$$

como a corrente $i = \text{constante}$, temos

$$Ri = R_1i + R_2i + R_3i$$

, colocando i em evidencia

$$Ri = i(R_1 + R_2 + R_3)$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3,$$

na qual o chamaremos de resistência equivalente $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$.

Então podemos caracterizar o circuito em série, como:

$\begin{aligned} i &= i_1 = i_2 = i_3 = \text{constante}; \\ V &= V_1 + V_2 + V_3; \\ R_{eq} &= R_1 + R_2 + R_3. \end{aligned}$

Para o cálculo do potencial, segue,

$$P = i V$$

Atividade Experimental:

Materiais:

1. Um prego;
2. Uma tampa de garrafa pet;
3. Uma caixa de papelão;
4. Lápis B12;
5. Uma régua;
6. Pisca pisca;
7. Cola branca.

Montagem:

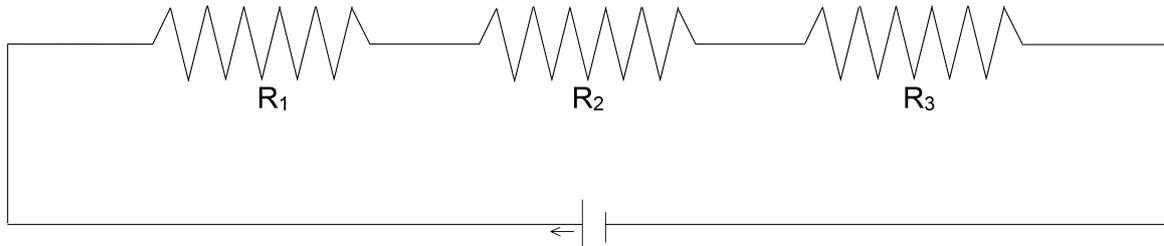
- a) Desenhar um circuito em série na caixa de papelão.
 - b) Nos locais em que foi desenhado os resistores colar a tampa de garrafa furada ao centro pelo prego.
 - c) Utilizar o fio elétrico do pisca pisca no papelão seguindo as linhas do desenho do circuito e passando pelo meio das tampas.
 - d) Colocar no interior das tampas as pequenas lampadas bem posicionadas de forma que fique posicionadas em pé lampadas
 - e) Utilize a cola branca para fixar os fios.
- o Descreva os resultados obtidos no experimento:

Responda:

1. Iniciamos uma análise dos desenho técnicos, básicos dos circuitos que estão presente

nas placas de circuito de muitos dos aparelhos eletrodomésticos. Então calcule o resistor equivalente do circuito da figura abaixo, com os valores de $R_1 = 5 \Omega$, $R_2 = 15 \Omega$ e $R_3 = 30 \Omega$, respectivamente para os resistores que estão posicionados em ordem, no circuito.

Figura 48 – Exercício - Resistor em série



Fonte: Elaborado pelo autor.

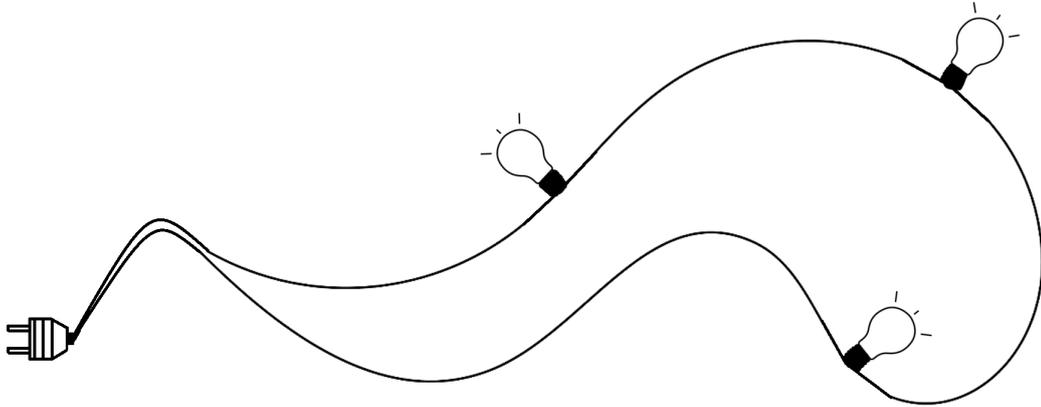
Cálculo:

2. Quais são as características de um circuito associado em série?

3. Responda o que são os eletrólitos e se são bons condutores de eletricidade?

4. No quadro abaixo, desenhe o circuito que corresponda ao circuito de lâmpadas associados.

Figura 49 – Exercício - Lâmpadas associadas em série



Fonte: Elaborado pelo autor.



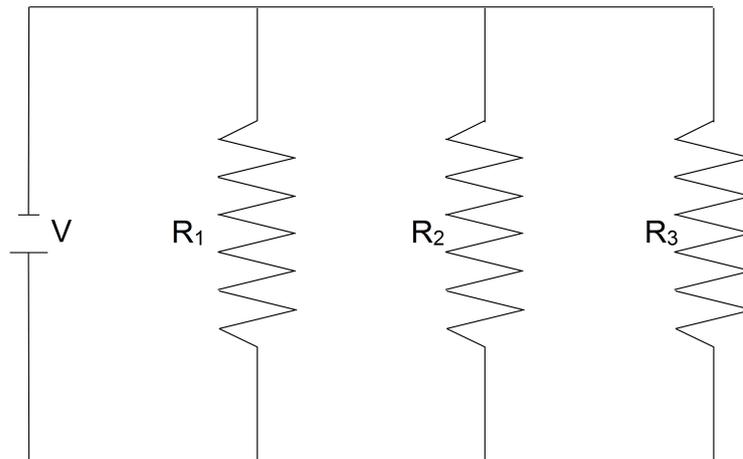
5. Um circuito que esteja com resistores associado em série tem valores de $R_1 = 4 \Omega$, $R_2 = 6 \Omega$ e $R_3 = 8 \Omega$, respectivamente com o valor da corrente de 5A atravessando por ele. Qual é a tensão V_1 , V_2 e V_3 presente em cada resistor no momento da passagem da corrente?

Cálculo:

5 Associação em paralelo de resistores

Os circuitos elétricos são apresentados de diversas formas e tamanho. Temos circuitos elétricos nas casa, nos prédios, automóveis, barcos, nos aparelhos eletrodomésticos, celulares e chips. Todos com grandezas diferentes mais com o mesmo objetivo, que é de possibilitar a passagem da corrente elétrica em meios tanto sólidos como em líquidos.

Figura 50 – Exercício - Resistores em paralelo



Fonte: Elaborado pelo autor.

A tensão V entre as extremidades dos resistores que estão em paralelo no circuito fechado é sempre constante, e desta vês a corrente i dependerá diretamente da resistência produzida pelo resistor.

$$i = i_1 + i_2 + i_3$$
$$\frac{V}{R} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}$$

como a corrente $V = \text{constante}$, temos

$$\frac{V}{R} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$$

, colocando V em evidencia

$$\frac{V}{R} = V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3},$$

na qual o chamaremos de resistência equivalente $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$.

Então podemos caracterizar o circuito em paralelo, como:

$$V = V_1 = V_2 = V_3 = \text{constante};$$
$$i = i_1 + i_2 + i_3;$$
$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}.$$

Atividade Experimental:

Materiais:

1. Um prego;
2. Uma tampa de garrafa pet;
3. Uma caixa de papelão;
4. Lápis B12;
5. Uma régua;
6. Pisca pisca;
7. Cola branca.

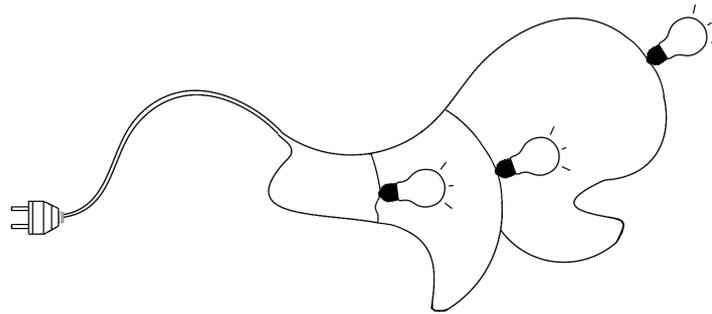
Montagem: repetir o mesmo procedimento do experimento anterior, mais com associação paralelo.

- a) Desenhar um circuito em paralelo na caixa de papelão.
 - b) Nos locais em que foi desenhado os resistores colar a tampa de garrafa furada ao centro pelo prego.
 - c) Utilizar o fio elétrico do pisca pisca no papelão seguindo as linhas do desenho do circuito e passando pelo meio das tampas.
 - d) Colocar no interior das tampas as pequenas lampadas bem posicionadas de forma que fique posicionadas em pé lampadas
 - e) Utilize a cola branca para fixar os fios.
- o Descreva os resultados obtidos no experimento:

Responda:

1. No quadro abaixo desenhe o circuito que corresponda ao circuito de lâmpadas associados em série.

Figura 51 – Lâmpadas associadas em paralelo



Fonte: Elaborado pelo autor.



2. Muitos circuitos de lampadas residenciais necessitam de uma chave independente para

cada comodo. Então, utilizando circuitos paralelos nos possibilita um bom resultado e objetividade. Um circuito que esteja com resistores associado em paralelo tem valores de $R_1 = 10 \Omega$, $R_2 = 20 \Omega$ e $R_3 = 40 \Omega$, respectivamente com o valor da tensão de 110 V atravessando por ele. Qual é o valor da corrente i_1 , i_2 e i_3 presente em cada resistor?

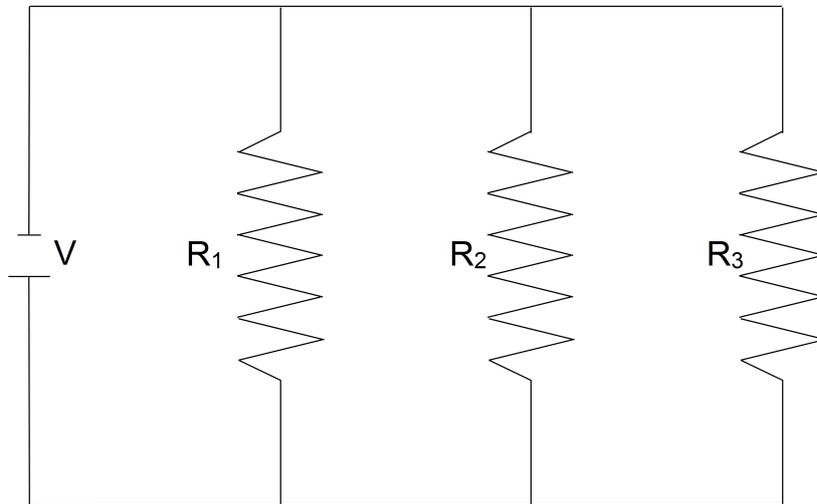
Cálculo:

3. Quais são as características de um circuito associado em paralelo?

4. Porque os pássaros não levam choque quando estão no fio?

5. No quadro abaixo, desenhe o circuito que corresponda ao circuito de lâmpadas associados, com os valores de $R_1 = 5 \Omega$, $R_2 = 15 \Omega$ e $R_3 = 30 \Omega$, respectivamente.

Figura 52 – Exercício - Resistores em paralelo 2



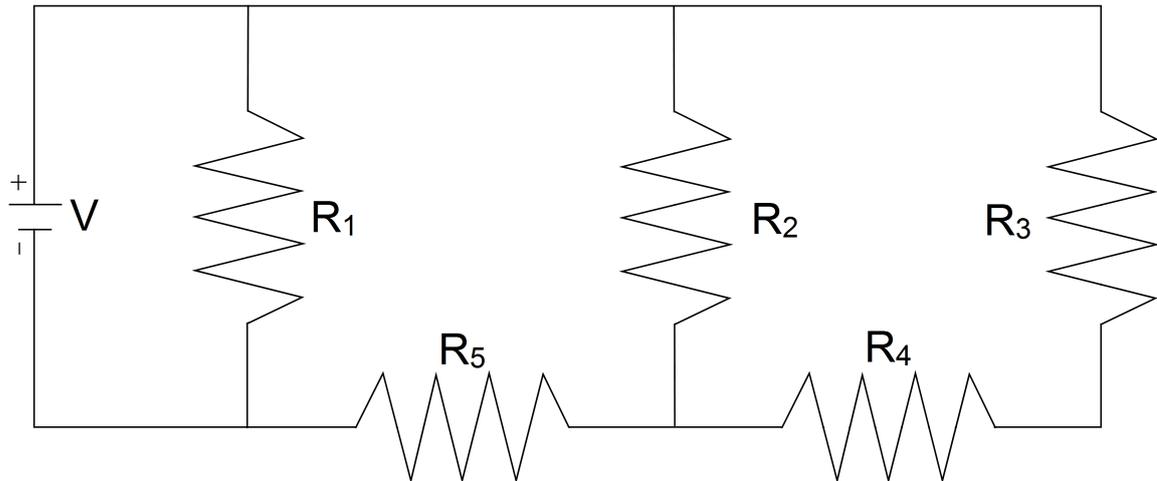
Fonte: Elaborado pelo autor.

Cálculo:

6 Associação mista de resistores

Para a associação mista de resistores é utilizado tanto as associações em série como as em paralelo ao mesmo tempo em um só circuito.

Figura 53 – Exercício - Associação mista de resistores



Fonte: Elaborado pelo autor.

Atividade Experimental:

Materiais:

1. Caixa de sapatos iguais;
2. Fita adesiva;
3. Uma caixa pequena de pisca pisca;
4. Tesoura com ponta;
5. Palitos de picolé;
6. lápis B12;
7. Régua;
8. Cola branca;

Montagem:

- a) Coloque a base da caixa para cima, e em uma das caixas desenhar um dois retângulos, um retângulo 10×3 e outro retângulo 4×5 , criando uma porta e uma janela.

- b) Com a outra caixa desenhar dois retângulos 4×5 que serão duas janelas.
- c) Nas duas caixas , e na parte de cima fazer quatro furos. E na primeira caixa colocar as lampadas do pisca pisca em cada um dos primeiros furos, virados para o interior da caixa. E no quarto furo passar totalmente o restante do fio do interior para o exterior da caixa.
- d) Colar a base da segunda caixa na primeira e passar o fio pela parede interior da segunda caixa e posicionar as lampadas do pisca pisca em cada furo e pelo quarto último furo passar totalmente o fio e ligar na tomada.

o Descreva os resultados obtidos no experimento:

Responda:

1. Qual é a diferença entre os circuitos em série, paralelo e misto?

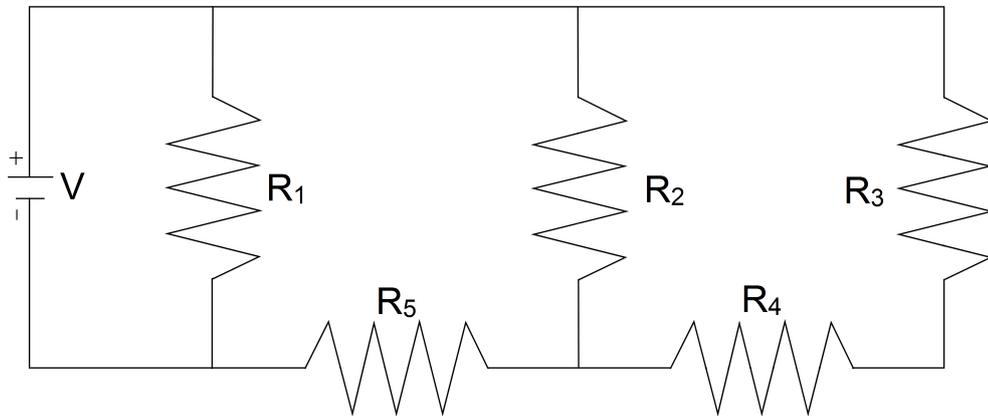
2. Se em um circuito elétrico em série e outro paralelo, conter 3 lampadas idênticas e com potencia de 40 W em cada circuito, ligadas a mesma fonte, qual dos circuitos vão obter uma melhor intensidade?

3. Se em um circuito elétrico em série e outro paralelo, conter 3 lampadas idênticas e com potencia de 40 W em cada circuito, ligadas a mesma fonte, qual dos circuitos vão obter

uma melhor intensidade?

4. Na figura abaixo representamos resistores associados em dois tipos em um único circuito. Calcule o resistor equivalente do circuito da figura abaixo. Sabendo que os resistores tem o valor de, $R_1 = 15 \Omega$, $R_2 = 15 \Omega$, $R_3 = 15 \Omega$, $R_4 = 20 \Omega$ e $R_5 = 20 \Omega$.

Figura 54 – Exercício - Lâmpadas associadas em paralelo

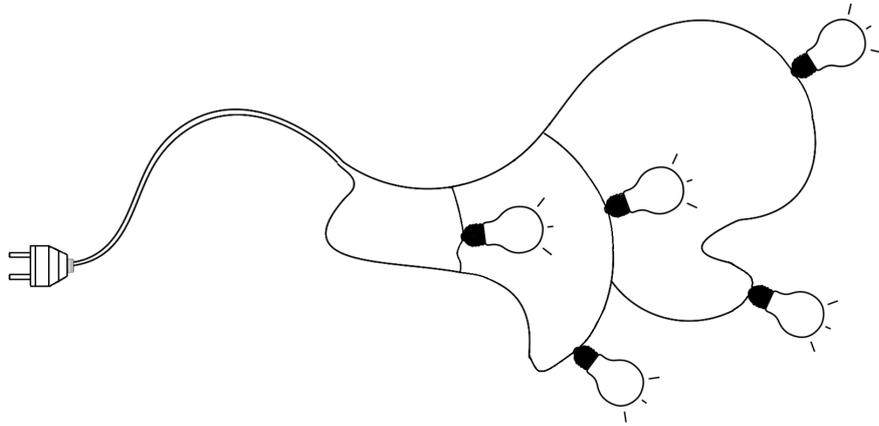


Fonte: Elaborado pelo autor.

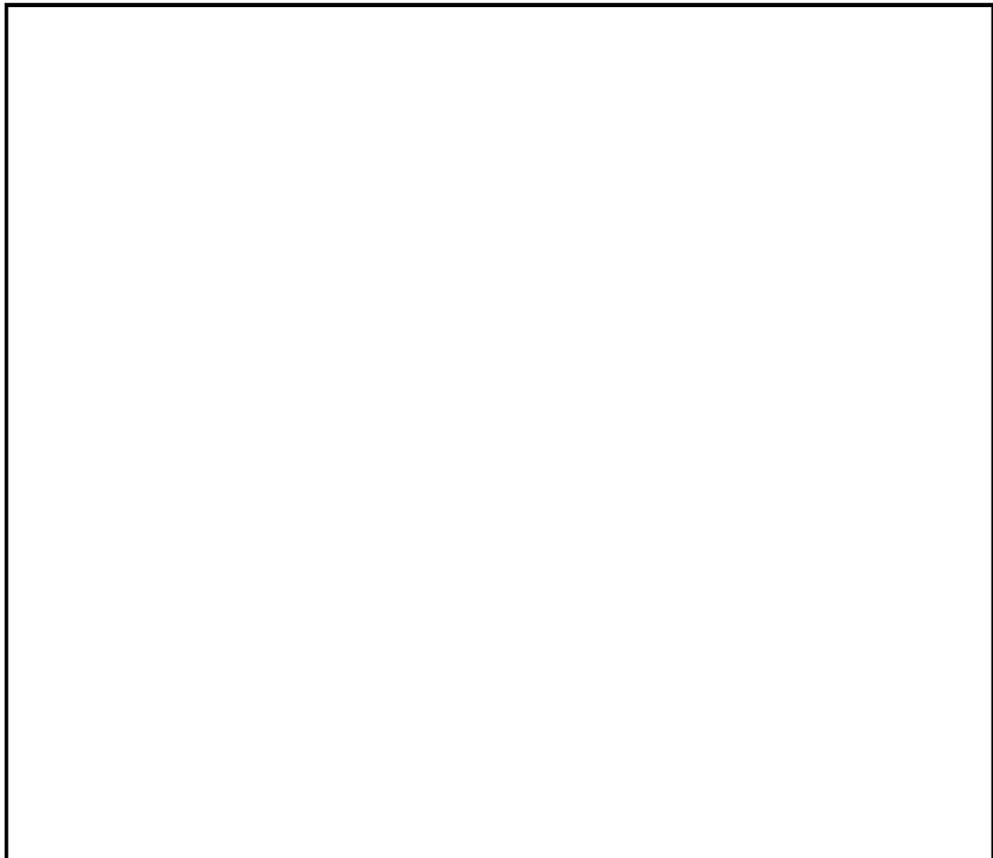
Cálculo:

5. No quadro abaixo desenhe o circuito que corresponda ao circuito de lâmpadas associados.

Figura 55 – Exercício - Lâmpadas em circuito misto



Fonte: Elaborado pelo autor.



Atividade em grupo

○ Para o experimento será utilizado pelo professor:

- Folhas A4 para ser distribuída aos grupos, para o desenho e a atividade.
- O professor deve disponibilizar no mínimo dos alicates e supervisionar os corte.
- E disponibilizar multímetros, para os alunos.

○ Utilidade dos alunos:

Cada aluno dos grupos serão responsáveis pelos materiais abaixo.

- 1,5 m de fio paralelo,
- lâmpadas: 1 fluorescentes, 3 incandescentes.
- 1 Plugue macho,
- 3 receptáculos
- tábua com 40 x 50 cm.
- Fita isolante.

⇒ A montagem será realizada pelos alunos com o acompanhamento do professor,

1. O fio paralelo deve ser partido ao meio;
2. Os alunos iram criar suas próprias associações de lâmpadas em série e em paralelo descrevendo no papel A4.
3. O circuito criado deverá ser desenhado na tábua de 40 x 50 cm.
4. A distribuição do fio, será no caminho em que foi desenhado o circuito.
5. Os cortes feito no fio para o encaixe do receptáculo deve ser feito por um alicate.
6. Ao encaixar os receptáculos, o fio deve ser preso por fita isolante.
7. Quando o fio estiver totalmente preso. As lâmpadas podem ser encaixadas nos receptáculos.
8. Ligar o circuito.
9. Utilizar o multímetro e observar se o circuito está distribuído corretamente.
10. Cada grupo deve anotar na folha A4 as atividade e suas resposta, no fim entregar ao professor.

○ Atividade:

Nome dos membros do grupo:

Aluno(a): _____

Aluno(a): _____

Aluno(a): _____

Aluno(a): _____

Aluno(a): _____

Bibliografia:

Biscuola, Gualter José. Física 3: Gualter José Biscuola, Newton Villas Bôas, Ricardo Helou Doca – 2. ed. - São Paulo : Saraiva, 2013.

Gowdak, Demétrio Ossowski. Ciências novo pensar – Edição renovada, química e física, 9º. ano: Demétrio Ossowski Gowdak, Eduardo Lavieri Martins. –1.ed.- São Paulo: FTD, 2012.

Ramalho Junior, Francisco, 1940 - Os fundamentos da física / Francisco Ramalho Junior, Nicolau Gilberto Ferraro, Paulo Antônio de Toledo Soares,-9. ed. rev. e ampl. - São Paulo: Moderna, 2007.

Silva, Claudio Xavier da. Física aula por aula: eletromagnetismo, ondulatória, física moderna / Claudio Xavier da Silva, Benigno Barreto Filho. - 1.ed - São Paulo: FDT, 2010 (Coleção de física aula por aula: v.3).

Silva, José Alves da; A. C. L. C; Pinto, “Projeto escola e cidadania: Física - as leis do eletromagnetismo,” Projeto escola e cidadania. São Paulo, vol. 1a. ed, no. ISBN 85-10-02665-3, 2000.

Sites importantes:

Mestrado Nacional Profissional em ensino de Física - produtos de ensino
<http://www1.fisica.org.br/mnpef/?q=defesas/produtos>

Olimpíada Brasileira de Física das Escolas Públicas
<http://www.sbfisica.org.br/obfep/>

Sociedade Brasileira de Física
<http://www.sbfisica.org.br/v1/>

APÊNDICE E – Modelo de impressão

Orientações para impressão

Para imprimir o produto, você deve imprimir separadamente os três manuais. Imprimindo o manual 1 Figura 51.

Seguir 3 passos.

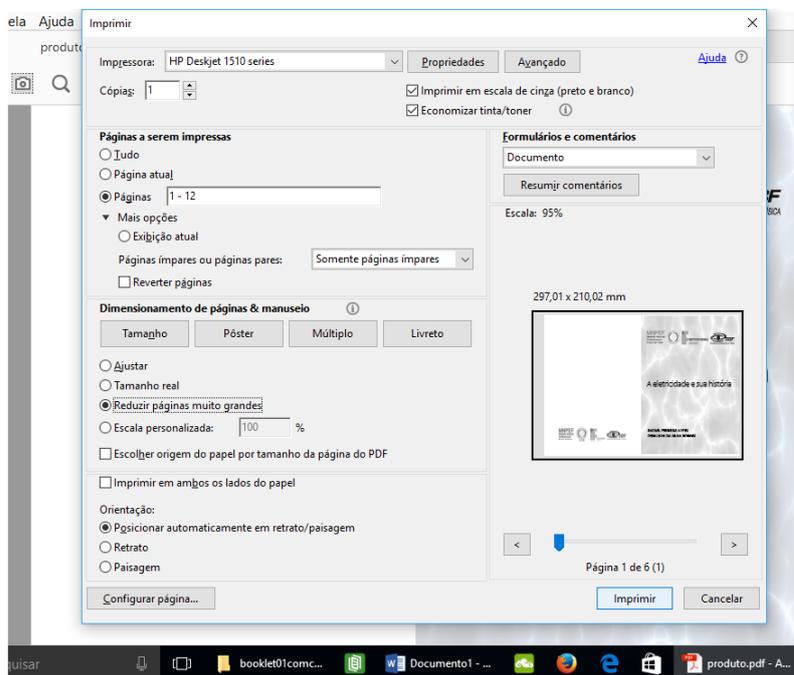
Figura 56 – Exemplo do manual a ser impresso



Fonte: Print screen da aplicação de impressão no sistema operacional Windows 10.

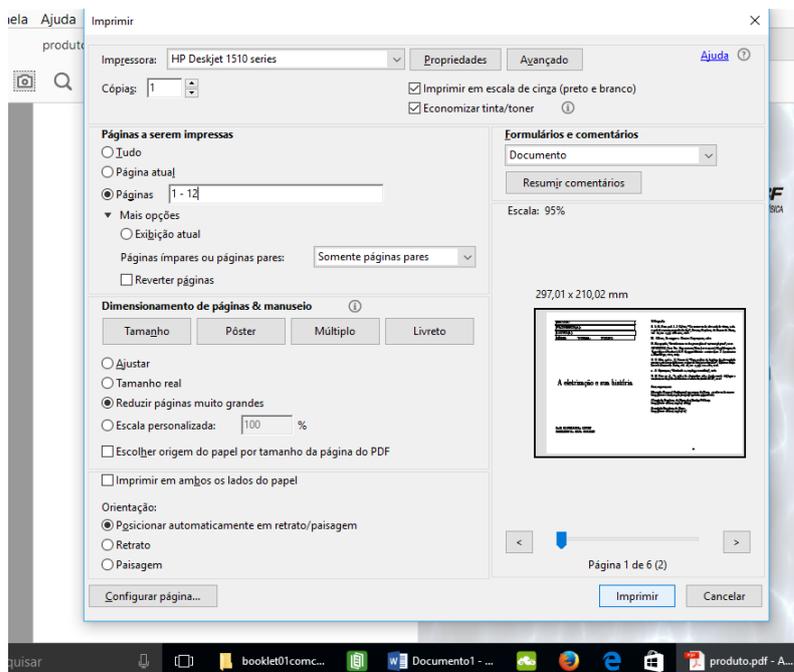
1. Seguido a orientação abaixo para imprimir o primeiro manual **A eletricidade e sua história**, escolhendo no momento da impressão as **páginas 1 – 14**, indo em **mais opções** e selecionar a opção, **somente páginas ímpares** e depois ir em **reduzir páginas muito grandes** e imprimir Figura 52.
2. Da maneira que sair todas a folhas impressas, **virar 90°** e colocar novamente na bandeja para impressão.
3. Escolhendo no momento da impressão as **páginas 1 – 14**, indo em **mais opções** e selecionar a opção, **somente páginas pares** e depois ir em **reduzir páginas muito grandes** e imprimir Figura 53.

Figura 57 – Exemplo de impressão, páginas ímpares



Fonte: Print screen da aplicação de impressão no sistema operacional Windows 10.

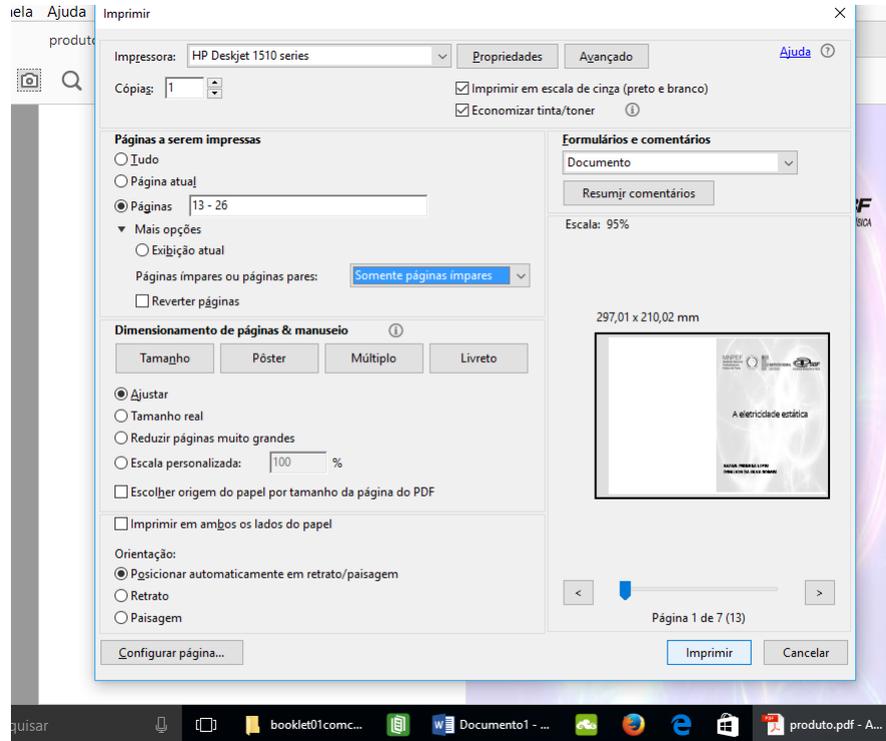
Figura 58 – Exemplo de impressão, páginas pares



Fonte: Print screen da aplicação de impressão no sistema operacional Windows 10.

Seguir os mesmos 3 passos para imprimir o segundo manual, A eletricidade estática. Observando que as páginas são de 15 – 28 Figura 54.

Figura 59 – Exemplo de impressão do manual 2



Fonte: Print screen da aplicação de impressão no sistema operacional Windows 10.

Seguir os mesmos 3 passos para imprimir o terceiro manual, Cargas em movimento. Observando que as páginas são de 29 – 48 Figura 55.

Referências

- Alves, Vagner Camarini e Stachak, M. (2005). A importancia de aulas experimentais no processo ensino aprendizagem em física: eletricidade. *XVI Simpósio Nacional de ensino de Física-SNEF. Universidade do Oeste Paulista-UNOESTE, Presidente Prudente-SP*, pages 1–4.
- Ausubel, D. P. (1973). Algunos aspectos psicológicos de la estructura del conocimiento. *Elam, S.(Comp.) La educación y la estructura del conocimiento. Investigaciones sobre el proceso de aprendizaje y la naturaleza de las disciplinas que integran el currículum. Ed. El Ateneo. Buenos Aires. Págs, 211:239.*
- Becker, F. (1994). O que é construtivismo. *Série Ideias*, 20:87–93.
- Boni, R. S. et al. (2007). A pilha de alessandro volta (1745-1827): diálogos e conflitos no final do século xviii e início do século xix.
- Boss, S. L. B., Assis, A., and Caluzi, J. J. (2012). Stephen gray e a descoberta dos condutores e isolantes: tradução comentada de seus artigos sobre eletricidade e reprodução de seus principais experimentos. *Coleção PROPG Digital (UNESP)*.
- Boss, S. L. B. and Caluzi, J. J. (2007). Os conceitos de eletricidade vítrea e eletricidade resinosa segundo du fay. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29(4):635–644.
- Brabrand, C. and Dahl, B. (2007). Constructive alignment and the solo taxonomy: a comparative study of university competences in computer science vs. mathematics. In *Proceedings of the Seventh Baltic Sea Conference on Computing Education Research- Volume 88*, pages 3–17. Australian Computer Society, Inc.
- Caruso, F. and Oguri, V. (2006). *Física moderna: Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos*. Elsevier.
- Cavalcante, Marisa Almeida e Tavolaro, C. R. C. (2001). Uma oficina de física moderna que vise a sua inserção no ensino médio. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 18(3):298–316.
- da Silva, L. C. M., Santos, W. M. S., and Dias, P. M. C. (2011). A carga específica do elétron. um enfoque histórico e experimental. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 33(1):1601.
- de Currículo, B. C. (2016). Base nacional comum curricular - versão preliminar. pages 283 – 448.

- de Diretrizes, L. and da Educação, B. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. *Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Brasília (Brasil).*
- de Estado de Educação do Amazonas, S. (2006). *Proposta curricular do ensino fundamental do 6º ao 9º ano.* Governo do Estado do Amazonas.
- de Souza Filho, M. P. and Caluzi, J. J. (2009). Sobre as experiências relativas a imantação do ferro e do aço pela ação da corrente elétrica: uma tradução comentada do artigo escrito por François Arago. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 31(1):1603.
- Du Fay, M. et al. (1733). A letter from mons. du fay, frs and of the royal academy of sciences at paris, to his grace charles duke of richmond and lenox, concerning electricity. translated from the french by ts m d. *Philosophical Transactions*, 38(427-435):258–266.
- Gilbert, W. (1958). *De magnete.* Courier Corporation.
- Guedes, M. V. G. (2000). História: O electrómetro de nollet. *Revista ELECTRICIDADE*, (376):109.
- Guimarães, A. (2000). Os 400 anos do de magnete. *Ciência Hoje*, 28(167).
- Hartmann, A. E. (2015). Coulomb e a tradição científica.
- Magie, W. F. (1969). A source book in physics. pages 423–438.
- Marquardt, N. (1999). Introduction to the principles of vacuum physics. page 4.
- Mendonça, A. P. (2015). Alinhamento construtivo: Fundamentos e aplicações. *Formação de Professores no Ensino Tecnológico: Fundamentos e Desafios*, 1a. ed (ISBN 978-85-444-0369-3).
- Moreira, M. A. (1982). Mapas conceituais e aprendizagem significativa1 (concept maps and meaningful learning). *Aprendizagem significativa, organizadores prévios, mapas conceituais, diagramas ve unidades de ensino potencialmente significativas1*, page 41.
- Ostermann, Fernanda e Cavalcanti, C. d. H. (2010). Teorias de aprendizagem. *Universidade Federal do Rio Grande do Sul–Instituto de Física. Porto Alegre/RS.*
- Ostermann, Fernanda e Moreira, M. A. (2000). Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "física moderna e contemporânea no ensino médio". *Investigações em ensino de ciências. Porto Alegre. Vol. 5, n. 1 (jan./abr. 2000), p. 23-48.*
- QUIRINO, WG e LAVARDA, F. (2010). Experimento de física para o ensino médio com materiais do dia a dia.
- Sabbatini, R. M. S. (2004). A história da estimulação elétrica cerebral. *Revista Cérebro e Mente*, page 2.

- Silva, José Alves da; Pinto, A. C. L. C. (2000). Projeto escola e cidadania: Física - as leis do eletromagnetismo. *Projeto escola e cidadania. São Paulo*, 1a. ed.(ISBN 85-10-02665-3).
- Silva, C. C. and Pimentel, A. C. (2008). Uma análise da história da eletricidade presente em livros didáticos: o caso de benjamin franklin. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 25(1):141–159.
- Soares, L. C. (2016). John theophilus desaguliers: A newtonian between patronage and market relations. *Circumscribere: International Journal for the History of Science*, 18:12–31.
- Villani, C. E. P. and do Nascimento, S. S. (2016). A argumentação e o ensino de ciências: uma atividade experimental no laboratório didático de física do ensino médio. *Investigações em ensino de Ciências*, 8(3):187–209.
- Wallis, E. (1875). *Illustrerad verldshistoria*. page 297.