



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS



Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Física

A NOÇÃO DE CAMPO ELÉTRICO: REFLEXÕES DE UMA FUTURA PROFESSORA SOBRE O
PROCESSO DE ENSINO

Tamires Cristina Candido Marques

Prof. Dr. Eugenio Maria de França Ramos
(orientador)

Rio Claro (SP)

2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

TAMIRES CRISTINA CANDIDO MARQUES

A NOÇÃO DE CAMPO ELÉTRICO: REFLEXÕES DE UMA
FUTURA PROFESSORA SOBRE O PROCESSO DE
ENSINO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto de Geociências e
Ciências Exatas - Campus de Rio Claro,
da Universidade Estadual Paulista “Júlio
de Mesquita Filho”, para obtenção do grau
de Bacharel e Licenciado em Física.

Rio Claro - SP
2013

530.07 Marques, Tamires
M357n A noção de campo elétrico: reflexões de uma futura
professora sobre o processo de ensino / Tamires Marques. -
Rio Claro, 2013
53 f. : il., figs., tabs.

Trabalho de conclusão de curso (licenciatura e
bacharelado - Física) - Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Eugenio Maria de França Ramos

1. Física - Estudo e ensino. 2. Vetor eletrostático. I. Título.

TAMIRES CRISTINA CANDIDO MARQUES

A NOÇÃO DE CAMPO ELÉTRICO: REFLEXÕES DE UMA FUTURA PROFESSORA SOBRE O PROCESSO DE ENSINO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto de Geociências e
Ciências Exatas - Campus de Rio Claro,
da Universidade Estadual Paulista “Júlio
de Mesquita Filho”, para obtenção do grau
de Bacharel e Licenciado em Física.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Eugenio Maria de França Ramos (orientador)

Profª. Drª. Maria Antonia Ramos de Azevedo

Prof. Dr. Marcos Serzedello

Rio Claro, 18 de Novembro de 2013.

Assinatura do(a) aluno(a)

assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por tudo que tem me dado e por nunca ter me deixado desistir, oferecendo esperança, paciência e muita fé.

Agradeço aos meus pais Gilson e Eleni, por não mediram esforços, pois investiram em mim sem cobrar absolutamente nada – fazendo tudo por amor e não por obrigação e dando apoio moral em todos os momentos de minha vida.

Aos meus avós Valter, Maria de Lourdes e Carolina que sempre me apoiaram em todas as fases da vida e pelo incentivo necessário.

A meus tios Marcos e Elaine, pelas conversas e admiração.

Ao meu irmão Alessandro e meu primo Luan, que me ensinaram na prática o poder da didática.

Ao meu priminho Ruan, que já sabe o que é um vetor.

Ao meu namorado Paulo Eduardo que sempre esteve ao meu lado em bons e maus momentos de minha vida, tendo sempre uma palavra de incentivo, pela ajuda e orientação quando necessária.

Aos meus amigos de graduação Carla, Cristiane, Michelle, Guilherme e Kauê, aos anos de graduação vividos intensamente.

Ao meu orientador Prof. Dr. Eugenio Maria de França Ramos pela oportunidade de desenvolver este Trabalho de Conclusão de Curso e pela orientação no projeto PIBID.

Aos professores Dr^a. Maria Antônia Ramos de Azevedo, Dr. Marcos Serzedello e Dr. Gerson Antônio Santarine que aceitaram participar de minha banca avaliadora.

A Prof^a. Dr^a. Valéria Silva Dias pelas referências bibliográficas cedidas para a realização deste trabalho.

A todos que passaram pela minha vida e contribuíram para quem eu sou hoje e o trabalho que eu faço, deixando um pouquinho de si e levando um pouquinho de mim.

**“Bem aventurado o homem que acha sabedoria, e o homem
que adquire conhecimento”**

(Provérbios 3:13)

RESUMO

Este trabalho oferece um panorama sobre reflexões didáticas em torno da introdução do conceito de campo elétrico, em atividades de Ensino de Física voltadas para o nível Médio da Educação Básica por meio de uma metodologia de ensino baseada em um experimento de baixo custo (FERREIRA E RAMOS, 2008). Analisamos o emprego particular do experimento denominado vetor eletrostático e sua utilização no ensino da ideia de linhas de força, propostas por Faraday no século XIX. Analisamos no trabalho como essa abordagem difere da normalmente apresentada nos livros didáticos. Discutimos que o emprego de experimentos de baixo custo, não ocasionará o aprendizado, mas sim o trabalho do professor que proporcione a interação entre o sujeito e o vetor eletrostático. Tanto o professor como o experimento desempenham um papel importante na hora da aula.

Palavras-chave: Ensino de Física. Campo Elétrico. Vetor Eletrostático.

ABSTRACT

This work offers an overview about didactic reflections in the introduction of the electrical field concept in Physics Teaching activities aimed to the High School by means of a teaching methodology based in a low cost experiment (FERREIRA E RAMOS, 2008). We analyzed the particular use of an experiment named electrostatic vector and its use in the teaching of the line force ideas, proposed by Faraday in 19th century. In the frame of this work we analyzed how this unconventional approach differs of the methodology generally presented in the didactic textbooks. We discussed that the use of low cost experiments, will not cause the student to learn, but the work of the teacher, offering an interaction between the student and the electrostatic vector, play an important role in the classroom.

Keywords: Physics Teaching, Electrical Field, Electrostatic Vector.

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO	9
2- ENSINO DE FÍSICA	11
2.1- O ensino de campo elétrico.....	11
2.2- Materiais experimentais de baixo custo	13
<i>2.2.1-Posturas dos docentes em relação aos experimentos de baixo custo.....</i>	<i>14</i>
3- LIVROS DIDÁTICOS E O CAMPO ELÉTRICO	16
3.1- Sampaio e Calçada.....	16
<i>3.1.1- Análise crítica dos capítulos de campo elétrico</i>	<i>17</i>
3.2- Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga.....	19
<i>3.2.1- Análise crítica do capítulo de campo elétrico.....</i>	<i>20</i>
4- CONCEITOS DE ELETROSTÁTICA.....	23
4.1- Princípios da eletrostática.....	23
<i>4.1.1 Superfícies equipotenciais.....</i>	<i>28</i>
4.2- Michael Faraday – uma breve biografia	31
4.3- Faraday e o conceito de linhas de força.....	33
5- VETOR ELETROSTÁTICO	34
5.1- Modos de carregar o vetor eletrostático	34
<i>5.1.1- Eletrização por contato.....</i>	<i>37</i>
<i>5.1.2 - Eletrização por indução.....</i>	<i>39</i>
5.2- Análise crítica do uso do material	40
6- CURSO DE CAMPO ELÉTRICO.....	42
6.1- Concepção e proposta do curso.....	42
6.2- Diferenças entre livros didáticos analisados e atividade desenvolvida com o vetor eletrostático	45
7- CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
BIBLIOGRAFIA FUNDAMENTAL.....	51
APÊNDICE A – CONSTRUÇÃO DO VETOR ELETROSTÁTICO	52

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Este trabalho foi inspirado principalmente em minhas atividades junto ao projeto PIBID¹ UNESP em Rio Claro. Este trabalho foi realizado em uma escola pública de ensino médio da cidade de Rio Claro – SP. Discutimos uma metodologia específica e diferenciada para o preparo e aplicação de aulas de Física, usando materiais experimentais de baixo custo.

Durante o trabalho com a temática eletricidade, inspirado pelo Prof. Norberto Cardoso Ferreira (Tex) com experimentos de baixo custo para o ensino de Física no nível médio, identificamos a possibilidade de discutir e comparar o uso de materiais didáticos convencionais (essencialmente o livro didático) e a utilização de experimentos de baixo custo aplicados aos alunos da educação básica, com o uso do experimento denominado “Vetor Eletrostático”.

Ao eleger tal experimento, focalizamos nossa atenção no ensino do conceito de campo elétrico. A ênfase foi dada, em especial, às linhas de força do campo elétrico propostas na Física no século XIX por Michael Faraday.

Existe uma grande dificuldade em ensinar um conceito abstrato de maneira tradicional, pois há em jogo uma percepção espacial geométrica e as interações entre as cargas. Estes detalhes não são visualizados facilmente pelos alunos quando se utiliza papel, giz e lousa, ou seja, em uma visão no plano. Faz-se necessária a visualização tridimensional do problema em questão.

O trabalho aqui apresentado divide-se nos seguintes capítulos:

No segundo capítulo discutimos uma proposta metodológica usada para o ensino de campo elétrico e particularizamos a diferença de aulas expositivas com exercícios *versus* a aula com materiais experimentais. Trataremos o material de baixo custo de eletricidade, com enfoque direcionado para experimento de campo elétrico.

No terceiro capítulo analisamos dois livros didáticos voltados para o ensino de Física no ensino médio. Nosso objetivo foi diferenciar e contrapor a abordagem eminentemente teórica com aquela discutida no capítulo dois deste trabalho para o ensino de campo elétrico.

¹ PIBID é o programa institucional de bolsas de iniciação a docência. Fomentado pela CAPES.

No quarto capítulo discutimos os conceitos físicos associados ao campo elétrico, às cargas elétricas, e a invenção da representação gráfica do campo elétrico através do uso das linhas de força. Trataremos da vida e obra de Michael Faraday, cientista que proporcionou avanços expressivos na teoria eletromagnética.

No quinto capítulo apresentamos o experimento de baixo custo denominado vetor eletrostático.

No sexto capítulo trataremos da atividade realizada com o experimento de baixo custo – vetor eletrostático, numa escola da educação básica. As diferenças entre os livros didáticos analisados no capítulo três deste trabalho e o desenvolvimento do curso de campo elétrico.

No sétimo capítulo discutimos as implicações e possibilidades da proposta explorada neste trabalho.

CAPÍTULO 2 – ENSINO DE FÍSICA

O foco deste capítulo será discutir a diferença entre metodologias tradicionais comumente utilizadas em sala de aula e o enfoque experimental que pode-se conferir às aulas, utilizando materiais de baixo custo.

O material experimental foi utilizado como uma estratégia pedagógica para o ensino de campo elétrico. O aprendiz deve interagir com o vetor eletrostático e a partir desta interação desenvolver capacidades com a finalidade de aprender o conceito de acordo com suas estruturas cognitivas.

O objetivo fundamental deste capítulo é discutir o que é material de baixo custo, a facilidade de utilização deste tipo material para a elaboração de experimentos aplicáveis em sala de aula. O enfoque principal é dado ao vetor eletrostático, que é um material do Ferreira e Ramos (2008) que permite explorar o fato de que um corpo eletrizado tem um campo elétrico associado a ele.

Quando se trata de experimentos de baixo custo, alguns professores têm uma postura ligeiramente preconceituosa que também será apresentada neste capítulo.

2.1- O ensino de campo elétrico.

Em minha experiência como aluna na educação básica e na Licenciatura em Física, tanto na disciplina Prática de Ensino como nas atividades do Projeto PIBID, constatei que as aulas de Física são as mais tradicionais possíveis. Tais aulas fornecem pouca ou nenhuma atenção para que os alunos aprendam a Física. Tradicionalmente as aulas concentram-se em apresentar fórmulas matemáticas procurando justificar que as mesmas representam estes conceitos, que muitas vezes, parecem não ter nenhuma lógica ou sentido para o estudante. É importante ressaltar que muitas destas equações e fórmulas representam mais uma aproximação do comportamento real da natureza do que a própria natureza.

As aulas de campo elétrico não fogem a este padrão, ou seja, são aulas tradicionais em que o(a) professor(a) usa “giz, lousa e saliva” para tentar explicar conceitos e características como a geometria esférica, a forma de representação do campo de força e a densidade de linhas. Aspectos que vão além da fala descritiva. Nesta metodologia os exercícios fazem papel de instrumentos que conduzem os alunos à utilização de ferramentas matemáticas para a resolução do “problema”.

Neste contexto, percebe-se claramente que as aulas de Física ministradas na maioria das escolas estão matematizadas. O enfoque não é dado no conceito físico que existe por trás de um fenômeno, mas sim na resolução, muitas vezes excessiva de cálculos. Como discutido previamente, é freqüente os alunos não enxergarem sentido algum nestes cálculos.

É necessário enfatizar que a aula expositiva, de maneira alguma, deve ser desprezada ou ignorada. É desejável que o estudante chegue a um nível de cognição onde o conceito possa ser trabalhado de maneira abstrata em aulas eminentemente conceituais.

Enfatizamos, entretanto, que é difícil para o professor conseguir com uma abordagem tradicional expressar questões como a ação a distância, a simetria e a intensidade de campos elétricos, por exemplo.

Percebemos que estas características poderiam ser melhor compreendidas se o aluno puder “colocar a mão na massa”. Interagir com um experimento é vantajoso para o aluno, pois proporciona ao mesmo a possibilidade de compreender os pontos citados de maneira prática.

Em vista disso, uma alternativa para que os alunos possam melhorar qualitativamente o aprendizado de conceitos como o de campo elétrico, surge a partir do manuseio de materiais experimentais, como proposto por Ferreira.

Para que um estudante compreenda um experimento, ele próprio deverá executá-lo, mas ele entenderá muito melhor se, além de realizar o experimento, ele construir os instrumentos para a sua experimentação (FERREIRA, 1978 apud RAMOS, 2007, p.11).

Neste processo de ensino o material experimental é utilizado para ajudar no aprendizado do conceito, e não somente “na ponta de um lápis”, resolvendo contas que pretensamente possam cair em provas ou vestibulares.

Alguns professores crêem que aprender é um processo que não necessita de experimentos, intuição, jogos e criatividade, ou simplesmente nada que seja diferente de uma aula tradicional, ou o que denominamos como lúdico.

Percebemos, porém que o ato da curiosidade, da vontade de manusear e dos interesses dos alunos é muitas vezes despertado através da ludicidade. Dessa forma a Física pode ser ensinada por processos diferentes de aulas tradicionais. Enfatizamos que o trabalho com material experimental de baixo custo é apenas um exemplo de método “alternativo” que pode proporcionar esta ludicidade.

Quem disse que este tipo de metodologia de ensino, de aula tradicional, ensina com precisão os conceitos (sejam estes de Física ou de outras áreas do conhecimento) ao aluno? Geralmente alunos são “ameaçados” pelos professores, diretores e outros membros da escola e da própria sociedade que costumam dizer que “Esta matéria irá cair na prova” ou “Você é burro, porque não tira notas altas”. É neste ponto que o aluno coagido pode não adquirir o conhecimento para aquele dado conteúdo. Com este tipo de atitude didática, resolvem-se aparentemente apenas os problemas do momento, porém problemas futuros como, por exemplo, repugnâncias pelo estudo e pela escola são desconsideradas por professores.

Para Piaget (1973 *apud* RAMOS, 2007) cada pessoa interage com o conhecimento e realiza operações internas para a construção deste, conhecimento segundo estruturas cognitivas de cada indivíduo. Dessa forma, deduzimos que a construção do conhecimento não se reduz a um único tipo de metodologia de ensino, mas sim a um conjunto de atividades que favorecem o aprendizado.

2.2- Materiais experimentais de baixo custo.

Para Ramos (1990) materiais experimentais de baixo custo são materiais que tem o desempenho técnico-pedagógico necessário em uma dada montagem, mas que, ao mesmo tempo, sejam baratos em relações a outras opções. Também, a escolha do material de baixo custo não se deve somente

ao fato de ser econômico financeiramente, mas devido à sua simplificação da técnica de construção. O uso deste tipo de material possibilita ao estudante ou professor explorar aspectos além da própria construção, fazendo alterações, adaptações e invenções.

Ferreira e Ramos (2008) nos “cadernos de instrumentação para o ensino de física” descrevem diversos experimentos de eletrostática. Dentre estes são apresentados os materiais utilizados, a montagem do experimento e indicações conceituais de Física, que algumas vezes envolvem cálculos. Isto nos mostra que os materiais, embora simples e de fácil construção, expressam o conteúdo Físico, destacando seus aspectos experimentais e didáticos.

A escolha feita para escrever este Trabalho de Conclusão de Curso e o uso do experimento denominado vetor eletrostático² foi feita pensando nos alunos. O conceito de campo elétrico é muitas vezes deixado de lado e passa a ser trabalhado como uma “fórmula complexa a mais”, ou seja, a grande maioria de alunos se forma no ensino médio, sem dominar adequadamente este conceito.

2.2.1- Posturas dos docentes em relação aos experimentos de baixo custo.

Observando as aulas de Física, percebemos que não são realizadas atividades experimentais, devido ao fato de professores alegarem que é trabalhoso e que exige um tempo extra da sala de aula para o preparo e a confirmação dos resultados. Acreditam também que é necessário um espaço para a realização do experimento, ou seja, um laboratório didático para que possam realizar essas atividades com os alunos. A falta de familiaridade dos professores com relação aos experimentos de baixo custo os leva a indicar que são necessários materiais muito específicos de difícil acesso.

Destes “problemas” apontados por um professor, a que mais é evidente no dia a dia de uma escola, é a falta de laboratórios didáticos. Tal situação apresenta-se como justificativa para um professor “ensinar” aos alunos

² A construção deste experimento está explicada detalhadamente no apêndice de Trabalho de Conclusão de Curso. Deste modo a construção do mesmo pode ser reproduzida.

meramente as fórmulas matemáticas, baseando-se única e exclusivamente nos livros didáticos.

Nas atividades de minha formação, seja na Licenciatura ou no projeto PIBID realizadas em escolas pública da cidade de Rio Claro, pude notar que o laboratório virou um depósito de livros didáticos antigos e de caixas. Porém quando tive que utilizar materiais experimentais para a realização do curso de campo elétrico, pude realizar a atividade em uma sala de aula comum com apenas mesas, cadeiras e uma lousa pequena. Isto é, foi possível trabalhar na própria sala de aula, sem que isto fosse obstáculo para que o papel de ensinar o conceito de campo elétrico de uma maneira diferente da tradicional fosse cumprida.

As desculpas para a não utilização de experimentos, portanto, não procedem completamente. Entendo que para a utilização de tais recursos de ensino seja fundamental que os professores compreendam o papel dos experimentos na construção do conhecimento científico. Os docentes podem instigar a curiosidade dos alunos e para isso deverão adotar recursos e metodologias diferentes da tradicional. Uma metodologia apropriada seria educar os discentes, cientificamente e não só matematicamente.

Entretanto, para que o uso do material experimental seja completamente eficaz é necessário que o professor mude sua própria concepção de ensino, pois somente o uso do recurso não será suficiente para que os educandos aprendam.

Para avaliar os alunos não se faz somente necessário o uso da prova, mas principalmente o acompanhamento dos discentes por toda a atividade e se estes não conseguirem atingir as metas preestabelecidas, o professor tem por obrigação dar novas ferramentas para que o mesmo se desenvolva e chegue ao aprendizado sobre um determinado tema, porém acredito que esta obrigação não tem sido satisfatoriamente observada.

CAPÍTULO 3 - LIVROS DIDÁTICOS E O CAMPO ELÉTRICO

Dois livros didáticos da educação básica, especificamente no tópico de campo elétrico para ensino médio, foram analisados. O objetivo desta análise foi comparar a utilização dos livros didáticos com a atividade realizada com o experimento vetor eletrostático.

O primeiro livro analisado tem como autores: José Luiz Sampaio e Caio Sérgio Calçada (SAMPAIO E CALÇADA, 2005). É um livro de volume único da 2ª edição, que compreende os temas: Mecânica, Termologia, Óptica, Ondas, Eletricidade, Magnetismo e Física Moderna.

Já o segundo livro é dos autores: Antônio Máximo Ribeiro da Luz e Beatriz Alvarenga Álvares (MÁXIMO E ALVARENGA, 2005). É uma coleção de três volumes da 6ª edição. O primeiro aborda temas de Mecânica. O segundo, Termologia, Óptica e Ondas. Já no terceiro são discutidos temas de Eletricidade, Magnetismo e Física Moderna.

A escolha destes livros foi feita, pois estes constituem livros didáticos atuais e amplamente utilizados em muitas escolas em nível médio da educação básica.

3.1- Sampaio e Calçada

Este livro (SAMPAIO E CALÇADA, 2005) como mencionado, anteriormente, apresenta-se em um único volume para os três anos do ensino médio, compreendendo assuntos desde a mecânica até o eletromagnetismo. Porém o conteúdo analisado deste livro didático no presente momento corresponde a conteúdos especificamente abordados no 3º ano.

O livro contém 472 páginas e conta com capítulos que apresentam: teoria, exercícios resolvidos, exercícios propostos e no final do volume respostas dos exercícios aplicados, além de exercícios adicionais com foco em vestibulares e Enem.

Na tabela 1 encontramos os conteúdos aplicados ao ensino médio e suas respectivas quantidades de páginas do livro de Sampaio e Calçada (2005).

O conteúdo que será analisado está dentro do quinto tópico: Eletricidade e Magnetismo.

Tabela 1: Divisão de conteúdos com as respectivas quantidades de páginas para cada determinado assunto.

Conteúdo discutido	Quantidade de páginas
Mecânica	162
Termologia	40
Óptica	40
Ondas	20
Eletricidade e Magnetismo	126
Física Moderna	33

3.1.1- Análise crítica dos capítulos de campo elétrico.

O conceito de campo elétrico é discutido em dois capítulos, contendo oito páginas. Sendo quatro em cada capítulo.

Na figura 1 encontra-se uma foto tirada de duas páginas do livro do Sampaio e Calçada (2005).

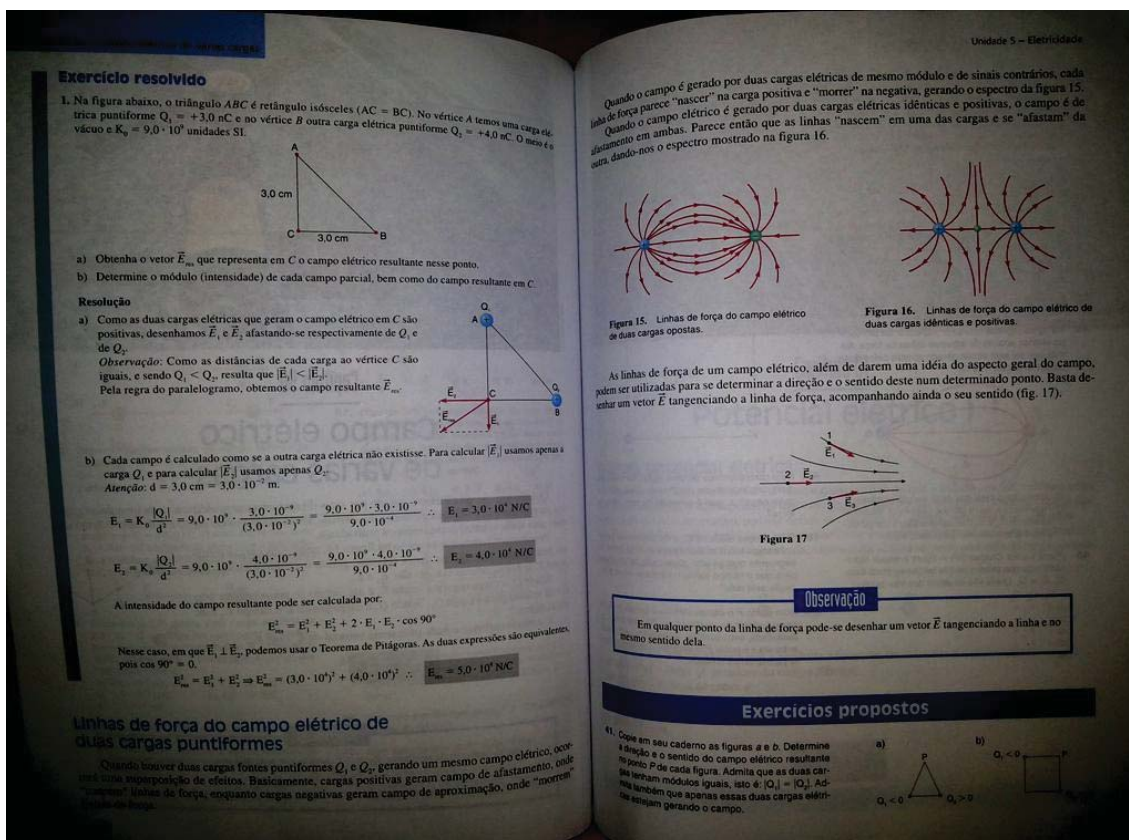


Fig.1- Imagem retirada do livro Física dos autores Sampaio e Calçada.

O primeiro capítulo (capítulo 49 do livro) é iniciado com um exemplo do cotidiano dos alunos: a observação de que ao aproximar o braço da tela da televisão, os pêlos ficam eriçados mostrando que as cargas elétricas da TV geram um campo elétrico. Entretanto esta observação é somente válida para alguns tipos de TV que utilizam tubo de raios catódicos. Além disso, não são explicados os processos físicos que estão envolvidos neste exemplo. Os autores simplesmente dizem que o efeito é gerado por cargas elétricas.

Em seguida introduzem o assunto de carga de prova, intensidade do campo elétrico, direção e sentido. Mas não explicam com detalhes cada um destes, ou seja, a característica vetorial do campo elétrico não é explorada apropriadamente.

Mostram as direções das linhas de força de cargas positivas e negativas e para a resolução destes problemas de campo elétrico definem a fórmula que relaciona campo elétrico, força eletrostática e carga de prova. Logo em seguida a unidade de medida correspondente a esta fórmula é apresentada.

Demonstram matematicamente como se deduzir a fórmula do módulo do campo elétrico em um ponto qualquer do espaço bidimensional.

Descrevem que o campo elétrico resultante é dado pela soma vetorial, “jogando” a fórmula da lei dos cossenos, que contém erros. A fórmula como esta no livro é: $E_{res} = E_1 + E_2 + 2 \cdot E_1 \cdot E_2 \cdot \cos\theta$, sendo θ é o ângulo entre os vetores de campo elétrico 1 e 2. Percebemos que faltam os quadrados nos dois primeiros termos E_1 e E_2 para que a equação fique correta. Também falta uma raiz quadrada que engloba o lado direito da equação.

No outro capítulo, os autores utilizam mais uma vez a matemática para introduzir somas de vetores de campo elétrico.

No final do capítulo sugerem experimentos simples para que os alunos façam em casa e visualizem os efeitos. Todavia estes experimentos não correspondem com os três subcapítulos analisados, mas sim dos outros dois que não foram explorados.

Apresentam-se exercícios resolvidos para o cálculo do valor do campo elétrico, utilizando a soma vetorial.

Em síntese, nota-se que para se utilizar este livro didático como base para uma aula, privilegiam-se como recursos o giz e a lousa, sem nenhum material experimental e nem diálogo com os alunos. Desta forma, a interação do aluno com o conhecimento é limitada. É esperado que os alunos saibam manipular e executar a matemática apresentada, com o objetivo de responder numericamente os exercícios propostos.

A linguagem utilizada por estes autores é de fácil acesso para quem já tem um conhecimento prévio em Física. Isto é, o livro traz frases e conceitos em uma linguagem que não favorece o educando que interage com este material pela primeira vez.

3.2- Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga.

Esta coleção apresenta 3 volumes. Analisei o volume 3 do livro didático que é voltado apenas o 3º ano do ensino médio, pois compreende apenas conteúdos de Eletricidade, Magnetismo e Física Moderna (MÁXIMO E ALVARENGA, 2005). Este livro contém 440 páginas com capítulos de teoria, exercícios propostos e exercícios para vestibulares e Enem. No caso do livro do professor, existem mais 128 páginas de acessoria pedagógica.

Na tabela 2 é apresentada a divisão por conteúdos deste livro didático.

Tabela 2: Divisão de conteúdos com as respectivas quantidades de páginas para cada determinado assunto do livro didático de Máximo e Alvarenga.

Conteúdo	Quantidade de páginas
Eletricidade e Magnetismo	318
Física Moderna	62

3.2.1- Análise crítica do capítulo de campo elétrico.

Este capítulo de campo elétrico é subdividido em cinco subcapítulos. Que tratam respectivamente sobre: O conceito de campo elétrico. Campo elétrico criado por cargas pontuais. Linhas de força. Comportamento de um condutor eletrizado. Rigidez dielétrica – poder das pontas.

Na figura 2 encontra-se uma foto tirada de duas páginas do livro dos autores Máximo e Alvarenga (2005).

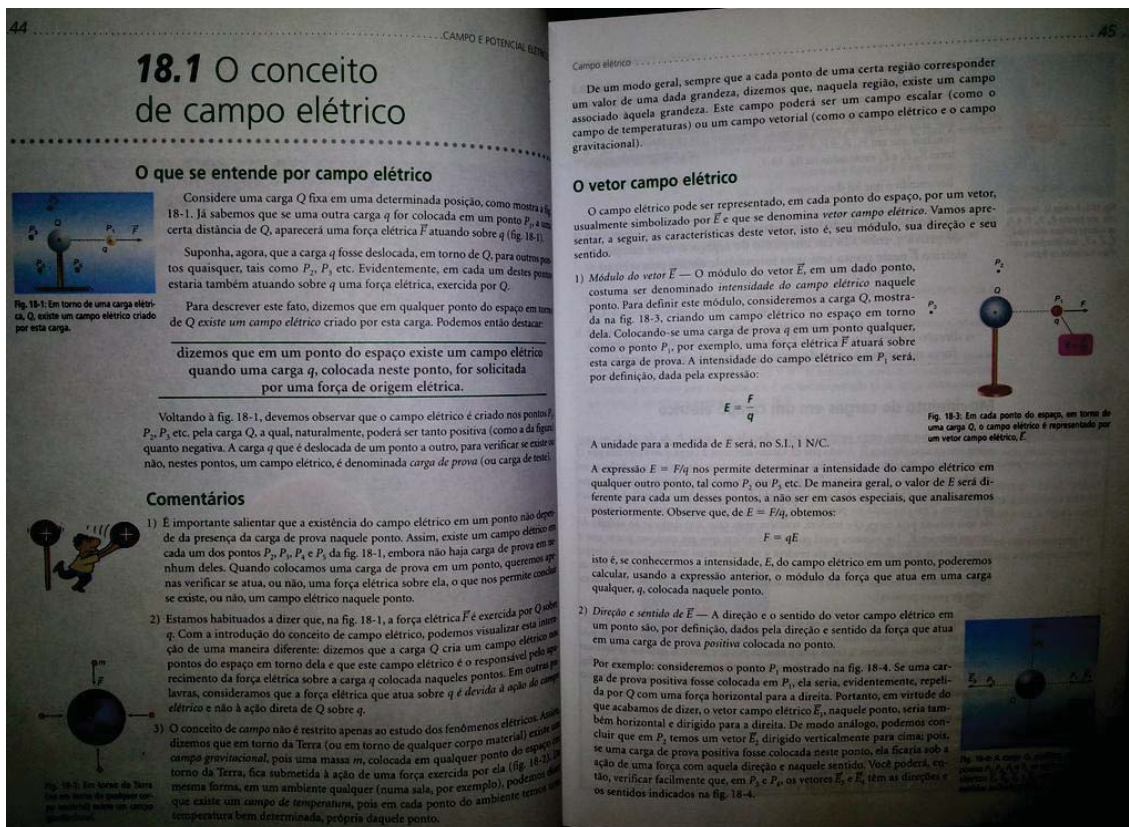


Fig.2- Imagem retirada do livro Curso de Física dos autores Máximo e Alvarenga.

Os três primeiros subcapítulos foram analisados, uma vez que somente estes se referem aos conteúdos deste Trabalho de Conclusão de Curso.

O capítulo se inicia com o conceito de campo elétrico, através de uma explicação teórica, trazendo também figuras que representem este fenômeno. É descrito que o campo elétrico é um vetor, ou seja, tem intensidade, direção e sentido, o que é representado conceitualmente, por meio de figuras e definições através de fórmulas. O livro traz também exemplos resolvidos, porém estes são numéricos e com pouco conceito teórico. Os exercícios propostos para o “aprendizado” dos alunos são chamados de exercícios de fixação, na sua maioria são numéricos, mesmo contendo algumas figuras ilustrativas para ajudar no raciocínio.

Partindo do princípio de que a carga elétrica geradora do campo elétrico é uma carga pontual. Os autores utilizam a definição matemática para este campo elétrico e descrevem usando a Lei de Coulomb, uma nova fórmula.

São feitos comentários e análises de gráficos, onde o campo elétrico decai com quadrado da distância entre as cargas.

Descrevem também a forma de calcular o campo elétrico de várias cargas pontuais através de soma de vetores. Para facilitar o entendimento foi feito um desenho de várias cargas com seus respectivos vetores campo elétrico.

No subcapítulo seguinte, os autores trazem uma visão histórica de quem introduziu este conceito de linhas de força. Contam da vida de Michael Faraday, e com figuras ilustrativas falam das linhas de força de uma carga positiva isolada e de uma carga negativa também isolada, que são respectivamente linhas de afastamento e de aproximação. Mostram através de comentários e imagens o campo elétrico representado pelas linhas de forças de duas cargas de sinais contrários e outra de sinais iguais.

Mesmo contendo fórmulas matemáticas e definições que muitas vezes não são totalmente bem explicadas, um aluno que não entende de Física, poderá entender certos conceitos através deste livro. A linguagem não é somente tratada do ponto de vista do “físiquês” (com jargões e expressões típicos de físicos). Qualquer dúvida extra poderá ser sanada pelo professor.

Como no livro anterior analisado, este também utiliza uma metodologia do “giz e lousa”, não favorecendo o uso do material experimental em sala de aula. O uso de materiais experimentais, poderia ajudar na visualização das linhas de forças do campo elétrico e não meramente a decoração da definição proposta por Faraday.

CAPÍTULO 4 – CONCEITOS DE ELETROSTÁTICA

Eletrostática: Ramo da Física que investiga as propriedades e o comportamento dos campos elétricos, de cargas elétricas ou fontes de cargas estacionárias (RODITI, 2005, p.76).

Inicialmente neste capítulo serão tratadas cargas elétricas não aceleradas. Na seqüência serão apresentados conceitos de campo elétrico e linhas de força, bem como uma discussão histórica, a elaboração deste conceito e a vida e obra de Michael Faraday.

4.1- Princípios da Eletrostática.

Considera-se que o estudo da eletrostática começou em aproximadamente 600 anos a. C. (YOUNG e FREEDMAN, 2010). Usualmente cita-se como início de tais estudos, a descoberta de que ao atritar lã e uma “pedra” de âmbar, ocorria uma interação até então não conhecida entre estes elementos – o fato de atrair pequenos objetos. Atribui-se esta descoberta à Tales de Mileto. Atualmente consideramos que a atração do âmbar com outros objetos ocorre devido à presença de cargas elétricas, uma propriedade intrínseca da matéria.

A carga elétrica é uma propriedade intrínseca das partículas fundamentais de que é feita a matéria; em outras palavras, é uma propriedade associada à própria existência das partículas (HALLIDAY e RESNICK, 2012, p.1).

Existem dois tipos de cargas elétricas, as cargas negativas, (convencionalmente associadas aos elétrons) e as cargas positivas (convencionalmente associadas aos prótons). Em um corpo eletricamente neutro, a quantidade de carga elétrica positiva é igual à quantidade de carga elétrica negativa.

Ao atritar dois materiais distintos verifica-se que estes tornam-se eletrizados, ambos com cargas contrárias, pois no momento do atrito, materiais

que têm tendência de receber elétrons, atraem elétrons do outro tipo de material que têm tendência de doar. Para identificar quem ficou negativamente ou positivamente carregado pode-se lançar mão de uma tabela denominada série tribo elétrica. Ela foi construída experimentalmente considerando diferentes materiais e sua eletronegatividade.

Por acreditarmos que os elétrons são os portadores de carga móveis em corpos sólidos (devido a sua massa reduzida e a fraca interação com o núcleo para alguns átomos) normalmente tratamos a eletrização de um corpo considerando o excesso ou a falta de elétrons em relação aos prótons. Se um corpo está com excesso de cargas negativas, dizemos que este está carregado negativamente. Se estiver com *déficit* de cargas negativas, dizemos que o mesmo está carregado positivamente. Os corpos eletricamente carregados interagem entre si. Tratamos essa interação como forças elétricas, que podem ser tanto força de atração como força de repulsão. Para corpos carregados com a mesma carga elétrica, consideramos que existe uma força de repulsão. Se os corpos carregados estiverem com cargas opostas, consideramos que existe uma força de atração. Essa força de repulsão ou atração é denominada força eletrostática.

A lei empírica que permite calcular a força de atração ou repulsão é a Lei de Coulomb. A seguir encontra-se a formulação desta lei.

A força entre duas cargas puntiformes é exercida ao longo da linha das cargas. Ela varia com o inverso do quadrado da distância que separa as cargas e é proporcional ao produto das cargas. A força é repulsiva se as cargas tiverem o mesmo sinal e atrativa se elas tiverem sinais opostos (TIPLER e MOSCA, 2009, p.6).

Escrita matematicamente, a força eletrostática nos diz:

$$\vec{F} = \frac{k.q_1.q_2}{r^2} (\hat{r}) \quad (1)$$

Onde $\vec{F}$ é a força eletrostática, q_1 e q_2 é a intensidade das cargas elétricas, r é a distância entre as cargas, k a constante de proporcionalidade, denominada constante de Coulomb e $\hat{r}$ é a direção para onde aponta esta

força. No caso de cargas pontuais esta força é radial, ou seja, de um ponto central a força se estende para dentro ou para fora. É importante notar que tais forças agem à distância, ou seja, sem contato entre as cargas elétricas. Se aproximássemos duas cargas a ponto de se tocarem, teríamos $r=0$ e como resultado uma força infinitamente grande.

Também podemos considerar o comportamento elétrico da matéria a partir de uma carga, assim ao invés de considerarmos as forças, passamos a considerar a influência da carga sobre o meio circundante. Tal mudança de referência se traduz em Física no conceito de campo elétrico.

Fazendo uma analogia, a Terra e um corpo se atraem devido ao fato de existir um campo gravitacional. Já para o caso de cargas elétricas, também tratamos como um campo de forças, mas diferentemente do campo gravitacional (que sempre tende a aproximar duas massas), elas podem ser atrativas ou repulsivas.

Embora sempre presente, o campo elétrico de uma carga, só pode ser detectado mediante a aproximação de uma segunda carga à primeira.

Matematicamente, o campo elétrico que a segunda carga sente é:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad (2)$$

Onde $\vec{E}$ é o campo elétrico produzido pela primeira carga, $\vec{F}$ é a força elétrica exercida e q é a segunda carga que sente o campo elétrico, colocada nas proximidades da carga elétrica original.

Na figura 3 encontra-se a representação do campo elétrico de uma carga positiva e na figura 4 a representação de uma carga negativa (ambas isoladas de outras cargas).

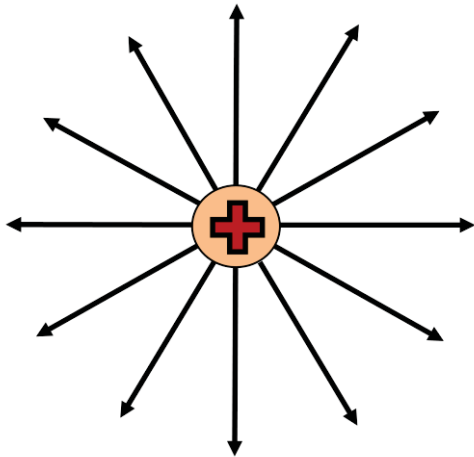


Fig.3- Linhas de força de afastamento.

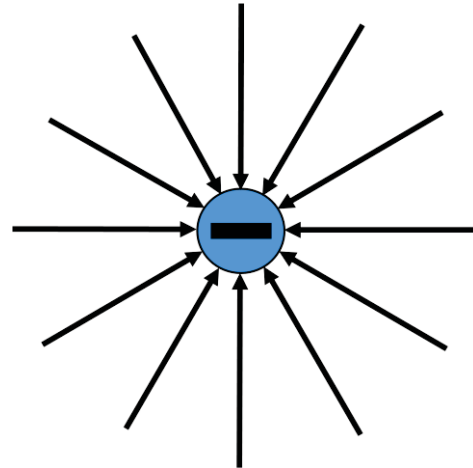


Fig.4- Linhas de força de aproximação.

O campo elétrico é representado por um campo vetorial. Desenhando um conjunto de linhas, obtêm-se uma representação deste campo vetorial em cada ponto do espaço. Analisando a densidade destas linhas verifica-se que esta é proporcional a magnitude do campo, ou seja, quanto mais linhas juntas por metro cúbico, mais intenso é o valor deste campo elétrico, enquanto que linhas separadas apresentam uma intensidade menor para o mesmo.

A representação por linhas de força possui vantagens, pois cria uma imagem do efeito de uma carga elétrica em sua vizinhança, uma espécie de “aura”, com a finalidade de não ficar somente em um conceito abstrato para quem tenta aprender o tópico.

Foi Michael Faraday quem introduziu o conceito de linhas de força, o que ajudou na visualização do campo elétrico criado por estas cargas, positivas e negativas.

As linhas que representam o campo elétrico são linhas de afastamento e linhas aproximação para os casos de carga positiva e carga negativa, respectivamente. Para entender esta representação deve-se supor uma carga de prova q , ou também conhecida como carga teste, sendo sempre positiva e com o valor de seu campo elétrico desprezível quando comparado com campos elétricos de outras cargas positivas e negativas.

Para identificar as linhas de força da carga positiva, deve-se aproximar a carga de prova q da carga positiva Q_+ . Quando o campo elétrico da carga Q_+ “identifica” a outra carga q que está ao seu redor, esta carga Q_+ exerce uma

força na carga de prova com a finalidade de empurrá-la para longe, devido ao fato das cargas possuírem o mesmo sinal. Para a representação do campo elétrico desta carga positiva, Faraday desenhou as linhas saindo da própria carga elétrica positiva Q_+ representando a força de repulsão (figura 3).

Já para a representação das linhas de força de cargas negativas foi suposto que ao aproximar a carga de prova q da carga negativa Q_- , o campo elétrico desta carga negativa “identificaria” a carga teste e esta é então puxada para perto de Q_- , devido ao fato de possuírem sinais contrários. Para isso Faraday desenhou as linhas entrando na carga negativa Q_- , ou seja, simbolizando o “puxão” que a carga negativa infere na carga de prova, o que descreve a atração entre as cargas (figura 4).

Na figura 5 são mostrados pedaços de linha de costura, em suspensão em banho de óleo, ao redor de condutores eletrizados. As extremidades dos fios de linhas são eletrizadas por indução e tendem a se alinhar com as linhas que representam o campo elétrico (HEWITT, 2002). Do lado esquerdo condutores eletrizados com cargas de sinais contrários. Na direita, condutores eletrizados com a mesma carga.

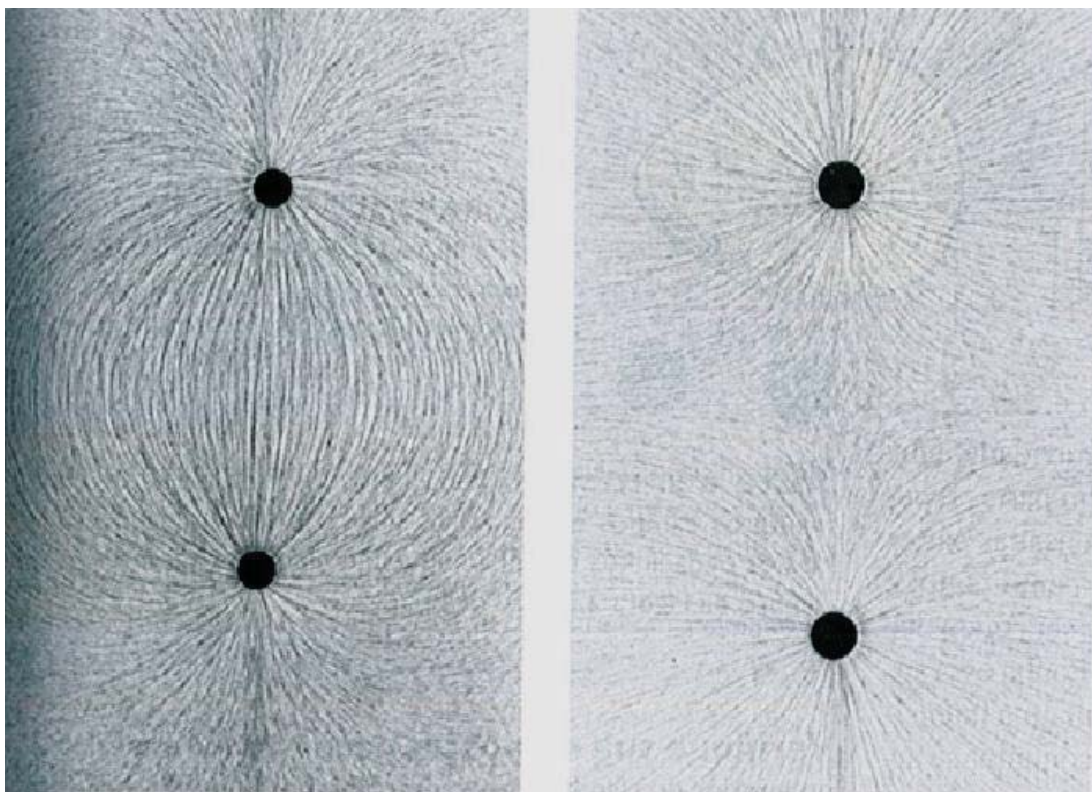


Fig.5- Condutores eletrizados com cargas contrárias à esquerda e condutores eletrizados com a mesma carga à direita. Reproduzido de HEWITT (2002, p.383).

4.1.1 Superfícies equipotenciais.

Definem-se superfícies equipotenciais como curvas no espaço que contém o mesmo potencial elétrico. A relação existente entre as linhas de campo e as superfícies equipotenciais constitui no fato do campo elétrico ser o gradiente do potencial elétrico.

Potencial elétrico: Aquele definido como o trabalho necessário para mover uma carga elétrica positiva do infinito, onde o potencial é nulo, a um dado ponto do campo elétrico (RODITI, 2005, p.181).

Este gradiente aponta na direção em que o potencial muda mais rapidamente, sendo, portanto perpendicular a superfícies equipotenciais. Se o campo elétrico não fosse perpendicular, haveria uma componente nesta superfície e consequentemente não seria uma superfície equipotencial (FEYNMAN, 2008, p. 4-13).

Gradiente: A taxa de variação direcional de certas grandezas características de um meio, tais como pressão atmosférica, a temperatura, etc (RODITI, 2005, p.110).

Para a construção de superfícies equipotenciais de uma ou duas cargas pontuais, basta inicialmente desenhar as linhas de força do campo elétrico e em seguida, em cada ponto destas linhas deve-se traçar uma perpendicular.

No caso de uma carga pontual isolada as superfícies equipotenciais são centradas na carga, formando assim uma esfera tridimensional ou como representada na figura 6 ou um círculo no plano. A figura 6 nos mostra este caso para uma carga positiva, mas podemos estender para uma carga negativa, o que difere apenas nos sentidos das linhas de forças.

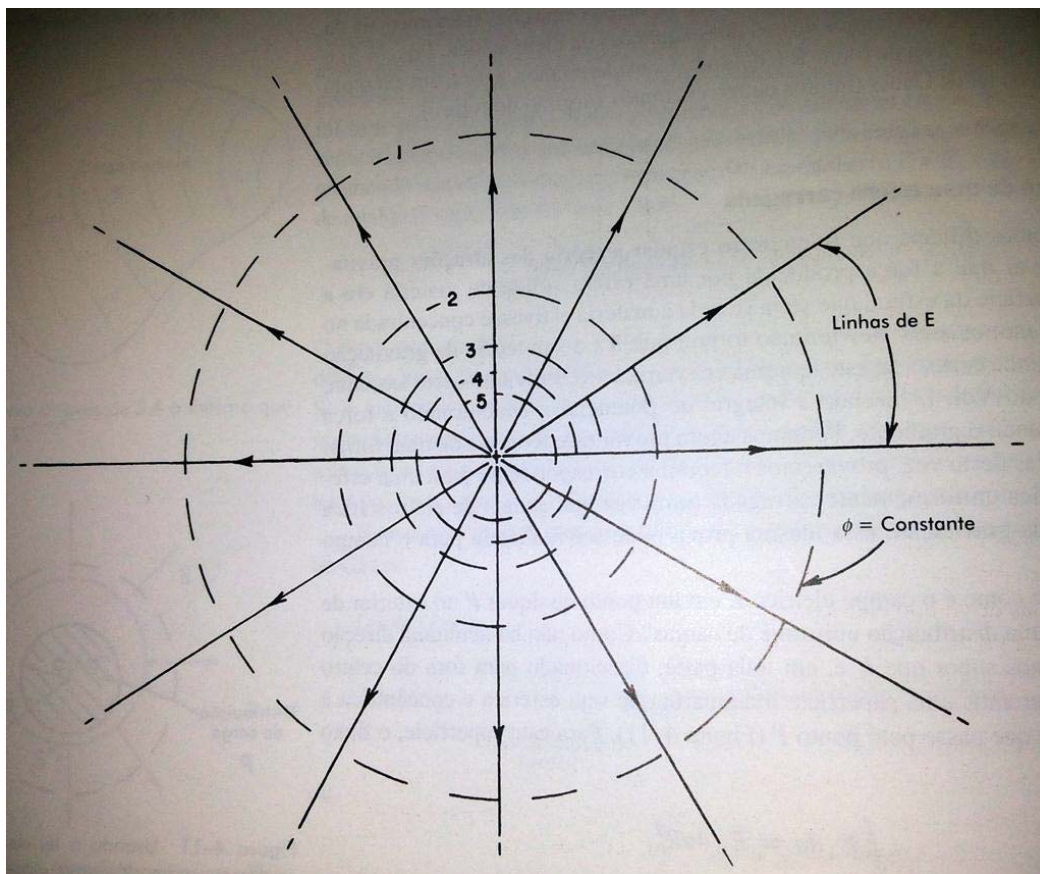


Fig.6- Superfícies equipotenciais e linhas de forças de uma carga positiva. Imagem retirada do livro Lições de Física (FEYNMAN, 2008, p.4-12).

Para o caso de duas cargas elétricas de sinais contrários, o campo elétrico é a sobreposição dos campos elétricos individuais. Já a superfície equipotencial não constitui uma esfera tridimensionalmente e nem um círculo no plano. A figura 7 nos mostra como são as superfícies equipotenciais para o caso de duas cargas.

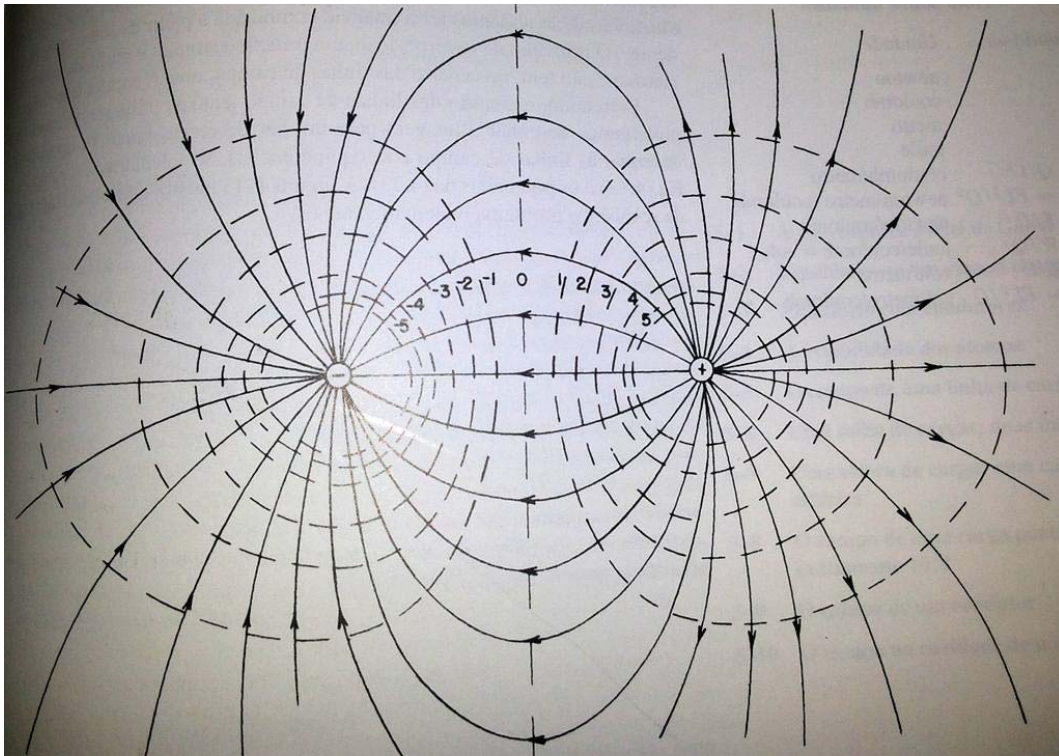


Fig. 7- Superfícies equipotenciais e linhas de forças para o caso de duas cargas de sinais contrários. Imagem retirada do livro Lições de Física (FEYNMAN, 2008, p.4-13).

Para representar a intensidade do vetor campo elétrico será utilizado à representação de “densidade” de linhas, como dito anteriormente. Para o caso de uma carga pontual, as densidades dessas linhas decaem com o inverso da distância ao quadrado. Porém a área das superfícies perpendiculares às linhas num raio r aumenta com r^2 , ou seja, quanto mais perto da carga central, mais próximas são as linhas equipotenciais e quanto mais longe da carga central maior será o espaçamento entre essas linhas diminuindo assim a densidade de linhas com a distância.

4.2- Michael Faraday - uma breve biografia



Fig.8 - Faraday ainda jovem.

Michael Faraday nasceu em 22 de setembro de 1791 em Newington Butts, Surrey - Londres. Filho de James Faraday e Margaret Hastwell. Sua família era de origem humilde. O pai, percebendo que seu emprego de ferreiro não sanava as necessidades básicas da família, se mudou com a família para Londres, com o objetivo de conseguir um trabalho melhor. A situação se agravou mais quando em 1809 o pai morreu.

Com a ausência do pai, Faraday teve que começar a trabalhar aos 13 anos, para ajudar na renda familiar, entregando jornais para Sr. Riebau. Quando completou seus 14 anos, este senhor o contratou e ensinou Faraday à arte da encadernação. Trabalhou nesta área durante os 7 anos seguintes. Devido ao fato de ter conseguido este emprego, Faraday desenvolveu a extraordinária destreza manual, o que mais tarde ajudou em suas pesquisas experimentais.

Com livros ao seu redor, a mente de Faraday apesar de ter pouco conhecimento em matemática e leitura, foi estimulada e este começou a fazer anotações num caderno onde eram incluídas citações e observações que pudessem ser interessantes. Assistia palestras e tomava notas. Faraday teve sua paixão despertada pela ciência quando encadernava uma enciclopédia (*Encyclopaedia Britannica*) que continha em verbete “Eletricidade”.

Em 1810 assistiu a sua primeira aula na Sociedade Filosófica da Cidade, liderados por John Tatum. Reuniam-se na casa do líder e este dava uma aula sobre algum tema científico e abria aos membros a sua biblioteca. Foi através desta Sociedade que Faraday descobriu um livro que fez despertar seu interesse pela Química.

Ganhou um ingresso para assistir a palestra do químico Davy na *Royal Institution*. Fez anotações e passou a limpo para compartilhar com os seus amigos da Sociedade.

Em 1812, terminou seu período de aprendiz e dedicou-se somente à encadernação. Faraday foi recomendado como copista para Davy, e ele aproveitando-se desta oportunidade remeteu suas anotações cuidadosamente encadernadas para o conferencista pedindo um emprego, porém somente no ano seguinte foi chamado para ocupar uma vaga de assistente que tinha sido demitido, na *Royal Institution*.

Em outubro de 1813, viajou com Davy para França, Itália e Suíça, onde conheceu vários cientistas importantes como Alessandro Volta e Joseph Gay-Lussac. Foi neste período que aprendeu mais sobre a carreira científica.

Em 1821 casou-se com Sarah Barnad. Neste mesmo ano, desenvolveu vários trabalhos na Química (estudos sobre o cloro, difusão de gases, liquefação, entre outros).

Em 1824, graças aos seus trabalhos de química se tornou membro da *Royal Society*. Se tornando diretor no ano seguinte da mesma.

Sua pesquisa em Eletroquímica ofereceu uma nova visão para a eletrostática. Nos anos de 1780 Coulomb descobriu que a força elétrica agia à distância, ou seja, resolveu a questão de ação à distância, mas Faraday queria uma confirmação experimental de seu ponto de vista.

Em 1839 Faraday teve um colapso nervoso do qual nunca se recuperou. Passou os cinco anos seguintes sem estudar nada de eletricidade e magnetismo, mas continuou na *Royal Institution*, se dedicando a pesquisas que não necessitavam tanto de seu engajamento.

Em 6 de agosto de 1845, William Thomson (lorde Kelvin), enviou uma carta a Faraday contando de seu sucesso da abordagem matemática do conceito de linhas de força. Onde falou de seus experimentos e Faraday os reproduziu e assim conseguiu detectar o fenômeno que procurava desde a década de 1820.

Suas faculdades mentais foram declinando-se até que 1850, Faraday se retirou das agremiações sociais e tentou se concentrar na *Royal Institution*.

Em 1862 se retirou do *Royal Institution* e se recolheu para uma casa que a rainha Vitória lhe ofereceu em Hampton Court.

Faleceu em 25 de agosto de 1867 em Hampton Court – Londres.

4.3- Faraday e o conceito de linhas de força.

Por volta de 1821, Ostered obteve os primeiros resultados experimentais sobre a indução eletromagnética. Ficou demonstrado que os fenômenos elétricos e magnéticos não eram independentes um do outro. O experimento que ele utilizou para provar este fenômeno foi o de uma corrente elétrica que ao passar por um condutor, fazia a agulha magnética da bússola mexer.

Com esta descoberta, Faraday, se sentindo curioso, começou a estudar e reproduzir experimentos realizados no passado e os da época.

Em seus estudos, Faraday começou a notar que qualquer coisa que fosse a causa do magnetismo, seria a manifestação de algo que cercava o ímã, ou seja, encontrava-se no campo e não no ímã (corpo). Esta manifestação era desde aquela época conhecida como campo magnético.

Com os seus resultados experimentais, Faraday acabou fazendo analogias entre o campo magnético com o campo elétrico e o gravitacional.

Para que ele compreendesse melhor o conceito de campos elétricos, magnéticos e gravitacionais, criou a representação por meio de linhas de forças.

Estas linhas se distinguem em alguns pontos. Por exemplo: campos elétricos e gravitacionais têm as linhas de forças retas (no caso do campo elétrico, considerando uma carga pontual). Para o caso do campo magnético são linhas curvas, que saem de um pólo e entram em outro pólo magnético. Percebeu também que as linhas de campos elétricos diferem das gravitacionais, pois enquanto as linhas de forças de campo elétrico são de aproximação e afastamento, as do campo gravitacional são somente de aproximação.

Porém somente nas décadas de 1850/1860 estes conceitos de campos elétricos e magnéticos foram reajustados e escritos matematicamente por James Clerk Maxwell.

CAPÍTULO 5 – VETOR ELETROSTÁTICO

Vetor eletrostático é o nome dado a um experimento de baixo custo desenvolvido por Norberto Cardoso Ferreira (FERREIRA e RAMOS, 2008). A finalidade é mostrar que um corpo carregado tem um campo elétrico associado ao seu redor.

5.1- Modos de carregar o vetor eletrostático

Existem duas maneiras possíveis de se eletrizar este vetor eletrostático: por contato ou por indução.

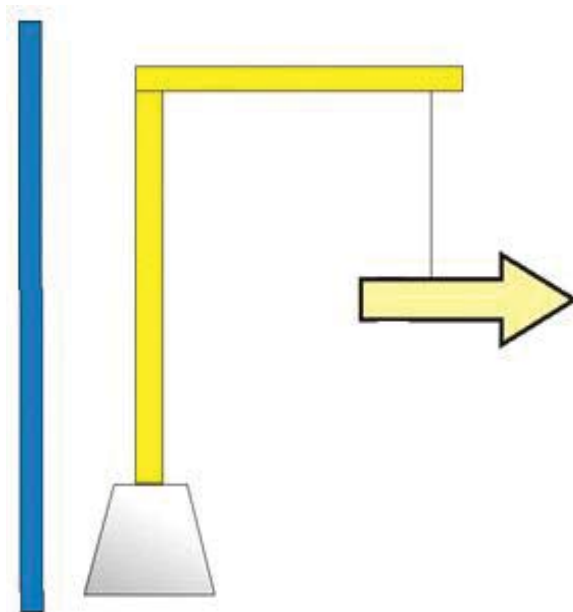


Fig.9- Desenho esquemático do vetor eletrostático (canudo, base de gesso, canudo dobrável, papel cartão, fio de nylon – são utilizados na montagem experimental, descrita no apêndice).

Inicialmente deve-se atritar o canudo e o papel higiênico, ambos estão eletricamente neutros, ou seja, a quantidade de cargas negativas e positivas é igual em cada um deles.

Para iniciar o processo de eletrização por atrito, fricciona-se o canudo com o papel higiênico. Haverá um reordenamento de cargas e devido à eletronegatividade de cada material, o canudo de refresco “rouba” elétrons do

papel ficando assim carregado negativamente e deixando o papel higiênico eletrizado positivamente.

Na figura 10 é mostrado um esquema do reordenamento de cargas após o atrito. Há conservação de cargas antes e depois dos materiais serem atritados. Isto é, a quantidade inicial de cargas será a mesma após o atrito, porém não no mesmo corpo, mas sim nos dois, se o sistema estiver isolado (sem contato com um possível agente externo que possa influenciar no reordenamento das cargas).

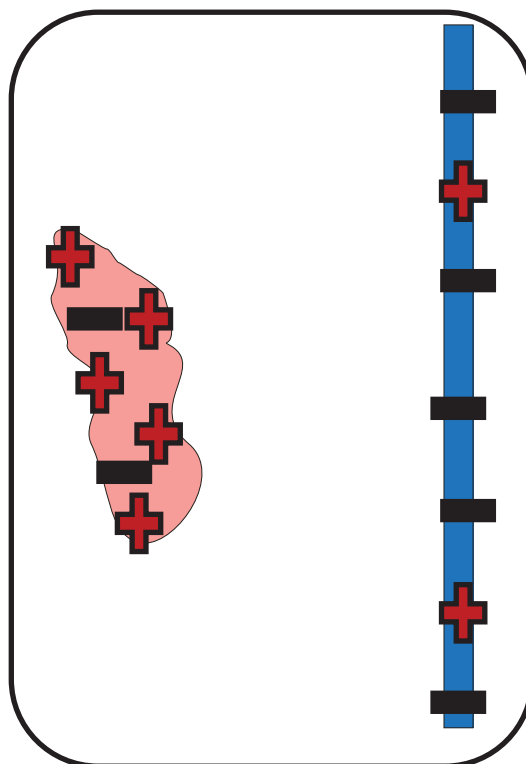


Fig.10-“Visualização” de cargas elétricas após o atrito. Papel higiênico à esquerda e canudo à direita.

Para saber que tipo de material “rouba” elétrons para si, deixando o outro material com um *déficit*, verifica-se na figura 11, que é denominada série tribo elétrica, presente nos livros de Física, tanto nos de ensino médio como nos de graduação.

A eletronegatividade do material nesta tabela segue uma regra simples: quanto mais “acima” se encontra o material, maior é sua tendência de perder elétrons tornando-se eletricamente positivo.

CARGA	MATERIAIS	OBSERVAÇÕES
 Positiva	Pele humana seca	Grande tendência em doar elétrons e ficar altamente positiva.
	Couro	
	Pele de coelho	É muito usado na eletrização por atrito.
	Vidro	O vidro de sua tela de TV fica eletrizado e atrai pó.
	Cabelo humano	Pentear o cabelo é uma boa técnica para obtenção moderada de carga.
	Nylon	
	Lã	
	Chumbo	O chumbo retém tanta eletricidade estática quanto pele de gato.
	Pele de gato	
	Seda	
	Alumínio	Deixa escapar alguns elétrons.
	Papel	
Neutra	Algodão	A melhor das roupas "não estáticas".
	Aço	Não é usado para eletrização por atrito.
 Negativa	Madeira	Atrai alguns elétrons, mas é quase neutro.
	Âmbar	
	Borracha dura	Alguns pentes são feitos de borracha dura.
	Níquel e cobre	Escovas de cobre são usadas no gerador eletrostático de Wimshurst.
	Latão e prata	
	Ouro e platina	Esses metais atraem elétrons quase tanto quanto o poliéster.
	Poliéster	Roupas de poliéster têm afeição por elétrons.
	Isopor	Muito usado em empacotamento. É bom para experimentos.
	Filme de PVC	
	Poliuretano	
	Poliétileno	
	PVC	O policloreto de vinila tem grande tendência em receber elétrons.
	Teflon	Maior tendência de receber elétrons entre todos desta lista.

Fig.11- Série tribo elétrica – tabela que mostra os tipos de materiais e as cargas adquiridas em excesso ou em ausência, após o atrito.

Para a representação das linhas de força das cargas elétricas devemos aproximar corpos carregados positivamente e negativamente de uma carga de prova que sempre será positiva.

Cada material do experimento desempenhará uma função que demonstre o conceito de campo elétrico. O vetor eletrostático desempenhará a função de carga de prova. Já o canudo de refresco terá função de representar a carga positiva ou a carga negativa, dependendo do enfoque experimental de interesse do professor. No curso apresentado, foram utilizados ambos os enfoques.

5.1.1- Eletrização por contato

Para observar o fenômeno de eletrização por contato. Deve-se fazer com que o canudo eletrizado negativamente toque o vetor eletrostático. Ocorrerá que partes dessas cargas negativas do canudo fluirão para o vetor.

Colocando o canudo eletrizado em uma base de gesso e girando o vetor eletrostático em torno do canudo, verificamos que o vetor eletrostático sempre apontará em sentido contrário ao do canudo (figura 12).

A explicação física decorre do fato de que há cargas iguais em ambos os corpos e desta forma há uma força de repulsão entre eles, fazendo o vetor girar 180° .

Na figura 12 apresenta-se o mapeamento do vetor carregado negativamente em torno do canudo também eletrizado negativamente.

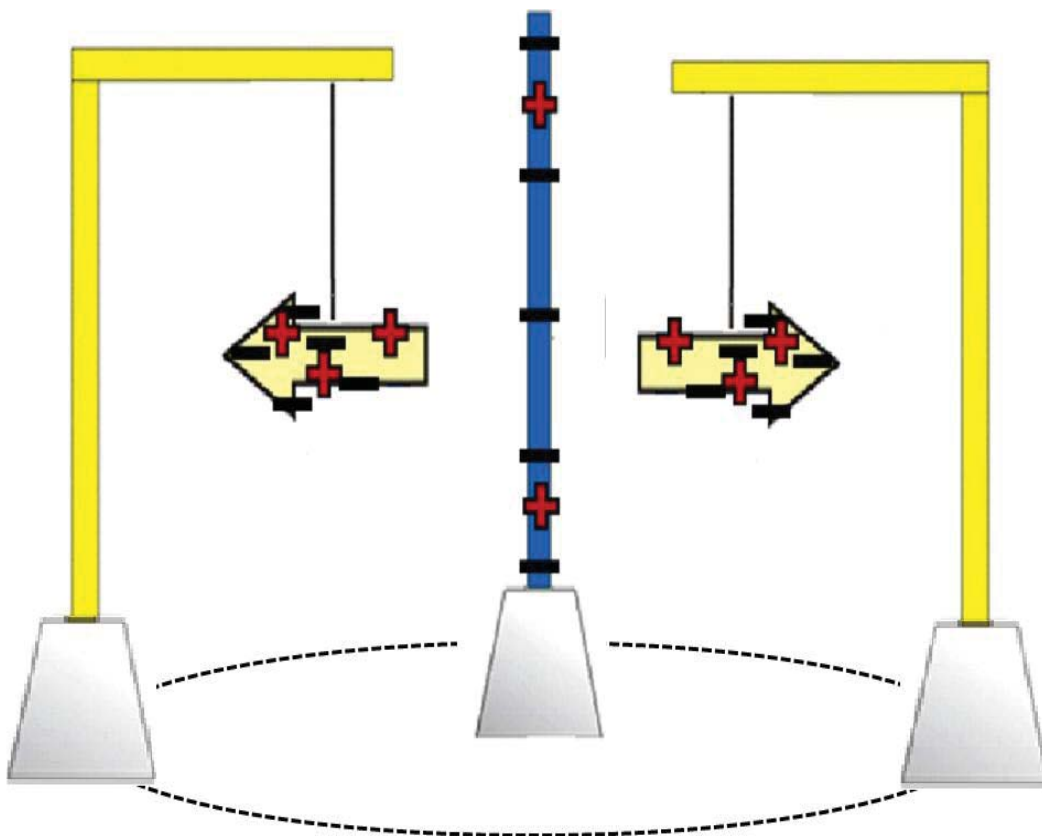


Fig.12 - Desenho esquemático do mapeamento de corpos com a mesma carga.

Por que o vetor eletrostático em vez de somente afastar-se do canudo, fez um giro de 180° , apontando para o lado oposto?

A resposta para esta pergunta se deve ao formato deste vetor eletrostático – uma seta.

Na Física existe um conceito que descreve que as cargas elétricas têm preferências por pontas, o que denominamos “*O Poder das Pontas*”. A aplicação deste conceito está ligada ao nosso dia a dia. Um exemplo que pode ser citado é o pára-raios, que atrai as descargas elétricas das nuvens (raios) para que ninguém se machuque.

As cargas elétricas então têm um comportamento que faz com que estas sintam uma “atração” pelas pontas, aglomerando-se nas mesmas. Como sabemos, as cargas negativas é que se deslocam no interior da matéria, se movendo então da parte traseira do corpo do vetor para a dianteira, onde se encontra a ponta.

Como haverá mais cargas negativas na ponta deste vetor, a seta do vetor tende a dar um giro de 180° , apontando, portanto para o sentido oposto ao do canudo. Este giro representa a força de repulsão entre as cargas negativas, pertencentes aos dois corpos.

Entretanto, nota-se uma falha conceitual neste experimento. A direção do vetor indica que as linhas de campo elétrico estão se afastando do canudo carregado negativamente. Este resultado contradiz a teoria apresentada no capítulo 4. Isto se deve ao fato de utilizarmos uma carga de prova negativa (a seta do vetor). Se a seta estivesse carregada positivamente, conforme é apresentado na teoria, esta estaria apontando para o canudo, representando corretamente as linhas de campo.

Façamos uma analogia, supondo que os corpos, tanto o vetor eletrostático como o canudo, estão eletrizados positivamente (isso se deve ao fato de que a carga de prova deve ser sempre positiva). Verifica-se então o que foi proposto no século XIX: que as linhas de força do campo elétrico de uma carga positiva devem ser sempre linhas que originam no próprio corpo e tem sentido de afastamento.

Esta analogia é feita devido ao fato de que quando atritamos papel higiênico com canudo de refresco, o canudo não “perde” elétrons, mas adquire-os devido sua eletronegatividade, o que o torna negativamente carregado.

Para que a carga de prova seja positiva, podemos “inverter mentalmente” as cargas. Deste modo, passamos a considerar cargas negativas

como positivas e vice-versa. O que no desenho esquemático (figura 12) representará a mesma condição, isto é, o vetor apontará para “fora” do canudo, pois em ambos os casos os corpos estarão carregados com a mesma carga elétrica.

5.1.2- Eletrização por indução

Para eletrizar o vetor eletrostático por indução, devemos aproximar o canudo eletrizado negativamente do vetor eletrostático. Em seguida, devemos tocar a seta do vetor com o dedo. Retirarmos então o dedo e em seguida o canudo (indutor). Isso garantirá que o vetor esteja carregado por indução, ou seja, que ambos os corpos, canudo e vetor, estejam eletrizados com cargas contrárias.

Quando aproximamos o canudo negativamente eletrizado do vetor, que inicialmente se encontra neutro, haverá uma separação de cargas dentro do vetor. Esta separação de cargas é denominada polarização, e faz com que os elétrons do vetor e do canudo se afastem o máximo possível um do outro. Quando colocamos o dedo no corpo do vetor, algumas cargas negativas ali existentes fluem deste para nossa mão, devido ao fato de existir uma força de repulsão entre as cargas do canudo e do vetor, deixando assim o vetor eletrostático com *déficit* de elétrons (carregado positivamente).

Depois de eletrizar o vetor por indução, devemos colocar o canudo numa base de gesso e girar o vetor eletrostático em torno deste canudo eletrizado. Estaremos mapeando as linhas de campo elétrico de cargas negativas. Representadas pelo canudo eletrizado negativamente e o vetor eletrostático positivamente. Note que neste caso não é necessária a “inversão” das cargas, uma vez que a carga de prova já está carregada positivamente.

Neste caso, obtemos com o mapeamento, a direção das linhas de força de uma carga negativa, que são linhas que surgem no infinito e se estendem até a carga. Estas linhas são, portanto denominadas linhas de aproximação.

Na figura 13 há um desenho esquemático do mapeamento de corpos com cargas contrárias.

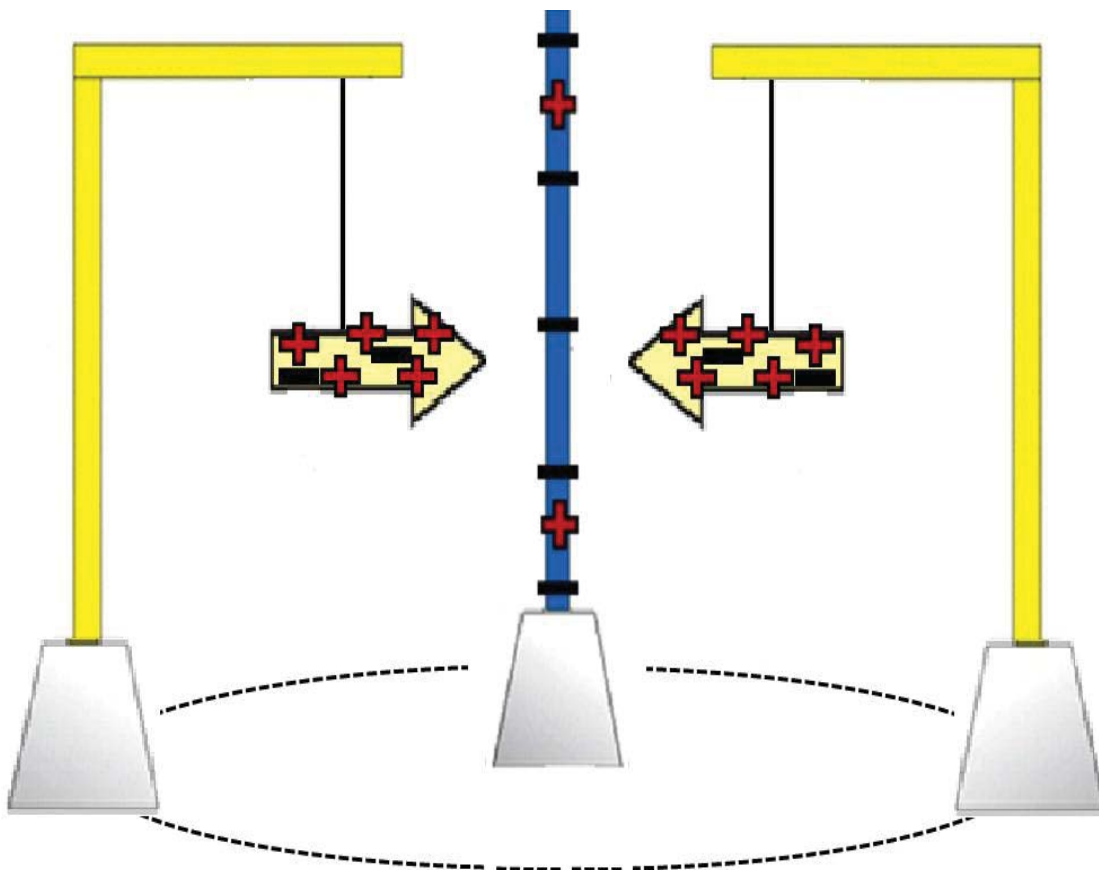


Fig.13 - Desenho esquemático do mapeamento de corpos com cargas opostas.

5.2- Análise crítica do uso do material.

Uma das vantagens na utilização deste tipo de material de baixo custo é o fácil manuseamento do mesmo por parte dos alunos. Estes não correm o risco de quebrar ou danificar o protótipo. Geralmente materiais didáticos experimentais comprados em escolas são materiais mais caros e por este motivo são guardados em armários e não são utilizados pelo fato que os alunos ou qualquer outro membro da escola possam quebrar, causando prejuízo à escola. Em resumo, os materiais presentes na escola são guardados como relíquias.

Este tipo de experimento, de baixo custo, ajuda os alunos a construírem o seu próprio conhecimento de uma forma lúdica. Os alunos não são impedidos de manusear o experimento e até mesmo fazer alterações que achem apropriadas.

O experimento é um auxiliar para o ensino e aprendizagem, pois não se trata de um experimento no qual o aluno já saiba o que fazer. Ao contrário, deve existir o papel do professor para que este o oriente no desenvolvimento do processo de aprendizagem deste tema.

O material utilizado contém limitações que podem ser revertidas pela existência e orientação de um professor. Verificamos que de fato nem tudo que o vetor eletrostático nos mostra, deve ser aceito fisicamente (ver seção 5.1.1).

O exemplo que pode ser mencionado é que quando ambos os corpos estão carregados com a mesma carga, tanto negativamente quanto positivamente nos mostram o mesmo caso, ou seja, o sentido da seta sempre apontará para “fora” e fisicamente conhecemos que este conceito cabe somente no caso de cargas positivas, excluindo assim o caso para as cargas negativas deste processo. Este entendimento não é trivial e geralmente os alunos não atentariam a este fato sem o auxílio do professor, ou seja, a presença do professor é essencial na sala de aula e no processo de construção do aprendizado dos educandos.

CAPÍTULO 6 – CURSO DE CAMPO ELÉTRICO

Com base em minha pesquisa do projeto PIBID, realizei um curso com o intuito de utilizar o material experimental de baixo custo para verificar o auxílio que este proporciona sobre o tema campo elétrico.

De acordo com minhas concepções em ensino de Física e metodologias, propus aos alunos um curso, onde cada indivíduo presente nesta atividade chegasse no conhecimento de campo elétrico, interagindo com o material desde sua construção.

6.1- Concepção e proposta do curso.

O curso foi dividido em quatro etapas. A descrição de cada uma delas é apresentada a seguir.

- Primeira etapa:

Foram feitas perguntas aos alunos com a finalidade de instigar curiosidades dos mesmos e que desenvolvessem a resposta ao longo e no final da atividade.

- “O que é campo elétrico?”
- “Por que o formato do vetor é uma seta?”
- “Não poderia ser um círculo?”

Nesta mesma etapa, foi distribuído todo o material de baixo custo necessário para que os próprios alunos, com base em um molde já pronto, construíssem o seu protótipo do vetor eletrostático e se fosse necessário a ajuda da professora, estaria pronta a ajudar. Porém enquanto isso, estava observando –os.

- Segunda etapa:

Introduzi discussões teóricas sobre os tipos de eletrização (contato e indução), que posteriormente os alunos utilizariam na parte experimental. Em

seguida, discutimos o procedimento para carregar o vetor eletrostático de ambas às maneiras. Em todos os momentos, a discussão teórica foi realizada através do diálogo com os alunos. Estes respondiam de acordo com a construção do aprendizado ao longo das conversas.

- Terceira etapa:

Foi realizado o procedimento experimental. (Ver capítulo 5)

O vetor eletrostático foi carregado tanto por contato, como por indução e em ambos os casos foram mapeadas as direções da força que representa o campo elétrico de cargas positivas e negativas.

- Quarta etapa:

Após a realização da atividade experimental, houve uma recapitulação teórica dos conceitos com a finalidade de ouvir cada aluno e qualificar se o experimento teve um bom desempenho na aprendizagem.

E a partir da nova discussão, que os próprios alunos respondessem as perguntas inicialmente propostas.

Para finalizar a atividade, foram aplicados de exercícios para que os alunos desenhasssem as linhas de forças, ou seja, para a verificação completa de que o experimento é um auxiliar do professor.

Na tabela 3 encontram-se resumidamente as etapas e os procedimentos realizados neste dia do curso de campo.

Tabela 3: Etapas e procedimentos do curso de campo elétrico

Etapas do curso	Procedimento
1 ^a	Motivação dos alunos com as perguntas iniciais e construção do experimento de baixo custo.
2 ^a	Discussão teórica sobre eletrização
3 ^a	Eletrização do vetor eletrostático e mapeamento de campos elétricos
4 ^a	Nova discussão teórica e aplicação dos exercícios.

No quadro 1, a seguir, encontra-se o questionário aplicado aos alunos.

Quadro 1 – Questionário aplicado aos alunos

- 1) Explique o processo de eletrização do vetor
 - a) por contato.
 - b) por indução.
- 2) Com base no experimento que você realizou (mapeamento de cargas positivas e negativas), esboce em desenho as linhas que representam o campo elétrico de carga.
 - a) positiva
 - b) negativa
- 3) Supondo duas cargas, esboce em desenho as linhas de campo elétrico
 - a) uma carga positiva e outra negativa
 - b) duas cargas positivas
 - c) duas cargas negativas
- 4) Dê seu comentário sobre o curso de campo elétrico e sua sugestão para o melhoramento, se necessário.

6.2- Diferenças entre livros didáticos analisados e a atividade desenvolvida com o vetor eletrostático.

Concluo que a atividade com o experimento de baixo custo permite um melhor entendimento aos alunos do conceito de campo elétrico comparado com os livros de Sampaio e Calçada (2005), Máximo e Alvarenga (2005). Devido ao fato de que na atividade os alunos construíram o seu próprio material, manusearam e interagiram com este. Consideramos que estes tenham adquirido condições para a construção do próprio conhecimento.

O principal motivo para esta conclusão é que o experimento, vetor eletrostático, em funcionamento permite que os alunos percebam características dificilmente visíveis na leitura do livro didático, como a geométrica esférica do campo elétrico.

Piassi (1995) aponta que diversos motivos influenciam no ensino de Física e que particularmente os livros didáticos de ensino médio atuais costumam privilegiar mais fórmulas matemáticas que o próprio conceito. Isto ocorre devido à influência de apostilas de cursinhos, que tem por objetivo o treinamento dos alunos para que estes passem no vestibular das universidades, deixando conhecimentos científicos importantes para trás.

A educação científica sofre hoje com a falta de investimento em infraestrutura escolar, com a precária formação de professores e com o resultado de anos de influência de livros didáticos derivados de apostilas de cursinhos pré-vestibulares que ajudou a produzir um currículo baseado em jargões, fórmulas e definições desvinculados das necessidades de formação dos estudantes e de conhecimentos científicos relevantes (PIASSI, 1995, p.2).

Para que a aula não se torne cansativa e desinteressante para os alunos, é importante que o professor se baseie em metodologias de ensino que ajude os alunos na construção do aprendizado.

No caso da atividade desenvolvida, foi utilizado material experimental de baixo custo e este por sua vez ajudou na visualização da geometria esférica do campo elétrico.

Adicionalmente nas experiências que obtive em minhas vivências como aluna, pude notar que alguns professores utilizam o livro didático como apenas

um caderno de exercícios, desprezando assim as potencialidades do livro didático. Porém que fique claro que não estou generalizando este fator a todos os professores, pois ainda tem os que utilizam as discussões teóricas apresentadas no livro didático.

CAPÍTULO 7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Faraday, apesar de possuir pouco conhecimento matemático, teve seu interesse em leitura despertado ainda jovem. Começou a ler artigos e acabou refazendo experimentos já realizados por cientistas anteriores e da época, com a finalidade analisar e compreender o que acontecia nestes. A partir destes, tirava suas próprias conclusões. Uma delas foi à proposição do conceito de linhas de forças, sem nenhum método matemático associado.

Devido ao fato de Faraday propor um conceito somente teórico baseado em experimentos, fizemos este trabalho e propusemos aos alunos de 3º ano do ensino médio, a mesma situação, porém com um experimento de baixo custo.

Nas experiências de aulas dadas com materiais experimentais de baixo custo, notamos que o aprendizado foi significativo. O conceito de linhas de forças, que representam o campo elétrico, foi aprendido sem introduzir nenhuma formulação matemática. Porém o experimento sozinho não ensina o conceito aos alunos, mas o fato de existir o conjunto - professor, experimento e a interação do aluno com ambos, fazem com que os alunos consigam criar capacidades cognitivas superiores e por consequência este aluno consegue chegar ao conhecimento almejado para este dado conteúdo.

Contudo, não afirmamos que uma aula tradicional, sem qualquer tipo de experimento não possa despertar interesse nos alunos de modo que estes aprendam. Também o fato de propor um experimento para os alunos, não significa que estes aprendem sem mesmo saber como manuseá-lo, como este funciona e qual a finalidade deste experimento.

O que tentamos mostrar com este Trabalho de Conclusão de Curso é que a aula com o professor não anula o experimento, e nem o experimento anula a presença do professor, porém ambas se completam, para que o professor discuta o tema do experimento e como este funciona. O experimento tem como finalidade mostrar o que nem o livro didático e nem o professor conseguem fazer. Um exemplo que podemos citar é a perspectiva espacial das linhas de forças do campo elétrico.

O que realizamos no curso apresentado e consequentemente nossa conclusão para este trabalho, é que como os livros didáticos estão mais

voltados para as formulações matemáticas, seguindo a metodologia de apostilas de cursos pré-vestibulares. A introdução do experimento de baixo custo auxiliou no aprendizado do conceito e na visualização deste campo elétrico. O aluno pôde manusear o material de maneira que entendesse para a própria visualização das linhas de força. O que sabemos é que o experimento não substitui a exposição teórica feita pelo professor e nem as representações matemáticas, que são uma parte deste conceito, mas ajuda no processo de aprendizagem do mesmo.

Quando dizemos que o experimento não substitui a presença de um professor, é porque nem tudo que o vetor eletrostático mostra realmente representa o conceito na Física. Devido a este fato, faz-se insubstituível a figura do professor para que este explique o que verdadeiramente esta ocorrendo e porque nem sempre o que este experimento mostra é o conceito de campo elétrico. Isto é, há um grande salto entre o experimento conter sua limitação e o fato de representar quase em sua totalidade o conteúdo apresentado.

Utilizamos experimentos de baixo custo, porque os alunos devem interagir com os experimentos e até se for necessário modificá-los com suas próprias mãos, sem o medo de danificá-los, tendo que guardá-los novamente em “perfeito estado”. O fato de não manusear ou modificar o experimento não é o processo de aprendizado que Kapitza (1985) propõe.

A finalidade de montar um experimento por aluno é que estes possam futuramente, através dos conceitos aprendidos, aprimorar o experimento. A disseminação da atividade experimental entre os alunos, partindo da iniciativa dos mesmos, também constitui um aspecto importante.

Outros motivos de ter escolhido um material de baixo custo são o fácil acesso em encontrar, em comprar e principalmente que o mesmo não funciona com o simples apertado de um botão. O que crianças e adolescentes estão acostumados a lidar com aparelhos eletrônicos, privando eles mesmos da criatividade de construir o experimento e até mesmo de inventar uma maneira de brincar ou experimentar.

Em síntese, este Trabalho de Conclusão de Curso mostrou como um experimento de baixo custo pode auxiliar um professor sem a necessidade de laboratórios didáticos, sem muito dinheiro quando comparados com outros

materiais, e com a vantagem de ser remodelado. Entretanto, muitos alunos e professores não dão o valor necessário aos experimentos de baixo custo, pois acreditam que são baratos e não tem a beleza de outros comprados.

Esclarecemos ainda que se em uma escola tiver experimentos caros e laboratórios didáticos disponíveis e prontos a serem usados, não significa que os alunos não terão o aprendizado concluído nesta etapa se os utilizarem. Entretanto, o professor deve chamar a atenção dos alunos para o fato de que os efeitos e a estética dos equipamentos não são tão importantes quanto à Física fundamental que estes envolvem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ferreira, N. C. e Ramos, E. Cadernos para instrumentação para o ensino de Física, 2008.

Feynman, R. P.; Leighton, R. B.; Sands, M. Lições de Física. Porto Alegre: Bookman, 2008.

Halliday, D. & Resnick, R. Fundamentos de Física, vol.3, 9ª ed, Rio de Janeiro: LTC, 2012.

Hewitt, P. G. Física Conceitual. Porto Alegre: Bookman, 2002.

Kaptisa, P. Experimento, Teoria e Prática: artigos e conferências, Moscou, Ed. Mir, 1985.

Luz, A. & Álvares, B. Curso de Física, vol. 3, 6ª ed, São Paulo: Scipione, 2005.

Piassi, Luís P. C. Que Física ensinar no 2º grau? Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências (Modalidade Física). Instituto de Física e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 1995.

Ramos, E. M. de F. Brinquedos e jogos no ensino de física. São Paulo, 1990. Dissertação de Mestrado.

Ramos, E. *et al.* Brinquedos e jogos no ensino de Física, 2007. XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física.

Roditi, I. Dicionário Houaiss de física. Rio de Janeiro: Objetiva, 2005.

Sampaio, J. & Calçada, C. Física, 2ª ed, São Paulo: Atual, 2005.

Tipler, P. & Mosca, G. Física para cientistas e engenheiros, vol. 2, 6ª ed, Rio de Janeiro: LTC, 2009.

Young, H. & Freedman, R. Física III: Eletromagnetismo, 12ª ed, São Paulo: Pearson, 2010.

BIBLIOGRAFIA FUNDAMENTAL

Dias, V. S. Michael Faraday: subsídios para metodologia de trabalho experimental. São Paulo, 2004. Dissertação de Mestrado.

Dicionário de biografias científicas, vol.1, Rio de Janeiro: Contraponto, 2007.

Freire, P. R. N. Professora sim tia não – cartas a quem ousa ensinar. São Paulo, Olho D' água, 1997.

Santos, E. *et al.* “Atividades experimentais de baixo custo como estratégia de construção da autonomia de professores de Física: uma experiência em formação continuada”, 2004.

Sèrè, M. G; Coelho, S. M; Nunes, A. D. “O papel da experimentação no ensino de física”. Cad. Cat. Ens. Fis. Florianópolis, 2003.

SITES

Imagem da tabela serie triboelétrica. Acessado em outubro de 2013. Disponível em:

<[http://lh6.ggpht.com/-](http://lh6.ggpht.com/-wVJFtd5Y4WA/USQ3le5o__I/AAAAAAAAInw/g5yp3dTn8kQ/clip_image004_thumb%25255B3%25255D.gif?imgmax=800)

[wVJFtd5Y4WA/USQ3le5o__I/AAAAAAAAInw/g5yp3dTn8kQ/clip_image004_thumb%25255B3%25255D.gif?imgmax=800](http://lh6.ggpht.com/-wVJFtd5Y4WA/USQ3le5o__I/AAAAAAAAInw/g5yp3dTn8kQ/clip_image004_thumb%25255B3%25255D.gif?imgmax=800)>.

Partes da biografia de Faraday. Acessado em outubro de 2013. Disponível em:

<<http://www.ghtc.usp.br/Biografias/Faraday/Faraday3.htm>>.

Apêndice A – CONSTRUÇÃO DO VETOR ELETROSTÁTICO

Para a construção do vetor será necessário:

- Papel cartão (aproximadamente 5 cm^2);
- Papel higiênico;
- Um canudo;
- Um canudo dobrável;
- Um único fio de meia de nylon;
- Fita crepe,
- Base feita de gesso num copinho de café descartável espetado por um colchete. Neste colchete será colocado o canudo atritado com papel higiênico.

No pedaço de papel cartão, desenhe uma seta e recorte. Esta seta fará o papel do vetor.

Logo em seguida prenda o fio de nylon atrás do vetor, equilibrando-o para que este fique na horizontal, (encontre o centro de massa do vetor).

Estique o outro lado do fio de nylon, de uma volta na ponta do canudo dobrável e prenda com fita crepe. Coloque este canudo com o vetor no colchete preso na base de gesso.

Na figura 14 se encontra o desenho esquemático do vetor eletrostático. A figura 15 traz uma foto da construção experimental.

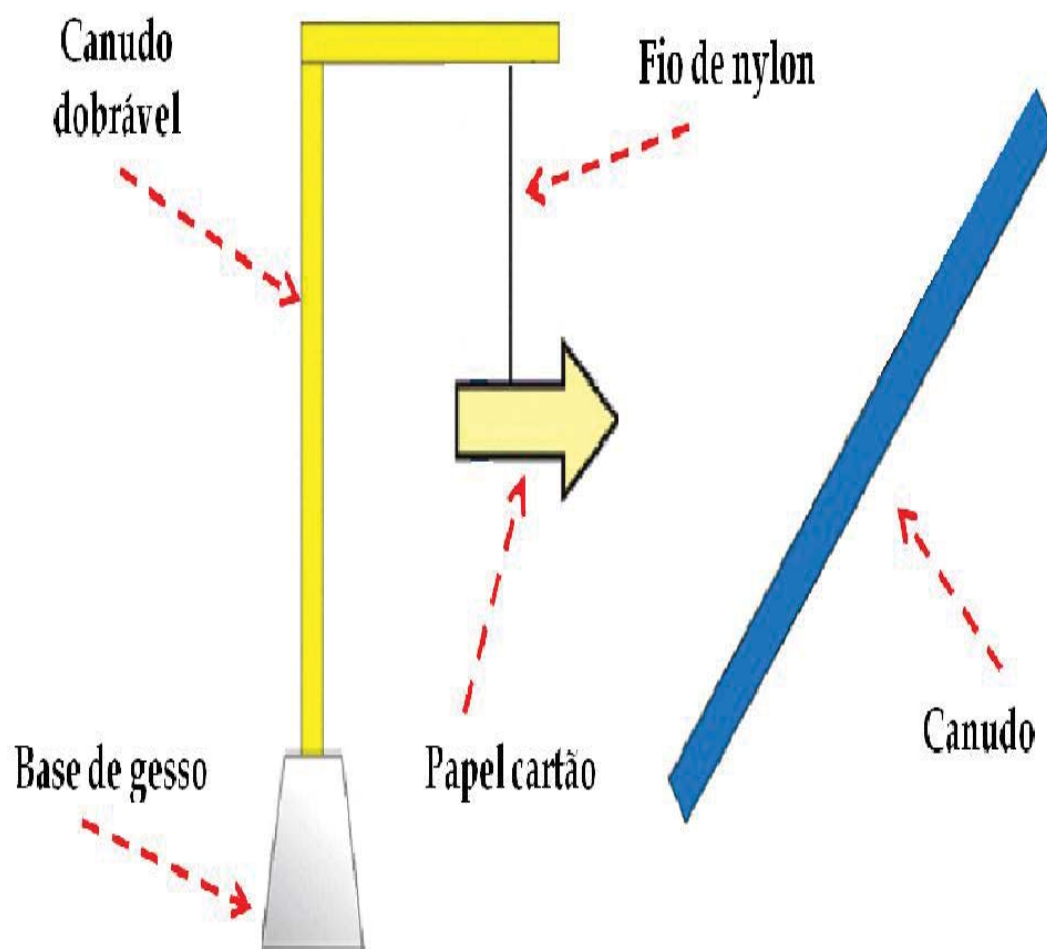


Fig. 14 – Materiais utilizados na construção do vetor eletrostático.



Fig.15- Foto do Vetor Eletrostático.