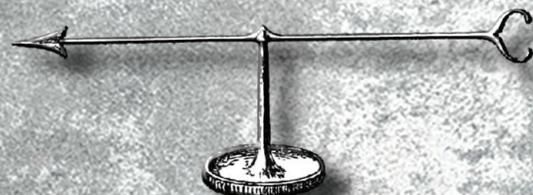




## Utilizando o versório de Gilbert magnetizado para verificar o comportamento da força elétrica entre duas cargas em repouso em função da distância entre elas



.....

**Ronaldo Furtado de Oliveira**

Programa de Mestrado em Ensino na Educação Básica, CEUNES/UFES, São Mateus, Espírito Santo, Brasil.  
E-mail: roirriga@gmail.com

.....

**Marcia Regina Santana Pereira**

Programa de Mestrado em Ensino na Educação Básica, CEUNES/UFES, São Mateus, Espírito Santo, Brasil.  
E-mail: marcia.pereira@ufes.br

.....

Neste trabalho foi realizada uma atividade experimental utilizando um aparato histórico (versório de Gilbert), com o objetivo de verificar experimentalmente o comportamento da força elétrica resultante entre duas cargas em repouso, em função da distância entre elas. Na introdução são dados exemplos de manifestação fenomenológica do cotidiano de formas de eletrização e força elétrica, assim também como uma pequena abordagem histórica sobre o assunto. No decorrer do trabalho foram explorados conceitos físicos e matemáticos. Também foi utilizado um software matemático para desenho de funções chamado GeoGebra. No tópico aparato experimental foi relacionado todo o material necessário para a realização da atividade, assim como a explicação detalhada da construção dos aparatos, e também dicas de onde esses materiais possam ser encontrados. No tópico procedimento experimental foi detalhada passo a passo toda a realização do experimento. Na análise dos dados foram discutidos os resultados obtidos por medidas diretas e experimentais. Foram abordados vários conceitos físicos e matemáticos, assim como a construção de aparatos experimentais utilizando material acessível e de baixo custo. Espera-se que esse trabalho seja uma ferramenta importante para que professores de física do ensino médio e superior possam trabalhar conceitos físicos de forma experimental.

### Introdução

Muitas são as estratégias de ensino que os professores buscam implementar para motivar seus alunos a estudar física. Principalmente quando desejamos transmitir uma imagem sobre a ciência e o processo de construção do conhecimento científico mais próximos da realidade, a utilização da investigação ou ensino a partir de problemas, aliados à experimentação tem se mostrado uma alternativa promissora:

Investigando a partir de atividades experimentais, o professor promove o interesse dos alunos com situações problematizadoras. É exatamente a tentativa de resposta a essas questões, a qual leva à elaboração de hipóteses (concepções prévias), que inicia o processo de construção do conhecimento científico de forma ativa e investigativa, e não apenas passiva. A realização do experimento, a análise dos resultados obtidos e a pesquisa documental corroboram ou não as hipóteses, prática pela qual se estimula a interação entre os colegas e com o professor, de modo que se discutam tentativas de explicar determinado conceito ou fenômeno científico e não se imponha determinada visão pronta, abstrata [1, p. 44].

Fenômenos elétricos são comuns em nosso cotidiano, só que na maioria dos casos eles passam despercebidos. Quem, ao aproximar o braço de um televisor de tubo em funcionamento, não sentiu os pelos serem atraídos por ele? Ou quando em dias muito secos ao manusear sacolas plásticas, daquelas que se usam em supermercados e nas bancas de verduras, não sentiu os pelos no braço serem atraídos por ela? De acordo com Assis [2]:

[...] foi com experiências do mesmo tipo que teve início toda a ciência da

eletricidade! Desde Platão (aproximadamente 428-348 a.C.), pelo menos, já se conhecia que o âmbar atritado atrai corpos leves colocados em suas redondezas[...] [2, p.7].

### O estabelecimento da Lei de Coulomb

Ao redor de dois milênios depois, segundo Chaves [3], coube a Charles Augustin Coulomb (1736-1806) desenvolver um aparato experimental (balança de torção, ver Fig. 1) utilizado para medir forças entre cargas elétricas e relacionar o comportamento dessa força com a distância entre as cargas. E após realizar medidas diretas ele pôde assim demonstrar, em 1785, a lei do inverso quadrado para forças elétricas. Este autor afirma que:

[...] Contrariamente ao que às vezes se afirma Coulomb foi incapaz de de-

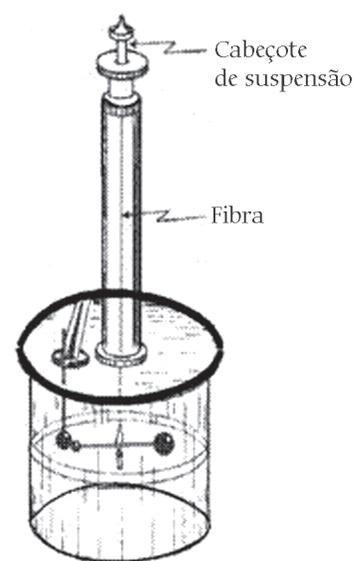


Figura 1: Balança de torção desenvolvida por Coulomb e por ele utilizada para medir forças entre cargas elétricas. Fonte: Ref. [3].

monstrar que a força é proporcional ao produto das cargas, pois não dispunha de um método independente de medir a carga elétrica. Assim, a lei de Coulomb, conforme anunciado abaixo, foi inferida por analogia com a lei da gravitação [3, p.7].

Uma partícula de carga  $q_1$ , no ponto  $\mathbf{r}_1$ , exerce sobre uma partícula com carga  $q_2$ , no ponto  $\mathbf{r}_2$  e em repouso em relação à primeira, uma força  $\mathbf{F}$  dada por:

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

### Desenvolvendo o experimento

O objetivo principal deste trabalho é fornecer uma ferramenta para que professores de física do Ensino Médio e do Ensino Superior possam com seus alunos investigar experimentalmente a relação da força elétrica entre duas cargas em repouso com a distância entre elas. Trabalhar com o regate de um experimento histórico para pesquisar algum fenômeno físico de formar contextualizada poderá ser uma ferramenta muito importante para despertar nos alunos o interesse pela ciência e pelo método científico. De acordo com [4 p.1139].

[...] a reprodução de experimentos históricos relevantes constitui recursos que podem contribuir grandemente para que os estudantes tenham o seu interesse despertado para a construção de novos conhecimentos e, além disso, compreendam alguns aspectos inerentes às ciências, como o seu caráter empírico, que deve ser abordado de modo contextualizado.

E isso poderá ser feito utilizando material de baixo custo e de fácil aquisição. Para isso, vamos utilizar um aparato experimental histórico chamado versório, que foi idealizado por William Gilbert (1544-1603), segundo Assis [2]:

O termo versório vem de uma palavra latina, *versorium*, que tem o significado de instrumento girador ou aparato girante. O versório é um instrumento que normalmente consiste de duas partes: um membro vertical, que age como um suporte fixo em relação à Terra, e um membro horizontal capaz de girar livremente sobre o eixo vertical definido pelo suporte [3, p. 26].

O membro horizontal pode ser feito de vários materiais como madeira, plástico e metal. Para este trabalho foi escolhido o metal para confeccionar o membro horizontal, um colchete nº 06, e para o membro vertical um alfinete nº 32 e uma borracha como base de fixação (Fig. 2).

Como o colchete pode girar livremente

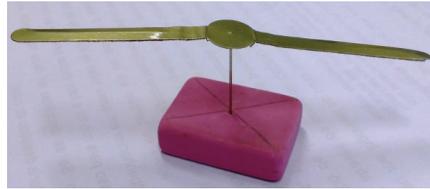


Figura 2: Versório montado com borracha, alfinete nº 32 e colchete nº 06.

te em relação à base, o versório é um instrumento muito sensível a torques externos muito pequenos. Portanto, pode ser utilizado para detectar torques exercidos pela a força elétrica de um corpo eletrizado. A aproximação de um corpo eletrizado de uma das extremidades do versório induz uma redistribuição de cargas nele, atraindo às cargas de sinal oposto as cargas do corpo eletrizado, para a extremidade do versório mais próxima a ele, e expulsando as cargas de mesmo sinal para a extremidade mais afastada. Isso faz com que a extremidade do versório mais próxima ao corpo seja atraída por ele e a extremidade mais afastada seja repelida. Como o movimento do versório é perpendicular à força gravitacional, essa não exerce torque sobre ele. A única força responsável pelo torque é a força elétrica entre a carga do corpo eletrizado e a carga induzida no versório. Assim o versório tende a alinhar-se com as linhas de forças produzidas pelo corpo eletrizado (Fig. 3).

Nesse caso, o versório é capaz de verificar se um corpo está eletrizado e mostrar a direção das linhas de força do campo elétrico emitido por ele, embora seja mais difícil saber a intensidade da força elétrica existente entre o corpo eletrizado e o versório, tampouco fazer uma relação entre a intensidade da força elétrica e a distância entre a carga induzida no versório e a carga do corpo eletrizado.

Uma alternativa é magnetizarmos o versório, assim ele sentirá a presença da força magnética, que de maneira análoga exercerá um torque sobre ele. Na ausência

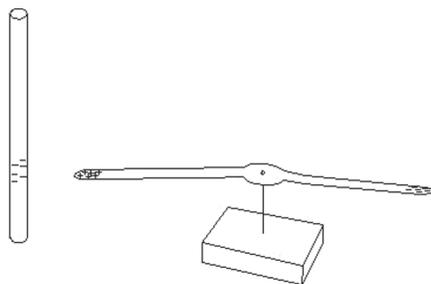


Figura 3: Corpo eletrizado próximo ao versório e induzindo uma redistribuição de cargas nele, fazendo com ele se alinhe com as linhas de força elétrica emitida pelo corpo.

de um corpo eletrizado nas proximidades do versório magnetizado, o mesmo se posicionará paralelamente às linhas de campo magnético da Terra, comportando-se como uma bússola.

Se colocarmos um corpo eletrizado nas proximidades de uma das extremidades do versório magnetizado, ele estará sob a ação de ambas as forças, portanto nem se alinhará na direção das linhas de campo de força elétrica nem paralelamente às linhas do campo magnético da Terra. Nesse caso o versório estará sob a ação da força resultante e sua orientação formará um ângulo  $\Omega$  diferente de zero, com as linhas do campo magnético da Terra, e quanto mais próximo o corpo carregado ficar do versório, maior será esse ângulo (Fig. 4).

Podemos considerar constante o módulo da força magnética que atua sobre o versório magnetizado, assim quanto maior o ângulo que o versório faz com as linhas de campo magnético, maior será o módulo da força elétrica que atua sobre ele. Assim, se variarmos a distância entre o corpo eletrizado e o versório magnetizado, variamos também o módulo da força elétrica exercida entre eles, podendo então relacionar a força elétrica com a distância entre as cargas.

### Montagem do aparato experimental

Para a realização desse experimento serão utilizados os seguintes itens:

- 1 borracha escolar;
- 2 alfinetes número 32;
- 1 colchete número 06;
- 1 folha de papel milimetrado;
- 1 folha de isopor 20 cm x 20 cm;
- 100 m de fio de cobre esmaltado de 0,5 mm de diâmetro;
- 1 carretel de plástico;
- 1 transformador 127 V alternado para 12 V contínuo;
- 1 fita crepe;
- 1 mangueira de polietileno de 8mm de diâmetro por 25 cm de comprimento;

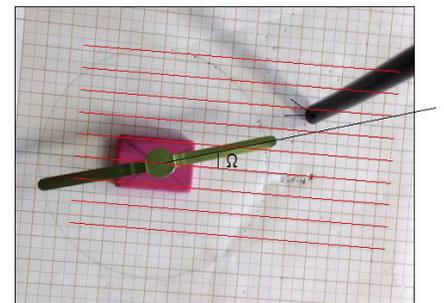


Figura 4: Ângulo  $\Omega$  que o versório faz com as linhas de campo magnético terrestre (em vermelho), na presença de uma mangueira de polietileno eletrizada.

- 1 régua de 30 cm.

### O versório

Primeiramente montamos a base, utilizando o alfinete e a borracha. É muito importante que o alfinete fique centralizado e perpendicular à superfície da borracha, conforme a Fig. 5B, para não mascarar as medidas diretas.

Para a montagem do membro horizontal do versório vamos utilizar o colchete nº 06, primeiramente desdobrando-o e depois, com o auxílio de um prego 12 × 12 e um martelo, fazendo uma saliência em seu centro, conforme a Fig. 5A.

Devemos ter cuidado para que o prego não fure o colchete, pois a saliência servirá de apoio giratório para a ponta do alfinete. Para que o versório fique estabilizado na horizontal, a saliência feita com o prego deve ficar o mais próximo possível do centro de massa do colchete. Para isso podemos fazer duas retas diametralmente opostas, conforme a Fig. 5A, para marcar o ponto onde a saliência deve ser feita. E para abaixar o centro de massa podemos dobrar o colchete na forma de um V invertido conforme a Fig. 5B, o que lhe dará mais estabilidade. Depois do versório montado, ele ficará conforme a Fig. 5B.

Depois de montado o versório, precisamos magnetizá-lo para que ele sinta a presença da força magnética gerada pelo campo magnético da Terra. Para tal tarefa podemos utilizar um ímã natural ou artificial ou um solenoide. Para este trabalho foi utilizado um solenoide para magnetizar o versório.

### A construção do solenoide

Para a construção do solenoide vamos precisar de 100 m de fio de cobre esmaltado de 0,5 mm de diâmetro e um carretel de plástico. O fio de cobre esmaltado é aquele utilizado no rebobinamento de motores elétricos e o carretel é aquele em que vem a solda branca utilizada em circuitos eletrônicos. Ambos podem ser encontrados em oficinas de rebobinamento de motores.

A fim de se formar um solenoide, deve-se enrolar o fio de cobre no carretel e devem sobrar duas pontas de fio de mais ou menos 5 cm (Fig. 6); elas serão utilizadas para conectar o transformador de

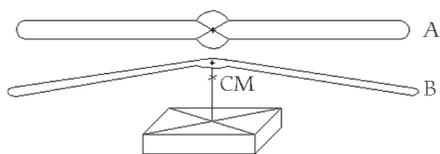


Figura 5: Em A, versório desdobrado com uma saliência no centro e em B, versório dobrado em forma de V invertido.

127 V alternado para 12 V contínuo.

### Magnetização do versório

Para magnetizar o versório vamos utilizar o solenoide feito com o carretel, o fio de cobre e o transformador. Pegue o colchete que foi utilizado como membro horizontal do versório, e introduza uma de suas extremidades no orifício do solenoide, conforme vemos na Fig. 6; conecte o solenoide ao transformador na saída de 12 V contínuo e logo após ligue o transformador na tomada de 127 V. Espere uns 5 segundos e o versório estará magnetizado. Esse solenoide será muito útil para magnetizar chaves de fenda e philips que poderão serem usadas para segurar pequenos parafusos.

Depois de magnetizado, o versório se comportará como uma bússola, sendo que o polo norte da bússola será atraído pelo polo sul magnético da Terra e o polo sul da bússola será atraído pelo polo norte magnético da Terra. Assim, o versório se alinhará paralelamente às linhas de campo magnético da Terra.

### Corpo eletrizado

Neste trabalho foi utilizado como corpo eletrizado uma mangueira de polietileno de 8 mm de diâmetro por 25 cm de comprimento, facilmente encontrada em lojas de material para irrigação, e fixamos um alfinete nº 32 utilizando cola quente na base da mangueira (Fig. 7). Esse alfinete na base da mangueira será útil para fixar a mangueira perpendicularmente ao plano que contém o papel milimetrado e a folha de isopor.

### Base do aparato experimental

Para a base do aparato experimental foi utilizada uma folha de isopor de 20 cm × 20 cm e uma folha de papel milimetrado; para fixar o papel na folha de isopor, foi utilizado alfinete do tipo percevejo, encontrado facilmente em papelaria. É importante não utilizar cola para

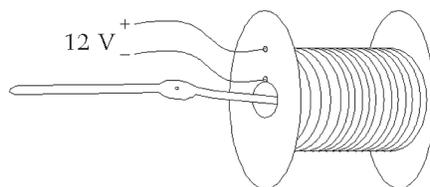


Figura 6: Versório sendo magnetizado pelo solenoide.

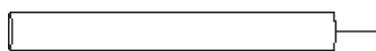


Figura 7: Mangueira de polietileno com um alfinete nº 32 fixado na base.

fixar o papel milimetrado no isopor para facilitar a troca do papel milimetrado, caso seja necessário repetir o experimento utilizando outra folha.

### Preparação do aparato experimental

Primeiramente preparamos a base, fixando o papel milimetrado na folha de isopor; depois fizemos um furo com o alfinete da mangueira de polietileno no centro da base, coincidindo com uma das linhas do papel milimetrado. Isso será importante para alinharmos essa linha do papel milimetrado com as linhas de campo magnético da Terra, cuja direção será indicada pelo versório magnetizado. Depois, medimos o comprimento do colchete, que foi utilizado como membro horizontal do versório, partindo da saliência até uma de suas extremidades. Utilizando essa medida como raio, fizemos um círculo com o centro, coincidindo com o furo feito no centro da base: esse círculo será importante para marcarmos a posição que a extremidade do versório magnetizado apontará na presença da mangueira de polietileno eletrizada.

Para variar a distância da mangueira eletrizada da extremidade do versório, foram feitos alguns furos na base com espaçamento de 5 mm utilizando um alfinete, partindo da extremidade do versório até a borda da base (Fig. 8).

Para eletrização da mangueira de polietileno, foi utilizada uma folha de papel A4, mas podem-se usar diversos materiais como: flanela de algodão, pedaço de pano de seda, pano de lã etc. A natureza do material utilizado para eletrizar a mangueira pode influenciar na quantidade e no sinal da carga adquirida por ela. O sinal da carga, no entanto, não influencia na intensidade do torque que a força elétrica exerce sobre o versório, mas a quan-

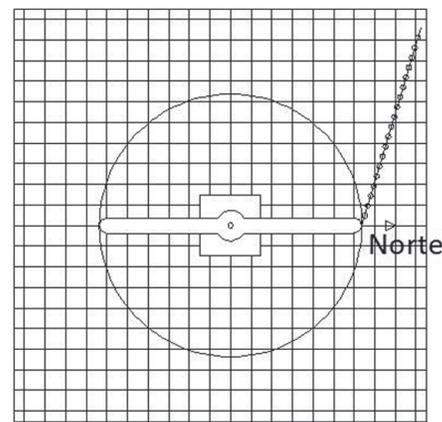


Figura 8: Base com furos espaçados de 5 em 5 mm, para a movimentação da mangueira eletrizada.

tidade de carga sim. É importante que a mangueira seja eletrizada em um ponto que fique na mesma altura do membro horizontal do versório, para que o mesmo fique estabilizado na horizontal (Fig. 3). Isso ocorre porque o polietileno é um material isolante, que não permite que as cargas elétricas se desloquem com facilidade, assim elas se manterão na mesma região em que foram ‘produzidas’ por atrito.

### Procedimento experimental

Primeiramente, alinhamos as linhas do papel milimetrado da base com as linhas do campo magnético da Terra. Depois, a mangueira de polietileno foi atritada com uma folha de papel A4 até adquirir uma carga que, ao aproximar do versório magnetizado, exercesse um torque sobre ele, fazendo-o girar em seu próprio eixo na direção dela. Ao verificar que a mangueira atingiu um grau de eletrização satisfatório, alinhamos o versório novamente com a reta norte, representada na Fig. 8, e então aproximamos a mangueira eletrizada da extremidade do versório, utilizando os furos feitos na base, até que ele começasse a girar em torno de seu próprio eixo. Em seguida, com o auxílio de um lápis de madeira, marcamos a posição em que a extremidade do versório parou. Essa posição foi denominada B01 e o furo em que a mangueira eletrizada ficou foi nomeado de A01; depois, a mangueira foi para o próximo furo, denominado A02, e o versório girou mais um pouco em torno de seu próprio eixo. Essa nova posição da extremidade do versório foi denominada B02, e assim sucessivamente até a posição da mangueira A06 e

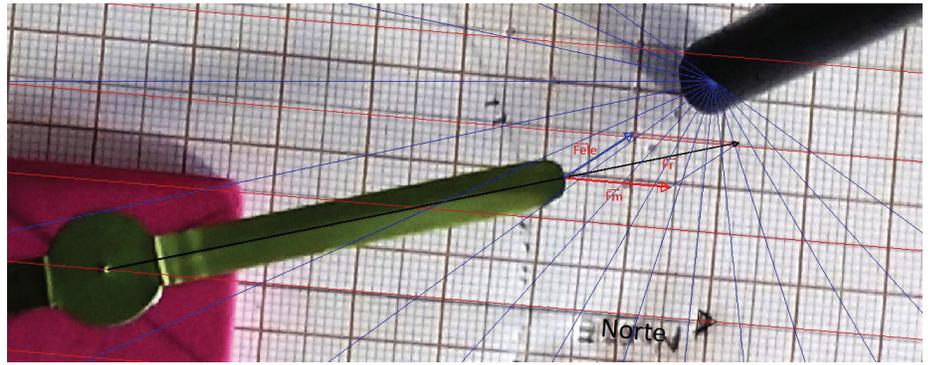


Figura 10: As linhas de campo magnético representadas em vermelho, as linhas de força elétrica representadas em azul, o vetor força magnética representado em vermelho, o vetor força elétrica representado em azul e o vetor força resultante representado em preto.

da extremidade do versório B06, conforme podemos ver na Fig. 9.

Utilizando uma régua, tomamos as medidas diretas de distância entre os pontos A01 e B01, A02 e B02, A03 e B03, A04 e B04, A05 e B05 e A06 e B06 da Fig. 9 e, de posse dessas medidas, foi preenchida a Tabela 1.

Sabemos que o campo magnético da Terra é mais forte nos polos e vai enfraquecendo à medida que se aproxima da linha do equador. Se circundarmos a Terra com uma linha imaginária perpendicular às linhas de campo magnético, teremos que o campo é constante ao longo dessa linha. Assim, considerando que as dimensões do experimento são desprezíveis em relação à variação do campo magnético, podemos considerar constante o módulo da força magnética  $F_m$  que atua na extremidade do versório magnetizado.

Desenhando um vetor  $F_m$  de módulo arbitrário nos pontos B01 a B02 (Fig. 11), vemos então que as forças que atuam na

extremidade do versório em cada ponto são as forças magnética  $F_m$  e elétrica  $F_{ele}$ . Assim, o versório vai apontar na direção da força resultante  $F_r$ , como podemos ver na (Fig. 10).

Assim, sabendo, que o vetor  $F_m$  é constante e que o versório aponta na direção da força resultante da soma das forças elétrica e magnética, desenhamos, utilizando a regra do paralelogramo, um vetor força elétrica  $F_{ele}$  nos pontos de B01 a B06, como podemos observar na Fig. 11.

Com o auxílio da Fig. 11 e utilizando uma régua, foram tiradas as medidas diretas do módulo do vetor da força elétrica, representada em vermelho na (Fig. 11), e de posse desses dados preenchemos a Tabela 1.

De posse dos dados da Tabela 1, construímos o gráfico da força elétrica  $F_m$  em função da distância. Para o esboço desse gráfico foi utilizado o programa Geogebra. Na janela de comando do programa escrevemos a função  $F = \frac{1}{x^2}$ , depois adicionamos uma constante de proporcionalidade à função, até a curva do gráfico se ajustar aos pontos coletados experimentalmente, como podemos ver a Fig. 12.

### Análise dos dados

O principal objetivo deste trabalho foi investigar experimentalmente o comportamento da força elétrica entre duas cargas em repouso, em função da distância entre elas. Isso foi demonstrado experimentalmente por Coulomb em 1785, utilizando

Tabela 1: Dados experimentais das medidas diretas da distância e do módulo da força.

Distância (mm)	$F_{ele}$ (mm)
63,6	1,2
56,5	1,8
47,5	3,1
39,7	4,8
32,5	7,7
25,6	14,9

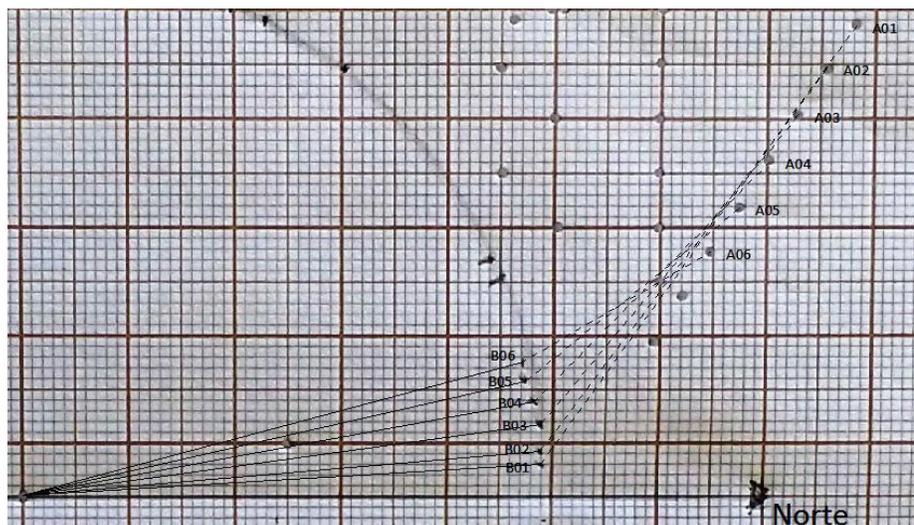


Figura 9: Marcação das posições da mangueira eletrizada em relação às posições da extremidade do versório, os pontos de A01 a A06 representam as posições da mangueira eletrizada; os pontos de B01 a B06, as posições em que a extremidade do versório parou, e as retas tracejadas, as distâncias entre eles.

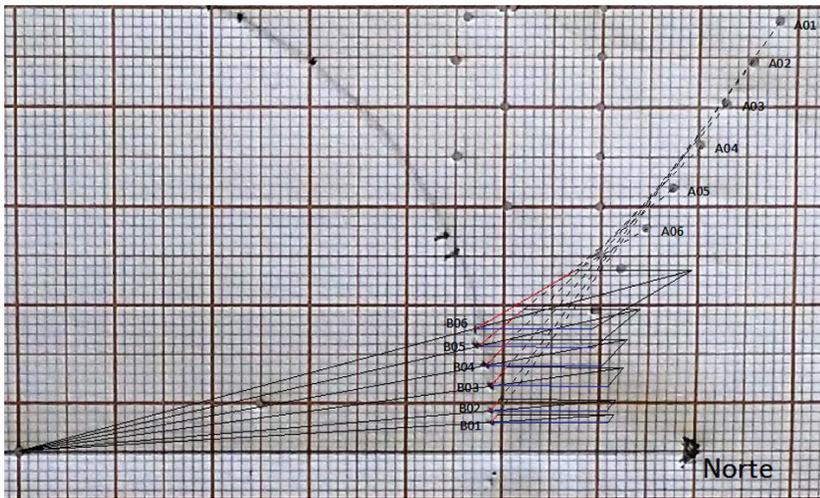


Figura 11: Vetor força magnética representada em azul, vetor força elétrica representado em vermelho e força resultante representado em preto apontando ao longo da direção do versório. As posições de A01 a A06 são as posições em que a mangueira eletrizada ficou posicionada; as posições de B01 a B06, as posições em que o versório ficou, e a linha pontilhada, as distâncias entre os pontos.

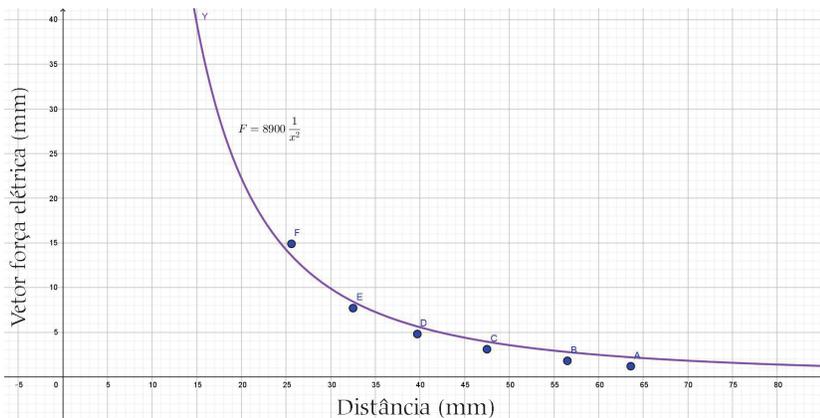


Figura 12: Gráfico da força elétrica em função da distância.

do um aparato experimental chamado de “balança de torção”. Assim, não houve preocupação em quantificar o módulo da força elétrica, mas só o comportamento dela quando se varia a distância entre as cargas. Não foi feita também a propagação de erro nas medidas diretas, já que o objetivo do trabalho não era quantificar.

De acordo com os dados experimentais obtido e a análise gráfica vetorial, foi observado o decaimento da força elétrica resultante entre a mangueira e a ponta do versório eletrizado, bem próxima do inverso do quadrado da distância. Esse comportamento aproximado com o inverso do quadrado da distância é razoável se levarmos em consideração que foi trabalhada a atração entre um isolante eletrizado e um condutor que tem cargas induzidas devido à presença do isolante eletrizado. Nesse caso, a quantidade de cargas que ficam na ponta do versório não

é constante. Assim, quanto mais próxima do versório está a mangueira de polietileno eletrizada, maior será a quantidade de cargas induzidas no versório, fazendo com que a força resultante entre a mangueira e a ponta do versório eletrizado não varie exatamente com o inverso do quadrado da distância. Na seção 7.10 do livro *Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade*, Assis [2] traz uma discussão sobre esse assunto.

Só foi possível investigar experimentalmente o comportamento da força elétrica entre duas cargas em repouso com a distância entre elas utilizando um versório magnetizado porque a força magnética que atua na extremidade do membro horizontal permanece constante em módulo e direção, independentemente da posição da extremidade do membro horizontal do versório. Assim, a força magnética pode ser utilizada como força restauradora,

que, na ausência de outras forças, mantém o versório magnetizado apontando sempre na direção norte-sul. O vetor força magnética que atua na extremidade do versório é constante em módulo e direção. Sabendo que o versório aponta na direção da força resultante da soma das forças elétrica e magnética, foi possível desenhar um vetor força elétrica para cada ponto em que a extremidade do versório parou em função da aproximação da mangueira eletrizada, tornando possível a análise gráfica vetorial dos resultados.

## Conclusão

Este trabalho baseou-se em um experimento histórico datado do século XVI e utilizou material de baixo custo. Esse procedimento pode ser muito proveitoso. A construção do aparato experimental nos permite trabalhar com conceitos físicos tais como: força elétrica, decomposição de forças, linhas de campo elétrico, eletrização por atrito, indução de cargas, força magnética, linhas de campo magnético da terra, magnetização, centro de massa, equilíbrio de um corpo rígido e torque. Também foram explorados conceitos matemáticos como; análise vetorial, lei do paralelogramo e análise gráfica de uma função.

Esperamos que esse trabalho possa ser utilizado por professores do ensino médio e superior, a fim de fornecer uma ferramenta que torne o ensino de física mais atraente para os alunos. Também poderá ser usado de forma interdisciplinar, pois são abordados conceitos físicos, matemáticos e de artes na construção dos equipamentos. É muito importante que o professor, ao sugerir a realização desse trabalho, enfatize que cada aluno construa seu próprio aparato experimental, já que o custo para construí-lo é muito baixo e o material é de fácil aquisição. Além disso, o processo de construção desse aparato experimental já será um aprendizado enorme para eles. Assim, cada aluno poderá levar esse material para casa e realizar os experimentos para familiares e amigos, tornando possível que cada um deles seja um disseminador da ciência.

## Referências

- [1] M.C. Batista, P.A. Fusinato and R.B. Blini, *Acta Scientiarum. Human and Social Sciences* **31**, 43 (2009).
- [2] A.K.T. Assis, *Os Fundamentos Experimentais e Históricos da Eletricidade* (Livraria da Física, São Paulo, 2011), 266 p.
- [3] A. Chaves, *Física Básica: Eletromagnetismo* (LTC, Rio de Janeiro, 2007).
- [4] A.J. de J. Santos, M.R. Voelzke e M.S.T. de Araújo, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **29**, 1137 (2012).