



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

RELATÓRIO F 609 - FORÇA ENTRE CORRENTES

LUCAS CAMPOS FERREIRA 158146

PROFESSOR JOSÉ JOAQUIN LUNAZZI

CAMPINAS - SP

# 1 Introdução

O experimento de força entre correntes é baseado na força de Lorentz, que consiste no fato de que fios condutores, com uma corrente elétrica, produzem um campo magnético, desta maneira, ao deixar dois fios em paralelo, o campo magnético gerado por cada um deles interage com o outro fio, gerando uma força, que pode ser de atração ou repulsão entre os fios, dependendo do sentido da corrente entre eles.

O intuito deste trabalho é trabalhar com o experimento citado anteriormente de maneira que seja possível apresentá-lo ao público em geral e, além disso, tornar possível a apresentação do mesmo em aulas de física regulares. É importante notar, que um dos objetivos deste projeto é servir como incentivo, através de um exemplo, para que as pessoas realizem seus próprios experimentos. Para isto, os materiais envolvidos nos projetos tendem a ser de fácil acesso da população.

É importante ressaltar que este experimento já foi realizado por alguns alunos das disciplinas de instrumentação de ensino e, em decorrência disto, a maior parte do trabalho consistiu em aproveitar o aparato experimental desenvolvido por outros alunos de maneira dar continuidade a algo que já havia sido feito, bem como deixar funcionando novamente o experimento de ex-alunos.

## 2 Aspectos Teóricos

### Campo magnético em um fio infinito

Para calcularmos a força produzida por um fio retilíneo, considera-se o fio como um fio longo, para que seja possível utilizar a aproximação de um fio infinito. Neste caso, utiliza-se a lei de Ampère do eletromagnetismo, que, dada por:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 i \quad (1)$$

Neste caso estamos considerando  $\vec{B}$  como o campo magnético,  $d\vec{s}$  como um elemento diferencial de deslocamento,  $\mu_0$  é a permissividade magnética no vácuo e  $i$  é a corrente elétrica envolvida por uma ampérian. No exemplo dado, a disposição destes elementos estão de acordo com a figura abaixo:

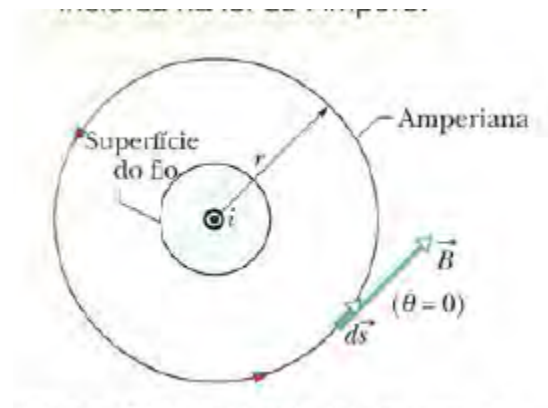


Figura 1: Esquema teórico do campo magnético em um fio infinito

Como o ângulo entre  $\vec{B}$  e  $d\vec{s}$  é 0, temos que a equação (1), torna-se:

$$B \int dl = \mu_0 i$$

Porém, o caminho total é o mesmo que o comprimento de um circunferência, o que implica:

$$2\pi r B = \mu_0 i \implies B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}$$

$B$  é o módulo do campo magnético de um fio retilíneo infinito. Para determinar as outras componentes do campo magnético utiliza-se a regra da mão direita.

### Força magnética entre fios paralelos

Existem duas possibilidades interação em fios paralelos, são elas: correntes em paralelo e correntes em anti-paralelo. Considere a figura dois, onde está explicitado um deste casos.

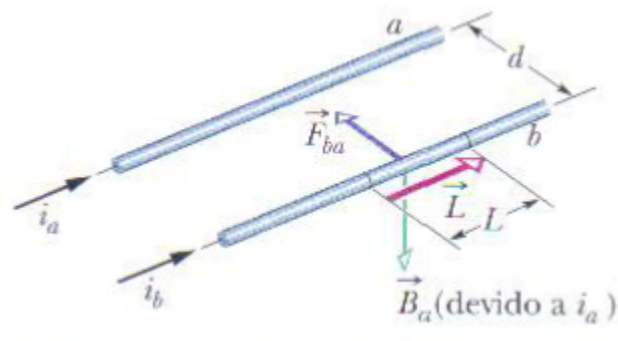


Figura 2: força entre correntes no caso em que as correntes estão em paralelo

Utilizaremos agora a equação força magnética dada por:

$$\vec{F}_{ba} = i_b \vec{L} \times \vec{B}_a \quad (2)$$

Neste caso, a força magnética é perpendicular ao campo magnético, ou seja, a equação torna-se, em módulo:

$$F_{ba} = i_b L B_a \sin \frac{\pi}{2}$$

Sabe-se o módulo do campo magnético de um fio retilíneo logo, portanto, a equação torna-se:

$$F_{ba} = i_b L \frac{\mu_0 i_a}{2\pi d} \quad (3)$$

A direção da força é dada pelo produto vetorial entre o campo magnético e a força, neste caso, a força entre os fios é de atração, como mostra a figura 2. No caso antiparalelo, o módulo da força magnética é o mesmo, porém a força é de repulsão. É interessante notar que quanto maior a distância entre os fios, menor será a força de atração entre eles. Além disto, existe uma dependência entre o módulo da força magnética e a intensidade da corrente elétrica entre os fios.

### 3 O Experimento

#### Materiais Utilizados

No experimento utilizou-se de garrafas pet de 2L, fios de cobre, alguns conectores do tipo jacaré, um interruptor, uma bateria de moto e madeira. Em um segundo momento, trocou-se o sistema por um suporte de madeira com fitas de alumínio, em decorrência do trabalho experimental.

#### Montagem experimental

A montagem consiste em unir duas garrafas de dois litros pelas partes do fundo e, em seguida, fura-se as tampas, de maneira que seja possível passar, por dentro da garrafa, o fios de cobre.



Figura 3: Arranjo experimental das garrafas (as linhas azuis representam os fios)

Na montagem experimental feita, o fio de cobre entra por uma tampa da garrafa e sai pela outra, desta maneira a corrente elétrica é a mesma. Sendo assim, considera-se a força entre correntes no caso anti-paralelo, ou seja, uma força de atração entre os fios.

Com a montagem das garrafas, utiliza-se a bateria de moto como fonte de energia, para isto utiliza-se do cabos conectores. Para que seja possível ligar e desligar o experimento com maior facilidade, utiliza-se o interruptor. A madeira é necessária para contruir um suporte para todo este aparato e, então, deixar com que as garrafas fiquem estáveis e a bateria fique em um posição com maior dificuldade de movimento.

## 4 Discussão e procedimentos

Como foi dito anteriormente, este experimento já havia sido feito por outros estudantes de disciplinas de instrumentação para ensino, com isto o trabalho foi todo em cima de um protótipo que não estava funcionando.

### Primeiro Passo - Fixação das Garrafas

O primeiro problema era que as garrafas não estavam fixadas no suporte de maneira, pois como o experimento estava guardado por alguns anos, ela desgrudou do suporte. Além disto, o fio, ao sair da parte inferior da garrafa ficava exposto no experimento original, ou

seja, não havia uma passagem adequada na madeira para que fosse possível passar o fio de conectá-lo a bateria.

Com esta primeira vistoria, decidiu-se que seria melhor resolver estes problemas antes de verificar a condução elétrica nos fios e outros problemas relacionados parte elétrica. Para resolver estes problemas, foi feito um furo no suporte para a passagem do fio e, além disto, fixou-se as garrafas em uma placa de madeira com o auxílio de um parafuso, de maneira a conectar a tampa da garrafa com a placa de madeira. Isto foi suficiente para firma-las na madeira. Deixando todo o sistema rígido.

### **Segundo Passo - Parte Elétrica do Sistema**

O Segundo problema observado era que: mesmo com a a fonte de energia (que no caso específico era uma bateria de moto de 12 volts) os fios, que estavam encapados, não apresentavam um movimento visível. Neste sentido, não era possível saber se o efeito não ocorria por algum motivo relacionado a bateria ou ao sistema. Para garantirmos que a bateria estava funcionando de maneira adequada, deixou-a carregando por uma semana e, após este momento medimos a tensão com um multímetro, que indicou seu funcionamento.

Já que o problema não era mais na bateria, concentrou-se os esforços no sistema, que consistia na armação com as garrafas, alguns fios que eram alimentados pela bateria e um interruptor. Percebeu-se que, ao ligar o interruptor, acontecia um movimento dos fios, porém não era nítido o suficiente para uma apresentação ao público. Percebeu-se que o encapamento do fio fazia com que ele ficasse muito pesando, com isto o problema da nitidez do efeito. Para resolver isto, retirou-se os fios do aparato e, então, retirou todo o encapamento, deixando-os apenas em cobre.

Após este momento, o efeito ficou mais nítido, porém havia um problema de contato, que impedia o experimento de funcionar adequadamente, devido a isto, foi necessário desafixar o interruptor, que estava preso no protótipo, para que fosse possível consertá-lo. Identificou-se o problema no interruptor com a ajuda de um multímetro. Resolveu-se este problema de contato abrindo o interruptor e recolocando o fio.

Com relação ao efeito físico, era possível ver, com clareza, a força entre correntes, porém, como o sistema era iniciado com o interruptor, que só mandava um pulso de corrente, o efeito era de um perturbação oscilante, pois a corrente só passava pelo fio, enquanto o interruptor estivesse pressionado.

Com isto, o efeito ficava claro porém não ocorria em todos os momentos em que o interruptor era pressionado, ou seja, havia um problema de contato no interruptor. a

solução deste problema foi simples. Apenas abriu-se o interruptor e deixou-o funcionando novamente.

### **Terceiro Passo - Suporte de Madeira e Mudança no Aparato Experimental**

Como o objetivo do experimento era a apresentação ao público, percebeu-se que era necessário a construção de um suporte, para que fosse possível acoplar a bateria e, além disto, tornar possível a apresentação do experimento para um público maior. Utilizou-se então uma outra placa de madeira, de, aproximadamente, mesma dimensão do suporte original, para que fosse possível colocar a bateria entre as placas de madeira. Em seguida utilizou-se de hastes de metal, para que fosse possível conectar as placas.

Neste momento, muita das práticas de marcenaria foram utilizadas, como, por exemplo, contar madeira e furá-la com uma furadeira de bancada e corte de metal. Em decorrência da quantidade de metal que possui-se, foi cortou-se em três partes, de aproximadamente 15 centímetros cada. A disposição das hastes formava um triângulo ao passarem pelo plano da placa de madeira. Com esta disposição, era possível deixar a bateria entre a placa de madeira das hastes e a placa de madeira que estava o sistema das garrafas. Por fim, foi possível conectar as hastes com a madeira de maneira rígida o suficiente para os fins desejáveis.

O que restava fazer era juntar a chapa de madeira com as hastes com àquela que possuía as garrafas. Neste momento iniciou-se o processo de perfuração da madeira que continha as garrafas, que, pelo fato das garrafas estarem fixas, foi necessário utilizar uma furadeira de mão, que possui uma capacidade muito inferior a furadeira de bancada. Este foi o momento mais delicado do processo de reconstrução do experimento, pois, devido as dimensões da bateria, os fios estavam próximos à parte que perfuraria-se. Infelizmente, durante este processo, o fio partiu-se em dois lugares diferentes e, como a bateria alimentava o sistema com uma corrente alta, não seria possível remendá-los. Em decorrência disto, mudou-se o sistema, para que realiza-se o experimento de força entre correntes em fitas de alumínio.

Antes de prosseguir para o experimento da fitas de papel alumínio foi necessário consertar um cabo jacaré-jacaré, pois havia falta destes no laboratório. Para tal, usou-se de um cabo que uma das entradas havia soltado uma das entradas jacaré. A reconstrução foi feita utilizando-se de uma soldagem de uma entrada jacaré sobressalente, em uma das pontas.



Figura 4: Base Construída Com as Hastes de Metal





Figura 5: Sistema Completo

#### **Quarto Passo - Força Entre Correntes Utilizado Fita de Papel Alumínio**

O conhecimento teórico envolvido na força entre corrente no papel alumínio é o mesmo, apenas tendo como detalhe o fato de que é utilizado o papel alumínio como condutor da corrente elétrica e, conseqüentemente ele se movimentará. Segue abaixo o aparato utilizado:

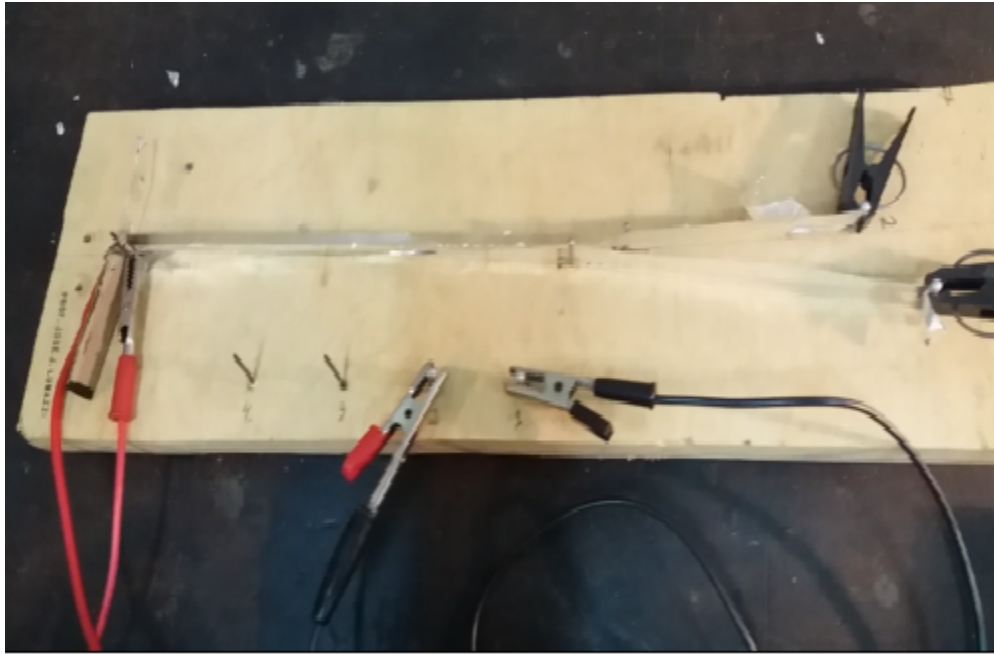


Figura 6: Montagem Experimental Utilizando Papel Alumínio

A utilização do cabo jacaré preto na figura 4 serve para conectar os fios e deixar o sistema em curto. Os prendedores servem para fixar as fitas de alumínio no conectores, ao passo que os cabos vermelhos são levados à fonte de energia, que é a mesma bateria que era utilizada no experimento anterior. As fitas são os condutores da corrente elétrica.

Este modelo também estava com problemas em decorrência das fitas da alumínio, que estavam rasgadas. Foi necessário refazê-las, para tal utilizou-se de régua e estilete. Apesar de refeitas as fitas, ainda haviam problemas de contato neste sistema. Apesar disto haviam ainda problemas de contato. Em um momento específico, tentou-se verificar se seria possível, utilizando um emissor de faíscas e, baseando-se no efeito Branly, ou seja, fazer com que o campo elétrico faça com que passe corrente elétrica, resolver o problema de contato. Observou-se a passagem de corrente, em decorrência disto, uma única vez e, infelizmente, não foi possível replicar o feito, então descartou-se esta possibilidade.

Em alguns momentos o experimento funcionava da maneira pretendida. Porém, mesmo com o problema de contato Segue a abaixo a figura de deflexão máxima em decorrência ao efeito da força entre correntes.



Figura 7: Fitas com Deflexão



Figura 8: Sem Deflexão



Figura 9: Fitas com Deflexão

#### **Quinto Passo - Tensão sobre a fita de alumínio**

Em um segundo momento, utilizou-se de dois multímetros, para que fosse possível monitorar, concomitantemente, a corrente elétrica, bem como a tensão elétrica que estava sendo aplicada ao sistema.

Percebeu-se que, mesmo com uma corrente de 15 amperes e um voltagem de 12 volts, o experimento deixou de funcionar, a partir de um determinado momento. que em um dos pregos que servia apenas como apoio para a fita de alumínio, poderia estar exercendo um tensão que, em tese, seria suficiente para impedir que o efeito ocorrece como planejado. Temos que o módulo da soma da força entre as fitas é, por (3):

$$F = \frac{\mu_0 i_b i_a L}{\pi d} \quad (4)$$

O módulo da corrente é o mesmo e equivale a 15 amperes, o comprimento das fitas é, aproximadamente, 30 cm e a distância entre elas é, aproximadamente 0.5 cm. Com isto temos que o módulo da força de separação entre as fitas é 5,4 mN, ou seja, a força necessária para movimentar massas da ordem de microgramas, com isto, talvez não seja o suficiente para movimentar as fitas.

É importante notar, que a tensão nas fitas não é um parâmetro controlável no experimento, neste sentido é preciso refazer as fitas, de maneira que a tensão entre elas e o prego seja menor, ou seja, fazê-las maiores, de maneira que elas ficassem mais frouxas.

### **Sexto Passo - Próximos Passos**

Um desejo, em correspondência com o espírito da disciplina, era substituir a utilização da bateria de moto por uma fonte de energia a base de pilhas, com isto o experimento ficaria mais acessível às pessoas e a amperagem seria menor, contudo o experimento não funcionou de maneira adequada com estes objetos. Utilizamos as pilhas em série, porém não funcionou de maneira adequada, em contraste à referência 2.

## **5 Conclusões**

No decorrer do experimento muitas habilidades foram aprendidas. como por exemplo, básico de trabalho em madeira, um pouco de eletrônica e soldagem o que, em certo sentido, são os objetivos da disciplina. apesar de ainda estar instável o efeito da força entre correntes, ainda haverá trabalho no experimento. Por exemplo, será refeito as fitas de alumínio e a pintura do suporte de madeira em preto, para que fique mais visível o efeito, em decorrência do contraste.

## 6 Referências

[1] Halliday, D. Resnick, R. Walker, J., Fundamentos de Física, 8<sup>a</sup> ed., Editora LTC, Rio de Janeiro acessado em:

[2] Relatório Final de F 609 do aluno Rafael Jurado Neto - Força entre correntes acessado em:

[3] Relatório Final de F 609 do aluno José Abílio da Silva Pita - Força entre corrente e campo magnético visualizada pelo deslocamento de um eixo (“Força de Lorentz”) acessado em:

[4] Relatório Final de F 809 do aluno Rodrigo de Souza Gama -Melhorar, Apresentar e Registrar apresentação de um Experimento de F-809, Força entre Correntes acessado em:

[5] Relatório Final de Final de F 809 da aluna Martha Camargo Vasconcelos Pereira - Efeito Branly (Branly’s coherer)