

# CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL DE PADRÕES DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICOS – TAPETE MÁGICO DE MOORE.

(Instrumentação para o ensino I - F-609)

**Orientador: Juan C. P. Campoy**

**Aluno: Rafael Borges Merlo**

## DESCRIÇÃO

O “tapete mágico de Moore” é formado por uma distribuição espacial de esferas magnetizadas que, imersas num campo magnético AC, podem possibilitar a apreciação de padrões de interferência eletromagnéticos.

Esferas de aço-carbono de aproximadamente 0.5 mm de diâmetro são suspensas em um recipiente com água de tamanho reduzido. As esferas são magnetizadas fracamente com ímãs permanentes. Evidentemente, a magnetização final das esferas dependerá da distância a qual o ímã seja posicionado, o que poderá a princípio ser controlado. Espera-se que as ditas esferas flutuando sobre a água se agrupem aleatoriamente, mas na presença de um campo magnético AC possa-se apreciar a formação de um padrão de interferência eletromagnético. Isto dependerá da intensidade e da frequência do campo aplicado.

Existem várias formas de se obter campos magnéticos homogêneos em regiões de espaço reduzidas, mas uma maneira bastante simples é utilizando uma bobina de Helmholtz.

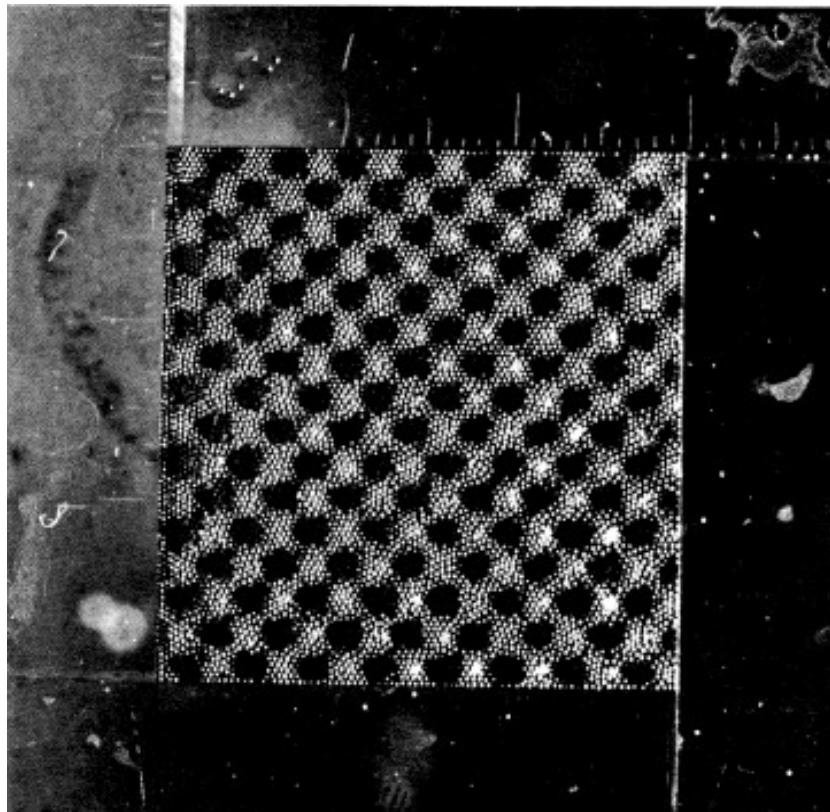


Figura 1-Esquema ilustrativo do “tapete mágico de Moore”

A. D. Moore, no ano de 1962, realizou pela primeira vez experimentos desta natureza e demonstrou no seu artigo “The Magic carpet: water-floated magnetized balls form standing waves when driven by AC magnetic field”, que é possível formar padrões de interferência eletromagnética utilizando esferas, da maneira ilustrada linhas acima. Cabe salientar que os campos precisos foram extremamente baixos. A figura 1, extraída do artigo, mostra o padrão de interferência para 60 Hz.

Nossa proposta é a de estudar e caracterizar em função da frequência a formação destes padrões. Para a montagem experimental, usaremos esferas de aço-carbono de 0.5 mm de diâmetro utilizadas em sistemas de jateamento, que podem ser encontradas no mercado facilmente, e serão utilizados ímãs permanentes, disponíveis no Instituto, para magnetizar as esferas. Para gerar o campo magnético AC, será construída uma pequena bobina de Helmholtz similar às disponíveis nos laboratórios de ensino do Instituto de Física.

### **IMPORTÂNCIA DIDÁTICA**

A vantagem seria a de poder mostrá-lo nas escolas de segundo grau. O público alvo poderá entender que as ondas eletromagnéticas formam padrões de interferência.

### **ORIGINALIDADE**

O trabalho já foi estudado inicialmente por A. D. Moore na Universidade de Michigan, nos Estados Unidos, nos anos 60. Ele conseguiu o padrão para 60 Hz. A originalidade seria a investigação em função da frequência do campo AC.

### **REFERÊNCIAS**

#### **PALAVRAS CHAVE: 1) PADRÕES DE INTERFERENCIA MAGNÉTICOS**

A. D. Moore, “The Magic carpet: water-floated magnetized balls form standing waves when driven by AC magnetic field”, IEEE Trans. on Commun. and Elect. **83**, 758 (1964).

### **LISTA DE MATERIAIS**

Esferas de aço-carbono.  
Ímãs permanentes.  
Recipiente de plástico.  
Bobina de Helmholtz com fonte de corrente AC.

Meu orientador, o Prof. Dr. Juan Carlos P. Campoy, concorda com os termos aqui estabelecidos para o projeto e declara que poderá dispor de todos os elementos necessários a menos de exceções indicadas embaixo. Declara ainda que todo o material utilizado ficará à disposição da disciplina e de seu coordenador.

Exceções: não há.

Sigilo: NÃO SOLICITA.

## Fenomenologia

Para explicarmos este experimento, precisamos entender algumas características do que é magnetismo. Desde a Grécia antiga já se tinha notícia do poder de uma rocha, a magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), de atrair certos metais. No entanto, o fenômeno só passou a despertar real atenção (além das superstições e crendices) quando no século XIII foi inventada a bússola. A bússola possui uma agulha magnetizada que sempre aponta na direção norte-sul. Logo, de grande utilidade no período das navegações. Isso ocorre porque a Terra possui no seu núcleo materiais magnéticos, que, devido ao movimento de rotação da Terra, acabam induzindo esse magnetismo em uma região do espaço, ou, em outras palavras, geram um campo magnético, formando pólos norte e sul magnéticos. É esse campo que faz com que a agulha da bússola se alinhe.

A magnetita nada mais é do que um ímã natural, e possui pólos magnéticos norte e sul, assim como a Terra. Se aproximarmos dois ímãs, veremos uma propriedade dos pólos magnéticos: os opostos se atraem e os iguais se repelem. Colocando um ímã em contato com um material atraído por ele, como por exemplo o ferro, este também se torna magnético, ou seja, se torna um ímã, podendo manter as propriedades magnéticas mesmo se o ímã original for afastado. Os materiais que se comportam dessa maneira são chamados de ferromagnéticos. Dentre esses materiais está o aço-carbono, uma liga de ferro e carbono, matéria prima das esferas do nosso experimento.

Portando, quando em nosso experimento aproximamos um ímã das esferas, estamos induzindo nas esferas propriedades magnéticas, ou seja, estamos produzindo pequenos ímãs esféricos. Em uma analogia, podemos pensar em cada uma das esferas como sendo miniaturas do planeta Terra, pelo menos no que diz respeito ao comportamento do campo magnético: elas também passam a ter pólos norte e sul magnéticos. Quando as esferas são colocadas a flutuar sobre a água, o pólo sul de uma esfera é atraído pelo pólo norte de outra esfera, e elas vão se unindo, alinhando os pólos magnéticos paralelamente à superfície da água. Em seguida, quando um campo magnético é aplicado, perpendicular à superfície da água e alternado (que oscila, apontando ora para cima, ora para baixo), isso

supostamente faria com que as esferas oscilassem, tentando alinhar seus pólos no sentido do campo alternado, como faz a agulha da bússola com o campo magnético terrestre. No entanto, não é isso que acontece. Existem forças de atração entre as esferas que tentam manter a cadeia em contato, além da tensão superficial da água que sustenta as esferas e atrito entre as esferas com superfície rugosa. E são as conseqüências dessa disputa entre diversas forças que vão produzir o fenômeno que pretendemos demonstrar nesse experimento.

### **Desenvolvimento experimental**

Para darmos início ao experimento, o primeiro passo foi obter as esferas de aço. Procuramos por fornecedores de abrasivos e materiais para jateamento de peças. Encontramos uma empresa em Campinas que comercializa esse produto, a Microesfera. Embora a venda seja apenas em grandes quantidades (acima de 20 kg), a empresa gentilmente cedeu cerca de 1 kg para o nosso experimento. As esferas são de aço-carbono, razoavelmente regulares, com diâmetro variando entre 0,4 mm e 0,6 mm.



**Figura 1:** Esferas de aço-carbono utilizadas, de aproximadamente 0,5 mm de diâmetro.

De posse das esferas, o primeiro desafio foi colocá-las para flutuar na superfície da água. Depois de muitas horas de tentativas, encontramos a maneira mais eficiente de fazer isso, que é depositar as esferas quase tangenciando a superfície da água. Para tanto, colamos um canudo plástico em um pedaço de palito de sorvete, e prendemos o conjunto por um alicate de pressão. Depois,

depositamos as esferas em uma das extremidades do canudo, deixando-as rolar suavemente até a superfície da água, como mostra a Figura 2.



**Figura 2:** Primeiros resultados da formação do tapete de esferas na superfície da água, sem campo aplicado. À direita, ampliação do primeiro tapete formado. Vê-se no fundo do pirex algumas esferas que romperam a tensão superficial da água e afundaram.

Durante a formação do tapete de esferas, observamos que seria necessário selecionar as esferas antes de depositá-las na água, pois havia, na amostra cedida, esferas oxidadas, com geometria imperfeita e cascas metálicas, que prejudicavam a simetria e a homogeneidade do tapete formado. Depois de algumas tentativas, observamos que a maneira mais rápida e eficaz de eliminar as esferas imperfeitas era deixá-las rolar sobre uma folha de papel sulfite em um plano levemente inclinado, como mostra a Figura 3. As esferas perfeitas rolavam até o fim da folha e caíam em um recipiente, enquanto as imperfeitas ficavam pelo caminho. Esse procedimento mostrou-se bastante satisfatório, eliminando quase totalmente as imperfeições.



**Figura 3:** Procedimento usado para selecionar as esferas mais perfeitas, eliminando imperfeições, óxidos e impurezas.

Após dominarmos a técnica de formação do tapete, partimos para uma montagem preliminar, com os equipamentos que estavam prontamente ao nosso alcance, que foram uma bobina de Helmholtz do laboratório de ensino do IFGW, um Variac 0V a 140V – 10 A e um multímetro digital. Colocamos no centro da bobina um pirex de 10 cm de diâmetro com uma camada de 1,5 cm de água, e depositamos as esferas na água, conforme descrito anteriormente.

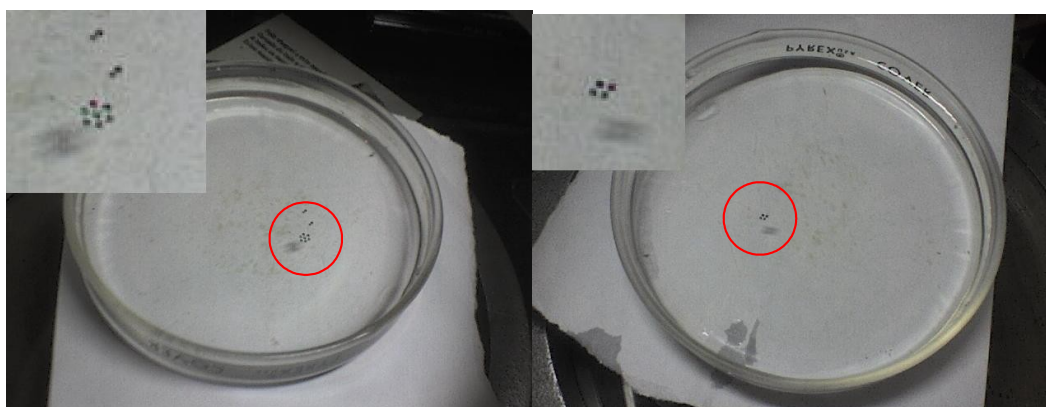


**Figura 4:** Montagem preliminar, para testar o efeito do campo no tapete.

### **Resultados preliminares e dificuldades encontradas**

Foi formado um tapete de aproximadamente 3 cm x 3 cm. Para observarmos algum efeito no tapete, foi necessário aplicar uma corrente de 6 A na bobina, gerando um campo de aproximadamente 50 Gauss, que é 250 vezes maior do que a intensidade do campo magnético da terra ( $\sim 0,2$  Gauss), mas 100 vezes menor do que o campo do ímã de disco rígido usado para magnetizar as esferas ( $\sim 5 \cdot 10^3$  Gauss) [1]. Com esse campo, foi possível observar um rearranjo da estrutura do tapete. Algumas esferas nas bordas começaram a vibrar, e no centro do tapete algumas esferas foram expulsas pelo sistema, e afundaram (provavelmente, essas esferas possuem superfície rugosa). As lacunas deixadas foram ocupadas por outras esferas, e o movimento continuou. Com o aumento do campo, observamos uma repulsão das bordas para o centro, e a formação de um

arranjo mais compacto no centro do tapete, um vale, que acabou por romper a tensão superficial da água e levou todo o tapete para o fundo do pirex. Repetimos o procedimento para diferentes magnetizações das esferas, e os efeitos foram os mesmos. No entanto, em um tapete formado por poucas esferas, notamos uma repulsão e um rearranjo entre as esferas, com um espaçamento da ordem de 1 mm entre elas, como mostra a Figura 5. Embora não tenha sido possível observar a formação do padrão de interferência de Moore, foi possível observar esse curioso efeito do campo nas esferas, o que nos leva a crer que estamos no caminho correto.



**Figura 5:** Padrões formados com tapetes de sete e quatro esferas. No canto superior esquerdo das fotos, o detalhe ampliado.

Esse resultado de por si só já é interessante, porque mostra um padrão de interferência hexagonal de poucos corpos magnetizados, sob ação de um campo ac. Lembremos que para o carpete de Moore havia a formação de um padrão de interferência quadrado formado por muitos corpos magnetizados.

Como usamos um variac para excitar a bobina, ficamos sujeitos unicamente à frequência da rede elétrica (60 Hz). Pode ser que o padrão de interferência ocorra para um campo magnético de outra frequência. Caso seja possível fabricar uma bobina de Helmholtz que forneça um campo da ordem de 50 Gauss mas que necessite de correntes mais baixas ( $\sim 2$  A), podemos construir uma fonte de corrente transistorada para controlar a frequência.

Foi possível também verificar que o tapete não fica plano na superfície da água. Ele forma um vale, mesmo sem a aplicação do campo. Isso pode significar que as esferas estão muito pesadas, efeito que pode ser diminuído com um aumento da densidade do líquido ou com esferas menos densas ou de tamanho menor. Tentativas de diminuir o tamanho das esferas por um método abrasivo

(lixar manualmente ou com furadeira) não surtiram efeito. Tentaremos obter resultados mais satisfatórios corroendo-as em uma solução ácida. Além disso, tentaremos reproduzir o experimento em outros meios, como óleos, para observarmos se as mudanças de densidade, viscosidade ou tensão superficial podem contribuir de alguma forma para a formação de um padrão de interferência. Finalmente, tentaremos o uso de nanopartículas.

### **Declaração do Orientador**

Meu orientador, o Prof. Juan C. P. Campoy, concorda com o expressado nesse relatório parcial, e deu a seguinte opinião:

*O aluno vem desenvolvendo de maneira cuidadosa e com bastante critério o projeto. Já conseguiu um resultado interessante: um padrão de interferência hexagonal de poucos corpos magnetizados sob ação de um campo ac.*

### **Referências**

<http://br.geocities.com/jcc5000/oqueecampomagnetico.htm>  
<http://pt.wikipedia.org/wiki/Magnetismo>

Endereços na internet contendo noções introdutórias sobre magnetismo, pólos magnéticos, ímãs e campo magnético terrestre.

[1] René Robert, *Bobina de Helmholtz*, Revista Brasileira de Ensino de Física, **25**, 40 (2003).

Apresenta uma técnica de cálculo do campo magnético da bobina de Helmholtz e detalhes construtivos.