

## EXPLORAÇÃO DE ALGUNS CONCEITOS DO ELETROMAGNETISMO NO MOVIMENTO DO BRAÇO DE UM DISCO RÍGIDO<sup>+</sup>

---

Francisco Catelli  
Valquíria Villas-Boas  
Universidade de Caxias do Sul  
Caxias do Sul – RS

### Resumo

*As forças magnéticas responsáveis pelo movimento do braço de leitura/gravação de um disco rígido de computador (HD<sup>1</sup>) são exploradas a partir de conceitos elementares da física do eletromagnetismo, presentes nos currículos dos terceiros anos da disciplina de Física em Nível Médio. É descrita a confecção de um aparato simples para a visualização e para o estudo das forças magnéticas envolvidas; para isso, a desmontagem do HD e a localização do ímã e do braço de leitura / gravação são devidamente explanadas. Por fim, o movimento do braço é explanado a partir dos conceitos investigados.*

**Palavras-chave:** *Ensino de Física. Magnetismo. Disco rígido.*

### Abstract

*Magnetic forces responsible for the movement of the read/write arm of a computer hard drive (HD) are explored from elementary*

---

<sup>+</sup> Explorations of some electromagnetism concepts of a Hard Drive arm movement

<sup>\*</sup> *Recebido: novembro de 2010.  
Aceito: abril de 2011.*

<sup>1</sup> “Hard drive”, em inglês.

*concepts of electromagnetism, found in the curricula of the third year of Physics in High School. It is described the manufacturing of a simple apparatus for visualization and study of magnetic forces involved; the dismantling of the HD and the location of the magnet and the read/write arm are described. Finally, the arm movement is explained in the basis of the concepts investigated.*

**Keywords:** *Physics teaching. Magnetism. Hard drive.*

## **I. Introdução**

Talvez não seja exagero afirmar que boa parte da tecnologia do mundo moderno esteja presente, direta ou indiretamente, em um disco rígido de computador. Algumas “palavras-chave” que ilustram essa presença poderiam ser: magnetismo, eletromagnetismo, materiais magnéticos, mecânica de altíssima precisão, semicondutores, eletrônica digital, programação, fenômenos térmicos, entre muitas outras. A lista é tamanha, e as tecnologias envolvidas são tão sofisticadas e recentes<sup>2</sup>, que fica a impressão de que nada em um disco rígido é acessível à compreensão do cidadão comum, estudante não especializado ou simplesmente curioso. Tem-se a impressão que só alguns raros especialistas poderiam compreender o que se passa nesse dispositivo e, mesmo assim, cada especialista conseguiria, provavelmente, compreender bem apenas os fenômenos de sua área.

Entretanto, o cenário “entreaberto” a partir da frase acima não é completamente plausível: alguns dos detalhes técnicos do funcionamento de um HD são sim acessíveis, tanto que os conceitos explorados neste trabalho estão presentes nos programas das disciplinas de física do terceiro ano do Nível Médio. Neste artigo, será explorado o princípio físico que está por trás do movimento do braço de leitura/gravação dos dados magnéticos contidos em um HD; espera-se que ele possa dar subsídios aos professores para que desenvolvam com seus estudantes uma aplica-

---

<sup>2</sup> A descoberta e exploração de um efeito magnético chamado “magnetorresistência gigante” permitiu a produção de dispositivos de leitura de discos rígidos mais eficientes e levou recentemente (mais exatamente em 2007) a um prêmio Nobel de Física, outorgado a Albert Fert e Peter Grünberg. Um dos membros dessa equipe, com um papel importante na descoberta da “magnetorresistência gigante” é o Prof. Dr. Mário Baibich, pesquisador do Instituto de Física da UFRGS. Para maiores detalhes, ver, por exemplo, <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol8/Num2/v08n02a09.pdf>>.

ção do eletromagnetismo que faz parte, pelo menos indiretamente, do dia a dia dos mesmos e que raramente é trabalhada no âmbito do Ensino Médio.

## II. Localizando as principais partes de um HD fora de uso

Para a exploração aqui descrita será necessário um disco rígido fora de uso, o qual poderá ser obtido, sem custo, em uma oficina de reparo de computadores. Uma vez de posse do HD, o passo seguinte é abri-lo. A grande maioria deles é montada com parafusos cujo encaixe obedece ao chamado padrão “torx<sup>®</sup>”. Parafusos com esse padrão<sup>3</sup> possuem encaixes em forma de estrela, para os quais são exigidas chaves especiais. Elas podem ser encontradas, a um custo relativamente baixo, até mesmo no comércio informal. Uma solução alternativa à compra dessas chaves é a de solicitar ao técnico de computação que “doa” o HD fora de uso que o abra previamente. Nesse caso, os parafusos que prendem o ímã (“1”, na Fig. 1) também devem ser retirados. Em geral, um dos parafusos que prende a tampa do HD está oculto sob um lacre de papel autocolante.

Há muito para se ver, desmontar e explorar em um HD. Entretanto, para as finalidades deste trabalho, serão investigados apenas alguns dispositivos: o ímã permanente de neodímio-ferro-boro, o braço de leitura e sua parte traseira munida de espiras (voltas de fio), bem como o rolamento deste; as cabeças de leitura e gravação e o(s) disco(s) de gravação de dados. Esses elementos são todos fáceis de localizar através da Fig. 1 e sua legenda. Dependendo do fabricante, há variações na forma e no número dos componentes (por exemplo, vários discos de gravação num mesmo HD), contudo, esse detalhe não influirá no que é descrito a seguir.

A próxima operação é a da retirada do ímã permanente. Não há necessidade de descolá-lo de sua base de metal; na foto da Fig. 1 apenas a “armadura” superior do ímã foi retirada. Um aviso: o ímã é tão “forte” que a operação de “desgrudá-lo” de sua armadura pode provocar algum ferimento nos dedos. Proceda, portanto, com cuidado e mantenha-o distante de cartões com tarja magnética (por exemplo, cartões de banco), pois esta aproximação pode causar a perda dos dados aí gravados.

---

<sup>3</sup> Para uma descrição mais detalhada deste tipo de chave e parafusos, ver, por exemplo, <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Torx>>.

### III. Exploração de alguns fenômenos magnéticos utilizando o ímã do HD

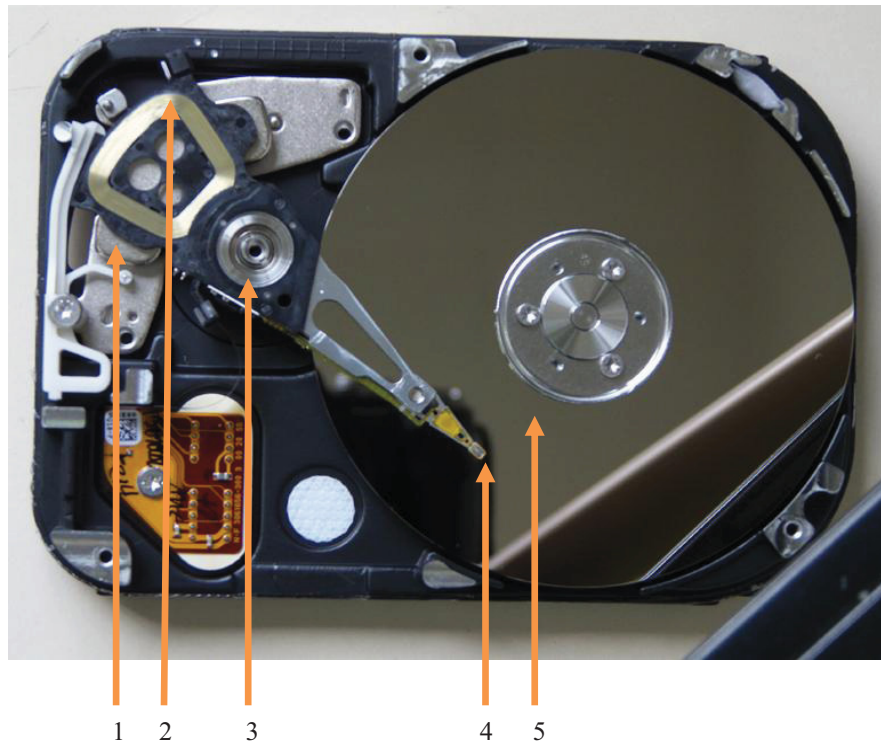
Talvez a questão mais imediata seja: onde estão os pólos desse ímã? Para essa primeira investigação, sugere-se a fabricação de um dispositivo simples, cujos detalhes aparecem na Fig. 2 e em sua legenda. Todos os elementos necessários para a observação de uma força magnética estão aí presentes: a fonte de corrente (uma pilha grande), o ímã permanente (extraído do HD) e os fios condutores. Nesta montagem, foram empregados condutores rígidos de cobre de aproximadamente 2 mm de diâmetro, com suas capas isolantes retiradas. Trata-se de condutores comuns, utilizados em instalações elétricas de residências. Para melhor visualização, não foi retirada a capa isolante branca da parte central do segmento de fio móvel, o qual possui um diâmetro menor (1 mm, aproximadamente, sem a capa). O fio rígido da parte superior (vide Fig. 2) está ligado diretamente ao pólo positivo da bateria. Já o fio inferior foi montado em dois segmentos separados. O contato elétrico é feito manualmente, através de um fio conectado a um jacaré. Os contatos elétricos devem ser de breve duração (apenas um toque): como se trata de um curto circuito, contatos elétricos mais longos esgotarão rapidamente a pilha.

### IV. A física da força magnética em um condutor, percorrido por uma corrente elétrica $i$ e imerso em um campo magnético $B$

Analise cuidadosamente a montagem apresentada na foto da Fig. 2 e sua legenda. Em seguida, veja a Fig. 3, que é uma espécie de “versão” simplificada dessa foto; vê-se nela o desenho da bateria e sua representação simbólica sobreposta; aparece também a seta indicando o sentido da corrente convencional (note que esta “sai” do pólo positivo da bateria), bem como a simbologia das linhas de campo magnético  $B$ , perpendiculares à folha e entrando nela. Finalmente, uma seta representa a força magnética  $F$  que aparece sobre o condutor móvel, quando submetido a uma corrente elétrica  $i$  com o sentido indicado.

Para determinar a direção e o sentido do campo magnético  $B$ , é necessário o conhecimento de alguns princípios básicos da interação de cargas elétricas em movimento (nesse caso, uma corrente elétrica) com um campo magnético. Praticamente todos os livros-texto de Física que tratam de eletromagnetismo, em nível de Ensino Médio ou em nível introdutório da Universidade, esclarecem esse assunto. Seja  $\Delta l$  o comprimento da parte do segmento móvel de fio que se encontra imersa no campo magnético  $B$ . Como a direção e o sentido da força  $F$  estão determinadas a partir da observação das Fig. 2 e 3, torna-se possível descobrir a direção

e o sentido do campo magnético  $\vec{B}$ , através da expressão (1) e da chamada “regra da mão direita”<sup>4</sup>.

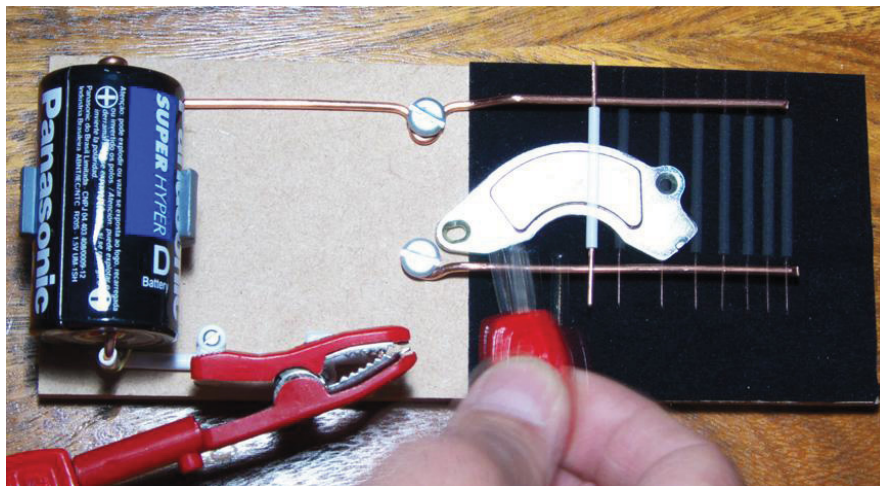


*Fig. 1 - Foto de um disco rígido aberto. Os componentes de interesse neste trabalho são: 1: ímã permanente (a “armadura” superior foi retirada), 2: enrolamento de fio, 3: eixo e rolamento, em torno do qual gira o braço, 4: cabeças de leitura e gravação, 5: disco destinado ao armazenamento magnético de dados.*

$$\vec{F} = i\Delta\vec{l} \times \vec{B} \quad (1)$$

<sup>4</sup> Há inúmeras referências que podem ser consultadas. Veja, por exemplo, ZANETIC, J; MENEZES, L. C.; HOSOUME, Y. (Coord.) GREF: Eletromagnetismo. São Paulo: EDUSP, 1993 (<http://www.if.usp.br/gref/eletro/eletro3.pdf>), em especial a página 68.

O símbolo ‘ $\times$ ’ que aparece na expressão (1) é um produto entre dois vetores e recebe o nome de “produto vetorial”. O resultado desse produto é também um vetor<sup>5</sup>.

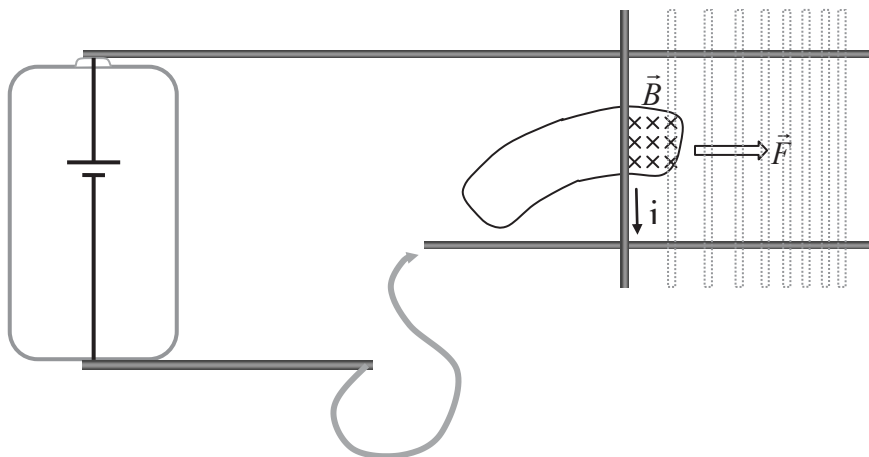


*Fig. 2 - Foto estroboscópica do dispositivo destinado à investigação dos fenômenos magnéticos utilizando o ímã de um HD. Observe que, sobre o ímã, há um segmento de fio, apoiado sobre dois condutores rígidos, de cobre. A lâmpada estroboscópica foi ajustada para uma frequência de 15 disparos por segundo. A partir desta foto, o leitor conseguiria determinar a direção e o sentido da força magnética? Sobre qual pólo, norte ou sul, encontra-se, inicialmente, o segmento de fio branco?*

Notamos então que, para a corrente e a força representadas na Fig. 3, o campo magnético entra no plano da folha, perpendicularmente a esta. Para garantir uma melhor compreensão de como essa regra foi aplicada para encontrar a direção e o sentido do campo magnético  $\mathbf{B}$ , incluímos a Fig. 4, na qual aparece o dispositivo e uma mão (direita), da qual o dedo polegar representa o sentido da corrente elétrica  $i$ , e os dedos da palma da mão, as linhas de campo magnético  $\mathbf{B}$ . A força sai da palma da mão, e foi representada na foto por um canudo de refrigerante. A identificação das linhas de campo magnético, que entram no plano da folha, permi-

<sup>5</sup> Uma explanação bastante compreensível do produto de vetores pode ser encontrada em <[http://efisica.if.usp.br/mecanica/universitario/vetores/prod\\_vetores/](http://efisica.if.usp.br/mecanica/universitario/vetores/prod_vetores/)>.

te afirmar que essa região do ímã é um pólo sul, pois se sabe que as linhas de campo magnético (na parte externa do ímã), por convenção, saem do pólo norte e entram no pólo sul. Se a investigação for realizada com a outra extremidade do ímã, o sentido da força se inverterá; estaremos, então, em presença de um pólo norte.



*Fig. 3 - Compare a foto da Fig. 2 com este diagrama: a força para a direita, bem como o sentido da corrente, obedecem à expressão 1, com o campo magnético  $B$  perpendicular ao plano do desenho e entrando na folha. Trata-se, portanto, de um pólo sul. Se o mesmo teste for efetuado com a outra extremidade do ímã, a força apresentará sentido contrário, o que indicará tratar-se de um pólo norte.*

O leitor notará, na Fig. 4, que o campo magnético na face do ímã sobre a qual está colocado o condutor móvel está representado por um “x”, o que indica que essa parte do ímã é um pólo sul. Analogamente, os dedos da palma da mão direita, que representam a direção e o sentido do campo magnético, apontam para dentro do plano da mesa, perpendicularmente a esta. A força, como nas Fig. 2 e 3, move o condutor para longe da pilha; veja a seta colada na palma da mão da estudante, representando a força magnética. Essa “técnica”, usada para identificar os pólos norte e sul do ímã, é bastante confiável<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> Para uma comprovação adicional, as polaridades norte e sul das duas extremidades do ímã foram identificadas com uma sonda de campo magnético PASCO OS 2112®, acoplada a um

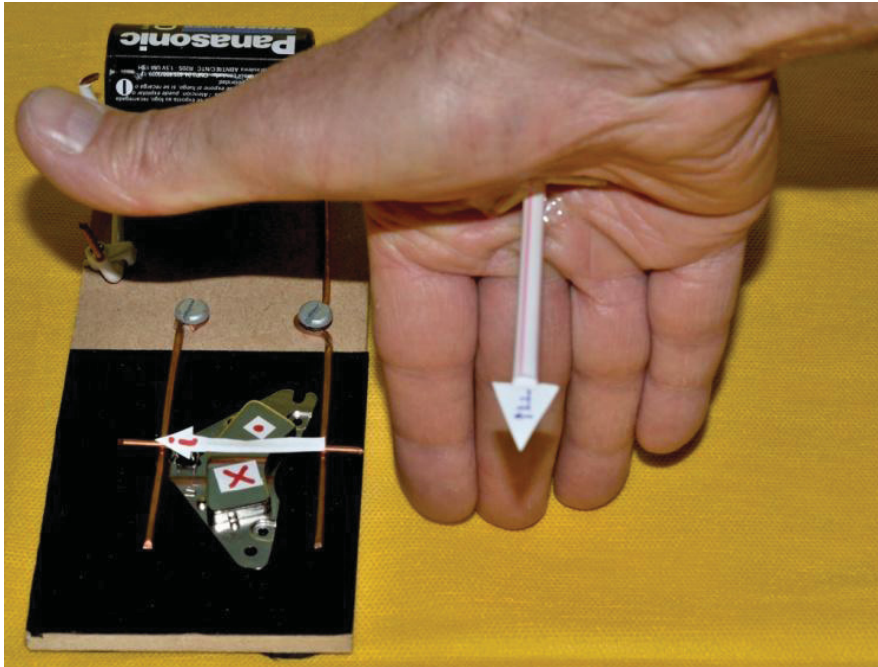


Fig. 4 - O dispositivo e a mão direita de um estudante são apresentados de modo a materializar o produto vetorial expresso na expressão (1). Compare o dedo polegar com o sentido da corrente  $i$ , bem como os dedos da palma da mão e o “ $\times$ ” desenhado no ímã, representando o campo magnético, perpendicular à superfície do ímã e para dentro deste. A seta, fixada na palma da mão, indica a direção e o sentido da força magnética, a qual move o condutor sobre os trilhos, para longe da pilha.

## V. O movimento do braço do HD

O próximo passo consiste em ‘decifrar’ como o braço de leitura do HD se movimenta, em função da força magnética sobre um condutor percorrido por uma corrente elétrica  $i$  e imerso em um campo magnético  $\mathbf{B}$ . Na foto da Fig. 5, podem-se observar claramente as espiras sobre a parte posterior do braço de leitura. Elas

---

aparelho PASCO XPlorer GLX®, confirmando as polaridades obtidas por meio do aparato descrito.

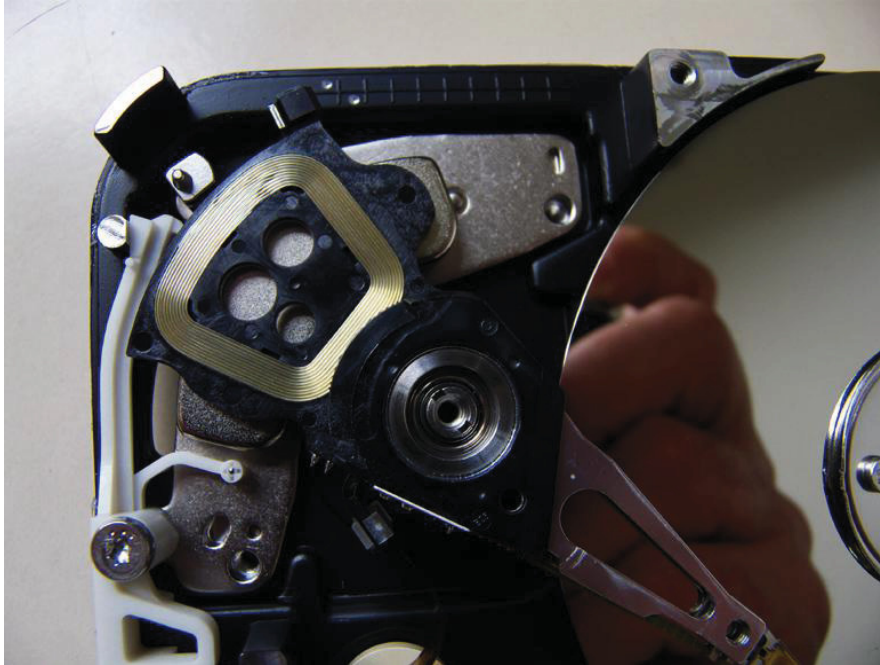


estão posicionadas sobre o ímã; observe que a parte superior da armadura deste foi retirada. Na Fig. 6, alguns detalhes da foto da Fig. 5 são representados de modo esquemático; apenas uma das 11 espiras de fio visíveis na foto foi desenhada. Quanto ao sentido da corrente, só há duas possibilidades: seu sentido é o representado na figura, ou é o inverso. É claro que se pode pensar também na variação da intensidade da corrente: a equação (1) esclarece imediatamente que a força magnética resultante será proporcional a ela.

O leitor notará, aplicando a regra da mão direita, que a direção e o sentido das forças magnéticas sobre a espira representada forçarão o braço de leitura a girar em torno do eixo no sentido horário. Se a corrente tiver seu sentido invertido, o braço de leitura rodará em torno do eixo no sentido anti-horário. Com esses dois movimentos, rotação no sentido horário e anti-horário, o cabeçote de leitura/gravação do braço do HD poderá ser posicionado em qualquer ponto da superfície do disco magnético (que gira a velocidades que chegam a 7200 rpm em alguns modelos), onde são gravados e lidos os dados. Dessa forma, pode-se dizer que pelo menos um aspecto importante do funcionamento de um disco rígido foi ‘decifrado’, por meio de conceitos elementares de física.

## **VI. Considerações finais**

A exploração aqui relatada é uma das muitas possíveis de serem feitas com um HD, sempre do ponto de vista do ensino e da aprendizagem da Física, em Nível Médio e mesmo em nível introdutório da Universidade, como pode ser visto, por exemplo, nos trabalhos de Anderson (2005), Hinaus e Veum (2002), Kagan (2005), Paesler (2009) e Wagner (1999). Pensamos que elaborações desse tipo podem ser proveitosas no contexto de um ambiente de aprendizagem em sala de aula por diversos fatores. Apresentamos alguns deles a seguir, não necessariamente em ordem de importância.



*Fig. 5 - Vista ampliada do dispositivo magnético. Note o “enrolamento” de fio na parte posterior do braço de leitura; é possível discernir na foto em torno de 11 espiras, sobrepostas ao ímã. O reflexo da mão do fotógrafo aparece na superfície altamente polida do disco magnético.*

Um dos ganhos que essa exploração propicia é o de que o estudante tem a oportunidade de manipular objetos que, habitualmente, integram o seu mundo. Os computadores, de forma direta ou indireta, em maior ou menor intensidade, fazem parte do mundo dos estudantes, além de se tratar de objetos tecnológicos bastante atuais e compostos por diversos dispositivos bastante sofisticados do ponto de vista tecnológico (disco rígido, leitor de CDs e DVDs, tela LCD, etc.). E, se essa manipulação vier mesclada de considerações alicerçadas em conhecimentos de física básica, o interesse dos alunos por esta disciplina pode crescer bastante.

Outro ganho se configura na oportunidade de manusear dispositivos tecnológicos com propriedades de certa forma inesperadas. É o caso dos ímãs permanentes explorados neste trabalho: a grande intensidade das forças magnéticas envolvidas surpreende e desperta a curiosidade dos alunos. Essa curiosidade pode

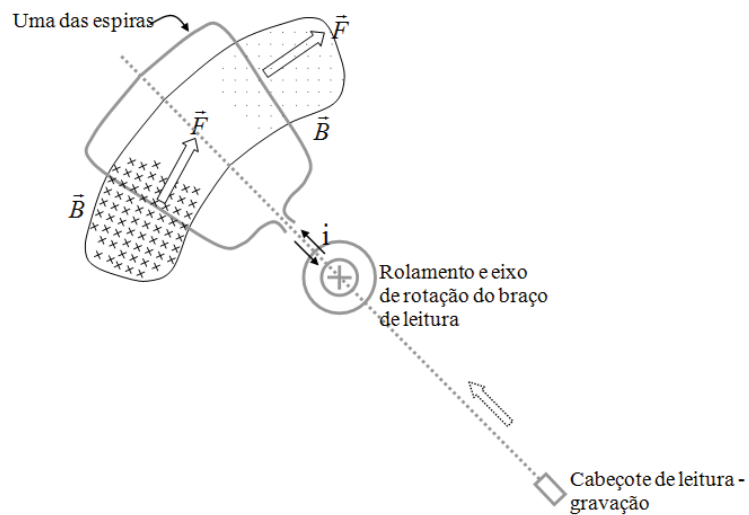


Fig. 6-a

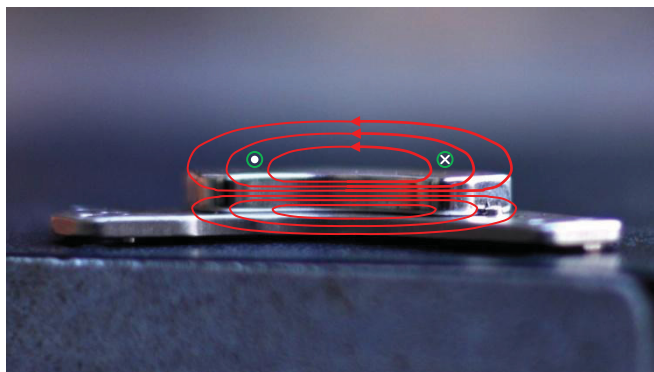


Fig.6-b

Fig. 6-a - Representação esquemática de uma das espiras do braço de leitura mostrado na figura 5, imersa no campo magnético  $B$  do ímã. A direção e o sentido das duas forças, para o sentido indicado da corrente, podem ser facilmente verificados pela regra da mão direita (Fig. 4 e referências). Fig. 6-b. Representação de algumas linhas de campo magnético do ímã, visto ao longo da direção da seta pontilhada da Fig. 6-a. O ponto '•' e o 'x' representam a corrente na espira, que também pode ser visualizada na Fig. 6-a.

aflorar, por exemplo, através de conjecturas acerca da precisão do posicionamento do braço de leitura. Os alunos surpreendem-se ao descobrir que existem vários milhares de trilhas gravadas em cada face dos discos magnéticos, cujo raio útil é de poucos centímetros, o que exigirá o posicionamento do cabeçote de leitura/gravação com uma precisão muito grande.

Proporções muito curiosas podem ser estabelecidas. Por exemplo: um Boeing 707 possui uma envergadura<sup>7</sup> de aproximadamente 50 metros, e voa – tipicamente – a 8000 m de altura, algo como 160 vezes sua envergadura (8000 m/50 m). A dimensão maior de um cabeçote de leitura/gravação<sup>8</sup> de um HD é da ordem do mm; ele “voa” a inacreditáveis 10 nm ( $1 \times 10^{-5}$  mm) de altura em relação à superfície do disco magnético<sup>9</sup> no qual são gravados os dados. Ou seja, ele voa a uma altura 100000 vezes menor ( $1 \times 10^{-5}$  mm / 1 mm) que a sua ‘envergadura’. Isso equivaleria a um Boeing voando a uma altura  $h$  do solo<sup>10</sup> igual a 0,5 mm! Se o leitor consultar as referências, verá que o “voo” do cabeçote de leitura/gravação só é possível de ocorrer a essa altura pequeníssima devido à camada de ar que se forma entre ele e a superfície de gravação (que, por sinal, é extremamente plana e polida; ver Fig. 5).

Uma palavra agora sobre a curiosidade dos alunos: segundo Pozo e Crespo (2009, p. 45), há quatro estilos de alunos, do ponto de vista da motivação para as ciências: o curioso, o consciencioso, o sociável e o que busca êxito. É bem provável que o estilo de aluno que melhor se adapte ao tipo de atividade aqui descrito é o curioso: ele, geralmente, “*tem grande interesse em aprender sobre novos acontecimentos ou fenômenos científicos, inclusive sobre aqueles que não aparecem nos livros didáticos. [...] prefere seguir sua própria iniciativa, investigar, desco-*

---

<sup>7</sup> Ver, por exemplo, <http://www.globalaircraft.org/planes/b707.pl>.

<sup>8</sup> Verifique este dado em <[http://en.wikipedia.org/wiki/Disk\\_read-and-write\\_head](http://en.wikipedia.org/wiki/Disk_read-and-write_head)>, ou <<https://www1.hitachigst.com/hdd/technology/gmr/gmr.htm>>).

<sup>9</sup> Consultar, por exemplo, <<http://www.pcguides.com/ref/hdd/op/heads/op.htm>>. Procure por “hard disk read/write heads”, depois por “function of the read/write heads”, “number of read/write heads” e finalmente “floating height, flying height/head gap”. Outra referência: V. Nikitin et al., Spatial and Temporal Profiling of Protrusion in Magnetic Recording Heads, IEEE Transactions on Magnetics, 2004, 40 (1) p. 326 - 331.

<sup>10</sup> Calcule assim:  $h/50000 \text{ mm} = 1 \times 10^{-5}$ , onde 50000 é a envergadura do Boeing, em mm.

*brir, trabalhar de forma prática [...].” Esse aluno frequentemente rejeita “[...] o ensino tradicional e as instruções claras e precisas”.*

Outro aspecto que cabe mencionar é a possibilidade que a atividade aqui proposta abre para a exploração didática da representação de grandezas eletromagnéticas: pilhas e suas polaridades, direções e sentidos de forças e correntes, direções e sentidos de campos magnéticos. Entre os objetos do cotidiano e suas representações na linguagem da física, há toda uma distância a ser percorrida. Essa é a razão pela qual “misturamos” objetos “reais” e suas representações. Veja, por exemplo, o ímã da Fig. 4 (um objeto “real”) e a representação (esta, virtual) de linhas de campo magnético, materializadas por “×” e pontos, desenhada sobre ele. Ou na Fig. 3, um desenho representando a pilha “real” da Fig. 2, sobreposto à representação (simbologia) usual, onde o traço maior representa o pólo positivo e o menor, o negativo. Não temos a ilusão de que esse tipo de recurso seja suficiente para garantir uma transposição da experiência cotidiana para um “saber formalizado”, mas os indícios indicam que, pelo menos, esta tarefa fica facilitada.

Como conclusão, parece-nos, então, lícito conjecturar que explorações como a que é proposta aqui, iniciadas ainda na fase do Ensino Médio, poderiam sim contribuir – primeiro – para aumentar a motivação de alguns estudantes para a área das ciências exatas e – segundo – possibilitar a esses jovens que prossigam seus estudos já de posse de um esboço de linguagem técnica construído e operacional.

### **Agradecimentos**

À Universidade de Caxias do Sul (UCS) e à FINEP (financiadora do projeto “Engenheiro do Futuro”) pelo apoio financeiro. Agradecemos também aos revisores do CBEF pelas valiosas sugestões.

### **Bibliografia**

ANDERSON, P. S. The PASCO Half-Byte Hard Drive. **The Physics Teacher**, v. 43, p. 181, 2005.

HINAUS, B.; VEUM, M. The Hard Drive: An experiment for Faraday’s Law. **The Physics Teacher**, v. 40, p. 339, 2002.

KAGAN, David. Detecting the Hard Drive in an iPod. **The Physics Teacher**, v. 43, p. 551, 2005.

NIKITIN, V. et al. Spatial and Temporal Profiling of Protrusion in Magnetic Recording Heads. **IEEE Transactions on Magnetics**, v. 40, n. 1, p. 326 -331, 2004.

PAESLER, M. A. The Glass Computer. **The Physics Teacher**, v. 47, p. 80, 2009.

POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. **A aprendizagem e o ensino de Ciências**. Porto Alegre: ARTMED, 5. ed. 2009. p. 45.

WAGNER, J. E. Precessing computer hard drives. **The Physics Teacher**, v. 37, p. 281, 1999.

ZANETIC, J; MENEZES, L. C.; HOSOUME, Y. (Coord.) GREF: **Eletromagnetismo**. São Paulo: EDUSP, 1993.