

## DE MAGNETISMO PARA ELECTROMAGNETISMO: UMA BREVE HISTÓRIA.



*Thomas Gasche* (\*)  
*Professor*

### RESUMO

Apresenta-se uma breve história do desenvolvimento do nosso conhecimento e compreensão dos conceitos de magnetismo e electromagnetismo. Este artigo inicia-se com a primeira aplicação de magnetismo, a bússola, e segue o desenvolvimento teórico e tecnológico até às aplicações mais recentes, como o armazenamento de informação e as bombas electromagnéticas.

**Palavras Chave:** História da Ciência, Magnetismo, Electromagnetismo.

---

(\*) Professor do QPCE da Academia Militar, Director do Laboratório de Física, lecciona as cadeiras de N212 Electromagnetismo e Óptica, N213 Mecânica e Ondas e N214 Termodinâmica e Estrutura da Matéria. Investigador do CINAMIL e CFMC-UL. Desenvolve investigação na área de física computacional, com cálculos das propriedades magnéticas de materiais.

## INTRODUÇÃO

Suspeito que o leitor, ao ler as palavras "magnetismo" e "electromagnetismo", tenha ficado com algum receio, ou possivelmente até com pouca vontade para avançar na leitura deste artigo. Não é essa, porém, a intenção deste artigo. Apresenta-se aqui um esboço do desenvolvimento do nosso conhecimento dos fenómenos, causas e efeitos do magnetismo ao longo dos tempos e algumas das suas aplicações para o desenvolvimento da humanidade. A apresentação da Física destes efeitos será breve e, espero eu, não irá "assustar" os potenciais leitores. A nossa viagem pelo tempo iniciar-se-á com a Grécia e a China antiga. Iremos passar um intervalo de milhares de anos, mas seria errado pensar que o estudo de magnetismo seja antiquado. Mas não é verdade! Não há melhor maneira de ver a importância actual da Física de Magnetismo se não repetir a citação da Real Academia Sueca de Ciências, na sua nota sobre a atribuição do prémio Nobel de Física para o ano 2007 "atribuído aos Físicos Albert Fert (França) e Peter Grunberg (Alemanha) pela descoberta de magnetoresistência gigante: a base de armazenamento de dados em computadores modernos" (Nobel, 2008). O estudo de magnetismo é uma área com aplicações importantes para a nossa vida de hoje.

## OS PRIMEIROS CONCEITOS DE MAGNETISMO

A palavra magnetismo tem, em termos científicos, uma definição e uma interpretação bem definidas. Mas não é o único significado: de uma forma figurativa, o termo magnetismo refere-se à "influência de uma pessoa sobre uma outra", "poder de encantar": uma ilustração clara do facto que o termo magnetismo pertence não só à comunidade científica mas também à comunidade esotérica. Embora o foco deste artigo seja a área de uma ciência exacta, o início irá incidir sobre uma fase do desenvolvimento da humanidade quando ainda não estava bem definido o conceito duma "ciência exacta": as civilizações antigas da China e da Grécia.

Há mais de dois mil anos atrás, os Gregos antigos já conheciam as pedras "especiais" que tinham a capacidade de atrair ferro, sendo a primeira referência conhecida a do filósofo Tales no século VI a.C.<sup>1</sup> A composição desta pedra é

---

<sup>1</sup> Relatado por Aristóteles. Tales acreditou que o facto da pedra atrair ferro que tinha uma alma. A sua explicação estava mais esotérica que científica!

um óxido de ferro, o magnetite, e um dos locais onde se podia encontrar tais pedras era perto da cidade de Magnésia (cidade Grega na Ásia Menor, actual Turquia) - origem das palavras "magnético", "magnetismo", etc Há mais de dois mil anos atrás, os chineses também tinham conhecimento das propriedades desta "pedra especial", e descobriram que uma pedra "magnetizada" e pendurada por um fio tinha a tendência de apontar sempre ao longo da linha norte-sul. Tinham, portanto, desenvolvido a bússola! Registos das primeiras aplicações de magnetes são raros, mas é interessante reproduzir dois, um da China e outro da Grécia: No ano 1044 um livro Chinês (Gongliang et al, 1044) relata "Um general chinês orientou as suas tropas durante a marcha num dia de nevoeiro, utilizando para tal efeito uma "pedra especial".

Vários autores indicam que "Arquimedes propôs a utilização de um magnete (ímã) grande para atrair os pregos dos barcos inimigos, para assim os desfazer e portanto afundar!" Parece que a proposta de Arquimedes não foi posta em prática, mesmo assim pode-se constatar que não tardaram em aparecer as aplicações militares!

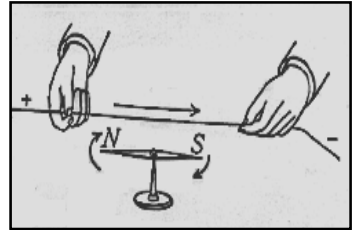
Embora a bússola tenha aparecido primeiro na China e só depois na Europa, a transferência desta tecnologia da China para Europa não tem sido comprovada. O primeiro registo escrito da bússola na Europa data de 1187 d.C. e antedata os primeiros registos muçulmanos em mais que 100 anos. Este facto, e o facto que a bússola europeia aponta para o pólo norte enquanto que a bússola Chinesa aponta para o pólo sul, dão força à opinião que o desenvolvimento da bússola na Europa não foi por transferência de tecnologia da China mas, sim, um desenvolvimento próprio, e paralelo, feito na Europa. Independentemente de qual foi a fonte da bússola europeia, a sua importância nas mãos dos navegadores é inquestionável. Sem a bússola, a descoberta do Brasil e as viagens de Vasco da Gama e de Fernão Magalhães não teriam sido possíveis.

## **O INÍCIO DO ESTUDO CIENTÍFICO DE MAGNETISMO: 1600 ATÉ 1860**

No ano 1600, o médico e cientista Inglês William Gilbert (1600), publicou o seu livro "De Magnete", um tratado sobre o estado de conhecimento de "magnetismo", figura 1.



do desenvolvimento destes equipamentos. Primeiro foi preciso que Isaac Newton, em 1687, demonstrasse que a força gravítica decresce em função do inverso da distância ao quadrado, cem anos mais tarde, em 1787, Coulomb demonstrou que a mesma lei se aplica também à força eléctrica, mais tarde ainda, concluiu-se a mesma relação para a força magnética. Concluiu-se que as três forças obedecem à mesma lei fundamental de variação em função da distância. No ano 1820, um cientista dinamarquês, Oersted, estava a demonstrar a passagem de uma corrente eléctrica por um fio quando observou que a corrente causou um desvio numa bússola, e assim obteve-se a primeira ligação entre a corrente eléctrica e o magnetismo, figura 2. Poucos anos depois, um cientista que tinha começado a sua vida como um rapaz de origens humildes e que foi inicialmente "técnico" de laboratório, desenvolveu esta ligação numa série de experiências fundamentais para o crescimento da sociedade moderna que conhecemos de hoje. O nome dele: Micheal Faraday.



**Figura 2** - A experiência de Oersted:  
A ligação entre a corrente eléctrica e o campo magnético.

Em 1822, Faraday, teve a ideia de "converter magnetismo em electricidade". Em 1824, montou um fio, pelo qual passava uma corrente, que girava ao redor de um íman. Era, na realidade, um motor eléctrico na sua forma mais simplificada, ele tinha conseguido converter energia eléctrica (corrente) em energia mecânica (movimento). Em 1831, demonstrou que a variação do campo magnético induz uma corrente eléctrica. Desenvolveu, com base neste efeito, o dínamo, que converte a energia mecânica de rotação em energia eléctrica: estava descoberta a "indução magnética". A propósito dessas descobertas no campo da indução magnética, consta que Gladstone, primeiro-ministro britânico, teria perguntado ao cientista:

- "-Senhor Faraday, isto tudo é interessante, mas qual é a sua utilidade?"

Ao que Faraday respondeu secamente:

- "-Talvez, senhor, esta descoberta dê lugar a uma grande indústria, da qual o senhor possa arrecadar impostos."

Coulomb, Gauss, Oersted, Henry e Faraday são os nomes de algumas pessoas que investigaram os fenómenos de electricidade, de magnetismo e das relações entre eles. Graças a estas pessoas foi possível dar início às aplicações de electricidade e de magnetismo na indústria e na vida do dia-a-dia. A ideia, e a aplicação, essencial para este desenvolvimento foi a indução

magnética, isto é a capacidade de converter energia mecânica em energia eléctrica (por exemplo, a produção de electricidade) e o oposto (por exemplo, motores eléctricos). Começaram, então, as primeiras aplicações tecnológicas de electromagnetismo:

- telégrafo (em 1846, o Reino Unido tinha 6500 km de rede telegráfica);
- primeira companhia de telefones, 1878, Inglaterra;
- geradores de corrente (inicialmente para iluminação) e centrais termoeléctricas (1882, Londres e Nova Iorque);
- motores eléctricos.

Verificou-se a passagem destas ideias, desenvolvidas em laboratórios escuros e longe da população em geral, para o mundo e para o serviço da humanidade.

### **MAXWELL: A UNIFICAÇÃO DO MAGNETISMO COM A ELECTRICIDADE: ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS**

Com base nas experiências dessas e de outras pessoas foram deduzidas equações que descrevem os vários efeitos das áreas de electricidade e de magnetismo. No ano 1873, o cientista escocês James Clark Maxwell (1831-1879) publicou o seu trabalho teórico que tinha desenvolvido na área de electricidade e magnetismo, um desenvolvimento e uma combinação das equações que descrevem os vários efeitos de electricidade e de magnetismo. Ao contrário dos trabalhos experimentais de Coulomb, Oersted, Faraday e muitos outros, o trabalho de Maxwell era um trabalho teórico. As equações deduzidas por Maxwell são fundamentais para o estudo moderno de electromagnetismo (ver por exemplo, Reitz et al). As quatro equações de Maxwell (no vazio) são <sup>4</sup>:

$$M 1 \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{E}(\vec{x}, t) = 0$$

$$M 2 \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{B}(\vec{x}, t) = 0$$

$$M 3 \quad \vec{\nabla} \times \vec{E}(\vec{x}, t) = - \frac{\partial \vec{B}(\vec{x}, t)}{\partial t}$$

$$M 4 \quad \vec{\nabla} \times \vec{B}(\vec{x}, t) = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}(\vec{x}, t)}{\partial t}$$

---

<sup>4</sup> No seu livro "Uma breve história do Tempo", Stephen Hawking escreveu que por cada equação que apareça, o número de leitores é dividido por dois. Mesmo assim, vou arriscar!

Sem aprofundar a análise destas equações, podemos constatar que "A uma variação no espaço do campo eléctrico corresponde uma variação no tempo do campo magnético" (3.<sup>a</sup> equação) e que "A uma variação no espaço do campo magnético corresponde uma variação no tempo do campo eléctrico" (4.<sup>a</sup> equação). Através duma análise destas quatro equações, e com manipulações das mesmas, Maxwell conseguiu demonstrar que o campo eléctrico, e o campo magnético, obedecem independentemente à equação de propagação de ondas, notou, ainda, que as ondas são acopladas, sendo impossível haver uma onda eléctrica sem a onda magnética correspondente, isto é, que existem ondas electromagnéticas. Mais, notou que a velocidade de propagação destas ondas é a velocidade de luz. Chegou-se, assim, à conclusão que a luz é uma onda electromagnética, e à previsão teórica que deve ser possível transmitir uma variação eléctrica/magnética através do espaço, na forma duma onda electromagnética. Pouco tempo depois, Heinrich Hertz (1887) verificou experimentalmente a previsão de Maxwell. Em 1895, Marconi começou a comercializar rádios, estava iniciada a época da onda electromagnética: ondas de rádio (e televisão); microondas; infra-vermelhos; luz visível; ultravioletas; raios-X; raios- $\gamma$ . As ondas electromagnéticas são, hoje em dia, os nossos "escravos" de transmissão de comunicação e de informação: rádio e televisão; telemóveis; G.P.S.; Fibra óptica.

## **A PISTA PERDIDA PARA A RELATIVIDADE**

Cientistas apressaram-se a analisar estas novas equações, as suas origens, interpretações e as implicações delas, e rapidamente chegaram a várias conclusões. Uma das conclusões, em particular, deixou muitos cientistas preocupados. Iremos, em seguida, analisar uma situação simples para perceber a preocupação dos cientistas.....

Consideremos dois irmãos gémeos e a força electromagnética entre duas cargas eléctricas. O primeiro irmão encontra-se de pé num laboratório, a estudar as duas cargas: a primeira carga produz um campo eléctrico, a segunda carga, colocada no campo eléctrico da primeira, sente uma força eléctrica. O primeiro irmão consegue medir esta força, ou seja, medir a aceleração resultante da partícula. Enquanto o primeiro irmão estiver a efectuar esta medida, o segundo entra a correr para dentro do laboratório. A posição das duas partículas, relativamente à posição do segundo irmão, varia: portanto no referencial do segundo irmão as duas cargas estão em movimento. Ora uma carga eléctrica em movimento produz não só um

campo eléctrico mas também um campo magnético. No referencial do segundo irmão, a primeira carga produz um campo eléctrico e um campo magnético. A segunda carga, em movimento no campo magnético produzido pela primeira carga, sente uma força magnética à qual se soma a força eléctrica entre as duas cargas. Os dois irmãos observam o mesmo acontecimento físico, mas não estão de acordo acerca da força total que actua sobre as partículas. Ora, a observação de um acontecimento deve ser independente do observador: não faz sentido ter dois observadores a analisarem o mesmo acontecimento e registarem valores diferentes para a aceleração da mesma partícula! Há portanto, um problema: a força electromagnética e as equações de Maxwell dependem do referencial, uma situação que não devia acontecer! Após análise, foram encontrados relações que permitem transformar a força electromagnética e as equações de Maxwell de um referencial para outro de uma forma invariante. Têm, no entanto, um inconveniente: resultam numa relação entre a distância e o tempo medido num referencial e a distância e o tempo medido num outro referencial, relação essa que depende da velocidade relativa dos referenciais e da velocidade de luz (Turner, 1984):

As equações Fitzgerald-Lorentz-Poisson:

$$x = \frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} (x - vt)$$

$$x = \frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \left( t - (vx / c^2) \right)$$

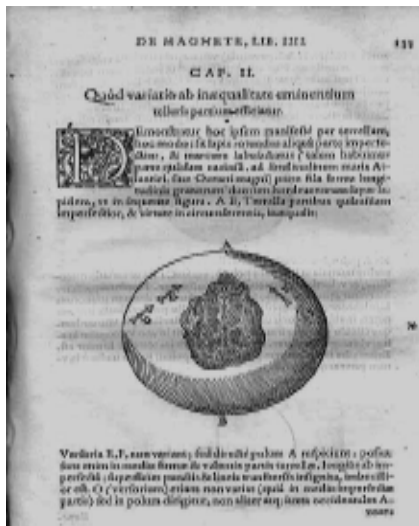
Mas qual é o significado Físico desta alteração de escala do espaço-tempo? Não foram capazes de explicar o verdadeiro significado físico destas equações, e foi preciso esperar que Einstein, em 1905, apresentasse a sua teoria de "Relatividade Restrita". Partindo dos postulados que, para qualquer observador, a velocidade da luz é constante, e que as Leis da Física têm que ser constantes em qualquer referencial, Albert Einstein chegou à conclusão que:

- a "mesma" distância, medida por dois observadores com velocidades diferentes, tem valores diferentes;
- o tempo medido num referencial não é o mesmo que o tempo medido num outro.

As equações que deduziu na sua análise são iguais às equações que foram propostas para manter invariância das equações de Maxwell. A grande diferença

entre Einstein e os cientistas anteriores é que foi ele, Einstein, que foi capaz de deduzir, justificar e interpretar a física atrás da relação espaço-tempo.

**O Magnetismo Terrestre e o Magnetoesfera.** O estudo do magnetismo iniciou-se, há mais de mil anos, com o reconhecimento que um íman, livre de rodar, alinha-se sempre ao longo do eixo magnético terrestre. No século XVI já era conhecido que, para além da declinação (a agulha aponta para "norte"), havia também uma inclinação, isto é, uma agulha livre não fica no plano horizontal mas sofre uma inclinação para baixo, apontando "para o interior" da terra<sup>5</sup>. Também já era conhecido que estes dois valores não são constantes mas que variam de lugar para lugar na superfície terrestre. Para explicar o funcionamento da bússola, Gilbert propôs que a própria Terra seria um ímã, que atraía a bússola, figura 3. Já era conhecido que a bússola não apontava exactamente para o pólo norte (como definido pelo eixo de rotação da terra). Os marinheiros observaram que este desvio dependia da localização do observador na Terra. Gilbert propôs que a zona de mar atrai menos que a zona de terra, provocando o desvio da bússola para o continente mais próximo.



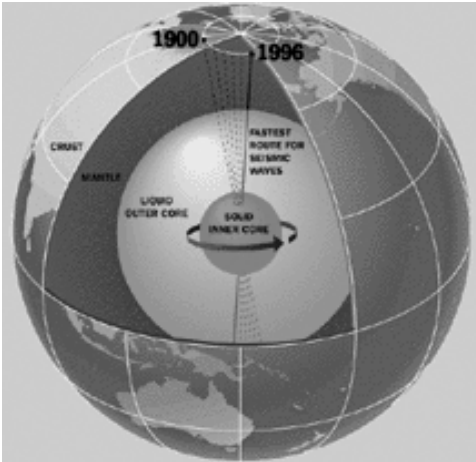
**Figura 3:** Página do livro "De Magnete", onde Gilbert propôs uma explicação para a declinação e inclinação do campo magnético terrestre.

<sup>5</sup> Nas bússolas utilizadas no hemisfério norte, a parte da agulha que aponta para sul é ligeiramente mais pesada que a parte que aponta para norte: servindo este equilíbrio na força gravítica para contrariar a parte da força magnética que aponta "para baixo", para dentro da Terra.

Foi uma proposta inteligente mas levantou uma dúvida ainda mais complicada, porquê é que a terra tem um campo magnético? Notou-se muito cedo a (quase) coincidência do eixo do campo magnético com o eixo de rotação da Terra. Cientistas interrogaram-se sobre estas coincidência:

- a Terra roda porque é magnética?
- ou
- a Terra é magnética porque roda?

Antes de conseguirem responder a esta pergunta, estudos paleontológicos complicaram ainda mais a questão: descobriu-se que no centro do Atlântico existe uma zona de alargamento no fundo do mar onde uma rocha nova nasce em forma de lava, para depois solidificar. A magnetização da rocha solidificada é uma indicação do campo magnético existente na altura da sua formação. O perfil da magnetização destas rochas representa "inversões" no sentido da sua magnetização. Conclusão: o campo magnético terrestre tem sofrido "inversões" (trocando o pólo magnético norte com o pólo magnético sul). No início do século XX, Einstein considerava que a origem do campo magnético terrestre era um dos problemas fundamentais da física ainda não resolvidos. A resolução deste enigma tinha de ser encontrado no estudo do núcleo da Terra. O centro da Terra é composto por um núcleo de ferro: sob a pressão elevadíssima que existe no centro da terra, o ferro ocupa estruturas cristalinas diferentes daquelas que ocupa a superfície da terra a pressões e temperaturas "normais", no entanto, nenhuma delas é capaz de suportar uma solução magnética às elevadas temperaturas que se encontra no centro da Terra. A conclusão é que o núcleo sólido de ferro não pode ser responsável pelo magnetismo da Terra! Mas o núcleo externo da Terra é composto por ferro no estado líquido, um estado que não consegue manter um campo magnético próprio mas que é um bom condutor de electricidade. Foi proposto que a combinação da rotação da terra com os fluxos de convecção dentro do ferro líquido seriam o suficiente para manter correntes eléctricas a fluírem no núcleo, cujo resultado seria a produção do campo magnético terrestre. (Lembram-se da experiência de Oersted?) Embora a Física seja bem conhecida (uma combinação de termodinâmica, mecânica e electromagnetismo), a resolução do problema para o sistema real do núcleo da Terra é, de facto, extremamente complicada. Cálculos recentes demonstram que este modelo proposto é plausível como sendo a fonte do campo magnético terrestre. Os cálculos reproduzem não só o campo magnético terrestre mas também as "inversões" no sentido do mesmo, como se observa na figura 4 (Takahashi, 2005).



**Figura 4:** A Terra, mostrando o seu núcleo sólido (interno) e líquido (externo). Note a alteração na localização do pólo norte magnético.

O mesmo mecanismo que produz o campo magnético terrestre - rotação de um núcleo não sólido - é também responsável pelos campos magnéticos produzidos pelos planetas Júpiter, Saturno, Urânio e Neptuno: o de Júpiter é 20.000 vezes mais forte que o campo magnético terrestre! Para além destes quatro gigantes, deve-se incluir o próprio centro do nosso sistema solar; o sol também produz o seu próprio campo magnético. Os planetas mais pequenos, Mercúrio, Vénus, Marte e a nossa própria Lua não têm qualquer campo magnético, facto que é interpretado como comprovativo da ausência de um núcleo líquido nestes astros. O satélite "Mars Global Surveyor" registou áreas de rocha magnetizada que aparentemente formam "faixas magnéticas", no mesmo padrão que as faixas magnéticas observadas no fundo do oceano atlântico. Astrónomos concluíram que, na altura da formação destas rochas, Marte tinha um campo magnético cuja orientação ia-se "invertendo" ao longo do tempo. Tal como a Terra ainda tem, Marte tinha um campo magnético variável, que no entanto já deixou de existir, provavelmente com a solidificação do seu núcleo. (Mars Global Surveyor, 2008)

O campo magnético terrestre, essencial para o funcionamento da bússola, tem um papel ainda mais importante: funciona como um escudo "magnético" que protege a atmosfera e a própria vida na Terra.

O sol emite partículas carregadas e radiação electromagnética, que incidem sobre a Terra. O campo magnético terrestre estende-se para além da atmosfera terrestre e mantém estas partículas carregadas afastadas da Terra pelo campo magnético

terrestre. Ao incidirem sobre a terra, os raios-X e os raios ultravioletas emitidos pelo sol têm o efeito de ionizar moléculas presentes na atmosfera, produzindo iões (átomos com um défice de electrões e portanto uma carga positiva) e electrões livres. Todas estas partículas carregadas têm uma tendência de seguir as linhas do campo magnético, isto é, são levadas para perto do pólo norte (sul) onde "caem". A queda destas partículas, previamente aceleradas pelo campo magnético, dá origem a muitas colisões com outros átomos na atmosfera, que estão excitados e, em resposta, emitem luz de várias cores num espectáculo que, desde a sua primeira observação com a chegada dos primeiros recolhedores-caçadores no norte de Europa, tem fascinado o homem: a Aurora Borealis (Latim: Alvorada no Norte) e a Aurora Australis (Alvorada no Sul). A beleza e a calma deste espectáculo é muito melhor transmitido por imagens do que por palavras (Aurora Borealis, 2008).

No dia 9 de Julho de 1962, com o intuito de inserir um número elevado de partículas carregadas na magnetosfera, fez-se explodir uma bomba de hidrogénio a uma altura de 400km sobre o Pacífico. A explosão teve o efeito esperado, produzindo uma aurora que foi vista pelos habitantes das ilhas de Havai, a uma distância de 1500km da explosão. As ilhas de Havai, explodiram lâmpadas, avariaram-se rádios, televisores e linhas de transmissão de energia. Três satélites artificiais deixaram de funcionar, depois de algumas semanas o número tinha aumentado para sete (um terço do número total de satélites em órbita!) (Impulso Electromagnético, 2006). A explosão da bomba de hidrogénio produziu um impulso electromagnético (E.M.P.), de curta duração mas de intensidade elevada. Pode-se chamar a este impulso uma "onda de choque electromagnética": este impulso electromagnético corresponde a uma variação rápida nos valores do campo eléctrico e do campo magnético, e induz uma corrente elevada em qualquer material condutor. A electrónica funciona com potenciais e correntes baixas, uma corrente elevada tem o efeito de "queimar" os elementos, explicando assim os danos causados pela detonação da bomba de hidrogénio. Consequentemente, estudaram-se a causa e as implicações militares deste efeito. Rapidamente, aperceberam-se que uma bomba de hidrogénio, detonada alto sobre o centro dos Estados Unidos da América, danificaria aparelhos electrónicos no país inteiro. Com o desenvolvimento e a aplicação de transístores cada vez mais baratos, a electrónica tem ocupado um papel cada vez mais importante no dia-a-dia da sociedade. No ano 1962, os danos causados pelas falhas de equipamento electrónico foram mínimas: passado 48 anos a situação é bem diferente e o autor desafia o leitor para tentar identificar qualquer parte da vida actual que não seja dependente de electrónica! Com base nos riscos crescentes de ocorrer um ataque

com um E.M.P. massivo, as forças militares têm vindo a preocupar-se com a protecção das suas instalações de controlo. A ideia mais simples é a utilização duma "gaiola de Faraday", que isola todos os elementos no seu interior de qualquer campo electromagnético do exterior. A ideia é correcta, e funciona, mas só no caso dos elementos estarem completamente isolados do exterior. Um centro de comando e de controlo tem de ter comunicações com o exterior, no caso de um ataque por meio dum E.M.P. as ligações para o exterior (e os próprios cabos de alimentação) poderiam funcionar como portas de entrada para dentro da gaiola.

O potencial para devastar equipamento electrónico foi analisado primeiro com base na capacidade de bombas nucleares, mas não é exclusivamente um efeito destas bombas. É fácil encontrar na Internet muita informação acerca dos conceitos básicos da construção de aparelhos E.M.P. não nucleares (Bomba E.M.P., 2008):

- geradores de impulsos intensos (microondas);
- aparelhos com explosivos, onde o explosivo serve para comprimir uma parte do aparelho, dando origem a uma variação rápida duma corrente e a produção resultante de um E.M.P.. Estimativas do preço da produção de um aparelho rondam as centenas ou os milhares de euros. Um aparelho ou uma bomba não nuclear é capaz de destruir electrónica num raio de centenas de metros. E quem poderia utilizar esta arma?
- intervenções militares táticas;
- ataques terroristas. O electromagnetismo, no qual se baseia a nossa tecnologia moderna, também pode ser utilizado para a destruir!

## CONCLUSÕES

A vida que vivemos hoje só é possível graças à nossa capacidade de utilizar o magnetismo, e o electromagnetismo, para a nossa vantagem. A produção de energia eléctrica, a sua conversão em trabalho mecânico, as telecomunicações e a capacidade de armazenar Gb (gigabyte) de informação, são todos exemplos desta utilização.

Da bússola às telecomunicações e à informática mais moderna, a tecnologia tem acompanhado cada passo dos desenvolvimentos científicos; das primeiras ideias às aplicações mais recentes, na guerra e na paz, o magnetismo e as ondas electromagnéticas têm estado, e estão, connosco.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AURORA BOREALIS (2008). Internet: [www.youtube.com](http://www.youtube.com); <http://www.youtube.com/watch?v=qIXs6Sh0DKs> e <http://www.youtube.com/watch?v=icugqEEOgkg>, consultado em 24 de Março.
- BOMBA EMP (2008). Internet: [http://www.greenspun.com/bboard/q-and-a-fetch-msg.tcl?msg\\_id=006UR6](http://www.greenspun.com/bboard/q-and-a-fetch-msg.tcl?msg_id=006UR6), consultado em 28 de Março.
- GONGLIANG et. al. (1044). Wujing Zongyao: Conjunto de técnicas militares importantes, Internet: <http://en.wikipedia.org/wiki/Compass>, consultado em 24 de Março.
- GILBERT, William (1600). De Magnete, Londres, Tradução MOTTELAY, FLEURY (1958), Dover, New York.
- HAWKING, Stephen (2000), Uma breve história do Tempo, Gradiva, Lisboa.
- IMPULSO ELECTROMAGNÉTICO (2006). Internet: <http://www.usace.army.mil/publications/eng-pamphlets/ep1110-3-2/toc.htm> e <http://glasstone.blogspot.com/2006/03/emp-radiation-from-nuclear-space.html>, consultado em 24 de Março de 2008.
- MARS GLOBAL SURVEYER (2008). Internet: <http://mars.jpl.nasa.gov/science/geology/> e [http://www.nasa.gov/externalflash/mgs\\_gallery/index\\_noaccess.html](http://www.nasa.gov/externalflash/mgs_gallery/index_noaccess.html), consultado em 24 de Março.
- NOBEL (2008). Internet: [www.nobelprize.org](http://www.nobelprize.org), consultado em 24 de Março.
- REITZ et al (1993), Foundations of Electromagnetic Theory, Addison Wesley, E.U.A.
- TAKAHASHI et al (2005). in Science, 309, 15 Julho, p. 459-461.
- TURNER, R.E. (1984). Relativity Physics, Routledge Kegan Paul, Inglaterra.