

**DESENVOLVIMENTO DE SENSOR DE CORRENTE ELÉTRICA AUTÔNOMO
PARA MONITORAMENTO DE EVENTOS DE CLIMA ESPACIAL EM
SISTEMAS TECNOLÓGICOS ATERRADOS**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Sandro Vianna Lobão (Unifesp, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: svlobao@bol.com.br

Lívia Ribeiro Alves (CEA/DGE/INPE, Orientadora)
E-mail: livia.alves@inpe.br

Julho de 2015

Resumo:

Este projeto desenvolveu-se sob o almejo de construir um sensor capaz de medir correntes geomagneticamente induzidas em sistemas aterrados. Deste modo, neste relatório contém a motivação para a execução do projeto, bem como a descrição das atividades realizadas.

Ao longo do texto, será descrito alguns conceitos chaves na ciência do clima espacial para que se construa o conhecimento básico envolvido no trabalho.

O bolsista ficou responsável por estudar aspectos do Clima Espacial, Programação e Eletrônica a fim de se botar em funcionamento o sensor citado anteriormente. Para isso, dispôs da biblioteca do INPE para revisão bibliográfica, encontros semanais com sua orientadora e artigos em sites relevantes na internet.

Objetivos Específicos:

A bolsa foi implementada a fim de que o bolsista adquirisse formação na área de engenharia voltada para ciências espaciais. Consequentemente, foi proposta o desenvolvimento de um sensor de Efeito Hall que atuasse na medição de grandezas de interesse da ciência do Clima Espacial, especificamente as *GICs* – do inglês “*Geomagnetically Induced Currents*”, ou “Correntes Geomagneticamente Induzidas” - em sistemas aterrados.

O dispositivo responsável pelas medições seria, então, desenvolvido com a associação de uma placa microcontroladora à um sensor de Efeito Hall.

Assim, é possível obter um aparelho capaz de monitorar eventos de Clima Espacial.

Sumário:

1. Introdução
2. Embasamento teórico e Metodologia
3. Conclusão
4. Bibliografia

1. Introdução:

Historicamente, a humanidade não foi capaz de rapidamente compreender o quão hostil o meio ambiente espacial pode ser. As primeiras tentativas foram realizadas por meio de estudos do intenso fluxo de partículas carregadas no meio espacial – prótons, elétrons de alta energia etc. A imediata conclusão foi a de que a exposição a este tipo de ambiente era não só altamente nocivo a seres humanos, como detinha alta capacidade de avariar eventuais sistemas eletrônicos enviados ao espaço.

De uma forma ou de outra, os cientistas almejavam obter conhecimento acerca do local no qual está nosso Planeta. As primeiras espaçonaves que tentaram desbravar o ambiente espacial tiveram seus sistemas comprometidos pela radiação e, em questão de meses, já não era mais possível sua comunicação com computadores na Terra. A fim de se evitar os já prejuízos experimentados, foram desenvolvidas técnicas capazes de blindar tanto o corpo humano, quanto toda aparelhagem em missão.

No que diz respeito à blindagem eletrônica, foram desenvolvidos mecanismos de proteção a – principalmente – seu sistema de inteligência e comunicação, garantindo com que as missões não sofressem mais com os efeitos do fluxo de partículas. O envio de satélites proporcionaram um grande avanço na observação de efeitos interplanetários, o que proporcionou evolução do conhecimento sobre os mais variados aspectos do clima espacial.

Com relação ao estudo do campo geomagnético, William Gilbert, foi o pioneiro em supor o arranjo do Campo Geomagnético como sendo dipolar – algo próximo ao esperado de um ímã de barra de ferro – em seu principal trabalho, “*De Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure*”, publicado em 1600. Neste trabalho, é descrito muitos de seus experimentos com seu modelo de Terra chamado *Terrela*, a partir dos quais

concluiu que a Terra seria magnética por si só. Gilbert também foi o primeiro a argumentar corretamente que o centro do Planeta Terra seria constituído de ferro. A Figura 1 mostra seu modelo *Terrela*:

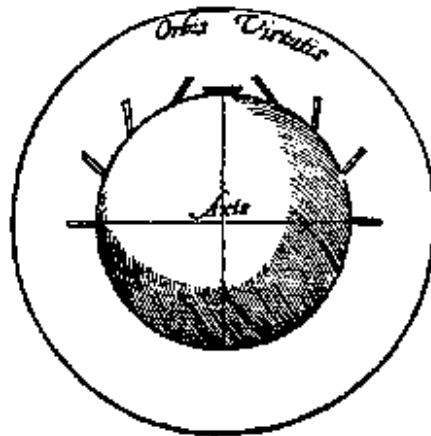


Figura 1: *Terrela* de Gilbert,
<http://pwg.gsfc.nasa.gov/earthmag/DMGRev2.htm>.

Sem dúvidas foi um trabalho genial, levando-se em conta a precisão alcançada com seu modelo com as ferramentas e conhecimento disponível na época. A Figura 2 ilustra seu modelo a respeito da declinação magnética em diferentes regiões da Terra:

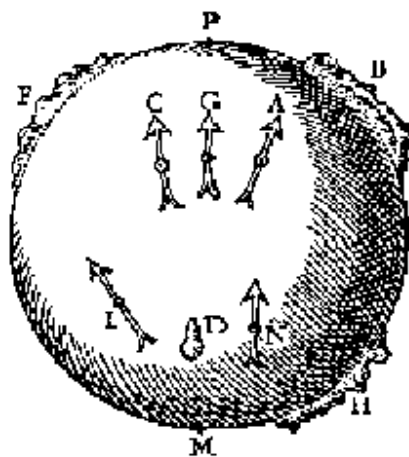


Figura 2: Ilustração do *De Magnete*: a declinação magnética em diferentes regiões do Planeta;
(<http://plato.if.usp.br/1-2003/fmt0405d/apostila/renasc7/node8.html>)

De fato, mesmo hoje, um cientista munido de uma bússola que viajasse sobre a superfície terrestre, provavelmente inferiria algum arranjo semelhante, vide que para as proximidades do solo terrestre o modelo Gilbertiano constitui em uma boa aproximação. Contudo, o modelo aceito hoje pela comunidade acadêmica trata o campo geomagnético como a região de atuação da Magnetosfera, que na região diurna atinge uma distância com relação ao centro da Terra de cerca de 10 raios terrestres e na porção noturna, em torno, de 60 raios terrestres.

2. Embasamento Teórico e Metodologia

Nos primeiros meses de vigência do projeto, o bolsista ficou encarregado de adquirir conhecimento nas áreas: Princípios de transmissão de ondas de rádio; Aspectos gerais do Clima Espacial; Ionosfera e sua relação com a propagação de ondas de rádio e variações de Campo Magnético. Tais tópicos foram introduzidos e de fundamental importância para que fosse compreendido o processo de geração das Correntes Geomagneticamente induzidas.

De modo geral, as Correntes Geomagneticamente Induzidas são geradas por meio de uma cadeia de eventos: a emissão de matéria por parte do Sol choca-se com o Campo Magnético da Terra de modo que sua componente H sofre variação. Esta variação de campo cria um potencial em solo terrestre que resulta na geração de uma Corrente Geomagneticamente induzida. Estas correntes percorrem os valores de menor resistividade do solo.

É de grande importância que o responsável por empregar tecnologias aterradas entenda esse efeito, uma vez que tais correntes podem danificar o sistema eletrônico – desde uma pequena avaria, à perda irreparável do elemento.

Para ilustrar a situação, pode-se imaginar um engenheiro responsável pela instalação de um sensor de corrosão num gasoduto. Este deve conhecer muito bem o efeito de *GIC* a fim de que se evite prejuízos no que diz respeito à parte financeira ou no tempo gasto inutilmente para o emprego da tecnologia.

A fim de que se compreendesse melhor os efeitos de *GIC*, também foi proposto um aprendizado introdutório sobre a Magnetosfera terrestre. Desde que é o choque deste ambiente com a matéria ejetada pelo Sol o que causa as *GIC*, avaliou-se de relevante a compreensão das propriedades da Magnetosfera e as estruturas que contém.

Brevemente, a Magnetosfera terrestre é uma estrutura complexa constituída de duas regiões com diferentes propriedades físicas:

1. Magnetopausa: Região que delimita a porção do espaço que sofre ação do campo geomagnético. Na região diurna a forma da magnetosfera é achatada se devido a presença do vento solar. Na região noturna, a magnetosfera é alongada;
2. Magnetosfera Externa: constituída por Plasmas solar e terrestre, região em que a intensidade do campo geomagnético é menor. Essa região não rotacional junto com a Terra;
3. Magnetosfera Interna: região com maior concentração de linhas de campo que aprisionam plasma e co-rotaciona com a Terra.

O Campo Geomagnético varia em intensidade próximo à superfície de $\sim 0,25\text{G}$ a $\sim 0,65\text{G}$ (ou $\sim 25.000\text{ nT}$ a $\sim 65.000\text{ nT}$ em SI). Tais intensidades são respectivas às proximidades do equador terrestre e aos pólos geográficos.

O Eixo de Rotação da Terra possui aproximadamente $23,5^\circ$ em relação à componente vertical do Campo Magnético da Terra – precisamente $23^\circ 26' 21''$ no ano de 2000, segundo o INPE. (http://www.das.inpe.br/ciaa/cd/HTML/dia_a_dia/1_5_3.htm).

A seguir, veja as Figuras 3 e 4, as quais esquematizam a Magnetosfera terrestre:

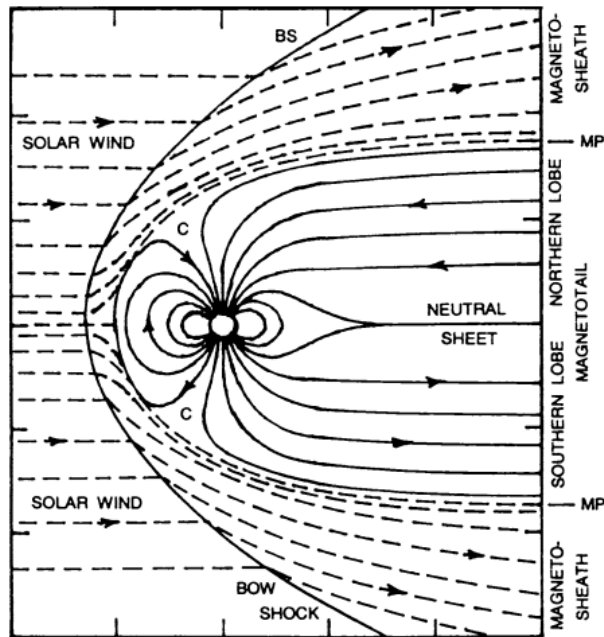


Figura 3: Esquematização 2D da Magnetosfera terrestre; parte posterior. (Handbook of Solar-Terrestrial Environment, Yohsuke Kamide e Abraham C. -L. Chian).

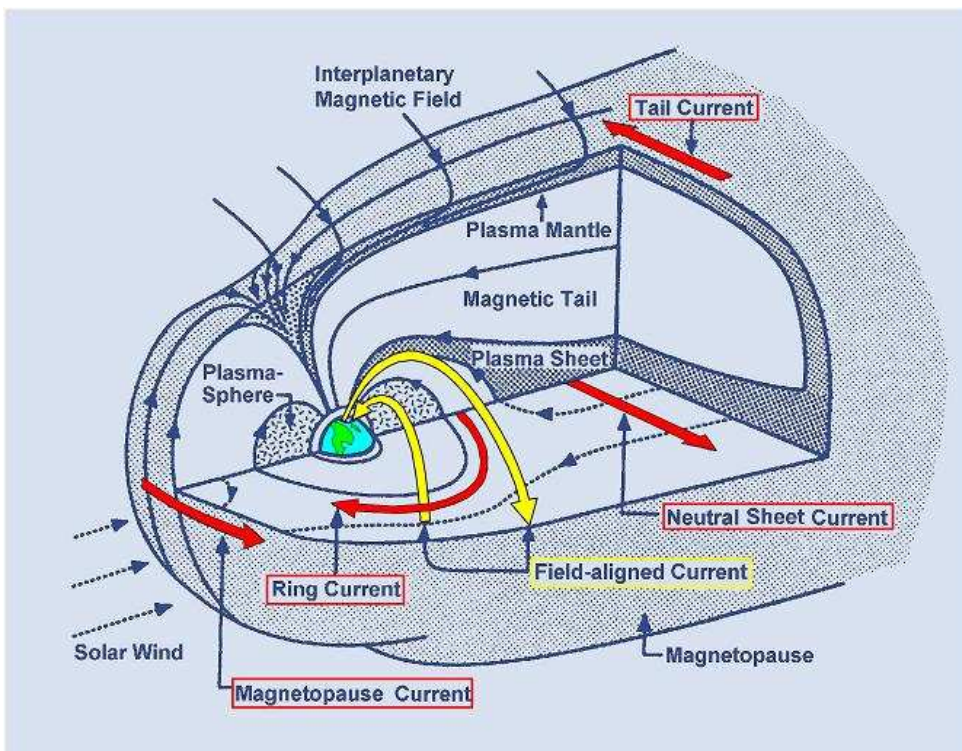


Figura 4: Representação das principais correntes Magnetosféricas; (https://perswww.kuleuven.be/~u0052182/weather/les2/magnetosphere_s.jpg)

Posteriormente, foram estudados tópicos em programação a fim de que se obtivesse as habilidades necessárias para empregar um sistema de controle autônomo ao sensor. Deste modo, o dispositivo seria capaz de realizar as medidas e guardar os dados sem intervenção humana, permitindo o aumento do número de informações significantes obtidas para estudos de eventos interplanetários.

A última etapa do projeto constituiu-se da aprendizagem de manuseio da placa microcontroladora usada – Arduino UNO -, e de sua associação com o Sensor Hall – KY-003 – por meio de soldagem.

Os primeiros testes foram voltados a verificar o funcionamento da placa. Todas as portas digitais, analógicas, e de aterramento e fontes estavam funcionando corretamente.

Nas semanas seguintes, engenhou-se um sistema a fim de que se detectasse a menor intensidade de campo magnético que o sensor pudesse captar. Para isso, foram utilizados os materiais:

- Ferro de solda
- Fita isolante
- Bateria
- Tachinhas
- Resistores
- Multímetro
- Fio de cobre
- Cabo USB

O ferro de solda, como já mencionado anteriormente, serviu para que soldasse o sensor na placa Arduino a fim de que a mesma o oferecesse uma fonte de voltagem. Conseqüentemente, montou-se um circuito elétrico simples com a bateria, o fio de cobre, a fita isolante e as tachinhas, para que fosse percorrida uma corrente elétrica no condutor e fosse induzido um campo magnético no sensor, posicionado a uma distância R da região central do fio.

Para calcular a intensidade do campo magnético penetrando o sensor, utilizou-se da Lei de Biot-Savart, da maneira como mostra a Figura 5 a seguir:

○ Tachinhas

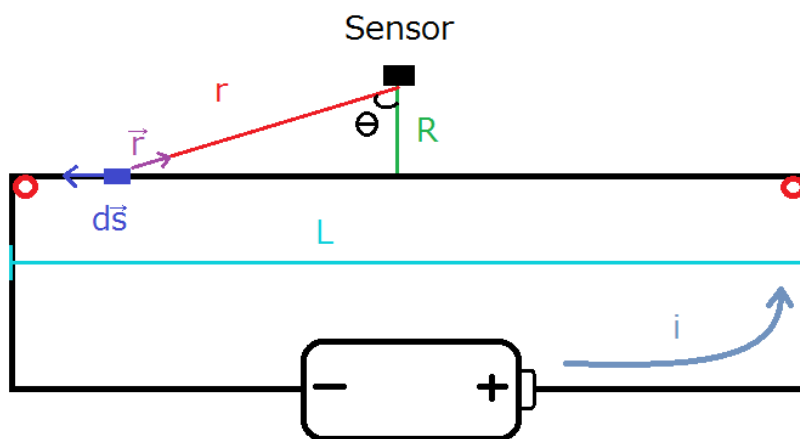


Figura 5: Sistema utilizado para o cálculo de intensidade de Campo Magnético no sensor.

Sabemos que a Lei de Biot-Savart é:

$$dB = (\mu_0/4.\pi) . [(I . ds \times r) / r^2]$$

Assim, temos:

$$B = (\mu_0 \cdot I / 4 \cdot \pi) \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \text{sen}(\theta) ds / r^2$$

Contudo, ao observarmos com atenção a figura 5, vemos que:

- $r^2 = s^2 + R^2$
- $\text{sen}(\theta) = s / r = s / (s^2 + R^2)^{1/2}$

Temos também que observar que há uma simetria no fio. No ponto médio da parte do fio que está influenciando significativamente o sensor, podemos fazer duas vezes a integral da metade desta parte até a borda, resultando em:

$$B = (\mu_0 \cdot I / 2 \cdot \pi) \cdot \int_0^{L/2} \text{sen}(\theta) ds / r^2$$

$$B = (\mu_0 \cdot I / 2 \cdot \pi) \cdot \int_0^{L/2} s / (s^2 + R^2)^{1.5} ds$$

Resolvendo esta última integral:

$$B = (\mu_0 \cdot I / 2 \cdot \pi \cdot R) \cdot [s^2 / (s^2 + R^2)^{0.5}], \text{ nos limites } 0 \text{ a } L/2$$

Logo,

$$B = (\mu_0 \cdot I / 2 \cdot \pi \cdot R) \cdot [(L/2)^2 / ((L/2)^2 + R^2)^{0.5}]$$

Como a ordem de grandeza do sensor é muito menor do que a do fio, poderíamos utilizar apenas a primeira parte da equação – referente a $B = (\mu_0 \cdot I / 2 \cdot \pi \cdot R)$ –, uma vez que nos limites de 0 a ∞ , a parcela resultaria em $[1 - 0] = 1$, sobrando somente, então, $(\mu_0 \cdot I / 2 \cdot \pi \cdot R)$.

3. Conclusão:

O bolsista obteve a habilidade de descrever e compreender aspectos gerais do Clima Espacial e tornou-se apto a engenhar sistemas eletrônicos simples para o emprego do sensor de efeito hall. O sistema placa microcontroladora-sensor funciona dentro do esperado. Assim, o sensor encontra-se apto a entrar em campo e realizar todo o monitoramento de eventos de Clima Espacial a fim de que se reúnam dados significantes para futuras pesquisas.

4. Bibliografia

Roller, Duane H. D. The De Magnete of William Gilbert. Amsterdam, 1959

Gilbert, William. De Magnete. Book 6, Ch. 6,7.

Handbook of Solar-Terrestrial Environment, Yohsuke Kamide e Abraham C. -L. Chian

Plato – Páginas das disciplinas, William Gilbert (1540-1603) <<http://plato.if.usp.br/1-2003/fmt0405d/apostila/renasc7/node8.html>> Acesso em 15/07 às 02:10>