

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Relatório Final de Atividades



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTAS CIENTÍFICO-
COMPUTACIONAIS BASEADAS EM DADOS DE MAGNETÔMETROS
PARA APLICAÇÃO NO MONITORAMENTO E PREVISÃO DO CLIMA
ESPACIAL**

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

(PIBIC/CNPq/INPE)

Sony Su Chen (UNITAU, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: sony.chen@dae.inpe.br

Dr. Clezio Marcos De Nardin (DAE/INPE, Orientador)

E-mail: clezio.denardin@inpe.br

COLABORADORES

Laysa Cristina Araújo Resende (DAE/INPE, Doutoranda)

Juliano Moro (DAE/INPE, Doutorando)

Julho de 2013

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Relatório Final de Atividades

Dados de Identificação

Bolsista:

Sony Su Chen

Curso: 3º ano de Engenharia Elétrica e Eletrônica

UNITAU: Universidade de Taubaté

Orientador:

Dr. Clezio Marcos De Nardin

Divisão de Aeronomia - DAE/CEA/INPE – /MCTI

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCTI

São José dos Campos – SP

Local de Trabalho/Execução do Projeto:

O projeto foi desenvolvido na Divisão de Aeronomia (DAE) da Área de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), sob a orientação do Dr. Clezio Marcos De Nardin, pesquisador da divisão.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Relatório Final de Atividades

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Relatório Final de Atividades

*“Não seja escravo do seu passado. Mergulhe em mares grandiosos,
vá bem fundo e nade até bem longe, e voltarás com respeito por si mesmo,
com um novo vigor, com uma experiência a mais que explicará e superará a anterior”
Ralph Waldo Emerson*

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Relatório Final de Atividades

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Relatório Final de Atividades

*Aos meus pais,
Mei Yu Jin Chen
e Chen Rong Kui,
e ao meu orientador
Dr. Clezio Marcos De Nardin.*

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Relatório Final de Atividades

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, gostaria de agradecer à minha família pelo suporte e apoio que me deram ao longo desta etapa, em especial à minha mãe Mei Yu Jin Chen, ao meu pai Chen Rong Kui e, aos meus irmãos.

Em seguida, gostaria de agradecer ao meu orientado Dr. Clezio M. De Nardin pela oportunidade de iniciar a carreira científica. Também agradeço a ele pelos seus conselhos e ensinamentos, não só como orientador, mas também como um grande amigo. Agradeço também à sua esposa, Alice Altíssimo, pelo apoio à realização deste trabalho.

Também gostaria de agradecer aos amigos e companheiros de equipe que me ajudaram e contribuíram para a realização deste trabalho. Em especial à Laysa C. A. Resende, Juliano Moro, Ricardo R. Paes, Paulo A. B. Nogueira, Cláudia V. Ely, Vitor C. F. Gomes, Wagner S. C. Borges e ao Francisco P. V. Mesquita.

Deixo também meus agradecimentos ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE/MCTI) pela oportunidade de estudos e utilização de suas instalações e, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro, processo nº 136457/2012-6, projeto nº 800042/2012-3.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	16
1.1	Introdução.....	16
1.2	Objetivo Científico.....	17
2	IONOSFERA E ÍNDICES GEOMAGNÉTICOS ASSOCIADOS À ATIVIDADE SOLAR.	18
2.1	Ionosfera terrestre e suas as correntes elétricas.....	18
2.1.1	As regiões Ionosféricas.....	20
2.1.1.1	Região D.....	20
2.1.1.2	Região E.....	21
2.1.1.3	Região F.....	21
2.1.2	Condutividade Ionosférica.....	22
2.1.3	Eletrojato Equatorial.....	24
2.1.4	Eletrojato Auroral.....	25
2.2	Índices Magnéticos.....	27
2.2.1	Índice Kp.....	27
2.2.2	Índice Dst.....	30
3	INSTRUMENTAÇÃO PARA MEDIDAS GEOMAGNÉTICAS.....	32
3.1	Tipos de Magnetômetros e seus princípios de funcionamento.....	32
3.1.1	Magnetômetro Fluxgate.....	32
3.2	Dados dos magnetômetros fluxgate da Rede Embrace/INPE.....	34
3.3	Especificação do magnetômetro e o seu procedimento de instalação.....	36
3.4	Procedimento inicial de instalação.....	39
3.4.1	Construção da base do sensor:.....	39
3.4.2	Cobertura de proteção da base:.....	39
3.4.3	Construção de uma trincheira para o cabo do sensor:.....	39
3.4.4	Instalação do sensor:.....	40
3.4.5	Materiais necessários:.....	40
3.4.6	Instalação da unidade de controle.....	40

3.5	Ajustes finais do procedimento de instalação	41
3.5.1	Nivelamento e orientação do sensor.....	41
3.5.2	Cancelamento das componentes do campo geomagnético (X,Y,Z).....	41
3.5.2.1	Cancelamento da componente Y do campo.	41
3.5.2.2	Cancelamento das componentes X e Z do campo:.....	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.1	Índice de correlação linear entre a variação da componente horizontal medida pelos magnetômetros da Rede Embrace e o Índice Dst	43
5	ATIVIDADES REALIZADAS	59
5.1	Seminário de Iniciação Científica e Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (SICINPE).....	59
5.2	IV Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia (SBGEA)	59
5.3	XXIV Salão de Iniciação Científica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).....	60
5.4	American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting 2012.....	61
6	CONCLUSÕES	68

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

Figura 2.1 – Esquematização da ionosfera terrestre (à direita) e o perfil diurno da densidade eletrônica da ionosfera (à esquerda).	19
Figura 2.2 – Perfil da ionosfera mostrando suas camadas de acordo com a altura e baseada na distribuição vertical de densidade eletrônica.....	20
Figura 2.3 – Perfis verticais das condutividades longitudinal (σ_0), Pedersen (σ_1) e Hall (σ_2).....	23
Figura 2.4 – Esquematização do sentido da corrente do sistema de Sq e do eletrojato equatorial.	23
Figura 2.5 – Densidades da corrente do eletrojato equatorial de 2600 passagens do satélite CHAMP sobre o equador magnético entre 11 e 13 LT.....	24
Figura 2.6 – Ilustração da formação de corrente do EEJ.	25
Figura 2.7 – Representação dos Sistemas de correntes elétricas, dentre elas, o eletrojato auroral ao centro da figura.....	26
Figura 2.8 – Sistemas de correntes que circulam na magnetosfera terrestre.....	26
Figura 2.9 – Elementos lineares e angulares do campo magnético terrestre.	27
Figura 2.10 – Índice Dst entre 16 e 22 de outubro de 1998.....	30
Figura 3.1 – Representação da variação do fluxo magnético da bobina simples de um sensor fluxgate.	33
Figura 3.2 – Exemplo de dados brutos do magnetômetro.....	34
Figura 3.3 – Exemplo de dados de voltagem.....	35
Figura 3.4 – Exemplo de dados magnéticos.....	35
Figura 3.5 – Ilustração das diversas telas de visualização de dados.....	36
Figura 3.6 – Exemplo de sensor <i>fluxgate</i> observado.....	37
Figura 3.7 – Painel frontal da unidade de controle e aquisição de dados.....	37
Figura 4.1 – Dados da tempestade geomagnética ocorrida no dia 5 de agosto de 2011.	45

Figura 4.2 – Correlação linear entre os dados do índice Dst e o δH da estação de CXP durante a tempestade geomagnética ocorrida no dia 5 de agosto de 2011.	46
Figura 4.3 – Dados da tempestade geomagnética ocorrida no dia 8 de março de 2012.	47
Figura 4.4 – Correlação linear entre os dados do índice Dst e o δH da estação de CXP durante a tempestade geomagnética ocorrida no dia 8 de março de 2012.	47
Figura 4.5 – Correlação linear entre os dados do índice Dst e o δH da estação de EUS durante a tempestade geomagnética ocorrida no dia 8 de março de 2012.	48
Figura 4.6 – Correlação linear entre os dados do índice Dst e o δH da estação de SLZ durante a tempestade geomagnética ocorrida no dia 8 de março de 2012.	48
Figura 4.7 – Dados da tempestade geomagnética ocorrida no dia 14 de Julho de 2012.	49
Figura 4.8 – Correlação linear entre os dados do índice Dst e o δH da estação de CXP durante a tempestade geomagnética ocorrida no dia 14 de Julho de 2012.	50
Figura 4.9 – Correlação linear entre os dados do índice Dst e o δH da estação de EUS durante a tempestade geomagnética ocorrida no dia 14 de Julho de 2012.	50
Figura 4.10 – Dados da tempestade geomagnética ocorrida no dia 30 de setembro de 2012.	51
Figura 4.11 – Correlação linear entre os dados do índice Dst e o δH da estação de CXP durante a tempestade geomagnética ocorrida no dia 30 de setembro de 2012.	52
Figura 4.12 – Correlação linear entre os dados do índice Dst e o δH da estação de EUS durante a tempestade geomagnética ocorrida no dia 30 de setembro de 2012.	52
Figura 4.13 – Correlação linear entre os dados do índice Dst e o δH da estação de SLZ durante a tempestade geomagnética ocorrida no dia 30 de setembro de 2012.	53
Figura 4.14 – Dados da tempestade geomagnética ocorrida no dia 17 de março de 2013.	54

Figura 4.15 – Correlação linear entre os dados do índice Dst e o δH da estação de CXP durante a tempestade geomagnética ocorrida no dia 17 de março de 2013.	54
Figura 4.16 – Correlação linear entre os dados do índice Dst e o δH da estação de EUS durante a tempestade geomagnética ocorrida no dia 17 de março de 2013.	55
Figura 4.17 – Correlação linear entre os dados do índice Dst e o δH da estação de SLZ durante a tempestade geomagnética ocorrida no dia 17 de março de 2013.	55
Figura 4.18 – Correlação linear entre os dados do índice Dst e o δH da estação de RGA durante a tempestade geomagnética ocorrida no dia 17 de março de 2013.	56
Figura 5.1 – Instalação do magnetômetro em São Martinho da Serra-RS.	62
Tabela 2.1 – Observatórios cujos dados são utilizados no cálculo do Kp.	28
Tabela 3.1 – Sensibilidade de medição magnética de magnetômetros.....	32
Tabela 4.1 – Coeficiente de correlação linear entre o δH dos magnetômetros da Rede Embrace/INPE e o Índice Dst.	57
Tabela 4.2 – Coeficiente angulares da correlação linear entre o δH dos magnetômetros da Rede Embrace/INPE e o Índice Dst.	57

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

1.1 Introdução

Neste trabalho estão apresentadas as atividades desenvolvidas referentes ao período de agosto de 2012 até julho de 2013, na qual foram desenvolvidas atividades teóricas e práticas relacionadas a esta fase do projeto.

No segundo capítulo são apresentados conceitos teóricos a respeito das pesquisas espaciais e atmosféricas voltadas às correntes ionosféricas que geram os campos magnéticos medidos pelos magnetômetros. Neste capítulo apresentamos os conceitos fundamentais sobre a ionosfera, ambiente onde fluem as correntes. Além disso, apresentamos os conceitos de condutividades ionosféricas e, finalmente, descrevemos o sistema de correntes, o qual inclui o dínamo Sq (*Solar quiet*). Concomitantemente com os conceitos ionosféricos, apresentamos os sistemas de correntes da magnetosfera e uma descrição simplificada de alguns índices magnéticos, os quais descrevem o comportamento perturbado dos sistemas de correntes quando estas estão sob influência dos fenômenos associados com o clima espacial.

No terceiro capítulo apresentamos uma breve descrição sobre os instrumentos de medição do campo geomagnético e a diferença entre os tipos desses equipamentos e as aplicações imediatas da Rede de Magnetômetros do Programa de Estudo e Monitoramento Brasileiro do Clima Espacial (Embrace/INPE).

No quarto capítulo apresentamos os estudos sobre relacionados à aplicação dos dados magnético obtidos da Rede Embrace de magnetômetros e a associação dos índices geomagnéticos Kp e Dst.

No quinto capítulo apresentamos a lista dos trabalhos publicados na comunidade científica. No final deste capítulo estão em anexo os certificados de participação de alguns minicursos e congressos.

No último capítulo seguem as conclusões a respeito deste trabalho.

1.2 Objetivo Científico

O principal objetivo científico deste projeto é caracterizar estatisticamente e analisar o comportamento do campo magnético na região equatorial, com atenção voltada para a presença do eletrojato equatorial. O interesse nesta região tropical é devido a ela apresentar uma grande diversidade de fenômenos de interesse científico para a área da aeronomia, os quais também são capazes de interferir nas comunicações transionosféricas. A outra motivação é a possibilidade dos resultados deste estudo levar ao desenvolvimento de ferramentas eficientes de previsão do clima espacial local, ou seja, ferramentas que nos permitam antever possíveis efeitos das atividades “eruptivas” solares no ambiente ionosférico.

No ambiente espacial brasileiro, os efeitos do clima espacial são particularmente mais intensos devido à grande extensão territorial do país, sua localização geográfica na região equatorial e à ocorrência de anomalias regionais no campo magnético e em camadas ionosféricas. Os serviços gerados pelos sistemas estrangeiros não levam em conta os fenômenos típicos das regiões equatoriais. Portanto, é importante iniciarmos nossos esforços para estabelecer as bases de um sistema científico brasileiro para pesquisas, monitoramento e previsão do clima espacial, capaz de realizar essas atividades de maneira a atender as necessidades regionais de maneira mais eficiente.

CAPÍTULO 2

2 IONOSFERA E ÍNDICES GEOMAGNÉTICOS ASSOCIADOS À ATIVIDADE SOLAR

2.1 Ionosfera terrestre e suas as correntes elétricas

A ionosfera terrestre é uma camada da atmosfera localizada entre, aproximadamente, 60 e 2000 km de altitude. Ela é caracterizada por sua alta densidade de cargas livres de elétrons e íons. Esta camada é formada principalmente pela ionização do gás nitrogênio (N_2), gás oxigênio (O_2) e oxigênio atômico (O) abundante na atmosfera (KIRCHHOFF, 1991). O principal processo de ionização da atmosfera terrestre é chamado de fotoionização dos constituintes neutros pelas radiações do espectro eletromagnético do extremo ultravioleta (EUV) até os raios-X vindos do Sol. Durante o processo de fotoionização, a densidade eletrônica da ionosfera é maior no período diurno, instante em que a radiação solar é mais intensa. Já no período noturno, dominam os processos de recombinação que diminuem a densidade eletrônica.

O perfil da densidade eletrônica decai com a altura, pois a concentração de gases da atmosfera decai exponencialmente com a altura. Já a densidade de radiação aumenta, devido à sua origem externa à Terra e à redução da sua absorção pela atmosfera. Em certa altura essa radiação é totalmente absorvida. Assim, a produção de elétrons-íons deve passar por um máximo em alguma altura da atmosfera. Esses máximos de produção formam as três camadas ionosféricas. A Figura 2.1 mostra um exemplo de perfil vertical diurno da densidade eletrônica e suas respectivas camadas ionosféricas para uma região de média latitude (à esquerda) e uma esquematização da ionosfera terrestre (à direita).

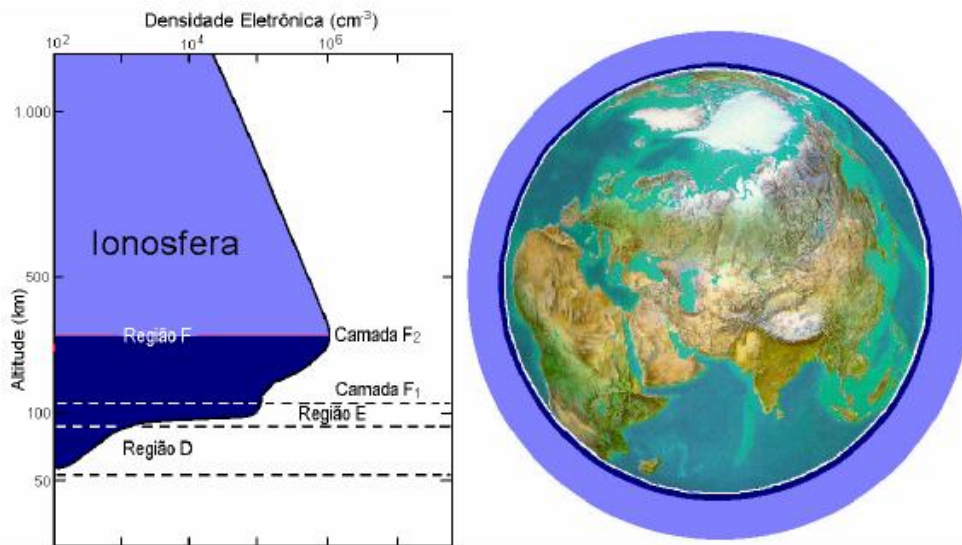


Figura 2.1 – Esquemática da ionosfera terrestre (à direita) e o perfil diurno da densidade eletrônica da ionosfera (à esquerda).
 Fonte: Denardini (2003).

Assim, de acordo com a variação da altura, a ionosfera possui três principais regiões ou camadas distintas, caracterizada com propriedades características. As regiões ionosféricas são divididas de acordo com as partículas e moléculas da atmosfera neutra, desta forma, as partículas e moléculas mais pesadas se encontram nas camadas mais inferiores da atmosfera terrestre e as moléculas mais leves concentram-se nas regiões mais acima dela. Neste caso vamos citar as regiões D, E e F da ionosfera. A Figura 2.2 apresenta o perfil da ionosfera, subdividindo em suas camadas de acordo com a altura e baseada na distribuição vertical de densidade eletrônica. Nesta figura também é apresentada as principais fontes de ionização para cada camada ionosférica.

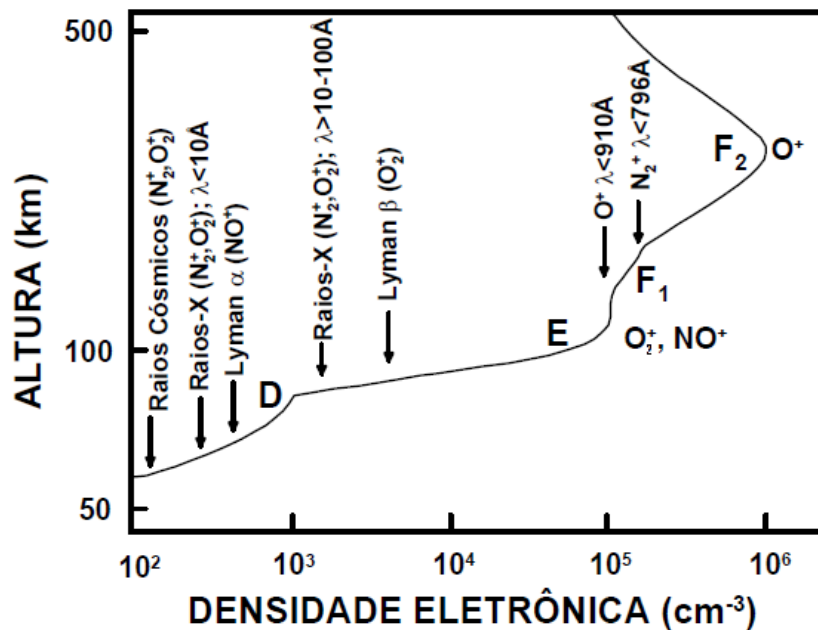


Figura 2.2 – Perfil da ionosfera mostrando suas camadas de acordo com a altura e baseada na distribuição vertical de densidade eletrônica.
 Fonte: Banks e Kockarts (1973).

2.1.1 As regiões Ionosféricas

2.1.1.1 Região D

A parte mais inferior da ionosfera é conhecida como região D. Ela situa-se entre 60 a 90 km de altitude. Nesta região concentram-se moléculas de alta massa molecular que sofrem a ação do campo gravitacional. Dentre os principais constituintes desta região estão: oxigênio atômico (O), ozônio (O₃), óxido nitroso (NO₂), dióxido de carbono (CO₂). Em proporções menores têm-se também metais alcalinos, como Na, K e Li. Nesta camada o agente produtor de íons é a colisão entre as partículas mais energéticas, devido à maior concentração partículas e moléculas (KIRCHHOFF, 1991). As radiações mais importantes nesta camada são os raios-X que ionizam o oxigênio e nitrogênio. A radiação solar na faixa do Lyman-α ioniza o óxido nítrico NO. Há também a ionização adicional nas alturas inferiores causada pelos raios cósmicos. Acredita-se que esta camada é a responsável pela absorção das ondas de rádio em altas e médias frequências durante os horários diurnos.

2.1.1.2 Região E

A região E possui uma alta densidade eletrônica compreendida entre aproximadamente 90 a 120 km de altitude. A sua ionização é mais notável durante as horas diurnas, tendo sua densidade iônica bastante reduzida durante a noite. Essa região tem uma condutividade elétrica alta, e sendo assim, importante devido à presença de correntes elétricas ionosféricas e da interação destas correntes com correntes do campo magnético. Devido à alta densidade eletrônica nessa região, flui ao longo do equador magnético uma corrente elétrica horizontal, conhecida como Eletrojato Equatorial (EEJ). Essa corrente dá origem às diversas irregularidades de plasma que podem ser vistas em equipamentos de sondagem como camadas "E-esporádica" do tipo q (E_{sq}). Outros tipos de camadas E-esporádicas também são observados devido a outros processos, como o cisalhamento sobre os íons metálicos. Os constituintes majoritários desta camada são: oxigênio molecular (O_2), oxigênio atômico (O), nitrogênio molecular (N_2), óxido nítrico (NO).

2.1.1.3 Região F

A região F encontra-se acima dos 120 km de altitude e está subdividida basicamente nas camadas F1 e F2. A região F1 situa-se entre 120 e 200 km e quase sempre só é possível de ser percebida durante as horas diurnas. A espécie molecular predominante na altura da camada F₁ é o N_2 e o íon majoritário é o O^+ . A região F2 está localizada acima de 200 km, caracterizada pelo aumento da densidade eletrônica, pois a taxa de perda cai mais rapidamente do que a taxa de produção. Os íons positivos predominantes são O^+ , N_2^+ e H^+ . Os principais constituintes da região F sofrem menor ação do campo gravitacional, desta forma, o que permite uma maior concentração de íons nesta região.

2.1.2 Condutividade Ionosférica

A condutividade elétrica na ionosfera é dada em três componentes devido à presença de campos magnéticos e elétricos simultâneos. Essas condutividades podem ser obtidas através das equações 2.1, 2.2 e 2.3:

A Equação 2.1 representa a condutividade longitudinal ou direta. Essa componente da condutividade é paralela ao campo geomagnético.

$$\sigma_0 = n \cdot e^2 \left(\frac{1}{m_e \nu_e} + \frac{1}{m_i \nu_i} \right) \quad (2.1)$$

A Equação 2.2 representa a condutividade Pedersen ou transversal. Essa componente da condutividade é perpendicular à direção do campo geomagnético e paralela à direção do campo elétrico.

$$\sigma_1 = n \cdot e^2 \left[\frac{\nu_e}{m_e \cdot (\nu_e^2 + \Omega_e^2)} + \frac{\nu_i}{m_i \cdot (\nu_i^2 + \Omega_i^2)} \right] \quad (2.2)$$

A Equação 2.3 representa a condutividade Hall. Essa componente da condutividade é ortogonal às direções do campo geomagnético e a direção do campo elétrico.

$$\sigma_2 = n \cdot e^2 \left[\frac{\Omega_e}{m_e \cdot (\nu_e^2 + \Omega_e^2)} - \frac{\Omega_i}{m_i \cdot (\nu_i^2 + \Omega_i^2)} \right] \quad (2.3)$$

Nas equações acima n é a densidade eletrônica do meio; e é a carga elétrica de cada partícula; m é a massa; ν é a taxa de colisão com as partículas neutras; e Ω é a frequência ciclotrônica. Os subíndices e e i indicam respectivamente elétrons e íons. Essas quantidades apresentam variações com a altura e, portanto, as condutividades seguem um comportamento apresentado na Figura 2.3. É possível observar na figura os picos das condutividades Pedersen e Hall na região E ionosférica. No equador magnético esse pico fica em torno de 150 km para a condutividade Pedersen e 130 km para a condutividade Hall (Denardini, 1999).

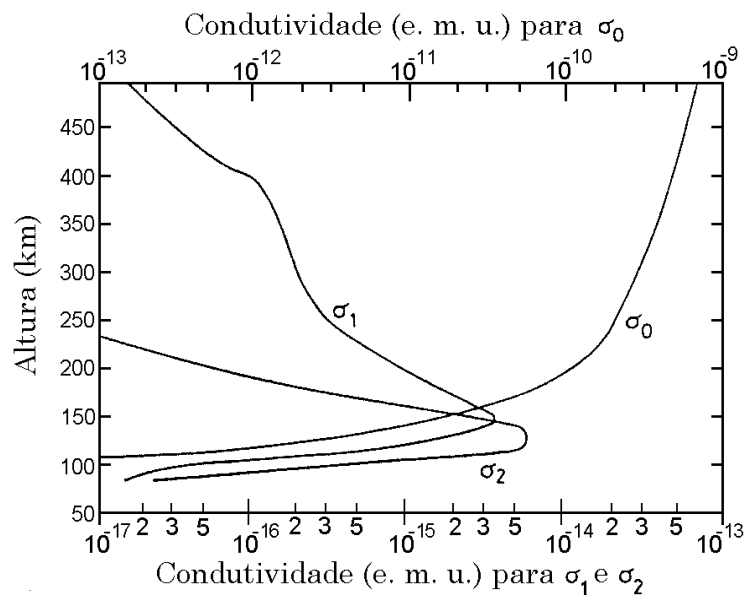


Figura 2.3 – Perfis verticais das condutividades longitudinal (σ_0), Pedersen (σ_1) e Hall (σ_2).
Fonte: Akasofu e Chapman (1972).

Essas condutividades ao longo do campo geomagnético aliadas às disposições das linhas de campo magnético formam percursos onde correntes elétricas que fluem na ionosfera. Entre estas correntes estão as denominadas correntes Sq. As correntes do sistema Sq (Figura 2.4) foram descobertas a partir dos estudos das variações do campo geomagnético em períodos de 24 horas, monitorando-se o índice de atividade solar (CHAPMAN; BARTELS, 1940; CAMPBELL, 1997; PÁDUA, 2005). Observou-se nas variações registradas em magnetogramas na ionosfera terrestre uma curva característica, e assim foi denominada corrente Sq.

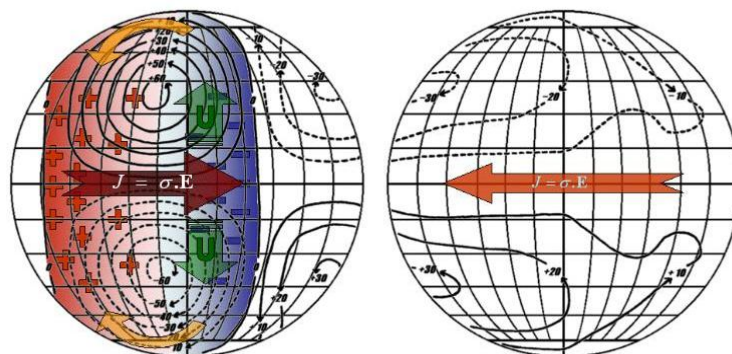


Figura 2.4 – Esquematisação do sentido da corrente do sistema de Sq e do eletrojato equatorial.
Fonte: Denardini (2003).

2.1.3 Eletrojato Equatorial

O eletrojato equatorial (EEJ) é a intensificação da corrente elétrica que flui ao longo do equador magnético devido à alta condutividade nas alturas entre 100 e 110 km da ionosférica e, à corrente do sistema Sq. O sentido corrente do EEJ segue para leste durante o dia e para oeste durante a noite (CHAPMAN; BARTELS, 1940; DENARDINI, 2003). Essa corrente elétrica atinge seu máximo de corrente no meio dia local, quando fotoionização é máxima. Devido a sua presença, temos uma intensificação da componente horizontal do campo magnético terrestre (H) medido com magnetômetros ao longo do equador magnético (Figura 2.5).

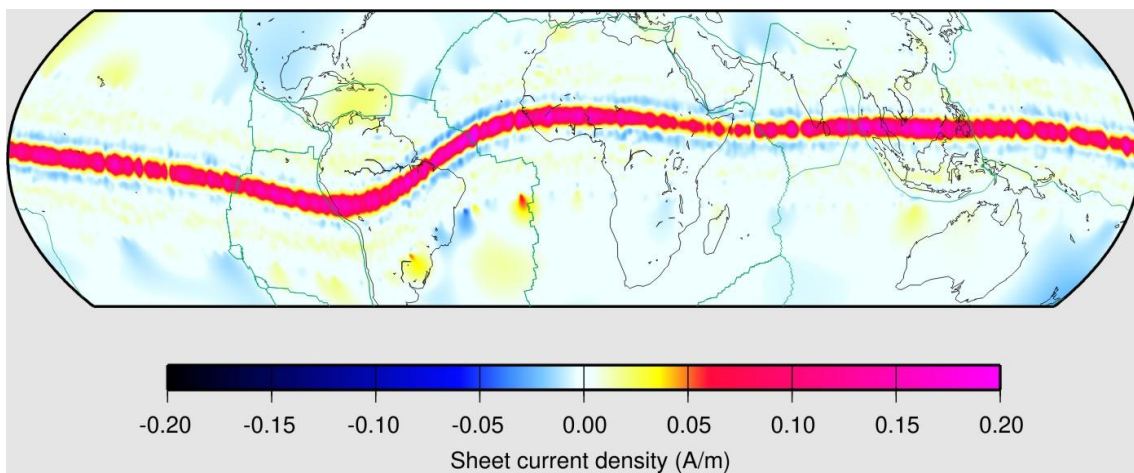


Figura 2.5 – Densidades da corrente do eletrojato equatorial de 2600 passagens do satélite CHAMP sobre o equador magnético entre 11 e 13 LT.
Fonte: Maus e Alken (2010).

Para entender a composição da corrente do EEJ, considera-se uma camada fina condutora com um fluxo de corrente entre 90 e 120 km de altura, nas quais as correntes verticais são desprezíveis. Essa composição é mostrada na Figura 2.6.

A região 1 (em azul) possui uma condutividade bem superior à região 2 (em branco). Nessas regiões há um campo elétrico aplicado, que é o campo elétrico natural do dínamo da região E ionosférica. Este campo cria uma corrente Hall na direção perpendicular a ele e a componente do campo magnético; e uma corrente Pedersen na direção paralela a ele (quadro a da Figura 2.6). Devido à diferença da condutividade entre as duas regiões, a corrente Hall vertical não consegue fluir

livremente e assim, produz um campo elétrico vertical de polarização para neutralizar o sistema (quadro b da Figura 2.6). Associadas a presença deste campo surgem novas correntes Pedersen e Hall. A primeira corrente reduz o efeito da corrente Hall do campo elétrico imposto. A segunda corrente se soma a corrente Pedersen deste mesmo campo (quadro c da Figura 2.6), intensificando uma corrente para leste, denominada corrente do EEJ.

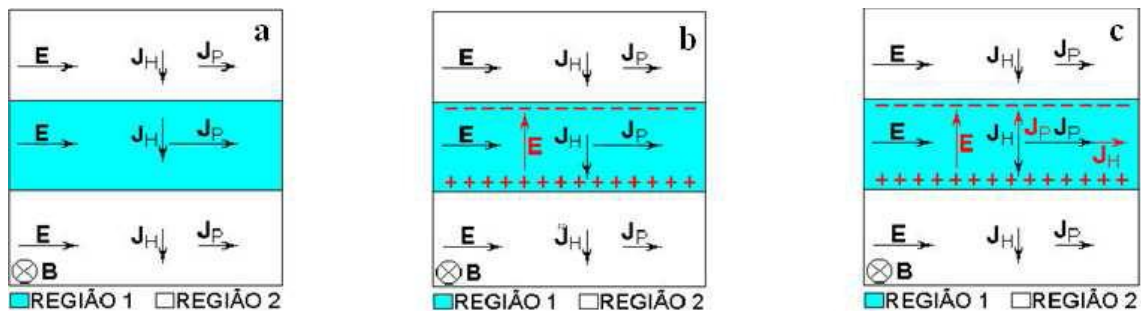


Figura 2.6 – Ilustração da formação de corrente do EEJ.
Fonte: Denardini (1999).

2.1.4 Eletrojato Auroral

O eletrojato auroral está localizado na região dos pólos magnético. Para a sua formação, a corrente recebe a contribuição do sistema de corrente Sq junto com as correntes alinhadas ao campo da magnetosfera, localizadas próximas à oval auroral. Quando ocorre precipitação de plasma na ionosfera da região polar, o eletrojato se expande para baixas latitudes. A Figura 2.7 mostra a esquematização das correntes ionosféricas, dentre elas o eletrojato auroral.

Também temos a corrente anelar, esta corrente elétrica por sua vez flui próximo à região equatorial do globo terrestre e é responsável pelas variações do campo magnético em períodos de tempestade magnética (LUCAS, 2005; GUARNIERI, 2005). Esta corrente é gerada no cinturão de radiações de Van Allen, localizada na magnetosfera terrestre.

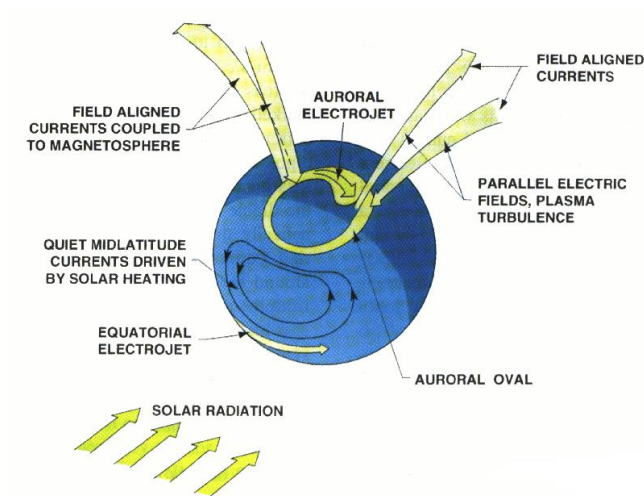


Figura 2.7 – Representação dos Sistemas de correntes elétricas, dentre elas, o eletrojato auroral ao centro da figura.
 Fonte: Lühr (2000)

Esta corrente é estudada para determinar o desenvolvimento da tempestade geomagnética. É através da variação da intensidade que a corrente elétrica que flui que se obtém o índice de atividade magnética Dst. Este índice é obtido através de quatro estações magnéticas localizadas próximo ao equador magnético (LUCAS, 2005) e será explicado mais detalhadamente a seguir. A Figura 2.8 mostra a esquematização de algumas correntes elétricas na magnetosfera terrestre. Ao centro desta, está localizada a corrente anelar.

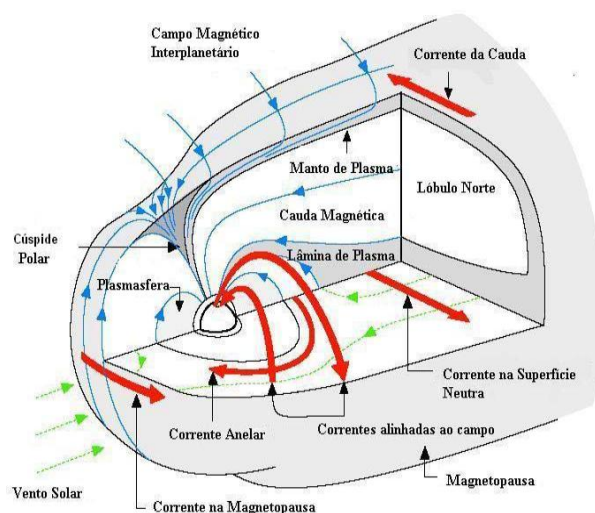


Figura 2.8 – Sistemas de correntes que circulam na magnetosfera terrestre.
 Fonte: Adaptação de Kivelson e Russel (1995, pp. 22).

2.2 Índices Magnéticos

Os índices de perturbação geomagnéticos atualmente são frequentemente utilizados como ferramentas de previsão de clima espacial. Estes índices são utilizados para classificar a intensidade de tempestades magnéticas no ambiente terrestre. Tradicionalmente, as variações do campo geomagnético são gravadas no sistema de coordenadas magnéticas (H, D e Z) ou no sistema de coordenadas geográficas (X, Y e Z), mostrado na Figura 2.9.

Neste sistema, X indica o norte geográfico e H indica o norte magnético, enquanto que D é a declinação que relaciona o norte geográfico com o norte magnético; Y indica o leste geográfico, Z em ambos os sistemas indica a amplitude do campo magnético na direção vertical. Em qualquer um dos sistemas a combinação das três componentes resulta na componente F.

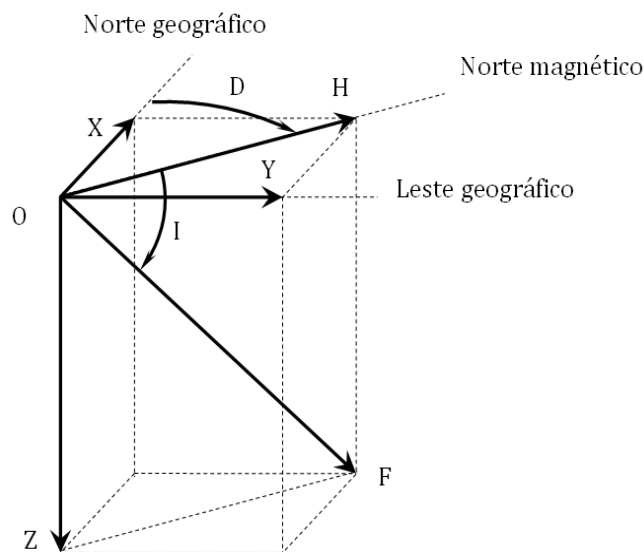


Figura 2.9 – Elementos lineares e angulares do campo magnético terrestre.

2.2.1 Índice Kp

O índice Kp é um índice global, desenvolvido para indicar o nível de atividade geomagnética dentro de um intervalo de 3 horas. Ele foi introduzido primeiramente por Bartels (1949a) e revisado por Bartels e Veldkam (1949). Este

índice é derivado de uma composição estatística da variação de um grupo selecionado de estações espalhadas pelo globo, mostrado na Tabela 1 retirada de Rostoker (1972).

Tabela 2.1 – Observatórios cujos dados são utilizados no cálculo do Kp.

Observatório	Geomagnética		Comentário
	Latitude Norte (°)	Longitude Leste (°)	
Sitka	60,0	275,3	-
Meannook	61,8	301,0	-
Agincourt	55,1	247,0	Até1969
Ottawa	57,0	351,5	Desde 1969
Fredricksburg	49,6	349,8	-
Hartland	54,6	79,0	-
Eskdalemuir	58,5	82,9	-
Lerwick	62,5	88,6	-
Witteveen	54,1	91,2	-
Wingst	54,6	94,1	-
Rude Skov	55,9	98,5	-
Lovö	58,1	105,8	Desde 1954
Amberly	-47,7	252,5	-
Toolangi	-46,7	220,8	Desde 1972

Fonte: Rostoker (1972).

O processo pelo qual o Kp é derivado é dividido em três etapas:

O cálculo do índice K: O índice K foi introduzido em 1938 no intervalo de 3 horas e foi adotado internacionalmente em Setembro de 1939. Historicamente, os valores numéricos envolviam o cálculo do índice K obtido pelo estudo dos dados da estação de médias latitudes, Niemegek (54° N, 13° E geomagnético) (Bartels et al., 1939). Mais tarde tornou-se uma estação padrão. O índice K é derivado dos dados de cada observatório para um intervalo de 3 horas na hora universal (00-03,03-06,...,21-24). Para cada intervalo, a diferença δ entre o máximo e o mínimo absoluto da componente é medida para cada componente H, D e Z (ou X, Y e Z). O máximo de desvio δ_{\max} das três componentes é então estabelecido e denominado de *range*. Cada observatório possui a sua própria tabela quase logarítmica para conversão do *range* para um índice K, os valores da tabela são determinados pela

latitude geomagnética de cada observatório. Os valores K vão de 0 (baixa atividade) até 9 (intensa atividade). A descrição detalhada do método pela qual o índice K é calculado foi dada por Mayaud (1968);

O cálculo do índice Ks: Uma das dificuldades em fazer estudos estatísticos nos quais o índice K é utilizado reside no fato de haver uma variação diurna que deve ser levada em consideração. Por exemplo, no intervalo de 3 horas perto da meia noite local tende a ser substancialmente menos perturbado do que todos os outros intervalos durante o dia. Além disso, a variação diurna apresenta uma variabilidade sazonal que também deve ser levada em consideração. Assim, um processo de normalização foi desenvolvido para contornar essas dificuldades. Esse método consiste no desenvolvimento de tabelas de conversão, na qual subdivide por estações do ano (inverno do hemisfério norte, verão do hemisfério norte, e os equinócios) e pelo intervalo de hora universal. À resultante denomina-se de índice Ks, a qual é definida como uma variável contínua (em oposição ao K integral) variando entre 0,0 e 9,0 e é subdividida em terços de um número inteiro. Deve ser salientado que os valores limite de Ks são 0o e 9o; e

O cálculo do índice Kp: O índice planetário de atividade magnética Kp é simplesmente derivado para cada intervalo de 3 horas por uma média do índice Ks de trezes observatórios listados na Tabela 1. Assim como os 28 intervalos que padronizaram o índice Ks, os intervalos do Kp também têm 28 degraus, de 0o a 9o.

Nas tabelas típicas dos índices, os 8 valores do Kp de um dia são somados para fornecer uma indicação sobre todos os níveis de atividade durante o dia. A resultante do somatório do Kp deve ser tratada com atenção, como Bartels (1957) apontou. Pois este somatório representa uma escala quase logarítmica, podendo fornecer resultados enganosos. Assim, dias em que os valores de Kp são 0o+0o+0o+0o+0o+0o+0o+9o e 2o+2o+2o+1o+1o+1o+0o+0o resulta em Kp=9o, porém possuem diferentes tipos de características conjuntas da atividade magnética.

2.2.2 Índice Dst

O índice Dst é um índice geomagnético que monitora o nível de perturbações magnéticas com base em estações ao longo de médias e baixas latitudes. Este índice é calculado a partir da média do componente horizontal do campo geomagnético medida por quatro magnetômetros localizados próximo às latitudes equatoriais e médias ao longo do equador (RISHBETH E GARRIOTT, 1969). Os valores negativos de Dst indicam que uma tempestade magnética está em andamento. Essas deflexões negativas são causadas pela corrente anelar que flui nos cinturões de radiação de Van Hallen.

O índice Dst pode ser capaz de identificar o início e o término de uma tempestade magnética. Para isso, as tempestades magnéticas nesse índice são divididas em fases: inicial, principal e recuperação. O gráfico da Figura 2.10 mostra as diferentes fases da tempestade magnética utilizando o índice Dst.

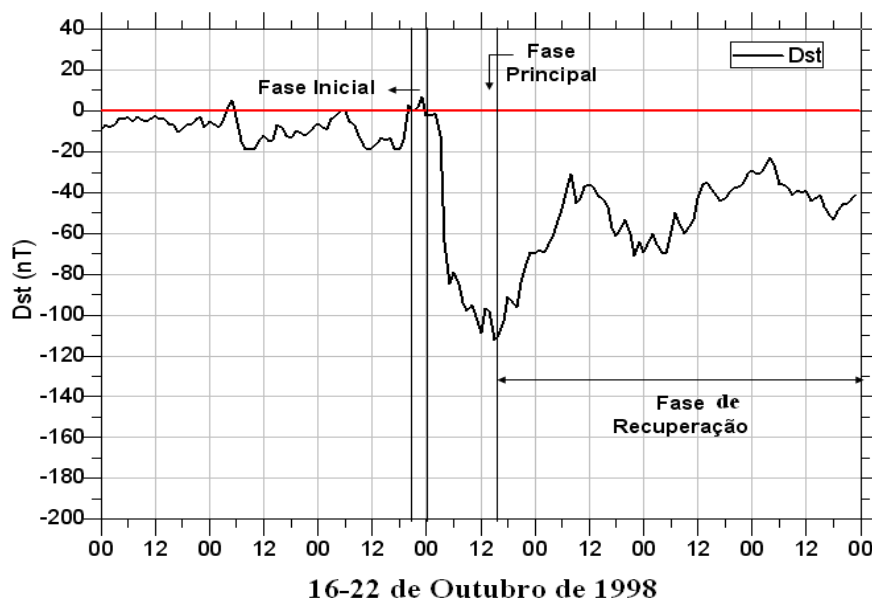


Figura 2.10 – Índice Dst entre 16 e 22 de outubro de 1998.

Fonte: Resende (2010).

Ainda, o índice Dst pode ser utilizado para classificar as tempestades magnéticas em diferentes intensidades, são elas: super intensas ($Dst < -250$ nT), intensas (-250 nT $< Dst < -100$ nT), moderadas (-100 nT $< Dst < -50$ nT) e fracas (-50 nT $< Dst < -30$ nT) (GONZALEZ et al., 1994). As tempestades em que o índice Dst alcança na ordem de -50 a -150 nT ocorrem quase sempre em todos os meses. Já as perturbações entre -150 e -300 nT podem ocorrer algumas vezes ao ano. Algumas vezes uma tempestade magnética pode exceder -500 nT por clio solar (KIVELSON E RUSSEL, 1995).

CAPÍTULO 3

3 INSTRUMENTAÇÃO PARA MEDIDAS GEOMAGNÉTICAS

3.1 Tipos de Magnetômetros e seus princípios de funcionamento

Os magnetômetros são equipamentos utilizados para a realização de medidas magnéticas de grandeza escalar ou vetoriais. Os magnetômetros escalares medem a magnitude do campo magnético. Já os magnetômetros vetoriais, estes medem a magnitude e a direção do campo magnético. A Tabela 3.1 mostra alguns tipos de magnetômetros, o tipo de grandeza medida por cada um deles e as sensibilidades encontradas comercialmente.

Tabela 3.1 – Sensibilidade de medição magnética de magnetômetros.

Magnetômetro	Tipo de Grandeza	Sensibilidade (T)
Bombeamento Ótico	Escalar	10^{-12} a 10^{-4}
Precessão de Prótons	Escalar	10^{-11} a 10^{-2}
Indução	Vetorial	10^{-12} a 10^6
Fluxgate	Vetorial	10^{-10} a 10^{-4}
SQUID	Vetorial	10^{-14} a 10
Efeito Hall	Vetorial	10^{-3} a 10^2

Neste estudo, o magnetômetro utilizado é do tipo fluxgate e será detalhado nas seções seguintes.

3.1.1 Magnetômetro Fluxgate

Os magnetômetros do tipo fluxgate, também conhecidos como núcleo saturado ou variômetros, são dispositivos de estado sólido utilizados para medir magnitude e a direção de campo magnético. A sensibilidade alcançada por este tipo de

equipamento pode chegar à ordem de grandeza entre 10 nT e 1 nT de estabilidade a longo prazo. Comercialmente a sensibilidade para estes sensor atinge entre 10^5 a 0,1 nT. Este tipo de sensor possui elevada confiabilidade, é robusto, possuindo um baixo nível de consumo de energia. (RIPKA, 1992).

Entre os magnetômetro do tipo fluxgate há uma classificação a partir da forma de geometria do núcleo, são elas: núcleo de barra simples, núcleo duplo paralelo ou núcleo de anel. Há também a classificação a partir do material que é composto o núcleo, são elas: a ferrita (FeCoNi) ou, a liga (FeNi) ou, a liga (MoFeNi) ou, a liga de material amorfo (CoFeSiCr) (VELIZ, 2010).

O funcionamento deste tipo de sensor é baseado nas propriedades de saturação de ligas metálicas moles. Os sensores fluxgate com núcleo de barra simples constituem-se de um núcleo magnético com alto nível de saturação, rodeado por duas bobinas, a primeira atua como excitação e, a segunda atua como sensora. A Figura 3.1 mostra o esquema básico para este magnetômetro e a sua respectiva região de funcionamento. O princípio de funcionamento básico deste sensor baseia-se na variação da permeabilidade magnética do seu núcleo, este, provoca variação do fluxo magnético.

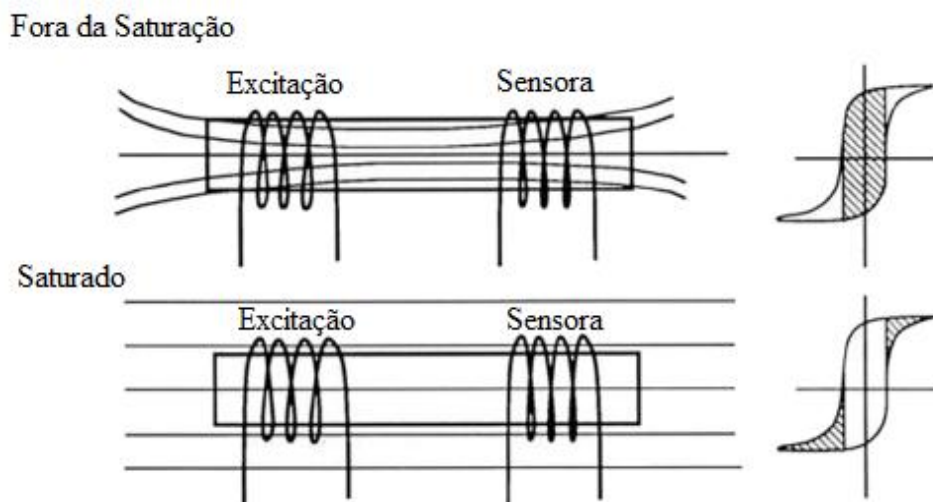


Figura 3.1 – Representação da variação do fluxo magnético da bobina simples de um sensor fluxgate.

3.2 Dados dos magnetômetros fluxgate da Rede Embrace/INPE

Os magnetômetros utilizados neste estudo são do tipo fluxgate da Rede Embrace situados em Cachoeira Paulista, SP (22.70°S, 45.01°W, DIP -36.43°, CXP), Eusébio, CE (3.88°S, 38.42°W, DIP -16.51°, EUS), São Luís, MA (2.59°S, 44.21°W, DIP -7.26°, SLZ) e Rio Grande, TF (53.78°S, 67.76°W, DIP -50.03°, RGA). Estes magnetômetros são constituídos de um sensor fluxgate de três eixos, uma unidade eletrônica de controle e aquisição de dados e um computador. Os dados adquiridos por estes magnetômetros possui uma resolução temporal de 1 segundo ou 1 minuto. A estrutura e o formato dos dados de 1 minuto são valores medidos pelo sensor somados a uma linha de base.

O arquivo de saída dos dados brutos de 1 segundo correspondem aos canais (H, D, Z, T1, T2) armazenado em formato ASCII. As siglas significam, respectivamente, as componentes H, D e Z, por fim as temperaturas do sensor e do módulo de controle. A Figura 3.2 mostra um exemplo de dados de segundo.

CACHOEIRA PAULISTA EMBRACE-05 <032> 1 Sec. Raw data							
HH	MM	SS	H(Ch2)	D(Ch4)	Z(Ch6)	T1(Ch7)	T2(Ch8)
00	00	00	-0025512	-0029225	-0041742	0058201	0043742
00	00	01	-0025518	-0029214	-0041730	0058199	0043737
00	00	02	-0025477	-0029202	-0041687	0058208	0043740
00	00	03	-0025523	-0029209	-0041741	0058205	0043737
00	00	04	-0025461	-0029215	-0041790	0058205	0043736
00	00	05	-0025465	-0029204	-0041792	0058204	0043731
00	00	06	-0025465	-0029205	-0041798	0058206	0043740
00	00	07	-0025441	-0029200	-0041777	0058206	0043747
00	00	08	-0025483	-0029191	-0041760	0058203	0043756
00	00	09	-0025485	-0029192	-0041767	0058206	0043758

Figura 3.2 – Exemplo de dados brutos do magnetômetro.

Os dados gravados são pré-processados e convertidos para dados de voltagem. Basicamente, esses dados são uma média de 1 minuto dos dados brutos convertidos em voltagem. A Figura 3.3 mostra um exemplo dos dados de voltagem originado pelo dado bruto.

CACHOEIRA PAULISTA EMBRACE-05 <032> 1 Min. Reported data									
DD	MM	YYYY	HH	MM	H(mV)	D(mV)	Z(mV)	T1(mV)	T2(mV)
01	02	2013	00	00	-121.494	-138.594	-199.266	277.818	208.618
01	02	2013	00	01	-120.423	-137.200	-199.534	277.820	208.138
01	02	2013	00	02	-120.488	-136.643	-199.660	277.819	207.430
01	02	2013	00	03	-121.669	-137.225	-199.902	277.826	207.211
01	02	2013	00	04	-121.024	-136.912	-200.231	277.824	207.674
01	02	2013	00	05	-120.732	-136.659	-200.165	277.830	208.166
01	02	2013	00	06	-121.711	-136.841	-200.382	277.838	208.597
01	02	2013	00	07	-120.118	-135.747	-200.495	277.842	208.564
01	02	2013	00	08	-119.229	-134.404	-200.204	277.844	208.315
01	02	2013	00	09	-121.403	-135.468	-200.503	277.835	208.246

Figura 3.3 – Exemplo de dados de voltagem.

Os dados de voltagem são convertidos nos dados com as medidas magnéticas. A geração destes dados exige inicialmente um procedimento de calibração instrumental do magnetômetro. Neste caso, o dado de voltagem é convertido para a medida magnética pelo valor de calibração instrumental de cada equipamento. A Figura 3.4 mostra um exemplo de dados convertidos em medidas magnéticas.

CACHOEIRA PAULISTA EMBRACE-05 <032> 1 Min. Reported data									
DD	MM	YYYY	HH	MM	D(Deg)	H(nT)	Z(nT)	I(Deg)	F(nT)
01	02	2013	00	00	-21.7497	18573.6	-13806.7	-36.6253	23143.1
01	02	2013	00	01	-21.7482	18574.0	-13806.8	-36.6249	23143.4
01	02	2013	00	02	-21.7476	18573.9	-13806.8	-36.6250	23143.5
01	02	2013	00	03	-21.7482	18573.5	-13806.9	-36.6257	23143.2
01	02	2013	00	04	-21.7479	18573.7	-13807.0	-36.6256	23143.4
01	02	2013	00	05	-21.7476	18573.8	-13807.0	-36.6254	23143.5
01	02	2013	00	06	-21.7478	18573.5	-13807.0	-36.6260	23143.2
01	02	2013	00	07	-21.7466	18574.1	-13807.1	-36.6253	23143.7
01	02	2013	00	08	-21.7452	18574.4	-13807.0	-36.6246	23143.9
01	02	2013	00	09	-21.7463	18573.6	-13807.1	-36.6260	23143.3

Figura 3.4 – Exemplo de dados magnéticos.

Uma ilustração das diversas telas de visualização de dados é mostrada na Figura 3.5. A tela de visualização dos dados coletados pelo magnetômetro é exibida na resolução de 1 minuto e, já pré-processado pelo sistema.

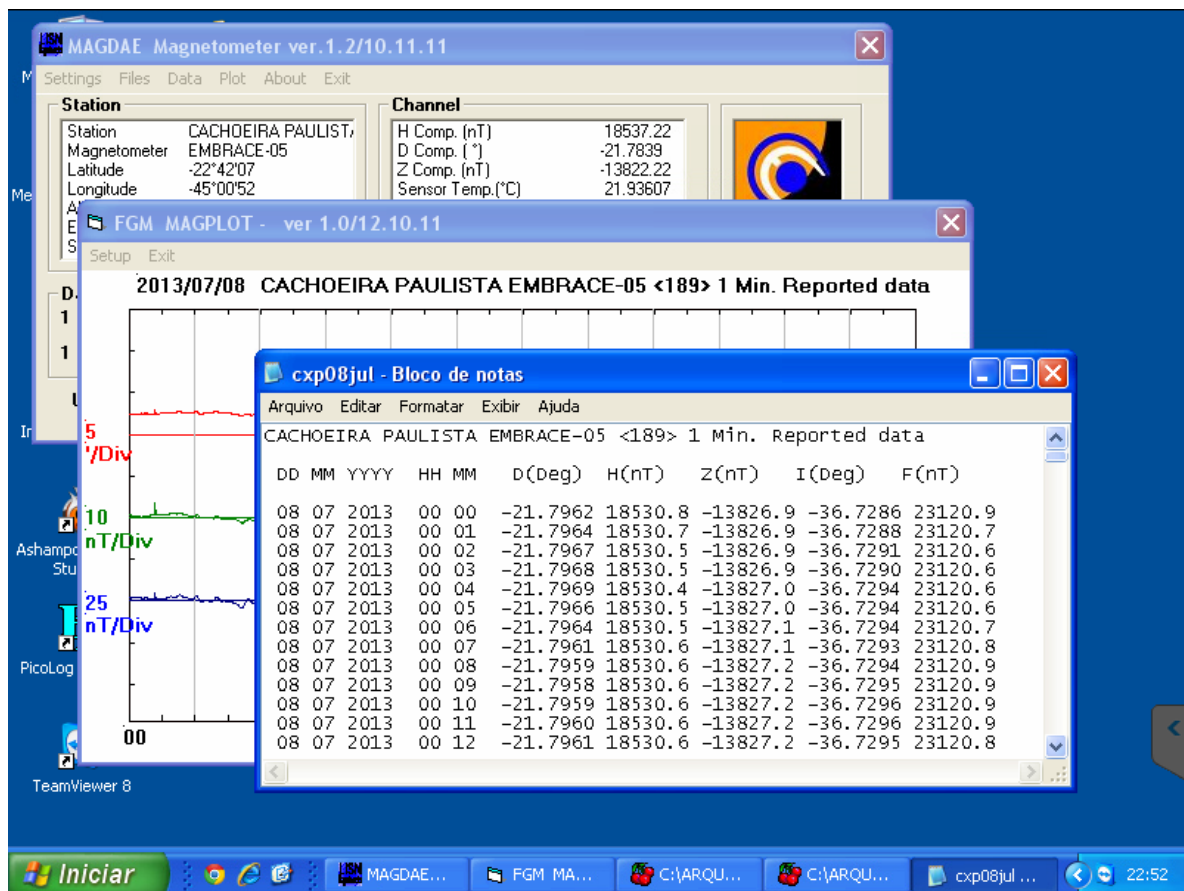


Figura 3.5 – Ilustração das diversas telas de visualização de dados.

3.3 Especificação do magnetômetro e o seu procedimento de instalação

O sistema do magnetômetro é composto pelo sensor, o cabo 30 m e a unidade de controle e tem um peso total de aproximadamente 34 kg. O sensor deste magnetômetro é envolvido por um tubo PVC que o protege intempéries. Dentro deste tubo acompanha uma bolha de nivelção, o sensor fluxgate e uma interface de comunicação com a unidade de controle e aquisição de dados. A Figura 3.6 mostra o esquema do sensor magnético.

O sensor possui 104 cm de comprimento e 18 cm de diâmetro. A sensibilidade medida por equipamento cobre um alcance de ± 75000 nT a um resolução de 0,1 nT. As especificações mecânicas e ambientais de operação deste equipamento

cobrem a faixa de temperatura de -20 a $+75^{\circ}\text{C}$; proteção à prova d'água; proteção em PVC para enterrar o sensor; proteção do cabo de conexão militar 30 m; e uma proteção à queda da unidade de controle.

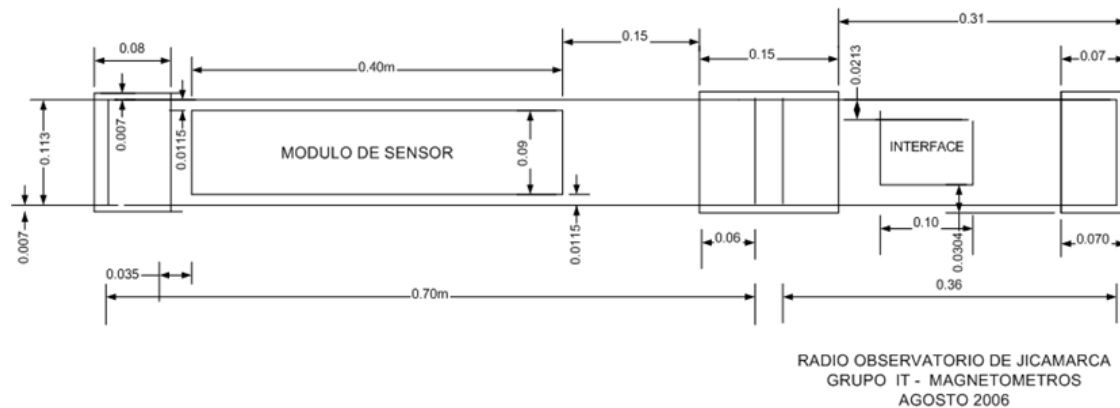


Figura 3.6 – Exemplo de sensor *fluxgate* observado.

A unidade de controle e aquisição de dados é mostrada na Figura 3.7. No painel frontal da unidade de controle existe uma chave seletora de canais (Comp X, Comp Y, Comp Z, T1, T2, Vol. Ref.), uma chave seletora de amplitude (x1, x2,5 e x10), controle de cancelamento da componente X, controle de cancelamento da componente Z, um conversor de escalas (x1 ou x10), e um *display* LCD.



Figura 3.7 – Painel frontal da unidade de controle e aquisição de dados.

Alguns requisitos de instalação do magnetômetro são tomados como medidas de prevenção e operação segura. Abaixo estão listados os componentes do sistema de magnetômetro e os principais requisitos do local de instalação.

Componentes do sistema do magnetômetro:

Sensor magnético fluxgate;

Cabo de conexão militar 30 m;

Unidade de controle e aquisição de dados;

Fonte de tensão para carregamento da bateria 220AC/12VDC;

Bateria de 12VDC, 7~10Amp/hr; e

Cabos de alimentação, bateria e USB.

Requisitos para a escolha do local de instalação ou estação magnética.

O sensor deve ser colocado em uma área livre de variações magnéticas artificiais, dutos metálicos, livre de tráfego de pessoas; e a uma distância maior que 100 m do tráfego de veículos;

A distância mínima de 25 m entre o sensor e a unidade de controle;

A sala da unidade de controle deve possuir uma fonte de tensão 120 ou 220V/60Hz e um ponto de internet de preferência com IP fixo público. Dentro desta sala a temperatura interna deve estar entre 10 e 30°C, a umidade deve estar entre 10 e 80%;

Recomenda-se a utilização de alguns acessórios durante instalação do sistema de magnetômetro, são eles:

Nível de bolha;

Multímetro digital portátil;

Linha telefônica com conexão à internet dedicada à transmissão de dados;

Switch 10/100Mbps, 8 pontos;

Fusíveis e protetores de linha contra picos; e

Fonte de alimentação ininterrupta UPS, 220V/1Kva.

3.4 Procedimento inicial de instalação

As medidas tomadas durante todo o procedimento de instalação do sistema de magnetômetro são listadas abaixo.

3.4.1 Construção da base do sensor:

A base deve estar localizada em uma região magneticamente tranquila e, a 20 m do local onde será instalado o sistema de controle e aquisição de dados e o computador de coleta e envio dos dados.

Construção da base quadrada de concreto de 1 m de comprimento por 1 m de largura e 25 cm de profundidade.

A base deve estar perfeitamente nivelada e polida.

A areia e os materiais de preenchimento devem estar livres de contaminantes magnéticos.

3.4.2 Cobertura de proteção da base:

Construção de uma estrutura de madeira quadrada de 1,2 m de comprimento por 1,2 m de largura por 50 cm de altura com queda de 15 cm;

Vigas de suporte da estrutura devem estar enterrados a uma profundidade mínima de 40 cm;

Instalação de uma cobertura de material livre de material magnético;

3.4.3 Construção de uma trincheira para o cabo do sensor:

Construção de uma trincheira de 30 cm de largura por 50 cm de profundidade desde a base de concreto até a sala da unidade de controle; e

Colocação do cabo do sensor dentro do tubo de PVC de 5 cm de diâmetro ao longo da trincheira cavada entre a base do sensor e a sala da unidade de controle.

3.4.4 Instalação do sensor:

Introduzir verticalmente o sensor a uma profundidade de aproximadamente 80 cm abaixo do nível do solo com a saída do cabo alinhado à linha do campo geomagnético;

Preencher com areia o vão entre o sensor e poço da base. Observar o nível de bolha sobre o sensor;

Ligar a saída do sensor com o cabo conector; e

Isolar a conexão entre os cabos com uma fita isolante impermeável.

3.4.5 Materiais necessários:

- Cimento 30kg (2);
- Área livre de contaminantes magnéticos;
- Ripas de madeira 2" x 2" x 90 cm (4);
- Ripas de madeira 1" x 1" x 1,25 m, (4);
- Ripas de madeira 1"x 1/2" x 1,20 m (16);
- Telha ondulite 1,25 m por 1,25 m;
- Corda de nylon para amarração da telha com as ripas de madeira; e
- Tubos de PVC de 5 cm de diâmetro e largura suficiente para cobrir a distância entre o sensor e a sala de controle.

3.4.6 Instalação da unidade de controle

- Conectar o cabo que vem do sensor;
- Conectar a saída USB que vai do computador ao conector DB25;

- Ligar o cabo da bateria;
- Conectar o cabo de alimentação AC.
- Selecionar a linha de tensão adequada (220VAC ou 110VAC); e
- Ligar o interruptor do painel traseiro da unidade de controle

3.5 Ajustes finais do procedimento de instalação

3.5.1 Nivelamento e orientação do sensor

O nivelamento do sensor é realizado com o auxílio da bolha de nível dentro do sensor. Em certos casos essa bolha de nível pode se esvaziar, e portanto, recomenda-se ter uma bolha de nível por perto durante a instalação do sensor.

A orientação do sensor é realizada com o auxílio da unidade controle do magnetômetro. Neste procedimento utiliza-se a seleção x10 do canal da componente Y do painel frontal da unidade de controle para aumentar a resolução da sensibilidade medida pelo equipamento. A partir disso deve-se verificar e reajustar a nivelção do sensor ao ajustar a orientação do sensor na direção do norte geomagnético. Para isso, deve-se zerar o valor que é mostrado na tela LCD do painel da unidade de controle.

3.5.2 Cancelamento das componentes do campo geomagnético (X,Y,Z)

O cancelamento das componentes do campo geomagnético (X, Y, Z) são necessários para corrigir a linha de base no valor das medições magnéticas realizadas pelo sensor.

3.5.2.1 Cancelamento da componente Y do campo.

- Colocar a chave seletora do alcance na posição x2,5;
- Colocar a chave seletora do canal na posição Y;

- Verificar a leitura do LCD da unidade de controle e, se necessário fazer ajustes finos girando o sensor lentamente até que o LCD marque zero; e
- Alterar chave seletora de escala para a posição 1X e reajustar o sensor com movimentos muito finos.

3.5.2.2 Cancelamento das componentes X e Z do campo:

- Colocar a chave seletora do alcance na posição x2,5;
- Colocar a chave seletora do canal na posição X quando estiver cancelando a componente X; e colocar a chave seletora do canal na posição Z quando estiver cancelando a componente Z;
- Colocar a escala do switch em x10;
- Observar a leitura do LCD e ajustar a seleção (*Field Cancel X* para cancelar a componente X e *Field Cancel Z* para cancelar a componente Z) até que zere o valor no display LCD. Para ajustar a seleção *Field Cancel* deve-se primeiramente destravar a chave seletora.
- Quando a leitura do LCD indicar um valor próximo de zero, deve-se colar o switch em x1;
- Reajustar lentamente o controle de cancelamento até que se aproxime de zero. A leitura do *display* deve oscilar entre $\pm 0,010$ mV aproximadamente.

CAPÍTULO 4

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos no ano da bolsa do aluno, bem como as análises e discussões. Serão abordadas as correlações realizadas entre os dados da variação da componente horizontal do campo geomagnético obtidas pelos magnetômetros da Rede Embrace/INPE e o índice Dst obtido pelos magnetômetros instalados em observatórios de regiões equatoriais no mundo.

4.1 Índice de correlação linear entre a variação da componente horizontal medida pelos magnetômetros da Rede Embrace e o Índice Dst

Neste trabalho foi realizado um estudo comparativo da variação da componente horizontal do campo geomagnético (componente H) medida pelos magnetômetros da Rede Embrace, localizados em CXP, EUS, SLZ e RGA, durante algumas tempestades magnéticas que ocorreram entre 2011 e 2013. Para isso, foi utilizado o índice de tempestade geomagnética Dst. Ainda, como validação de ocorrência de uma tempestade geomagnética foi usado o índice de atividade geomagnética Kp. Ambos os índices são publicados pelo *World Data Center for Geomagnetism* (WDC) localizado em Kyoto no Japão.

Para selecionar as tempestades geomagnéticas ocorridas foi utilizado uma análise de seleção baseada nos seguintes passos:

- (1) selecionar os dados do índice Dst para o período de 2011 a 2013;
- (2) selecionar as tempestades geomagnéticas de classificação intensa, ou seja, Dst menor que -100 nT; e
- (3) selecionar três dias de dados a partir do início da tempestade.

Em seguida os dados do índice foram selecionados para o mesmo período foram selecionados a fim de validar a ocorrência de uma tempestade geomagnética. Por fim, os dados disponíveis da Rede Embrace de magnetômetros foram utilizados para cada uma dessas tempestades.

Os dados de magnetômetro foram processados individualmente através dos seguintes passos:

- (1) selecionar a componente horizontal do campo geomagnético;
- (2) selecionar a curva do dia calmo (QDC) da componente horizontal referente ao mês que ocorreu a tempestade;
- (3) subtrair a QDC mensal do dado; e
- (4) calcular a média horária para cada dia.

O primeiro resultado obtido é mostrado na Figura 4.1 para a tempestade geomagnética ocorrida no dia 5 de agosto de 2011. No gráfico dessa figura é possível observar três painéis, onde nos painéis (a) e (b) mostram a evolução da tempestade geomagnética observada através dos índices Kp e Dst, respectivamente. E no painel (c) mostra a média horária da variação da componente horizontal (δH) medida pelo magnetômetro de CXP durante a mesma tempestade.

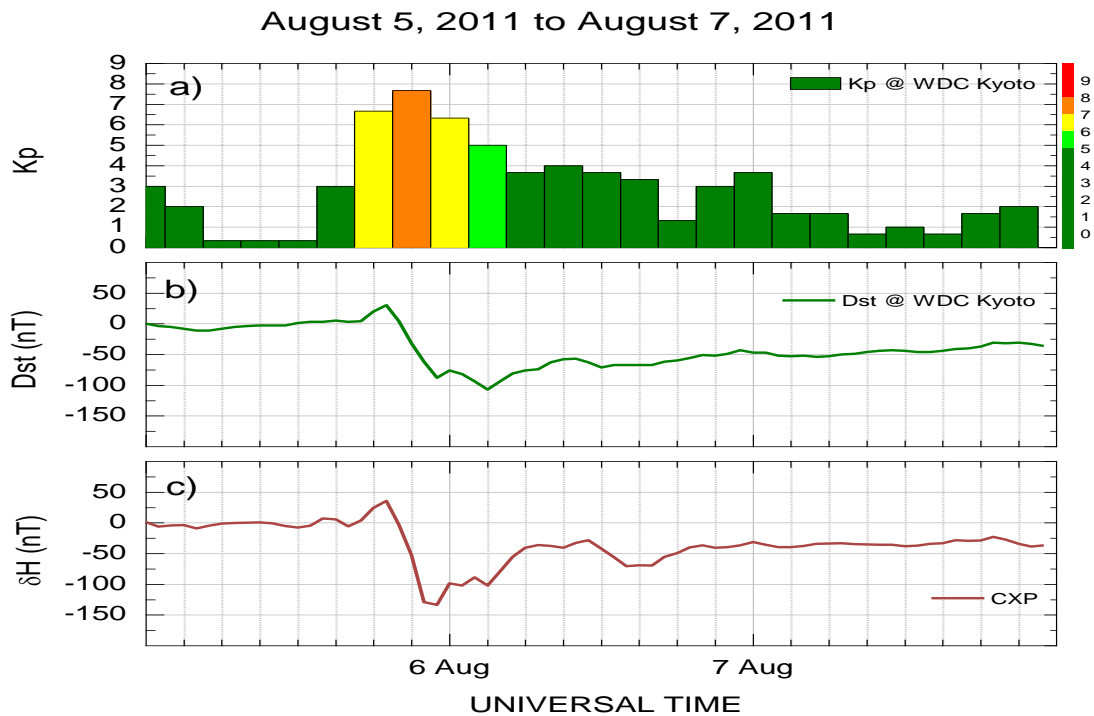


Figura 4.1 – Dados da tempestade geomagnética ocorrida no dia 5 de agosto de 2011.

É possível observar uma elevação significativa do índice Kp no dia 5 de agosto, onde este índice alcançou valores superiores a 3 chegando até 8-, nos horários a partir das 12 UT até as 21 UT (painel a da Figura 4.1). Esse aumento representa a intensidade da variação do campo geomagnético caracterizando-se assim, uma tempestade magnética. Em seguida este índice decresce até se manter em valores próximos a 0, o que representa um período calmo. Já no painel (b), observa-se que os valores do índice Dst em torno das 6UT alcança valores positivos de 25 nT, seguido por um decréscimo contínuo do índice Dst até -107 nT. Depois disso, é observada uma recuperação no índice Dst caracterizada por uma elevação do índice até alcançar valores de período calmo. E no painel (c) é mostrada a variação horária da δH , no qual essa variação possui grande semelhança com o índice Dst.

Essa semelhança entre o índice Dst e o δH foi investigada mais criteriosamente. Para isso foi feita uma correlação linear entre essas duas medidas mostrada no gráfico de dispersão da Figura 4.2.

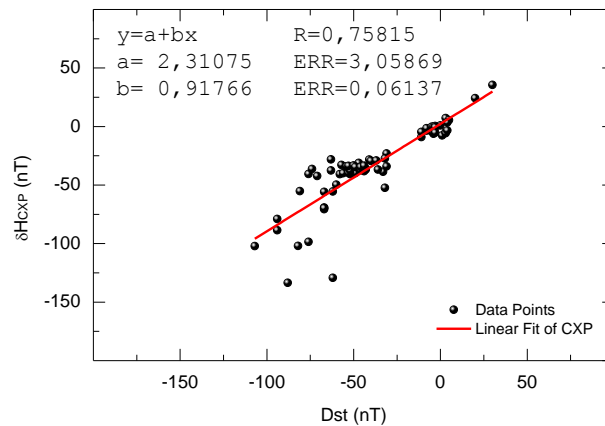


Figura 4.2 – Correlação linear entre os dados do índice Dst e o δH da estação de CXP durante a tempestade geomagnética ocorrida no dia 5 de agosto de 2011.

O coeficiente de correlação desta análise resultou em 0,75815, o que representa alto grau de correlação entre o índice Dst e o δH para a estação CXP. Além disso, o coeficiente angular da correlação ($0,91766 \pm 0,06137$) indica que há uma diferença de menos de 10% da variação máxima do índice Dst para a variação observada em CXP.

A Figura 4.3 mostra os mesmos três painéis que foram mostrados na Figura 4.1, porém para a tempestade geomagnética que ocorreu no dia 8 de março de 2012. No painel (a) é observado que o maior valor atingido pelo índice Kp foi 8 por volta das 6 UT do dia 9. No painel (b), o índice Dst atingiu o valor mínimo de -143 nT. Já o painel (c), mostra o δH para três estações magnéticas da Rede Embrace/INPE, onde o traço em vermelho representa CXP, o traço roxo representa EUS e o traço verde representa SLZ. Além disso, é possível observar que o δH dessas estações possui um comportamento semelhante ao índice Dst. Essa semelhança foi representada através da correlação do δH de cada estação individualmente com o índice Dst mostradas nas Figuras 4.4, 4.5 e 4.6.

March 8, 2012 to March 10, 2012

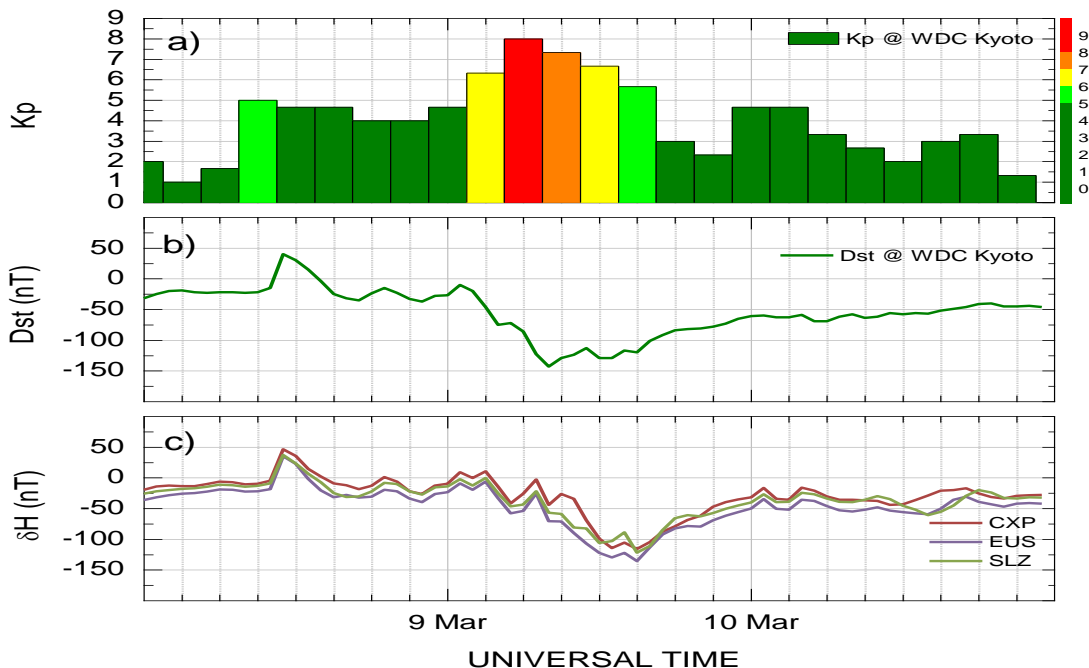


Figura 4.3 – Dados da tempestade geomagnética ocorrida no dia 8 de março de 2012.

A Figura 4.4 mostra a correlação do δH da estação de CXP com o índice Dst. O coeficiente de correlação foi 0,61266, o que significa que mais de 60% dos dados estavam correlacionados nesta tempestade. Além disso, o coeficiente angular desta correlação foi $(0,64449 \pm 0,06055)$, em torno de 30% abaixo da variação máxima do Dst.

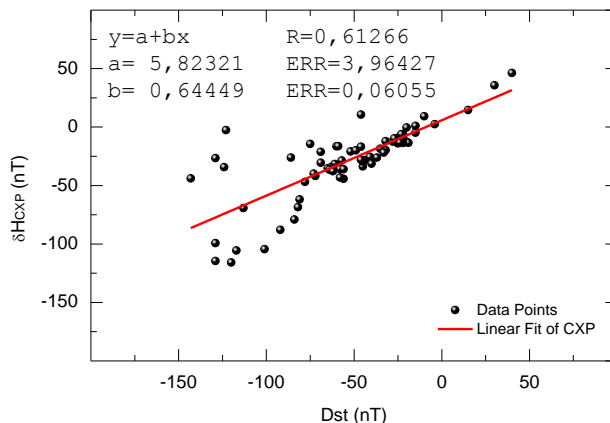


Figura 4.4 – Correlação linear entre os dados do índice Dst e o δH da estação de CXP durante a tempestade geomagnética ocorrida no dia 8 de março de 2012.

A Figura 4.5 mostra a correlação linear entre o δH da estação de EUS e o índice Dst. O coeficiente de correlação foi de 0,74529, aproximadamente 17% maior que CXP. Já o coeficiente angular foi $(0,74529 \pm 0,05077)$, aproximadamente 20% abaixo da variação máxima do Dst.

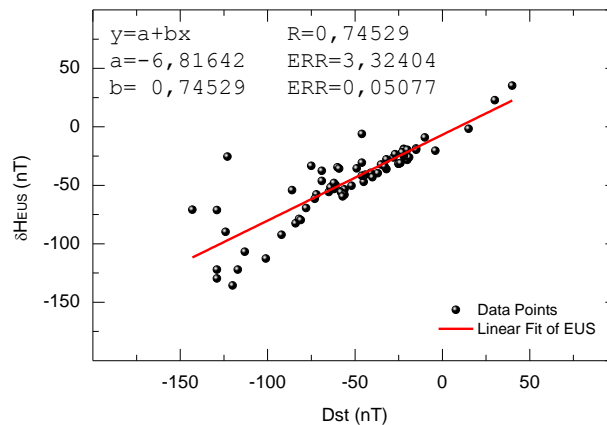


Figura 4.5 – Correlação linear entre os dados do índice Dst e o δH da estação de EUS durante a tempestade geomagnética ocorrida no dia 8 de março de 2012.

A Figura 4.6 mostra a correlação linear entre o δH da estação de SLZ e o índice Dst. O coeficiente de correlação foi de 0,73087, aproximadamente 16% maior que CXP. Já o coeficiente angular foi $(0,66129 \pm 0,0475)$, aproximadamente 30% abaixo da variação máxima do Dst.

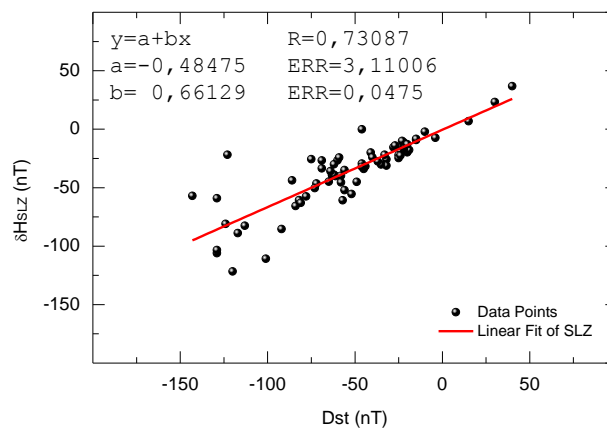


Figura 4.6 – Correlação linear entre os dados do índice Dst e o δH da estação de SLZ durante a tempestade geomagnética ocorrida no dia 8 de março de 2012.

A Figura 4.7 mostra a tempestade geomagnética que ocorreu no dia 14 de Julho de 2012. Essa tempestade é classificada como intensa, uma vez que o índice Kp atingiu um valor máximo 7 e o índice Dst chegou a -128 nT em sua fase principal, como pode ser visto nos painéis (a) e (b), respectivamente. Além disso, no painel (c) é mostrado δH medido pelos magnetômetros de CXP (em vermelho) e EUS (em roxo).

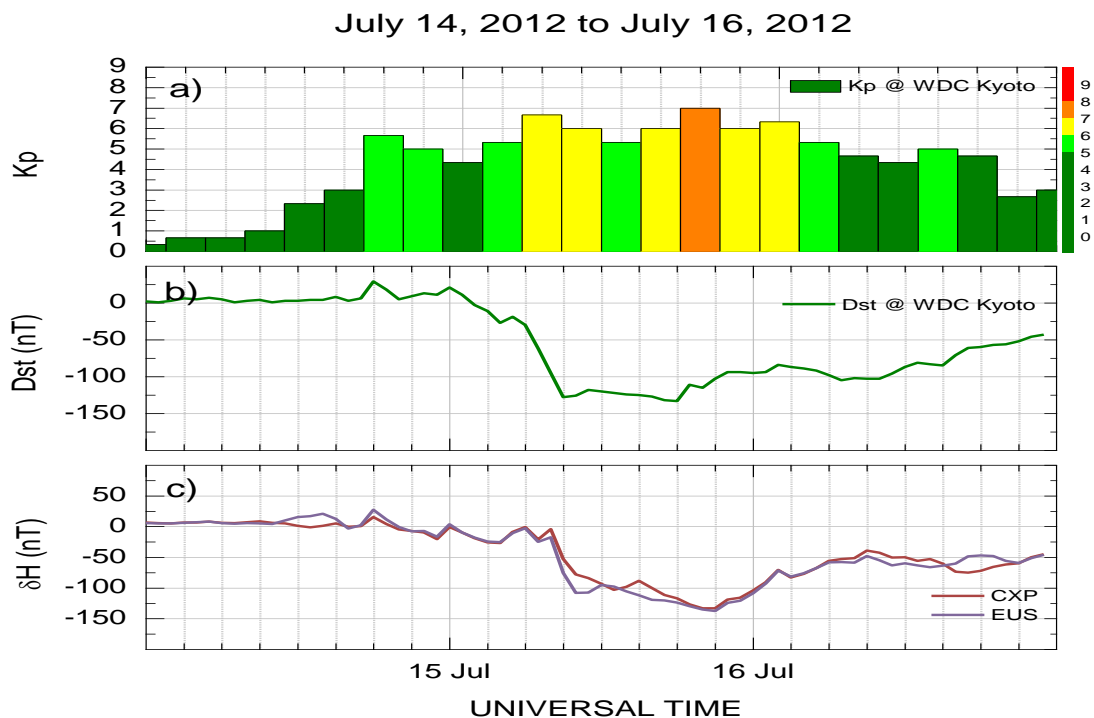


Figura 4.7 – Dados da tempestade geomagnética ocorrida no dia 14 de Julho de 2012.

A variação da componente horizontal medida por esses magnetômetros também foi semelhante ao comportamento do índice Dst durante essa tempestade. Neste sentido foi realizada uma correlação linear para cada estação individualmente. O resultado desta correlação é mostrado na Figura 4.8 e 4.9.

A Figura 4.8 mostra que o coeficiente de correlação do δH da estação de CXP foi 0,75827 e o coeficiente angular foi $(0,72968 \pm 0,04878)$ e, portanto, o erro médio representa aproximadamente 35% abaixo da variação máxima do Dst.

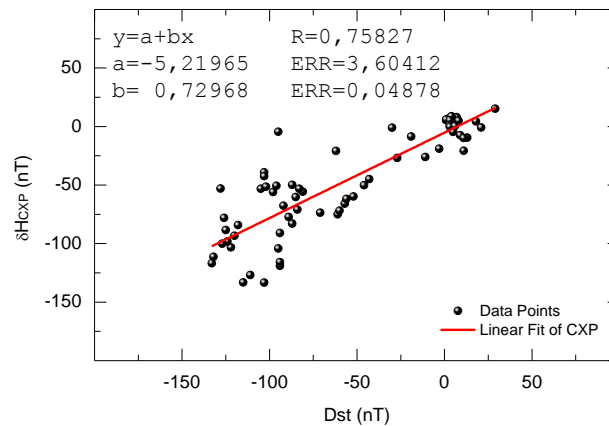


Figura 4.8 – Correlação linear entre os dados do índice Dst e o δH da estação de CXP durante a tempestade geomagnética ocorrida no dia 14 de Julho de 2012.

A Figura 4.9 mostra que o coeficiente de correlação do δH da estação de EUS foi 0,83642 e o coeficiente angular foi $(0,83182 \pm 0,0436)$. O erro médio foi de, aproximadamente, 13% abaixo da variação máxima do Dst.

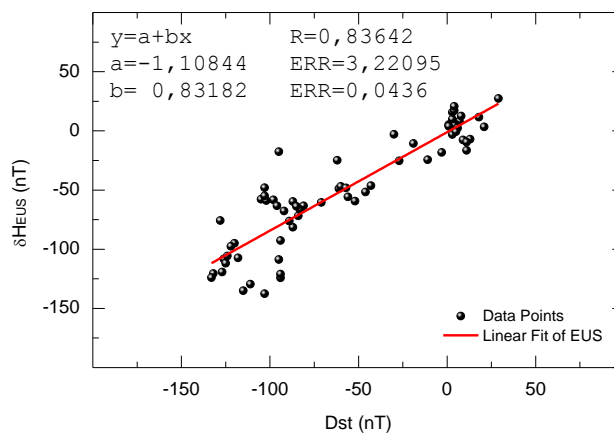


Figura 4.9 – Correlação linear entre os dados do índice Dst e o δH da estação de EUS durante a tempestade geomagnética ocorrida no dia 14 de Julho de 2012.

A Figura 4.10 mostra a tempestade geomagnética que ocorreu no dia 30 de setembro de 2012. Nessa tempestade, o índice Kp atingiu 7- e o índice Dst chegou a -133 nT em sua fase principal. Além disso, podemos observar nos dados dos magnetômetros da Rede Embrace a mesma semelhança vista nas tempestades anteriores. O δH de cada umas das estações magnéticas, CXP (em vermelho), EUS

(em roxo) e SLZ (em verde) respondem igualmente para mesma tempestade, ou seja, a variação registrada por cada um desses magnetômetros é quase a mesma entre elas.

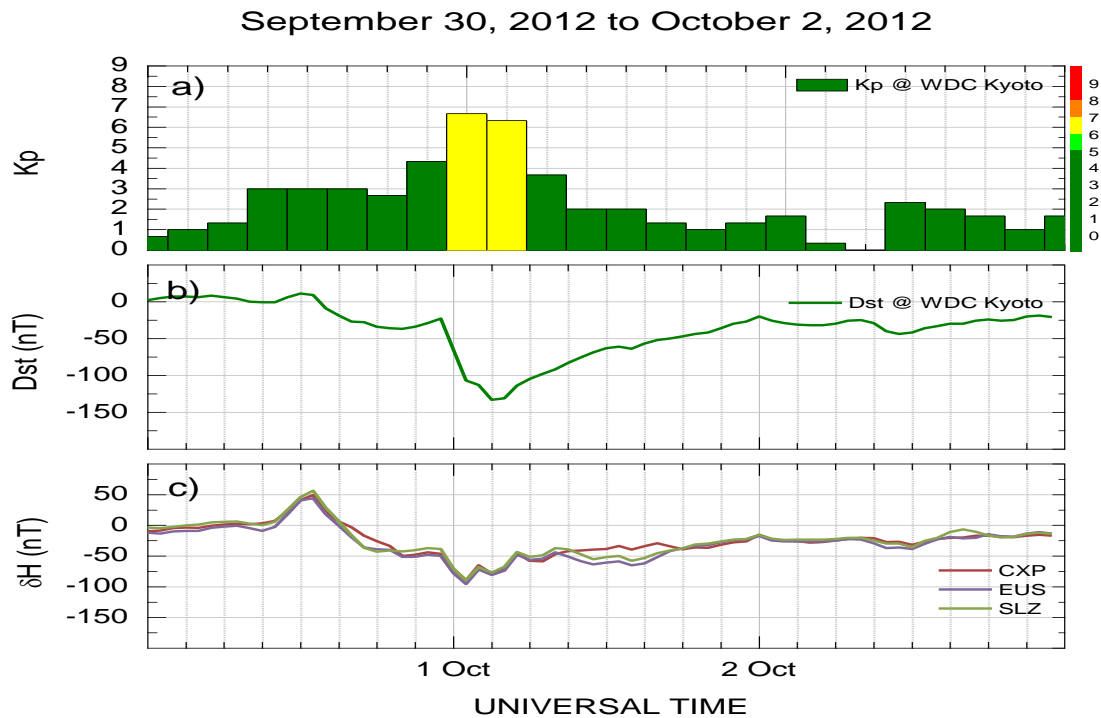


Figura 4.10 – Dados da tempestade geomagnética ocorrida no dia 30 de setembro de 2012.

A Figura 4.11 mostra a correlação entre o δH da estação de CXP e o índice Dst. O coeficiente de correlação foi 0,71484 e o coeficiente angular foi $(0,60754 \pm 0,04541)$. O erro médio para CXP foi de aproximadamente 35% abaixo da variação máxima do Dst.

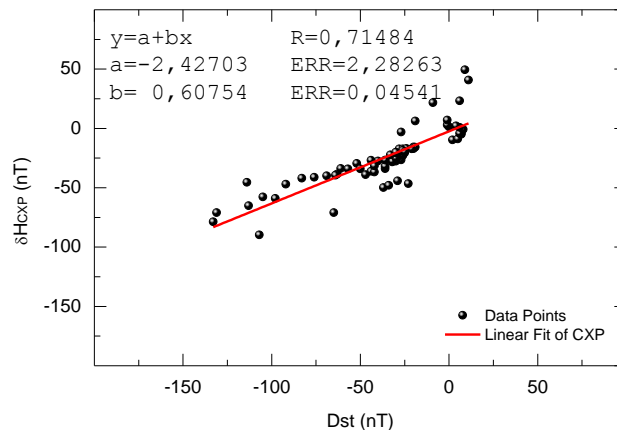


Figura 4.11 – Correlação linear entre os dados do índice Dst e o δH da estação de CXP durante a tempestade geomagnética ocorrida no dia 30 de setembro de 2012.

A Figura 4.12 mostra a correlação entre o δH da estação de EUS e o índice Dst. O coeficiente de correlação foi 0,70653 e o coeficiente angular foi $(0,63942 \pm 0,04876)$. O erro médio para EUS foi de aproximadamente 32% abaixo da variação máxima do Dst.

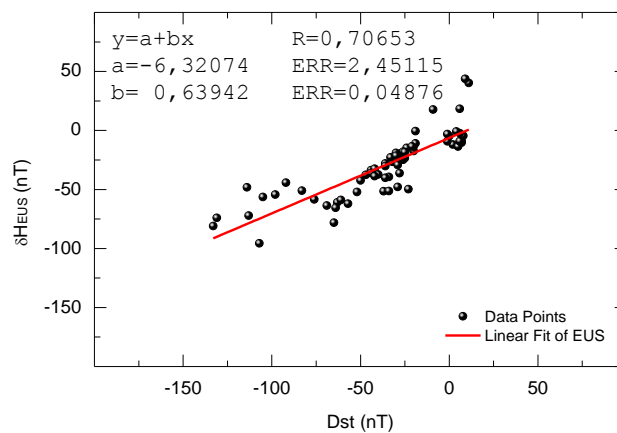


Figura 4.12 – Correlação linear entre os dados do índice Dst e o δH da estação de EUS durante a tempestade geomagnética ocorrida no dia 30 de setembro de 2012.

Já para SLZ, a Figura 4.13 mostra que a correlação entre δH da estação de SLZ e o índice Dst. Os valores da correlação foram próximos aos de EUS, o coeficiente de

correlação foi 0,70308 e o coeficiente angular foi $(0,64628 \pm 0,0497)$. O erro médio para SLZ foi de aproximadamente 31% abaixo da variação máxima do Dst.

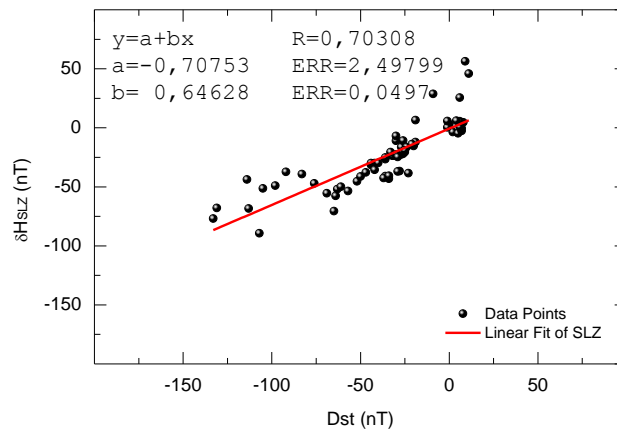


Figura 4.13 – Correlação linear entre os dados do índice Dst e o δH da estação de SLZ durante a tempestade geomagnética ocorrida no dia 30 de setembro de 2012.

Por fim, a Figura 4.14 mostra a tempestade geomagnética que ocorreu no dia 17 de março de 2013. O índice Kp nessa tempestade atingiu valores em torno de 6 por aproximadamente 21 horas (painel a). Já o índice Dst atingiu -132 nT em sua fase principal (painel b). A variação do δH para as estações de CXP (em vermelho), EUS (em roxo), SLZ (em verde) e RGA (em azul) parecem estar bem correlacionados com o índice Dst (painel c).

March 17, 2013 to March 19, 2013

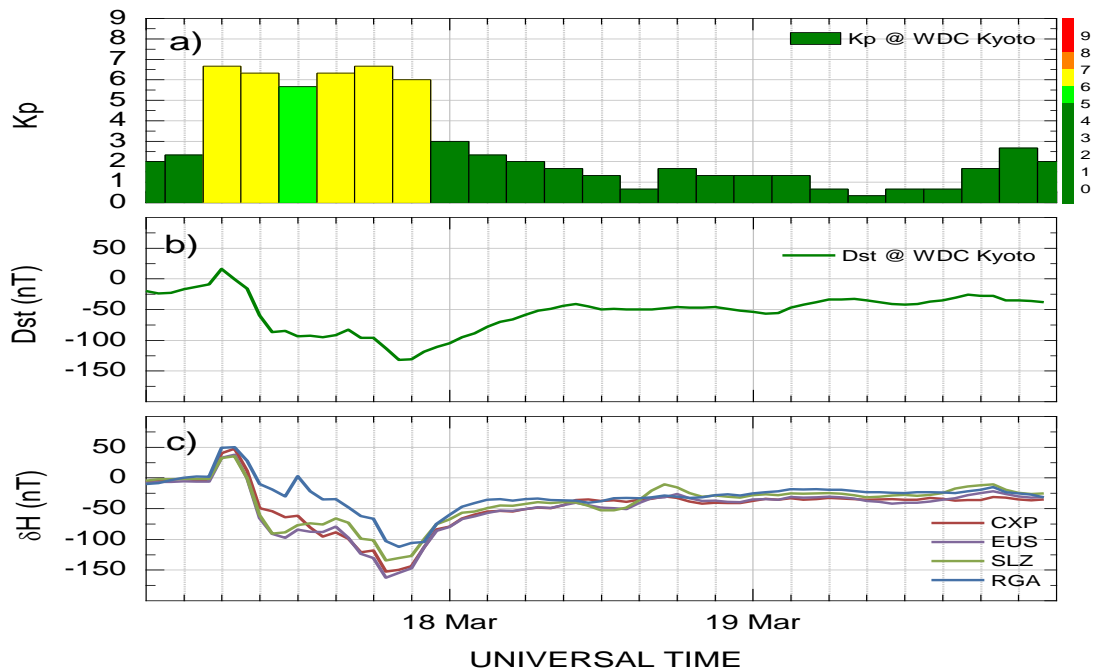


Figura 4.14 – Dados da tempestade geomagnética ocorrida no dia 17 de março de 2013.

Novamente, foi realizada a mesma correlação para os dados desta tempestade. O resultado da correlação entre o δH da estação de CXP é mostrado na Figura 4.15. O coeficiente de correlação linear foi 0,85055 e o coeficiente angular foi $(1,08892 \pm 0,0541)$. Assim, o erro médio foi aproximadamente 15% menor que a variação máxima do Dst.

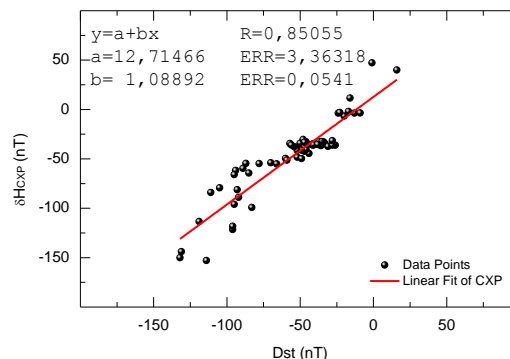


Figura 4.15 – Correlação linear entre os dados do índice Dst e o δH da estação de CXP durante a tempestade geomagnética ocorrida no dia 17 de março de 2013.

A Figura 4.16 mostra o resultado da correlação linear para a estação de EUS. O coeficiente de correlação 0,87527 e o coeficiente angular foi $(1,14335 \pm 0,05117)$. O erro aproximado foi 20% menor que a variação máxima do Dst.

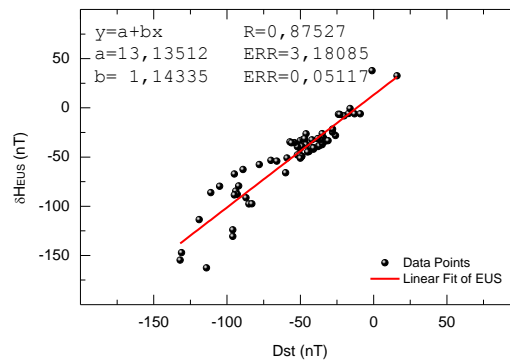


Figura 4.16 – Correlação linear entre os dados do índice Dst e o δH da estação de EUS durante a tempestade geomagnética ocorrida no dia 17 de março de 2013.

A Figura 4.17 mostra o resultado da correlação linear para a estação de SLZ. O coeficiente de correlação 0,87578 e o coeficiente angular foi $(1,01538 \pm 0,04534)$. O erro médio aproximado foi 6% menor que a variação máxima do Dst.

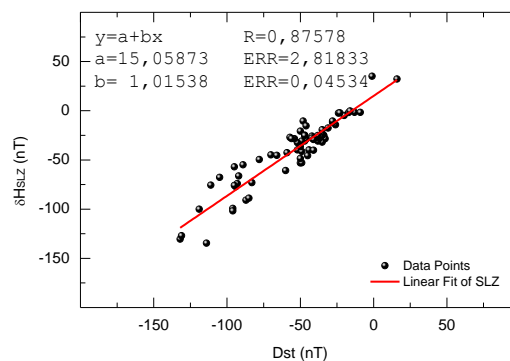


Figura 4.17 – Correlação linear entre os dados do índice Dst e o δH da estação de SLZ durante a tempestade geomagnética ocorrida no dia 17 de março de 2013.

Já para RGA, a correlação linear foi 0,66122 para o coeficiente de correlação e $(0,72706 \pm 0,06154)$ para o coeficiente angular. O erro aproximado foi 22% menor que a variação máxima do Dst (Figura 4.18).

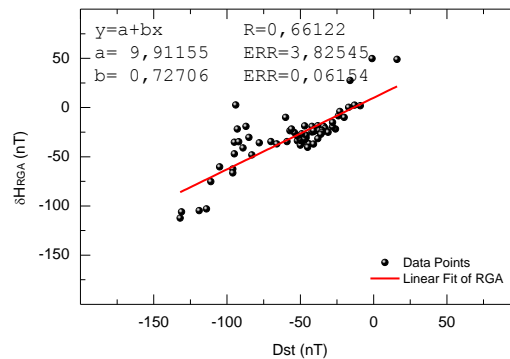


Figura 4.18 – Correlação linear entre os dados do índice Dst e o δH da estação de RGA durante a tempestade geomagnética ocorrida no dia 17 de março de 2013.

O resultado de todas essas correlações lineares é mostrado na Tabela 4.1, onde o índice de correlação (R) significa a correlação entre cada uma das estações com o índice Dst. O valor médio e o desvio padrão do índice Dst e dos coeficientes de correlação linear são mostrados no final desta mesma tabela.

Além disso, podemos concluir que a média das correlações das estações de CXP, EUS e SLZ foi de aproximadamente 0,7. Ao mesmo tempo, a tendência da variação da componente horizontal destes magnetômetros, em período de tempestades tendem a ter uma variação menor que a variação do que caracteriza uma tempestade geomagnética obtida pelo índice Dst. Quanto à estação de RGA, a correlação foi 0,6, inferior que às outras três estações. Porém, não se pode tirar muitas conclusões devido a uma única tempestade analisada com RGA. Entretanto, uma das possíveis causas para essa diminuição da correlação, é que quanto maior a latitude geomagnética, menor a correlação em relação ao índice Dst. Isso porque o índice Dst é um índice calculado através de magnetômetros próximos ao equador magnético.

Tabela 4.1 – Coeficiente de correlação linear entre o δH dos magnetômetros da Rede Embrace/INPE e o Índice Dst.

Data do evento	Dst	CXP	EUS	SLZ	RGA
2011/08/05	-107	0,75815	N/D	N/D	N/D
2012/03/08	-144	0,61266	0,74529	0,73087	N/D
2012/07/14	-128	0,75827	0,83642	N/D	N/D
2012/09/30	-133	0,71484	0,70653	0,70308	N/D
2013/03/17	-132	0,85055	0,87527	0,87578	0,66122
Média (R)	-128,8	0,74	0,79	0,77	0,66
Desvio padrão	13,6	0,09	0,08	0,09	0,00

A Tabela 4.2 mostra os coeficientes angulares (b) das correlações lineares entre o δH dos magnetômetros da Rede Embrace/INPE e o Índice Dst. No final desta mesma tabela, é mostrado a média do coeficiente angular para cada uma das estações magnéticas e a média dos erros dos coeficientes angulares (ERR_b).

Tabela 4.2 – Coeficiente angulares da correlação linear entre o δH dos magnetômetros da Rede Embrace/INPE e o Índice Dst.

Data do evento	Dst	CXP	EUS	SLZ	RGA
2011/08/05	-107	0,91766	N/D	N/D	N/D
2012/03/08	-144	0,64449	0,74529	0,66129	N/D
2012/07/14	-128	0,72968	0,83182	N/D	N/D
2012/09/30	-133	0,60754	0,63942	0,64628	N/D
2013/03/17	-132	1,08892	1,14335	1,01538	0,72706
Média (b)		0,80	0,84	0,77	0,73
Média (ERR_b)		0,05	0,05	0,05	0,00

Enfim, a análise deste estudo mostra que os magnetômetros da Rede Embrace pode ser utilizados como possíveis ferramentas para a caracterização de ocorrência de tempestades geomagnéticas, respeitadas as limitações de sensibilidade da rede.

CAPÍTULO 5

5 ATIVIDADES REALIZADAS

Neste capítulo, apresentamos a lista dos trabalhos no qual o bolsista participou como autor e coautor de publicações em eventos científicos nacionais e internacionais durante o período de vigência da bolsa.

5.1 Seminário de Iniciação Científica e Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (SICINPE)

Local: São José dos Campos, São Paulo.

Período: 1 e 2 de Agosto de 2012.

Trabalhos:

Chen, S. S., Denardini, C. M., Resende, L. C. A., Moro, J., Guizelli, L. M. Desenvolvimento de ferramentas científico-computacionais baseadas em dados de magnetômetros para aplicação no monitoramento e previsão do clima espacial. In: Seminário de Iniciação Científica e Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, 2012, São José dos Campos. Livro de Resumos SICINPE 2012, 2012. v. 1. p. 103-103

Guizelli, L. M., Denardini, C. M., Resende, L. C. A., Moro, J., Chen, S. S. Estudo da baixa ionosfera equatorial utilizando dados de radares. In: Seminário de Iniciação Científica do INPE 2012, 2012, São José dos Campos. Seminário de Iniciação Científica e Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, 2012. v. 1. p. 61-61.

5.2 IV Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronômica (SBGEA)

Local: Universidade Mackenzie, São Paulo.

Período: 10 a 14 de Setembro de 2012.

Trabalhos:

Chen, S. S., Denardini, C. M., Resende, L. C. A., Moro, J., Guizelli, L. M. Intercalibração da Rede EMBRACE de Magnetômetros. 2012. (Apresentação de Trabalho/Simpósio).

Denardini, C. M., Abalde, J. R., Chen, S. S., Guizelli, L. M., Resende, L. C. A., Moro, J., Padilha, A. L., Santanna, N., Petry, A., Fagundes, P., Correia, E., Schuch, N. J. , Domingos, S. , Borges, W. S. C. , Mesquita, F. P. V. , Filho, A. , Cunha, A. C. , Castilho, C. , Gargarella Junior, W. , Lima, R. A. A. A magnetometer network in South America: the station K index. In: IV Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia, 2012, São Paulo. IV Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia SBGEA 2012, 2012. v. 1. p. 57-57.

Moro, J., Denardini, C. M., Guizelli, L. M., Resende, L. C. A., Chen, S. S., Schuch, N. J. Radar soundings of the Brazilian equatorial E-region and electric fields: a review. In: IV Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia, 2012, São Paulo. IV Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia SBGEA 2012, 2012. v. 1. p. 107-107.

Resende, L. C. A., Denardini, C. M., Batista, I. S., Moro, J., Guizelli, L. M., Chen, S. S. Equatorial sporadic layer and counter-electrojet over the Brazilian region during the solar cycle 23. In: IV Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia, 2012, São Paulo. IV Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia SBGEA 2012, 2012. v. 1. p. 28-28.

5.3 XXIV Salão de Iniciação Científica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Local: Campus Centro da UFRGS, Porto Alegre.

Período: 1 a 5 de Outubro de 2012.

Trabalho:

Chen, S. S., Denardini, C. M., Resende, L. C. A., Moro, J., Guizelli, L. M. Relação entre a variação na componente H do campo geomagnético e o índice K local para as estações da Rede EMBRACE de Magnetômetros. In: XXIV Salão de Iniciação Científica UFRGS- 2012, 2012, Porto Alegre. Salão de Iniciação Científica (24. : 2012 out. 1-5 : UFRGS, Porto Alegre, RS), 2012.

5.4 American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting 2012

Local: São Francisco

Período: 3 a 7 de Dezembro de 2012.

Trabalho:

Moro, J., Denardini, C. M., Correia, E., Abdu, M. A., Schuch, N. J., Makita, K., Resende, L. C. A., Guizelli, L. M., Chen, S. S. Correlation between the cosmic noise absorption calculated from the SARINET data and the energetic particles measured by MEPED: simultaneous observations over SAMA region. In: AGU Fall Meeting 2012, 2012, São Francisco. AGU Fall Meeting 2012, 2012. v. 1. p. 237-237.

Além disso, o bolsista também participou de dois minicursos com emissão de certificado no Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia (SBGEA) na Universidade Mackenzie em São Paulo. O primeiro minicurso era intitulado “Processamento de Dados Científicos usando Linguagem Interativa de Dados” e foi ministrado pelo Dr. Clezio Marcos De Nardin. O segundo minicurso era intitulado “Processamento e Interpretação de Ionogramas” e foi ministrado pela Dra. Inez Staciarini Batista. Os certificados foram anexados ao relatório seguindo a ordem cronológica dos eventos.

E ainda, o bolsista participou da campanha de instalação de um magnetômetro da Rede Embrace/INPE no período de 10 a 14 de Junho de 2013 em São Martinho da Serra-RS, sob a supervisão dos técnicos Wagner Borges e Francisco Mesquita.



Figura 5.1 – Instalação do magnetômetro em São Martinho da Serra-RS.





Universidade Presbiteriana Mackenzie

**Decanato de Extensão
Escola de Engenharia**



CERTIFICADO

SONY SU CHEN

participou do minicurso intitulado "Processamento de Dados Científicos usando Linguagem Interativa de Dados" no Evento de Extensão: **"TV SBGEA - Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia"**, realizado no período de 10 a 14 de Setembro de 2012.

São Paulo, 14 de Setembro de 2012.



Cleverson Pereira de Almeida
Decano de Extensão

Leila Figueiredo de Miranda
Diretora da Escola de Engenharia



Universidade Presbiteriana Mackenzie

**Decanato de Extensão
Escola de Engenharia**



CERTIFICADO

SONY SU CHEN

participou do minicurso intitulado "Processamento e Interpretação de Ionogramas" no Evento de Extensão: **"IV SBGEA – Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronômica"**, realizado no período de 10 a 14 de Setembro de 2012.

São Paulo, 14 de Setembro de 2012.



Cleverson Pereira de Almeida
Decano de Extensão

Leila Figueiredo de Miranda
Diretora da Escola de Engenharia

XXIV SIC
Salão de Iniciação Científica

Salão
UFRGS
2012



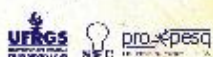
CERTIFICADO

Certificamos que

SONY SU CHEN

participou como PARTICIPANTE, no evento SIC2012 - XXIV SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFRGS, realizado no período de 01/10/2012 a 05/10/2012, com carga horária de 4 horas.

Documento gerado sob autenticação ZSB.772.986.3V2



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA

XXIV SIC
Salão de Iniciação Científica



CERTIFICADO

Certificamos que o trabalho

**RELAÇÃO ENTRE A VARIAÇÃO NA COMPONENTE H DO CAMPO
GEOMAGNÉTICO E O ÍNDICE K LOCAL PARA AS ESTAÇÕES DA REDE
EMBRACE DE MAGNETÔMETROS**

da autoria de

SONY SU CHEN

orientado por

CLEZIO MARCOS DE NARDIN

foi apresentado na sessão Geociências - Climatologia, Meteorologia e Estratigrafia, com carga horária de 4 horas, no SIC2012 - XXIV SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFRGS, realizado no período de 01/10/2012 a 05/10/2012.

Documento gerado sob autenticação UWW.743.461.3V2

CAPÍTULO 6

6 CONCLUSÕES

Como mostrado no Capítulo 2, à rotina desenvolvida foi à realização de trabalhos de revisão teórica utilizando o estudo de uma literatura específica sobre a ionosfera bem como os índices magnéticos. Além disso, como apresentado no Capítulo 3, foi realizado um estudo mais aprofundado sobre o equipamento de trabalho, os magnetômetros do tipo fluxgate a fim de aprimorar seus conhecimentos sobre as ferramentas de análise.

O bolsista também aprimorou suas habilidades em análise de dados geofísicos e também ele ajudou na instalação dos magnetômetros da rede Embrace em algumas estações bem como desenvolveu suas capacidades de escrever trabalhos científicos completos. Ainda dentro do período de bolsa, a bolsista teve oportunidade de participar eventos de iniciação científica onde interagiu com a comunidade científica da área. Ele participou de palestras e seminários, juntamente com pesquisadores, alunos de doutorado e mestrado, tecnologistas e pesquisadores visitantes. Além de participação como apresentador em congressos já expostos acima.

Finalmente, as atividades teóricas e técnicas cumpriram o cronograma do projeto sendo: estudo da bibliografia referente ao trabalho a ser desenvolvido, treinamento, familiarização e desenvolvimento de aplicativos referentes à instrumentação utilizada no trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARTELS, J. The standardized index, Ks, and the planetary index, Kp, Int. Union Geod. Geophys. IATME Bull., no. 12b. 97, 1949.
- BARTELS, J. The geomagnetic measures for the time variations of solar corpuscular radiation described for use in correlation studies in other geophysical fields, Ann. Int. Geophys. Year, 4, part 4, 127, 1957.
- BARTELS, J.; VELDKAMP, J. Geomagnetic and solar data, J. Geophys. Res., 54, 295, 1949.
- BARTELS, J.; HECK, N. H.; JOHNSTON, H. F., The three-hour range index measuring geomagnetic activity, J. Geophys. Res., 44, 411, 1939.
- CAMPBELL, W. H. Introduction to geomagnetic fields. First published. Cambridge University Press, 1997.
- CAMPBELL, W. H. Earth Magnetism: A Guide Tour Through Magnetic Fields. Complementary Science Series. Academic Press, 2001.
- CHAPMAN, S.; BARTELS, J. Geomagnetism: Volume 1 Geomagnetic and related phenomena. Third published. London: Oxford, 1940.
- DENARDINI, C. M. Estudo da eletrodinâmica da ionosfera equatorial durante o período de máxima atividade solar (1999-2002). 284 p. Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2003.
- DENARDINI, C. M.; ABDU, M. A.; AVEIRO, H. C.; RESENDE, L. C. A.; ALMEIDA, P. D. S. C.; OLÍVIO, Ê. P. A.; SOBRAL, J. H. A.; WRASSE, C. M. Counter electrojet features in the Brazilian sector: simultaneous observation by radar, digital sounder and magnetometers, Ann. Geophys., 27, 1593-1603, doi:10.5194/angeo-27-1593-2009, 2009.

- GUARNIERI, F. L. Estudo da origem interplanetária e solar de eventos de atividade auroral contínua. 316 p. Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2005.
- HALE, G. E.; NICHOLSON, S. B., Magnetic Observations of Sunspots 1917-1924. Publ. Carnegie Inst. 498; Washington, DC: Carnegie Inst, 1938.
- HARTAMANN, G. A. A Anomalia Magnética do Atlântico Sul: Causas e Efeitos. Dissertação (Mestrado em Ciências Geofísicas) – Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2005.
- JURSA, A. S. Handbook of Geophysics and the Space Environment. U. S. Air Force Geophysics Laboratory, Hanscom Air Force Base, Mass, 1985.
- KIRCHHOFF, V. W. J. H. Introdução à geofísica espacial. São Paulo: Nova Stella, Editora da Universidade de São Paulo: FAPESP, 1991.
- KIVELSON, M. G.; RUSSEL, C. T. Introduction to space physics. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- LANG, K. R. The Cambridge Encyclopedia of the Sun. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- LANG, K. R.; ZIRIN, H. Sun (astronomy): Sunspots. Britannica Encyclopedia. [on-line] Disponível em <<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/573494/Sun>> Outubro, 2011.
- LARSEN, K. P. About the Very Latest SOHO Images. Solar and Heliospheric Observatory Home Page. [on-line] Disponível em <<http://sohowww.nascom.nasa.gov/data/realtime/image-description.html>> Outubro, 2011.
- LUCAS, A. Estudo da dinâmica da corrente de anel durante a fase principal de supertempestades magnéticas. 262 p. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2005.

- LÜHR, H. CHAMP Magnetic Field Recovery. GFZ Potsdam. [on-line] Disponível em <http://op.gfz-potsdam.de/champ/science/magnetic_SCIENCE.html> Março, 2012.
- MAUS, S.; MACMILLAN, S.; MCLEAN, S.; HAMILTON, B.; THOMSON, A.; NAIR, M.; ROLLINS, C. The US/UK World Magnetic Model for 2010-2015. NOAA Technical Report NESDIS/NGDC, 2010.
- MAUS, S.; ALKEN, P. Equatorial Electrojet. Geomagnetism [on-line]. Disponível em <http://info.geomag.us/equatorial_electrojet.html> Março, 2012.
- MAYAUD, P. N., Indices Kn, Ks, et Km, pp. 1-155, Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, 1968.
- MENDES JR., O. A origem interplanetária e o desenvolvimento da fase principal das tempestades geomagnéticas moderadas (1978 – 1979). 307 p. Tese (Doutorado em Ciência Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1992.
- PÁDUA, M. B. Estudo da indução eletromagnética na caracterização de estruturas profundas sob a borda sul do cráton de São Francisco. 164 p. Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2004.
- PRESS, W. H.; TEUSKOLSKY, S. A.; VETTERLING, W. T.; FLANNERY, B. P. Numerical Recipes in C : The Art Of Scientific Computing. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.
- RESENDE, L. C. A. Estudo do comportamento dos parâmetros de frequência das camadas Es na região equatorial durante períodos perturbados. 284 p. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2010.
- RIPKA, P. Review of fluxgate sensors. Sensors and Actuators A. 33, p129-141.
- ROSTOKER, G. Geomagnetic Indices, Rev. Geophys. Space Phys., 10, 157, 1972.

SIMÕES, M. C. Identificação de distúrbios em magnetogramas associados às tempestades geomagnéticas utilizando técnicas wavelets. 151 p. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2011.

VELIZ, O. Manual de Operación: JRO-ML-103 Triaxial Magnetometer. Jicamarca Radio Observatory, 2010.