



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

ESTUDO COMPARATIVO DAS FRENTES DE CHOQUE PLANETÁRIAS

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

PROCESSO Nº 105376/2005-1

Samuel Martins da Silva (UFSM, Bolsista PIBIC/ INPE – CNPq/MCT)

E-mail: samuel@lacesm.ufsm.br

Dr. Ezequiel Echer (DGE/CEA/INPE - MCT, Orientador)

E-mail: eecher@dge.inpe.br

Dr. Nelson Jorge Schuch (CRSPE/INPE – MCT, Co-Orientador)

E-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br

Santa Maria, Julho de 2006.

Dados de Identificação

Bolsista

Samuel Martins da silva
Acadêmico do Curso de Física Bacharelado
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Orientador

Dr. Ezequiel Echer
Divisão de Geofísica Espacial
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Co-orientador

Dr. Nelson Jorge Schuch, Pesquisador Titular AIII, Coordenador da Ação 1275 de Implantação do CRSPE e Chefe da RSU/CIE/INPE – MCT.

Título do Projeto

ESTUDO COMPARATIVO DAS FRENTES DE CHOQUE PLANETÁRIAS

Local de execução do projeto:

- Laboratório de Clima Espacial e Previsão de Tempestades Geomagnéticas;
- Projeto desenvolvido no âmbito da Parceria: INPE - UFSM via Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM, em Santa Maria, RS;

Pesquisadores e Estudantes Colaboradores:

- Dr. Nelson Jorge Schuch – CRSPE/INPE – MCT
- Acadêmico Carlos Roberto Braga – UFSM
- Acadêmico Jairo Francisco Savian – UFSM



*“Aprendemos a voar como pássaros,
e a nadar como peixes,
mas não aprendemos a conviver como irmãos”.*
Martin Luther King



*A meus pais,
Odécio Martins da Silva e Marlene Rodrigues da Silva,
Familiares e Amigos.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero agradecer aos meus pais, Odécio e Marlene, por terem me apoiado e incentivado desde cedo em meus estudos.

Agradeço aos meus irmãos, Cristiane e Tiago, pelo apoio e auxílio em todas as etapas de minha vida.

Agradeço a Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, ao Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT – UFSM, pelo suporte técnico, educacional e financeiro disponibilizado para minhas viagens para congressos, eventos científicos e na minha formação, tanto no Brasil como no exterior.

Agradeço ao Centro Regional Sul de Pesquisas – CRSPE/INPE – MCT, pela infraestrutura disponibilizada para a realização deste trabalho; aos alunos - Carlos Roberto Braga e Jairo Francisco Savian - que atuam na Parceria INPE – UFSM, através do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria pelo apoio técnico, companheirismo e grande amizade; e a Sr^a. Angelita Tavares e Sr^a. Maria Célia Lemes dos Santos, responsável pela administração, pelo auxílio em diversas etapas deste Projeto de Iniciação Científica.

Agradeço ao meu Orientador, Dr. Ezequiel Echer, pela ajuda, paciência, dedicação e incentivo para a realização deste Projeto e trabalhos correlatos tantos os presentes como os novos projetos para o futuro.

Agradeço a Dr^a. Damaris Kirsch Pinheiro dedicada Professora e Diretora do LACESM/CT – UFSM, pelo apoio técnico e dedicação pelo apoio técnico e dedicação na correção de meus trabalhos científicos.

Ao pessoal técnico - científico das operações Mariner10, IMP – 8 e ISEE 1 e 2 por terem disponibilizados os dados de campo magnético e de plasmas do Meio Interplanetário na internet.

Ao Programa de Bolsas de Iniciação Científica do CNPq e ao Coordenador do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, pela bolsa, atenção e sempre alerta para informar e cobrar informações para a Secretária do Programa, Egídia Ignácio da Rosa.

Um especial agradecimento ao Dr. Nelson Jorge Schuch pela orientação pessoal/humana, técnico e científica e por ter revisado este trabalho, por demonstrar real interesse em meu desenvolvimento, sempre me incentivando a fazer o melhor possível e me estimulado a agir no sentido de procurar ações e interações pessoais e profissionais não só no Brasil como no Exterior.

RESUMO

O espaço interplanetário é um meio rarefeito, onde colisões ordinárias (mecânicas) entre partículas são raras. Este meio é preenchido pela atmosfera solar que se encontra em constante expansão – o vento solar. Este plasma magnetizado interage com os planetas, formando as magnetosferas planetárias. Como o vento solar se expande de maneira supersônica, frentes de choque se formam à frente dos planetas. Estas frentes de choque são choques não colisionais, onde a interação eletromagnética desempenha o papel atribuído às colisões mecânicas em fluidos ordinários. O objetivo deste Projeto de Iniciação Científica é o estudo comparativo entre as frentes de choque planetárias no Sistema Solar. Esta pesquisa é realizada com dados vetoriais de campo magnético medidos por diversas sondas planetárias. Primeiro, realizamos um estudo comparativo das frentes de choques planetárias através de trabalhos publicados na literatura científica. Há dois tipos de magnetosferas planetárias: induzidas (Vênus e Marte) e intrínsecas (Mercúrio, Terra, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno). As propriedades das frentes de choque variam com a distância heliocêntrica, em função da variabilidade do vento solar, e da intensidade do campo magnético planetário. Em seguida, utilizando os dados de campo magnético medidos por sensores a bordo das sondas planetárias, aprendemos a identificar o sinal do cruzamento das frentes de choque. Determinamos as médias dos vetores campo magnético à frente (*upstream*, B_u) e após o choque (*downstream*, B_d). Utilizando estes vetores médios e o teorema da coplanaridade magnética, determinamos o vetor normal à frente de choque e o ângulo entre a mesma e o vetor campo magnético ambiente (*upstream*). Exemplos de cruzamentos de frente de choque para Mercúrio e a Terra bem como o cálculo da normal ao choques são apresentados.

ABSTRACT

The interplanetary space is a rarefied medium, where usual collisions (mechanical) between particles are rare. This medium is filled by the solar atmosphere that is in constant expansion - the solar wind. This magnetized plasma interacts with the planets, forming the planetary magnetospheres. As the solar wind expands in a supersonic way, bow shocks form at the front of the planets. These bow shocks are collisionless shocks, where the electromagnetic interaction plays the role attributed to the mechanical collisions in usual fluids. The objective of this work is the comparative study between the planetary bow shocks in the Solar System. This study is carried with vectorial data of magnetic field measured by diverse planetary spacecrafts. First, we carry through a comparative study of the planetary shocks through works published in scientific literature. There are two types of planetary magnetospheres: induced (Venus and Mars) and intrinsic (Mercury, Earth, Jupiter, Saturn, Uranus and with Neptune). The properties of the bow shock vary the distance heliocentric, in function of the variability of the solar wind, and the planetary magnetic field strength. After that, using the data of magnetic field measured by sensors on board the planetary spacecraft, we learn to identify the signal of the crossing bow shocks. We determine the averages of the magnetic field vector before (*upstream*, B_u) and after the bow shocks (*downstream*, B_d). Using these average vectors and the theorem of the magnetic coplanarity, we determine the normal vector to the bow shock and the angle between the same and the vector surrounding magnetic field (*upstream*). Examples of bow shocks crossings for Mercury and the Earth as well as the calculation of the normal to the shocks are presented.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	13
LISTA DE SÍMBOLOS	14
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	15
CAPÍTULO 1	16
INTRODUÇÃO.....	16
CAPÍTULO 2	17
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 O SOL.....	17
2.2 PLANETAS.....	23
2.2.1 MERCÚRIO	24
2.2.1.1 INTERIOR.....	24
2.2.1.2 ATMOSFERA	25
2.2.1.3 CAMPO MAGNÉTICO.....	25
2.2.2 VÊNUS.....	26
2.2.2.1 INTERIOR.....	26
2.2.2.2 ATMOSFERA	27
2.2.2.3 CAMPO MAGNÉTICO.....	27
2.2.3 TERRA.....	27
2.2.3.1 INTERIOR.....	28
2.2.3.2 ATMOSFERA	29
2.2.3.3 CAMPO MAGNÉTICO.....	29
2.2.4 MARTE.....	30
2.2.4.1 INTERIOR.....	30
2.2.4.2 ATMOSFERA	30
2.2.4.3 CAMPO MAGNÉTICO.....	31
2.2.5 JÚPITER.....	31
2.2.5.1 INTERIOR.....	32
2.2.5.2 ATMOSFERA	32
2.2.5.3 CAMPO MAGNÉTICO.....	33
2.2.6 SATURNO	33
2.2.6.1 INTERIOR.....	34
2.2.6.2 ATMOSFERA	34
2.2.6.3 CAMPO MAGNÉTICO.....	34
2.2.7 URANO.....	35
2.2.7.1 INTERIOR.....	35
2.2.7.2 ATMOSFERA	36
2.2.7.3 CAMPO MAGNÉTICO.....	36
2.2.8 NETUNO.....	37
2.2.8.1 INTERIOR.....	37
2.2.8.2 ATMOSFERA	38
2.2.8.3 CAMPO MAGNÉTICO.....	38
2.3 VENTO SOLAR.....	39
2.3.1 VENTO SOLAR RÁPIDO:.....	39
2.3.2 VENTO SOLAR LENTO:	40
2.4 CAMPO MAGNÉTICO INTERPLANETÁRIO	40

2.5	ONDAS DE CHOQUE.....	41
CAPÍTULO 3		45
METODOLOGIA E INSTRUMENTAÇÃO UTILIZADA.....		45
3.1	METODOLOGIA.....	45
3.2	CÁLCULO DA NORMAL DO CHOQUE.....	46
3.3	INSTRUMENTAÇÃO	47
MAGNETOMÊTRO		47
3.4	MISSÕES ESPACIAIS.....	49
3.4.1	MARINER 10.....	49
3.4.2	ISEE 1 E 2.....	50
CAPÍTULO 4		52
RESULTADOS		52
4.1	ANÁLISE DOS EVENTOS DETECTADOS PELA SONDA ESPACIAL ISEE 1 E 2 – TERRA	53
4.1.1	CRUZAMENTO DA FRENTE DE CHOQUE DO DIA 2 DE DEZEMBRO DE 1977.....	53
4.1.2	CRUZAMENTO DA FRENTE DE CHOQUE DO DIA 5 DE DEZEMBRO DE 1977.....	54
4.1.3	CRUZAMENTO DA FRENTE DE CHOQUE DO DIA 25 DE JULHO DE 1978.....	55
4.1.4	CRUZAMENTO DA FRENTE DE CHOQUE DO DIA 27 DE AGOSTO DE 1978.....	56
4.1.5	CRUZAMENTO DA FRENTE DE CHOQUE DO DIA 5 DE SETEMBRO DE 1978.....	57
4.2	ANÁLISE DOS EVENTOS DETECTADOS PELA SONDA ESPACIAL MARINER 10 - MERCÚRIO	59
4.2.1	CRUZAMENTO DA FRENTE DE CHOQUE DO DIA 26 DE MARÇO DE 1974.....	59
4.2.2	CRUZAMENTO DA FRENTE DE CHOQUE DO DIA 15 DE MARÇO DE 1975.....	60
CAPÍTULO 5		62
CONCLUSÕES		62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		64
ANEXOS		68
ANEXO 1		69
TABELA DE PROPRIEDADES PLANETÁRIAS		69
ANEXO 2		71
PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA		71
ANEXO 3		75
TÍTULOS E RESUMOS DE TRABALHOS APRESENTADOS E OU SUBMETIDOS NO PERÍODO DE VIGÊNCIA DA BOLSA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA AGOSTO/2005 – JULHO/2006.....		75
ANEXO 4		95
CERTIFICADOS.....		95

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Os Faraós adoravam o deus Sol, Rá (identificado com a cabeça de falcão e um disco solar sobre ela), e a veneração ao mesmo permaneceu suprema no antigo Egito. [Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/R%C3%A1].	17
Figura 2.2: Stonehenge na Inglaterra. [Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Stonehenge].	18
Figura 2.3: Telescópio usado por Christopher Schneiner; 2.0.4: Trabalho publicado por Christopher Schneiner sobre manchas solares. [Fonte: http://galileo.rice.edu/sci/observations/sunspots.html].	18
Figura 2.5: Eclipse Total do Sol. [Fonte: <i>University Corporation for Atmospheric Research</i> , www.windows.ucar.edu/windows.html].	19
Figura 2.6: Visão da Coroa Solar. [Fonte: 3º Escola de Física Solar de El Leoncito].	19
Figura 2.7: Partes do Sol: cromosfera, fotosfera e coroa Solar. [Fonte: 3º Escola de Física Solar de El Leoncito].	21
Figura 2.8: Ciclo Solar completo de 11 anos. [Fonte: <i>Yohkoh Solar Observatory</i> , http://solar.physics.montana.edu/sxt/].	21
Figura 2.9: Distúrbios causados por tempestades geomagnéticas. [Fonte: www.spaceweathercenter.org].	22
Figura 2.10: Visão do Sistema Solar. [Fonte: <i>National Aeronautics and Space Administration, NASA</i> , http://solarsystem.nasa.gov].	23
Figura 2.11: Estrutura interna de Mercúrio. [Fonte: <i>University Corporation for Atmospheric Research</i> , www.windows.ucar.edu/windows.html].	25
Figura 2.12: Atmosfera de Mercúrio. [Fonte: <i>University Corporation for Atmospheric Research</i> , www.windows.ucar.edu/windows.html].	25
Figura 2.13: Frente de Choque, bainha e magnetopausa de Mercúrio. [Fonte: <i>University Corporation for Atmospheric Research</i> , www.windows.ucar.edu/windows.html].	26
Figura 2.14: Estrutura interna de Vênus. [Fonte: <i>University Corporation for Atmospheric Research</i> , www.windows.ucar.edu/windows.html].	27
Figura 2.15: Atmosfera desértica de Vênus. [Fonte: <i>National Aeronautics and Space Administration, NASA</i> , http://solarsystem.jpl.nasa.gov/multimedia/gallery/nssdc_v13_vg261_262.jpg].	27
Figura 2.16: Camadas da estrutura da Terra. [Fonte: <i>University Corporation for Atmospheric Research</i> , www.windows.ucar.edu/windows.html].	28
Figura 2.17: Frente de choque terrestre e sua magnetosfera. [Fonte: <i>University Corporation for Atmospheric Research</i> , www.windows.ucar.edu/windows.html].	30
Figura 2.18: Atmosfera de Marte. [Fonte: <i>National Aeronautics and Space Administration, NASA</i> , http://solarsystem.jpl.nasa.gov/multimedia/gallery/Spirit_Color1.jpg].	31
Figura 2.19: Frente de choque e magnetosfera de Marte. [Fonte: <i>University Corporation for Atmospheric Research</i> , www.windows.ucar.edu/windows.html].	31

Figura 2.20: Estrutura interna de Júpiter. [Fonte: <i>University Corporation for Atmospheric Research</i> , www.windows.ucar.edu/windows.html].	32
Figura 2.21: Atmosfera de Júpiter. [Fonte: <i>National Aeronautics and Space Administration</i> , NASA, http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/display.cfm?IM_ID=342].	33
Figura 2.22: Frente de choque de Júpiter e sua magnetosfera. [Fonte: <i>University Corporation for Atmospheric Research</i> , www.windows.ucar.edu/windows.html].	33
Figura 2.23: Estrutura interna de Saturno. [Fonte: <i>University Corporation for Atmospheric Research</i> , www.windows.ucar.edu/windows.html].	34
Figura 2.24: Frente de choque de Saturno e sua magnetosfera. [Fonte: <i>University Corporation for Atmospheric Research</i> , www.windows.ucar.edu/windows.html].	35
Figura 2.25: Estrutura interna de Urano. [Fonte: <i>University Corporation for Atmospheric Research</i> , www.windows.ucar.edu/windows.html].	36
Figura 2.26: Frente de choque de Urano e sua magnetosfera. [Fonte: <i>University Corporation for Atmospheric Research</i> , www.windows.ucar.edu/windows.html].	37
Figura 2.27: Estrutura interna de Netuno. [Fonte: <i>University Corporation for Atmospheric Research</i> , www.windows.ucar.edu/windows.html].	38
Figura 2.28: Representação esquemática da estrutura de “saia de bailarina” do campo magnético interplanetário. [Fonte: adaptado de 3º Escola de Física Solar de El Leoncito].	41
Figura 2.29: Figura esquemática da superfície de um choque. [Fonte: adaptado de <i>Introduction to Space Physics</i> , Kivelson e Russell, pag. 142].	43
Figura 3.1: Exemplo do tratamento dos dados de campo magnético da sonda espacial ISEE 1.	45
Figura 3.2: Exemplo do procedimento para plotar os gráficos como um painel.	46
Figura 3.3: Resposta do núcleo saturado para um campo de amplitude A e período T. [Fonte: adaptado de <i>Introduction to Geomagnetic Fields</i> , Wallace H. Campbell, pág. 186].	48
Figura 3.4: Esquema de um Magnetômetro fluxgate direcional (vetor) para medidas de campos geomagnéticos. [Fonte: adaptado de <i>Introduction to Geomagnetic Fields</i> , Wallace H. Campbell, pág. 187].	49
Figura 3.5: Foto da Mariner 10. [Fonte: adaptado de http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/tmp/1973-085A.html].	50
Figura 3.6: Foto ilustrativa da Sonda Espacial ISEE 1. [Fonte: adaptado de http://nssdc.gsfc.nasa.gov/database/MasterCatalog?sc=1977-102A].	51
Figura 4.1: Variações temporais do campo magnético antes (<i>upstream</i>) e após (<i>downstream</i>) o choque.	53
Figura 4.2: Variações temporais do campo magnético antes (<i>upstream</i>) e após (<i>downstream</i>) o choque.	54
Figura 4.3: Variações temporais do campo magnético antes (<i>upstream</i>) e após (<i>downstream</i>) o choque.	55
Figura 4.4: Variações temporais do campo magnético antes (<i>upstream</i>) e após (<i>downstream</i>) o choque.	56



Figura 4.5: Variações temporais do campo magnético antes (*upstream*) e após (*downstream*) o choque.57

Figura 4.6: Variações temporais do campo magnético antes (*upstream*) e após (*downstream*) o choque.59

Figura 4.7: Variações temporais do campo magnético antes (*upstream*) da frente de choque..... 60

Figura 4.8: Variações temporais do campo magnético depois (*downstream*) da frente de choque.....61

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Características do Sol. [Fonte: adaptada da 3° Escola de Física Solar de El Leoncito].	20
Tabela 2.2: Características do Vento Solar rápido. [Fonte: adaptado de 3° Escola de Física Solar de El Leoncito, Argentina, 28 de novembro a 5 de dezembro de 2005].	39
Tabela 2.3: Características do Vento Solar lento. [Fonte: adaptado de 3° Escola de Física Solar de El Leoncito, Argentina, 28 de novembro a 5 de dezembro de 2005].	40
Tabela 2.4: Possíveis tipos de discontinuidades em ideal MHD. [Fonte: adaptado de Introduction to space Physics, Margaret G. Kivelson e Christopher T. Russell, pag. 141].	42
Tabela 3.1: Características da Mariner 10. [Fonte: adaptado de Deep Space Chronicle, Asif A. Siddiqi, pág. 105].	50
Tabela 4.1: Datas das Frentes de Choques analisadas.....	52
Tabela 4.2: Terra (ISEE 1e 2).....	58
Tabela 4.3: Mercúrio (Mariner 10).....	61

LISTA DE SÍMBOLOS

- U_A - Unidade Astronômica – distância entre o Sol e a Terra, $1,5 \times 10^{11}$ m.
- B_t - Intensidade do campo magnético interplanetário [nT].
- B_x - Componente x do campo magnético interplanetário [nT].
- B_y - Componente y do campo magnético interplanetário [nT].
- B_z - Componente z do campo magnético interplanetário [nT].
- μ_0 - Permeabilidade magnética do espaço livre.
- β - Beta de plasma.
- n - Normal a frente de choque.
- α - Ângulo entre a normal e o campo magnético interplanetário.
- H_0 - Campo magnético do ambiente.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- ISEE - International Sun-Earth Explorer.
- IMP - Interplanetary Monitoring Platform.
- UT - Hora Universal, do inglês – “Universal Time”.
- MHD - Magnetohidrodinâmica.
- R_E - Raio da Terra.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A expansão supersônica do plasma da coroa solar através do meio interplanetário – devido à interação entre o Vento Solar e a presença de um obstáculo magnetizado: magnetosferas intrínsecas geradas pelo campo magnético planetário ou magnetosferas induzidas - choques não colisionais são formados na frente das magnetosferas planetárias. Frentes de Choques Planetárias fornecem uma visão tanto do comportamento dos choques como dos obstáculos planetários responsáveis pela criação das frentes de choque. Desde que a velocidade do fluxo do vento solar exceda a velocidade magnetosônica, uma onda de choque se formará na frente de cada planeta, se o mesmo não absorver o fluxo vindo através do Vento Solar. A onda de choque diminui a velocidade do fluxo do vento solar, aquece-o e deflete-o ao redor do obstáculo planetário. As propriedades dos obstáculos planetários variam de planeta para planeta. E as propriedades do vento solar mudam drasticamente com a distância heliocêntrica. Assim, quando são comparadas as frentes de choques de Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno, são encontrados diferenças na forma, estrutura e intensidade. Os mais relevantes obstáculos para o fluxo do vento solar são as magnetosferas planetárias. Tais magnetosferas ocorrem em Mercúrio, Terra, Júpiter e Saturno. As ionosferas planetárias podem defletir o fluxo, desde que o vento solar magnetizado não se difunda rapidamente. Isto ocorre em Vênus e, possivelmente, em Marte.

O objetivo deste Projeto é o estudo sobre a Física básica da formação de Frentes de Choque no Sistema Solar, magnetosferas planetárias e vento solar. Propõe-se adquirir familiaridade com os dados de campo magnético e plasmas medidos por sondas interplanetárias (tais como IMP-8, ISEE 1 e 2 e Mariner 10) que vem estudando a heliosfera nos últimos 40 anos.

Este Projeto foi desenvolvido no Laboratório de Clima Espacial e Previsão de Tempestades Magnéticas do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT no âmbito da Parceria com o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Desde os primórdios da história humana, os astros observados na abóbada celeste têm chamado à atenção dos pensadores de cada época. O astro de maior importância para a humanidade é o Sol e milhares de pessoas têm devotado o seu tempo a estudá-lo. Devido a sua proximidade e características, ele tem muita influência no que acontece na região compreendida entre este e o Meio Interestelar, chamado de Meio Interplanetário.

2.1 O SOL

A necessidade de sobrevivência levou as tribos remanescentes das últimas glaciações a observarem o Sol, a Lua e suas relações com as estações do ano e com a natureza (desde aproximadamente 30.000 a 10.000 anos atrás). O estabelecimento da agricultura e da pecuária a partir de 10.000 anos atrás, fez da observação dos astros e das estações uma atividade obrigatória para os primeiros aglomerados humanos.

A Astronomia é seguramente a ciência mais antiga e surgiu nos últimos 12.000 anos na Mesopotâmia (sumerianos e babilônios) no Egito, na Europa e na Ásia (Índia e China).

No antigo Egito, a geometria e a aritmética egípcia permitiram a construção precisa de templos e pirâmides. Algumas eram construídas com tal precisão que era possível prever as cheias do rio Nilo a partir do aparecimento da estrela Sírius (constelação de Cão Maior) nas aberturas laterais e superiores de várias pirâmides. Os antigos achavam que os cometas eram astros que semeavam o terror. Essa crença se dava nos quatro cantos da Terra. Rá é a principal divindade solar da mitologia egípcia. Como uma das culturas agrícolas mais antigas e mais bem-sucedidas da Terra, os egípcios deram ao seu deus sol a supremacia, reconhecendo a importância da luz do sol na produção de alimentos. Os faraós do Egito acreditavam ser descendentes de Rá.



Figura 2.1: Os Faraós adoravam o deus Sol, Rá (identificado com a cabeça de falcão e um disco solar sobre ela), e a veneração ao mesmo permaneceu suprema no antigo Egito. [Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/R%C3%A1>].

Na Europa Antiga: Stonehenge é um monumento megalítico da Idade do Bronze (cerca de 5000 anos atrás), localizado próximo a Amesbury, no condado de Wiltshire, a cerca de 13 km a noroeste de Salisbury, na Inglaterra. É composto por um círculo de pedras provavelmente construído como templo-calendário do ano. Uma característica deste sítio é a existência de alinhamentos especiais dos blocos de pedras e do Sol, marcando os solstícios de Inverno e/ou de Verão, entre outras marcações, tais como registros do calendário anual e das fases da Lua (<http://pt.wikipedia.org>).



Figura 2.2: Stonehenge na Inglaterra. [Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Stonehenge>].

O estudo científico do Sol começou depois que o telescópio tinha sido trazido para a astronomia em 1609. Embora haja alguma controvérsia sobre quando e por quem foram feitas as primeiras observações solares através de telescópios, podemos dizer que Galileu e Thomas Harriot foram os primeiros, em torno do fim de 1610; além dos estudos feitos na mesma época por Johannes e David Fabricius e Christopher Schaeiner (Rice University, www.rice.edu).

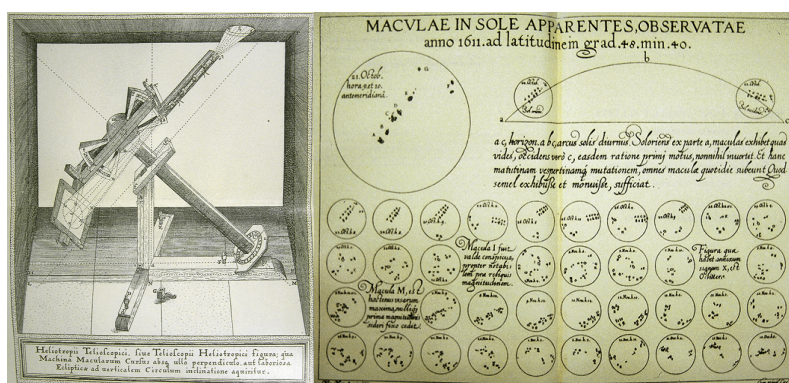


Figura 2.3: Telescópio usado por Christopher Schaeiner; 2.4: Trabalho publicado por Christopher Schaeiner sobre manchas solares. [Fonte: <http://galileo.rice.edu/sci/observations/sunspots.html>].

O número de manchas solares é o índice mais antigo da atividade Solar, com observações de manchas solares estendendo-se desde 1611. Ele serve como uma medida da atividade magnética geral do Sol (Eddy, Science, 1976).

Outro evento astronômico que chamava a atenção da comunidade científica e assustava muitas pessoas nos tempos antigos são os Eclipses. Um eclipse do Sol ocorre quando a Terra passa através da sombra da Lua. Um eclipse total do Sol toma lugar somente durante a Lua nova, quando a Lua está diretamente entre o Sol e a Terra e está posicionado justo para moldar uma sombra na Terra. Quando o Eclipse Total ocorre, a sombra da Lua cobre uma porção da Terra, onde o eclipse é visível. Como a Lua move-se a 1 km/s, a posição da sombra muda, então, os eclipses totais geralmente duram poucos minutos em uma determinada posição (*University Corporation for Atmospheric Research*, www.windows.ucar.edu/windows.html).

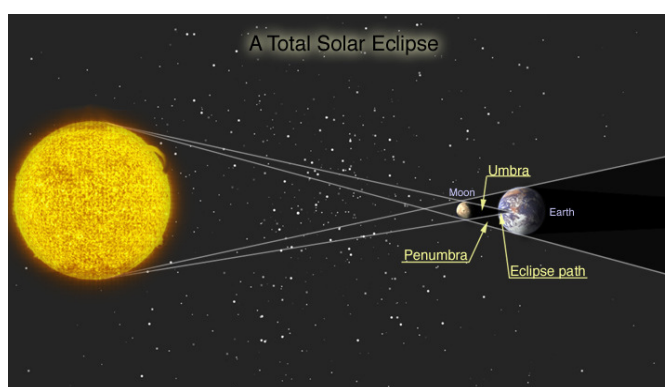


Figura 2.5: Eclipse Total do Sol. [Fonte: *University Corporation for Atmospheric Research*, www.windows.ucar.edu/windows.html].

Os eclipses são de grande interesse para o público e para astrônomos. Eles provêm uma oportunidade para absorver a parte externa da atmosfera do Sol, a Coroa Solar. Por causa da pouca ocorrência dos eclipses, astrônomos solares têm construídos instrumentos especiais, os quais são chamados de Coronógrafos para ver o Sol. Coronógrafos bloqueiam (“ocultam”) a luz vinda da Fotosfera, permitindo que a luz dispersada pela coroa seja vista.

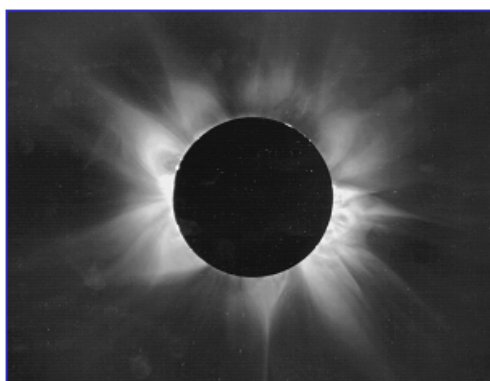


Figura 2.6: Visão da Coroa Solar. [Fonte: 3º Escola de Física Solar de El Leoncito].

Para os astrônomos, o Sol é uma estrela razoavelmente ordinária de espectro tipo G2V e com uma magnitude de 4,8. Entretanto, sua proximidade com a Terra torna-o de grande interesse para nós e também o mais acessível para estudo. Algumas características do Sol são relacionadas abaixo na Tabela 2.1.

Nome	Sol
Tipo	Estrela fixa ordinária.
Distância até a Terra	149.598.000 km ou 1 AU
Variação da distância da Terra	+/- 1.69 % (+ em Julho, - em Janeiro) Raios Solares (R_S)
Massa total do Sol	$1,989 \times 10^{30}$ kg ou $333.000 M_T$
Densidade (média)	1,409 g/cm ³
Temperatura (na superfície)	6000 K
Rotação	27,25 days no equador
Idade	4,60 bilhões de anos
Número de Planetas	9, mais outros minúsculos planetas.
Estrela mais próxima	Alfa de Centauro, a 4.37 anos luz
Galáxia mais próxima	Nuvens de Magalhães, a 165.000 anos luz
Diâmetro aparente	$31' 59,3'' = 1913,3''$ ou 0,5 graus
Raio aparente	$959,65''$
Energia (saindo do Sol)	$3,82 \times 10^{33}$ Watt
Energia (chegando à Terra)	1370 Wm^{-2}

Tabela 2.1: Características do Sol. [Fonte: adaptada da 3^o Escola de Física Solar de El Leoncito].

O Sol é uma bola maciça de gás presa e comprimida sobre sua própria atração gravitacional. Ele consiste principalmente de 90% de Hidrogênio e 10% de Hélio. Estes gases estão na maior parte ionizados por causa da alta temperatura dentro do Sol, formando um plasma. Elementos como C, N e O compõem aproximadamente 0,1% da massa do Sol e estão presentes na mesma proporção que na Terra.

A atmosfera do Sol consiste de três camadas. A mais interna é a Fotosfera, também chamada de Superfície Solar, uma fina “pele” de somente 500 km de espessura que emite a

maior parte da luz do Sol e que tem uma densidade na ordem de 10^{23} m^{-3} . Acima, encontra-se a camada mais rara e mais transparente, a Cromosfera, com uma densidade na ordem de 10^{17} m^{-3} , e após, a Coroa Solar, com uma densidade tipicamente de 10^{15} m^{-3} .

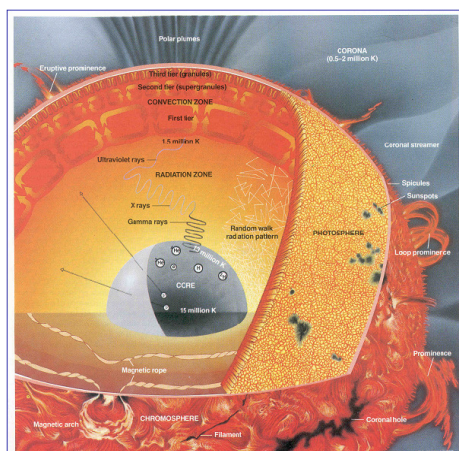


Figura 2.7: Partes do Sol: cromosfera, fotosfera e coroa Solar. [Fonte: 3º Escola de Física Solar de El Leoncito].

São na fotosfera que podem ser observadas as Manchas Solares. Manchas Solares são regiões mais frias (cerca de 2000 K) e mais escuras (por efeito de contraste) do que a fotosfera Solar circunvizinha (Echer et al., 2003). Schwabe descobriu em 1843 que o Sol tem um ciclo de 11 anos. Assim, os cientistas puderam construir o ciclo da atividade Solar.

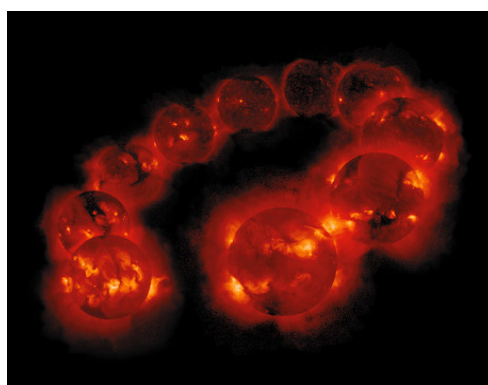


Figura 2.8: Ciclo Solar completo de 11 anos. [Fonte: *Yohkoh Solar Observatory*, <http://solar.physics.montana.edu/sxt/>].

O número de manchas solares é um indicador geral da atividade magnética do Sol, e inúmeros fenômenos solares e interplanetários, que afetam diretamente o ambiente eletromagnético terrestre (magnetosfera), têm variação modulada por este ciclo, tais como a ocorrência de ejeções coronais de massa, de ondas de choque interplanetário: explosões solares e eventos de prótons solares. Em consequência, a ocorrência de tempestades geomagnéticas e outras perturbações na magnetosfera terrestre são maiores durante o máximo do ciclo solar (Echer e al. 2003). Também a incidência de raios cósmicos galácticos na Terra é observada ser anti-correlacionada ao ciclo das manchas solares, pois durante períodos de

máximo solar o campo magnético na heliosfera tem uma estrutura mais complexa, blindando mais eficazmente o Sistema Solar interno contra os raios cósmicos (Kivelson e Russel, 1995).

As tempestades geomagnéticas podem causar danos em sistemas de comunicação, em satélites e em sistemas elétricos na Terra. Uma grande tempestade geomagnética ocorrida em 1989 causou um blecaute deixando seis milhões de pessoas nos Estados Unidos e Canadá sem luz por nove horas. Essas tempestades podem causar danos à saúde de astronautas na Estação Espacial Internacional ou em ônibus espaciais, bem como, a pessoas em aviões que estão a altas altitudes. A fig. 2.10 apresenta uma representação dos danos que uma tempestade geomagnética pode causar (http://science.nasa.gov/headlines/y2000/ast07apr_2m.htm).



Figura 2.9: Distúrbios causados por tempestades geomagnéticas.

[Fonte: www.spaceweathercenter.org].

2.2 PLANETAS

Nos últimos 30 anos aprendemos mais sobre o Sistema Solar do que sobre a maioria das outras áreas da astronomia. Isto se deve não apenas à melhoria dos detectores e telescópios existentes nos observatórios terrestres, mas, principalmente, às várias sondas espaciais que cruzaram o Sistema Solar fotografando e realizando experiências científicas ao longo das últimas décadas. Até agora sondas espaciais visitaram todos os planetas, com a única exceção de Plutão. Além disso, vários sistemas de satélites e de anéis foram descobertos e estudados por essas sondas, assim como alguns asteróides e cometas.

O Sistema Solar é o conjunto de todos os corpos celestes, independente de tamanho, estado físico ou propriedades, que estão gravitacionalmente ligados ao Sol e que descrevem órbitas em torno dele. O Sistema Solar é dividido em algumas partes que abrigam corpos possuidores de características semelhantes. Além disso, o Sol, os planetas e seus satélites, existem três regiões no Sistema Solar que são moradia de milhares ou milhões de pequenos objetos que também descrevem órbitas em torno do Sol. Essas regiões são:

- Cinturão de Asteróides: localizado entre Marte e Júpiter, o Cinturão de Asteróides é o local onde está distribuída a maioria dos asteróides conhecidos.
- Cinturão Trans-Netuniano ou Cinturão de Kuiper: região em forma de disco, com milhões de objetos, está localizado a partir da órbita do planeta Netuno. Ela é o local de origem de vários cometas que cruzam o Sistema Solar.
- Nuvem de Oort: é a região mais longínqua do sistema Solar, situada muitíssimo depois de Plutão. A Nuvem de Oort tem a forma de uma imensa esfera que envolve todo o Sistema Solar, aproximadamente 50.000 U A (Curso de Astronomia e Astrofísica do Observatório Nacional, 2004).

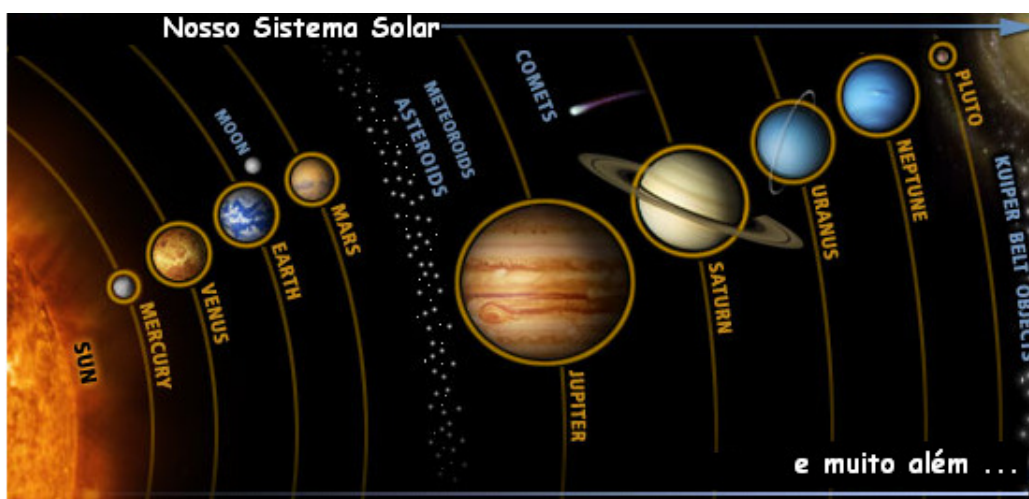


Figura 2.10: Visão do Sistema Solar. [Fonte: *National Aeronautics and Space Administration, NASA*, <http://solarsystem.nasa.gov>].

Abaixo estão relacionados os planetas e algumas de suas características.

2.2.1 MERCÚRIO

Mercúrio é o primeiro planeta a partir do sol sendo, portanto o mais próximo a ele. Mercúrio é o segundo menor planeta do Sistema Solar e só é maior do que Plutão.

Dados essenciais (aproximados) sobre Mercúrio:

- Distância media ao Sol (órbita) 57.910.00 km (0,3871 U A)
- Duração do ano em dias terrestres 87,969 dias terrestres
- Duração do dia 58,6462 dias terrestres
- Velocidade orbital média 47,88 Km/s
- Gravidade na superfície (equatorial) $2,78 \text{ m/s}^2$ ($0,38 \vec{g}$ terrestre)
- Principais gases na atmosfera Hélio (42%), Sódio (42%), Oxigênio (15%), outros gases (1%).
- Pressão atmosférica 7×10^{-12} milibars

(Fonte: idem).

2.2.1.1 INTERIOR

A maior parte do que sabemos sobre a estrutura interna de Mercúrio vem de dados obtidos pela sonda espacial Mariner 10 que sobrevoou o planeta em 1974 e 1975. Mercúrio tem menos de 1/3 do tamanho da Terra, embora sua densidade similar a do nosso planeta. Isto indica que tem uma região central grande aproximadamente do tamanho da Lua (3476 km de diâmetro) cobrindo cerca de 70% do raio do planeta. Esta região central é provavelmente composta de 60% a 70% de ferro em massa.

Uma manta rochosa sólida circunda esta região central com uma fina crosta de cerca de 100 km. A manta rochosa e a crosta devem ter uma espessura de apenas 600 km. As medições do planeta feitas pela sonda espacial Mariner 10 revelaram a existência de um campo magnético dipolar possivelmente produzido por uma região central parcialmente derretida (Fonte: idem).

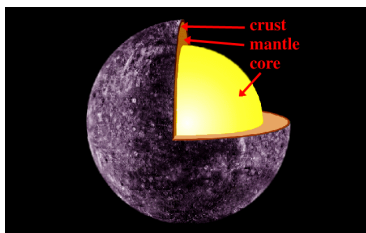


Figura 2.11: Estrutura interna de Mercúrio. [Fonte: *University Corporation for Atmospheric Research*, www.windows.ucar.edu/windows.html].

2.2.1.2 ATMOSFERA

Mercúrio está circundado por um envoltório extremamente fino de gás. Este envoltório é tão fino que, ao contrário da atmosfera da Terra e de Marte, as moléculas que circundam Mercúrio não colidem uma com as outras.

Por estar tão próximo ao Sol, a temperatura na superfície de Mercúrio atinge valores muito altos chegando a 467°C na parte diurna, o suficiente para derreter o chumbo e o estanho. No entanto, à noite a temperatura cai a -183°C , pois, por ter uma atmosfera tênue, todo o calor do planeta é irradiado para o espaço (Fonte: idem).



Figura 2.12: Atmosfera de Mercúrio. [Fonte: *University Corporation for Atmospheric Research*, www.windows.ucar.edu/windows.html].

2.2.1.3 CAMPO MAGNÉTICO

Mercúrio é o único planeta, além da Terra, dos planetas internos que tem um campo magnético significativo. Na primeira passagem da Mariner 10, a 723 km da superfície em 29 de Março de 1974, detectou um campo magnético planetário de 100 nT. Na terceira e última passagem a 327 km em 16 de Março de 1975, detectou um valor de 400 nT. Novamente, as características do campo magnético observadas assemelham-se àquelas esperadas, em versão diminuta, a magnetosfera da Terra. Logo, um fraco momento magnético, aproximadamente 4×10^{-4} o da Terra e combinado com a pressão do Vento Solar, sendo sete vezes maior do que a pressão na Terra, resulta em uma pequena magnetosfera (comparando com o tamanho do planeta).

A Mariner 10 observou uma onda de choque chamada de “Frente de Choque” na frente do planeta, onde o campo magnético se encontra com o Vento Solar (Russel, 1997).

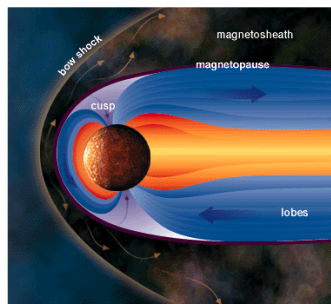


Figura 2.13: Frente de Choque, bainha e magnetopausa de Mercúrio. [Fonte: *University Corporation for Atmospheric Research*, www.windows.ucar.edu/windows.html].

2.2.2 VÊNUS

Vênus é o segundo planeta a partir do sol e o quarto menor planeta do sistema Solar. Somente Mercúrio, Marte, e Plutão são menores que Vênus. O diâmetro de Vênus é cerca de 5% menor do que o da Terra e cerca de 3,5% maior do que o da Lua. Vênus possui um movimento de rotação que ocorre no sentido contrário àquele apresentado por todos os outros planetas do Sistema Solar. Vênus gira de leste para oeste em vez de girar de leste como acontece na Terra e todos os planetas. Para um observador na superfície de Vênus, o Sol nasceria no oeste e se poria no leste. Só não veria o por do sol devido às espessas nuvens que cobrem o planeta de Vênus.

Dados Essenciais (aproximados) sobre Vênus

- | | |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| • Distância média ao Sol (órbita) | 0,723 U A |
| • Duração do ano | 224,701 dias terrestres |
| • Duração do dia | -243,0187 dias terrestres |
| • Raio (equatorial) | 0,94886 vezes o raio da Terra |
| • Pressão atmosférica | 92 bars |

(Fonte: idem).

2.2.2.1 INTERIOR

A Terra e Vênus são quase iguais em tamanho de modo que se acredita que o interior de Vênus tem uma região central metálica, formada por ferro, com cerca de 3000 km de raio e uma manta de rochas derretidas cobrindo a maior parte do planeta. Ao contrário da Terra, Vênus tem um campo magnético muito pequeno além daquele induzido pelo efeito do vento solar (Fonte: idem).

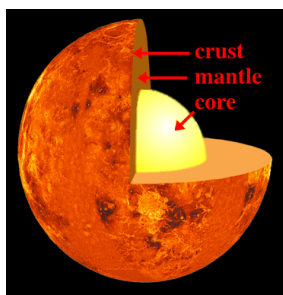


Figura 2.14: Estrutura interna de Vênus. [Fonte: *University Corporation for Atmospheric Research*, www.windows.ucar.edu/windows.html].

2.2.2.2 ATMOSFERA

Vênus é completamente coberta por nuvens espessas que refletem 76% da luz solar incidente sobre ele. Atmosfera de Vênus é o aspecto mais misterioso da história do planeta. Os cientistas acreditavam que as atmosferas da Terra e de Vênus deveriam ser comparáveis por causa das outras semelhanças existentes entre estes planetas. Entretanto, as atmosferas dos planetas evoluíram por caminhos muito diferentes. Isto certamente está associado, de algum modo, com a evolução dos oceanos (Curso do Observatório Nacional). A atmosfera é composta principalmente por 96% de CO₂, 3,5% de N₂, e menos de 1% de CO, Argônio, Dióxido Sulfúrico e vapor de água (www.windows.ucar.edu/windows.html).



Figura 2.15: Atmosfera desértica de Vênus.

[Fonte: *National Aeronautics and Space Administration, NASA*, http://solarsystem.jpl.nasa.gov/multimedia/gallery/nssdc_v13_vg261_262.jpg].

2.2.2.3 CAMPO MAGNÉTICO

A Mariner 5 detectou a assinatura do Vento Solar defletido ao redor de um “obstáculo” em Vênus. Várias sondas detectaram um campo magnético muito fraco, insignificante. Isto pode ser explicado pelas interações induzidas do vento Solar (Russell, 1997).

2.2.3 TERRA

A Terra terceiro planeta a partir do Sol no Sistema Solar. É o planeta mais denso do sistema Solar, sendo sua densidade de 5,515 g/cm³ e a densidade da água de 1,027 g/cm³.

Resumo dos dados conhecidos sobre a Terra

- Massa $5,9736 \times 10^{24}$ kg
- Duração do dia 1 dia (23 horas 56 minutos e 4 segundos)
- Distância média ao Sol $1,496 \times 10^8$ km (1 U A)
- Pressão atmosférica 1014 milibars
- Temperatura média 15° C (Fonte: idem).

2.2.3.1 INTERIOR

A Terra é dividida em várias camadas que tem propriedades sísmicas e químicas distintas. As camadas da Terra e suas respectivas profundidades são:

A estrutura interna da Terra (em km)

- Crosta 0 – 40
- Manta superior 40 – 400
- Região de transição 400 – 650
- Manta inferior 650 – 2700
- Camada D'' 2700 – 2890
- Região central externa 2890 – 5150
- Região central interna 5150 – 6378 (Fonte: idem).

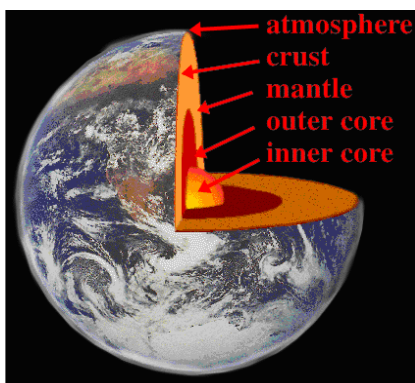


Figura 2.16: Camadas da estrutura da Terra. [Fonte: *University Corporation for Atmospheric Research*, www.windows.ucar.edu/windows.html].

O calor liberado no interior do planeta Terra pela solidificação do núcleo, por meio de decaimento radioativo e resfriamento geral da Terra, é transmitido para a superfície do planeta por uma combinação de convecção e condução. A convecção implica no movimento do material. Em um fluido, isto resulta em células quentes subindo, resfriando no topo e voltando para a fonte de calor, somente para ser aquecido e repetir o ciclo. Em um fluido girando, este movimento torna-se muito mais complexo. A adição de campo magnético, cuja força é esperada ser grande o bastante para ser dinamicamente significativo, complicará o movimento. Como resultado desta complexidade, o progresso no entendimento da geração do campo magnético terrestre tem sido muito lento (Russel, 1997).

2.2.3.2 ATMOSFERA

A atmosfera da Terra é uma camada fina de gases que circunda o nosso planeta. Ela possui, no total, 480 km de espessura. No entanto, ela não se distribui homogeneamente e, portanto, podemos dizer que a maior parte da atmosfera da Terra, cerca de 80%, está na região situada até 16 km de altura medido a partir da superfície. A atmosfera tem 78% de Nitrogênio, 21% de Oxigênio, cerca de 0,9% de Argônio, cerca de 0,03% de dióxido de Carbono e água.

A fina camada gasosa que forma a nossa atmosfera isola a Terra de temperaturas extremas. Ela mantém o calor dentro da atmosfera e também bloqueia a passagem da maior parte da radiação ultravioleta proveniente do sol, impedindo-a de atingir a superfície terrestre. A pequena quantidade de Dióxido de Carbono que existe permanentemente na atmosfera da Terra é extremamente importante para a manutenção da temperatura via efeito estufa. O efeito estufa eleva a temperatura da superfície da Terra cerca 35° C acima do que ela teria se ele não existisse. Assim, devido ao efeito estufa a temperatura da Terra vai de -21° C para +14° C (Fonte: idem).

2.2.3.3 CAMPO MAGNÉTICO

Desde o fim do século 16, sabe-se que a Terra possui um forte campo magnético, o qual varia através do tempo. Por exemplo, há 60 milhões de anos atrás, ocorria uma inversão dos pólos a cada 500.000 anos. Há 10 milhões de anos atrás, ocorreram 3 inversões a cada 150.000 anos. Ele é muito importante para a vida na Terra, pois age como um obstáculo para os raios cósmicos e para o fluxo de plasma magnetizado vindo do Sol. Como o vento Solar viaja a uma velocidade maior que a velocidade magnetosônica, divergirá o vento Solar ao redor da magnetosfera terrestre. Assim, a frente de choque é formada no Vento Solar *Upstream*, e é diminuída a velocidade do fluxo para “subsônico”, divergindo-o ao redor do obstáculo e aquecendo o Vento Solar *Downstream* (Russel, 1997).

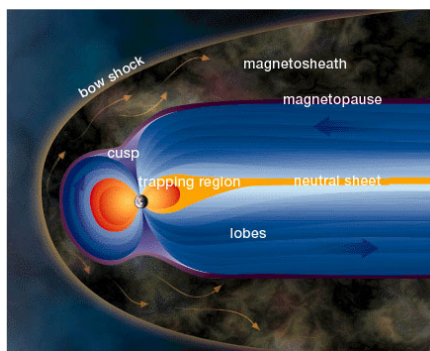


Figura 2.17: Frente de choque terrestre e sua magnetosfera. [Fonte: *University Corporation for Atmospheric Research*, www.windows.ucar.edu/windows.html].

2.2.4 MARTE

Marte é quarto planeta a partir do Sol e é o sétimo maior planeta do Sistema Solar. Seu diâmetro é de 6794 km e está a 1,52 U A distante do Sol.

Dados essenciais sobre Marte

- Duração do ano (em anos terrestres) 1 ano e 321,73 dias
- Duração do dia 24h 37 min 23s terrestres (no equador)
- Variação da Temperatura na superfície -140° C a 20° C
- Pressão atmosférica 0,007 bars
- Massa $6,421 \times 10^{23}$ kg (0,1 vezes a massa da Terra)

(Fonte: idem).

2.2.4.1 INTERIOR

Pouco se sabe sobre a estrutura interna de Marte. O cenário mais provável é que Marte tenha uma estrutura interna dividida em uma região central densa, uma manta de rocha derretida e uma crosta fina. No entanto, a densidade relativamente baixa que Marte apresenta em comparação com os outros planetas terrestres parece indicar que sua região central, provavelmente, contém uma fração relativamente grande de enxofre além de ferro (ferro e sulfeto de ferro) (Fonte: idem).

2.2.4.2 ATMOSFERA

Marte tem uma atmosfera muito fina. Os componentes mais comuns na atmosfera marciana são: 95,32 % de CO₂, 2,7% de N₂, 1,6 % de Ar, 0,13% de O₂, 0,07 de CO, 0,03% de H₂O e outros. Cada um dos módulos de pouso das sondas espaciais *Viking 1* e *2* transportavam uma estação meteorológica para medir temperatura, pressão e vento. Como esperado, as temperaturas variam muito mais em Marte do que na Terra, devido à ausência de nuvens e oceanos moderadores (Fonte: idem).

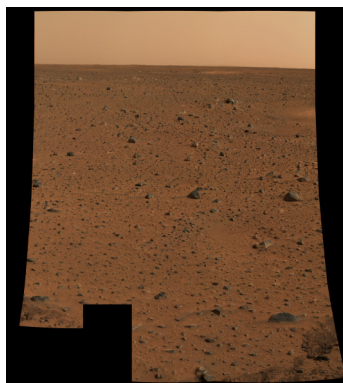


Figura 2.18: Atmosfera de Marte. [Fonte: *National Aeronautics and Space Administration, NASA*, http://solarsystem.jpl.nasa.gov/multimedia/gallery/Spirit_Color1.jpg].

2.2.4.3 CAMPO MAGNÉTICO

Em várias regiões de Marte foi detectada a presença de campos magnéticos fracos. No entanto, embora estes campos magnéticos sejam de grande extensão, eles não globais. Esta descoberta inesperada foi feita pela sonda espacial *Mars Global Surveyor* apenas alguns dias após ela ter entrado na órbita de Marte. A ausência deste campo magnético global pode ter importantes implicações para a estrutura interna de Marte, para a história passada, sua atmosfera e, para a possibilidade de, em algum momento passado, ter existido vida em Marte (Fonte: idem).

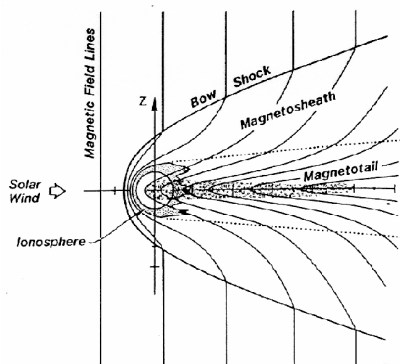


Figura 2.19: Frente de choque e magnetosfera de Marte. [Fonte: *University Corporation for Atmospheric Research*, www.windows.ucar.edu/windows.html].

2.2.5 JÚPITER

Júpiter é quinto planeta a partir do Sol e o maior de todos os planetas do Sistema Solar. Júpiter está situado a, aproximadamente 5,2 U A a partir do sol e sua massa é de $1,9 \times 10^{27}$ kg. Logo, Júpiter tem uma massa de 318 vezes maior do que a Terra e se Júpiter fosse oco, poderiam ser colocadas mais de 1000 Terras em seu interior.

Dados essenciais sobre Júpiter

- Duração do ano 11,86 anos terrestres
- Duração do dia 9,8 horas e 33 segundos terrestres (no equador)

- Velocidade orbital 13,06 km/s
 - Diâmetro 11,27 vezes o diâmetro da Terra
 - Pressão atmosférica 0,7 bars
- (Fonte: idem).

2.2.5.1 INTERIOR

Júpiter, provavelmente, tem uma região central de material rochoso que equivale a cerca de 10 a 15 massas da Terra. Acima da região central de Júpiter, devido à temperatura e pressão existente neste local, o Hidrogênio não permanece mais em estado gasoso e se converte em um líquido. Esta forma exótica somente é obtida devido a pressão que excede a 4 milhões de bars, como é o caso do interior de Júpiter (e também de Saturno). Desse modo, na região interna onde existem grandes temperaturas e pressões, os átomos de Hidrogênio tornam-se metálico. Dizemos, portanto, que o Hidrogênio líquido consiste de prótons e elétrons ionizados, tal como ocorre no interior do Sol só que a uma temperatura muito mais baixa.

O Hidrogênio metálico líquido é um condutor de eletricidade e a fonte do campo magnético de Júpiter (Fonte: idem).

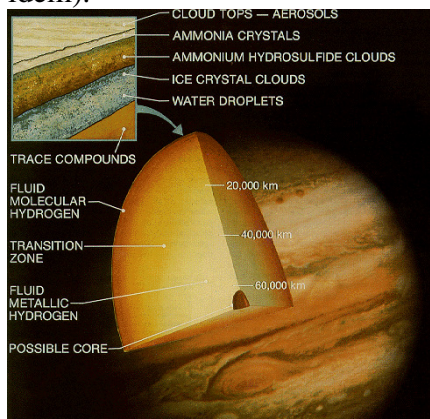


Figura 2.20: Estrutura interna de Júpiter. [Fonte: *University Corporation for Atmospheric Research*, www.windows.ucar.edu/windows.html].

2.2.5.2 ATMOSFERA

Em Júpiter, a pressão é tão grande que transformaram o gás em líquido. A atmosfera de Júpiter pode esmagar uma nave espacial de metal como um copo de papel. As listras e os redemoinhos de Júpiter são nuvens frias de amônia e água. A Grande Mancha Vermelha de Júpiter é uma tempestade gigante, tão larga quantas três Terras. Esta tempestade durou centenas de anos. A atmosfera é venenosa e é constituída na maior parte por Hidrogênio e Hélio. Tudo o que é visível no planeta são nuvens. As faixas vermelhas - marrons e brancas paralelas, as ovais brancas, e o Grande Ponto Vermelho persistem sobre o planeta por muitos anos apesar da intensa turbulência visível na atmosfera. Ao contrário da Terra, onde somente a água se condensa para dar forma a nuvens, as nuvens de Júpiter são feitas de Amônia, de Sulfeto de Hidrogênio, e de Água (*National Aeronautics and Space Administration, NASA*, <http://solarsystem.nasa.gov/galile.cfm>).



Figura 2.21: Atmosfera de Júpiter. [Fonte: *National Aeronautics and Space Administration, NASA*, http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/display.cfm?IM_ID=342].

2.2.5.3 CAMPO MAGNÉTICO

A maioria das informações sobre o campo magnético vem da sonda espacial *Pioneer 11* e *12*, *Voyager 1* e *2* e *Galileo* que passaram perto de Júpiter. Os dados revelaram um dipolo de momento quase 20.000 vezes o da Terra. A rápida rotação do planeta, o grande campo magnético e a distância que está do Sol (5,2 U A), faz com que tenha uma enorme magnetosfera (Russel, 1997).

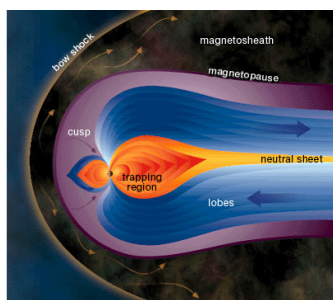


Figura 2.22: Frente de choque de Júpiter e sua magnetosfera. [Fonte: *University Corporation for Atmospheric Research*, www.windows.ucar.edu/windows.html].

2.2.6 SATURNO

Saturno é o sexto planeta do Sistema Solar, a partir do Sol, e o segundo maior planeta sendo superado apenas por Júpiter. O planeta está situado a, aproximadamente, 9,54 U A distante do sol e sua massa é de $5,68 \times 10^{26}$ kg. Ele possui, no momento, 31 satélites conhecidos que variam grandemente em tamanho, forma e aparência.

Dados essenciais sobre Saturno

- | | |
|-----------------------|------------------------|
| • Duração do ano | 29,458 anos terrestres |
| • Velocidade orbital | 9,67 km/s |
| • Raio (equatorial) | 60.268 km |
| • Pressão atmosférica | 1,4 bars |

- Anéis 6
 - Massa 568×10^{24} kg (95,159 Terras)
- (Fonte: idem).

2.2.6.1 INTERIOR

O interior de Saturno é semelhante ao de Júpiter, consistindo de uma região central rochosa, uma camada de Hidrogênio metálico líquido e uma camada de Hidrogênio molecular.

O interior de saturno é quente. A temperatura na sua região central pode atingir 120.000 Kelvins e Saturno irradia duas vezes e meia mais energia para o espaço do que recebe do Sol. A maior parte desta energia é gerada pelo chamado “mecanismo Kelvin-Helmholtz” (Fonte: idem).

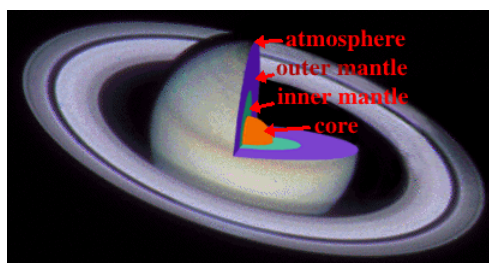


Figura 2.23: Estrutura interna de Saturno. [Fonte: *University Corporation for Atmospheric Research*, www.windows.ucar.edu/windows.html].

2.2.6.2 ATMOSFERA

- Assim como em Júpiter, a atmosfera de Saturno é principalmente composta de Hidrogênio (75%) e Hélio (25%). Sua composição mostra a presença de vestígios de água, amônia e “rochas” (Fonte: idem).

2.2.6.3 CAMPO MAGNÉTICO

A magnetosfera de Saturno não é tão grande quanto Júpiter, mas ainda é enorme para padrões terrestres. Estendendo-se bem além das órbitas de suas Luas. O campo é gerado, provavelmente, da mesma maneira que é Júpiter, a qual afeta sua forma e estrutura total. Assim, Saturno tem uma imensa magnetosfera, a qual tem 1/5 do tamanho da magnetosfera de Júpiter, mas mais parecida com a magnetosfera da Terra (Russel, 1997).

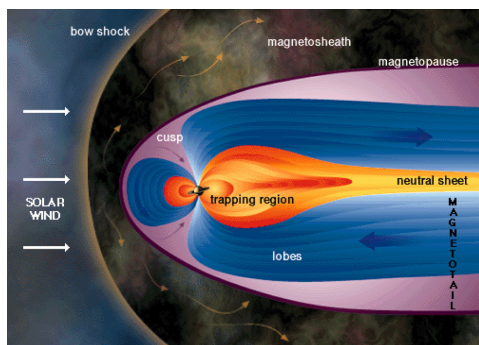


Figura 2.24: Frente de choque de Saturno e sua magnetosfera. [Fonte: *University Corporation for Atmospheric Research*, www.windows.ucar.edu/windows.html].

2.2.7 URANO

Urano é o sétimo planeta do Sistema solar e o terceiro maior planeta, sendo superado em tamanho apenas por Júpiter e Saturno e está situado a aproximadamente três bilhões de km do Sol. Urano leva cerca de 84 anos terrestres para dar uma volta completa em torno do Sol. Ele está tão afastado do Sol que, desde a sua descoberta em 1781, ele completou mais de duas voltas e meia em torno do Sol. Logo, Urano é planeta frio, de brilho fraco, que nunca ultrapassa magnitude maior do que +5,6 no nosso céu.

Dados essenciais sobre Urano

- Distância média ao Sol 19,2 U A
- Duração do ano 84,01 anos terrestres
- Duração do dia -17,9 horas terrestres (no equador)
- Raio 4 vezes o raio equatorial da Terra
- Massa 14,535 vezes a massa da Terra
- Gravidade na superfície $7,77 \text{ m/s}^2$ (equatorial)
- Pressão atmosférica 1,2 bars
- Temperatura média nas nuvens -193° C

(Fonte: idem).

2.2.7.1 INTERIOR

Urano possui uma região central rochosa ligeiramente menor do que aquela encontrada em Júpiter e Saturno. Esta região deve ter aproximadamente o tamanho da Terra e 10 vezes mais massa do que o nosso planeta.

A pressão do lado de fora da região central de Urano é suficientemente baixa para que o hidrogênio permaneça na sua forma molecular ao longo de todo o percurso até a região central do planeta (Fonte: idem).



Figura 2.25: Estrutura interna de Urano. [Fonte: *University Corporation for Atmospheric Research*, www.windows.ucar.edu/windows.html].

2.2.7.2 ATMOSFERA

A atmosfera de Urano está composta de 83% hidrogênio, 15% hélio, 2% metano e quantias pequenas de acetileno e outros hidrocarbonetos. Metano na atmosfera superior absorve luz vermelha e dá a Urano sua cor azul-verde. A atmosfera é organizada em nuvens que correm em latitudes constantes, semelhantes à orientação das faixas latitudinais mais vívidas, vistas em Júpiter e Saturno. Ventos a latitudes intermediárias em Urano sopram na direção da rotação do planeta. Estes ventos sopram a velocidade de 40 a 160 m/s. Experiências científicas com rádio descobriram ventos de cerca de 100 metros por segundo soprando na direção oposta, no equador (<http://astro.if.ufrgs.br/solar/>).

2.2.7.3 CAMPO MAGNÉTICO

A magnetosfera de Urano é muito similar à magnetosfera da Terra. Há uma frente de choque que deflete o fluxo supersônico do Vento Solar na frente da cavidade magnetosférica. A parte da frente da magnetosfera estende-se a aproximadamente 25 raios planetários e a frente de choque a 33 raios planetários (Russel, 1997).

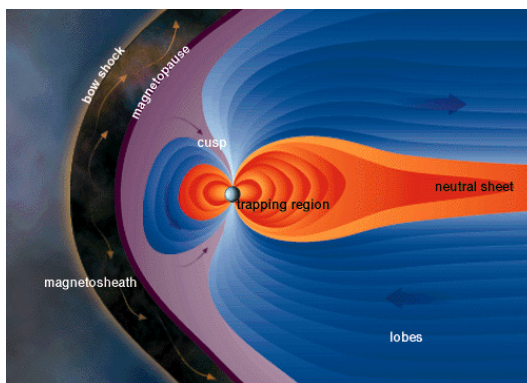


Figura 2.26: Frente de choque de Urano e sua magnetosfera. [Fonte: *University Corporation for Atmospheric Research*, www.windows.ucar.edu/windows.html].

2.2.8 NETUNO

Netuno é o oitavo planeta do Sistema Solar e o quarto maior entre eles sendo superado por Júpiter, Saturno e Urano. Devido ao seu enorme afastamento do Sol, a superfície de Netuno recebe somente 1/900 da intensidade de luz solar que recebemos na Terra.

Dados essenciais sobre Netuno

- Distância média ao Sol 30,06 U A
- Velocidade orbital média 4,45 km/s
- Diâmetro (equatorial) 3,883 vezes o diâmetro da Terra
- Massa 17,135 vezes a massa da Terra
- Pressão atmosférica de 1 a 3 bars
- Anéis 6

(Fonte: idem).

2.2.8.1 INTERIOR

O planeta Netuno é bastante similar, em suas propriedades gerais, ao planeta Urano. Netuno é consideravelmente menor do que os planetas Júpiter e Saturno e, por este motivo, acredita-se que o Hidrogênio e o Hélio que o forma não estão tão comprimidos no seu interior como acontece no outros dois gigantes planetas. Apesar de suas diversas similaridades com o planeta Urano, Netuno se diferencia bastante deste planeta quando estudamos a produção de energia em seu interior. Netuno tem uma fonte de energia interna. Ele emite 2,7 vezes mais energia para o espaço do que a quantidade que ele recebe do Sol. A causa disso ainda não é bem conhecida, mas alguns astrônomos sugerem que a concentração

relativamente alta de metano que Netuno possui na sua atmosfera isola o planeta, e o tem ajudado a manter sua temperatura interna que era inicialmente alta (Fonte: idem).

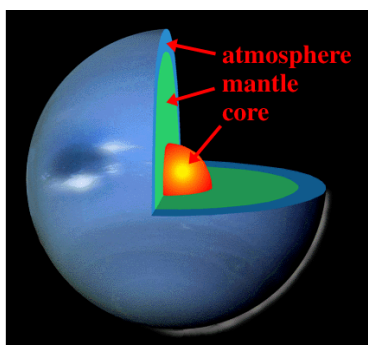


Figura 2.27: Estrutura interna de Netuno. [Fonte: *University Corporation for Atmospheric Research*, www.windows.ucar.edu/windows.html].

2.2.8.2 ATMOSFERA

Do mesmo modo que os outros planetas jovianos, Júpiter, Saturno e Urano, o planeta Netuno não possui uma superfície sólida visível. No caso destes planetas, a cobertura gasosa que os envolve, suas atmosferas, vão se tornando cada vez mais densas com a profundidade por causa da pressão exercida pelas camadas que estão acima delas. Em algum momento no interior do planeta esta cobertura se torna líquida devido à enorme pressão existente no local (Fonte: idem).

2.2.8.3 CAMPO MAGNÉTICO

O tamanho da magnetosfera de Netuno é muito similar ao de Urano, de médio tamanho, mas de tamanho muito maior que a magnetosfera terrestre. A magnetosfera de Netuno é a mais quieta do Sistema Solar e sua frente de choque estende-se a 34 Raios de Netuno (Russel, 1997).

2.3 VENTO SOLAR

O Vento Solar é um fluxo de Plasma Solar ionizado o qual juntamente com o campo magnético Solar que penetra no Meio Interplanetário. Ele é o resultado de uma enorme diferença de pressão de gás entre a Coroa Solar e o espaço interestelar. Esta diferença conduz o plasma para fora, apesar da influência da gravidade Solar.

O Vento Solar é significativamente influenciado pela Atividade Solar e transmite esta influência para os planetas, cometas, partículas e raios cósmicos que estão imersos no vento. O estudo do Vento Solar tem ajudado a explicar o contínuo interesse nos processos físicos que ocorrem na formação e expansão da coroa Solar quente para as regiões frias, tênues e longínquas de fora do Sistema Solar. Esta expansão leva o plasma magnetizado a grandes variações em suas propriedades; por exemplo, colisões entre íons ou elétrons no plasma são freqüentes na coroa, mas extremamente raras no meio interplanetário. Desta forma, a física deste plasma pode ser examinada sob a variedade de condições, algumas das quais são difíceis de conseguir em laboratório ou nas vizinhanças próximas da Terra. Contudo, o Vento Solar é acessível por sondas espaciais, suas propriedades podem ser medidas e seus processos físicos estudados com um nível de detalhes impossível para muitos plasmas astrofísicos.

Dois tipos diferentes de Vento Solar.

As mais extensivas e detalhadas observações do Vento Solar têm sido feitas por satélites próximos à órbita da Terra. Algumas propriedades físicas do plasma e do campo magnético em 1 U.A. são mostradas abaixo. Constatou-se que os feixes do vento solar ocorrem próximo à Terra, em dois tipos: rápidos e lentos.

2.3.1 VENTO SOLAR RÁPIDO:

Tabela 2.2: Características do Vento Solar rápido. [Fonte: adaptado de 3º Escola de Física Solar de El Leoncito, Argentina, 28 de novembro a 5 de dezembro de 2005].

Alta Velocidade	400 a 800 Km/s
Baixa Densidade	3 cm^{-3}
Baixo Fluxo de Partículas	$2 \times 10^8 \text{ cm}^2/\text{s}$
Índice de Hélio	3,6%, estacionário
Fonte	Falhas coronais
Assinaturas	Estacionário por longas épocas, todos os córregos são semelhantes, fortes flutuações de Alfvénicas.

2.3.2 VENTO SOLAR LENTO:

Tabela 2.3: Características do Vento Solar lento. [Fonte: adaptado de 3° Escola de Física Solar de El Leoncito, Argentina, 28 de novembro a 5 de dezembro de 2005].

Baixa Velocidade	250 a 400 Km/s
Alta Densidade	10,7 cm ⁻³
Alto Fluxo de Partículas	3,7 x 10 ⁸ cm ² /s
Índice de Hélio	Abaixo de 2%, alta variabilidade.
Fonte	Helmet streamers near current she et, at activity minimum
Assinaturas	Geralmente, muito variável.

O vento Solar que passa pela Terra é quente, tênue e move-se rápido pelos padrões da Terra. É constituído principalmente por Hidrogênio ionizado, com uma pequena mistura de Hélio ionizado ($\approx 5\%$), e ainda menos íons de elementos mais pesados. Embebido neste plasma está um fraco campo magnético orientado na direção aproximadamente paralela ao plano da eclíptica, mas com aproximadamente 45° à linha Sol-Terra para um observador a 1 U A.

2.4 CAMPO MAGNÉTICO INTERPLANETÁRIO

O Sol possui um Campo Magnético, cuja intensidade é de 10^{-4} T na superfície da Fotosfera. Este campo é aproximadamente dipolar (Pneuman e Kopp, 1970), porém, devido ao fato do Vento Solar ser altamente condutor, ele é transportado para grandes distâncias, constituindo o chamado Campo Magnético Interplanetário (CMI), com intensidade de aproximadamente 5 nT nas circunvizinhanças da Terra.

O eixo do dipolo magnético solar é próximo ao eixo de rotação do Sol, e pode-se imaginar um plano de simetria cortando o seu equador. As linhas de campo magnético interplanetário são aproximadamente radiais próximas ao Sol, de 1,5 a 2,5 raios solares, entrando no Sol acima do plano da simetria e saindo abaixo deste plano ou vice-versa, dependendo da fase do Ciclo Solar de 22 anos. No meio interplanetário, a transição entre as linhas de campo entrando e saindo do Sol constitui uma estreita região, não necessariamente planar, onde se forma uma lâmina de corrente, chamada de Lâmina de Corrente Heliosférica (Schultz, 1973). Essa lâmina separa um hemisfério com polaridade negativa de outro com polaridade positiva. Como o eixo magnético Solar é inclinado em relação ao eixo de rotação do Sol, à medida que o Vento Solar flui para fora, a lâmina de corrente heliosférica oscila sobre o equador heliomagnético, criando o padrão de “saia de bailarina”, como se pode ver na figura abaixo.

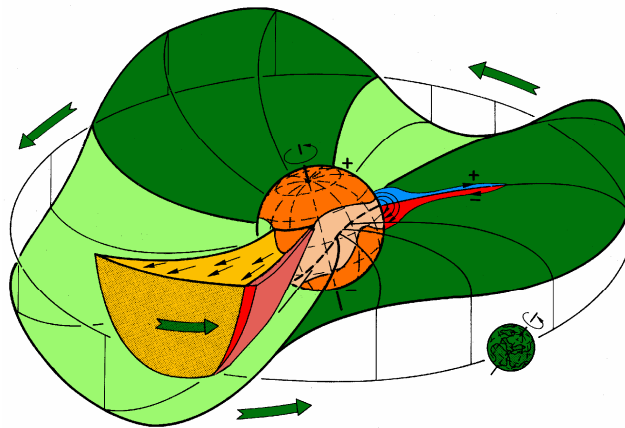


Figura 2.28: Representação esquemática da estrutura de “saia de bailarina” do campo magnético interplanetário. [Fonte: adaptado de 3º Escola de Física Solar de El Leoncito].

2.5 ONDAS DE CHOQUE

Os plasmas que são encontrados na magnetosfera, no espaço interplanetário e em qualquer outra parte no universo, são muito diferentes do que um gás ordinário. Um plasma pode sustentar diferentes tipos de ondas, devido à presença do campo magnético. A grande diferença é que muitos dos plasmas são colisionais. Isto significa que eles são tão rarefeitos ou quentes que as colisões de Coulomb entre as partículas constituintes acontecem tão aleatoriamente que não tem um papel importante (Russell e Kivelvon, 1996).

Exemplos de colisões em choques ocorrem por todo o universo. O mais extensamente estudado choque não colisional é a Frente de Choque da Terra. O campo magnético terrestre forma um obstáculo para o Vento Solar fluir supersonicamente. A frente de choque retarda o Vento Solar para subsônico, logo ele flui ao redor da Magnetosfera. A frente de choque tem uma forma em curva, aproximadamente à linha Terra-Sol, próxima a uma revolução paraboloidal. A posição do “nariz” da Frente de Choque (a parte mais próxima do Sol) está aproximadamente em $14 R_T$ (raios terrestres) desde o centro da Terra. Uma fórmula simples para a média da localização da posição da Frente de Choque é

$$R = K / (1 + \varepsilon \cos \theta).$$

Onde K é aproximadamente $25 R_T$, ε é 0,8, com R medido desde o centro da Terra e θ sendo o ângulo entre este raio vetor e a direção Solar. O choque está a poucos R_T a frente da Magnetosfera, e esta distância é chamada de *standoff* (posição de equilíbrio). A exata posição depende da pressão dinâmica do vento Solar. À distância *standoff* é uma função da forma do obstáculo; obstáculos grandes têm grandes distâncias. A região subsônica atrás da frente de choque é chamada de *Bainha*. Tipicamente, o campo magnético interplanetário está em um ângulo de 45° com relação à linha Terra-Sol. Assim, o campo magnético interage com o choque em diferentes ângulos. Todos os planetas com Magnetosferas ou Ionosferas têm Frentes de Choques na frente deles, e muitos tem sido cruzado por pelos menos uma ou duas sondas espaciais, como *Voyager* e *Pioneer*.

O choque separa duas regiões de fluxo constante. O plasma flui para o choque de um lado (*upstream*) e sai do outro lado (*downstream*). O choque causa mudanças no plasma descritas na densidade, velocidade, campo magnético e pressão do lado *upstream*, assim como nas mesmas propriedades do lado *downstream* (Russell e Kivelvon, 1996).

A tabela 2.4 mostra alguns tipos de descontinuidades.

Descontinuidade de contato	$u_n = 0, B_n \neq 0$	Salto abrupto na densidade, mas pressão e todas outras quantidades permanecem contínuas.
Descontinuidade tangencial	$u_n = 0, B_n = 0$	Pressão do plasma e campo mudam, mantém equilíbrio estático.
Descontinuidade rotacional	$u_n = B_n / (\mu_0 \rho)^{\frac{1}{2}}$	Grande amplitude intermediária; plasma isotrópico, campo e fluxo mudam de direção, mas não de magnitude.
Ondas de Choques	$u_n \neq 0$	Fluxos cruzam a superfície de descontinuidade acompanhada pela compressão e dissipação.
Choques Paralelos	$B_t = 0$	Campo magnético permanece constante
Choques Perpendiculares	$B_n = 0$	Pressão do plasma e magnitude do campo aumentam com o choque.
Choques Oblíquos Choques Rápidos	$B_t \neq 0, B_n \neq 0$	Pressão do plasma e magnitude do campo aumentam com o choque; linhas de campo longe da normal.
Choques lentos		Pressão do plasma aumenta; magnitude do campo diminui; linhas de campo próximas da normal.
Choques intermediários		Rotação no campo magnético de 180° no plano do choque; salto na densidade somente em plasmas anisotrópicos.

Tabela 2.4: Possíveis tipos de descontinuidades em ideal MHD. [Fonte: adaptado de Introduction to space Physics, Margaret G. Kivelson e Christopher T. Russell, pag. 141].

Onde ρ é a densidade, \mathbf{u} é a velocidade, \mathbf{B} é o campo magnético, \mathbf{p} , pressão, e o subíndice \mathbf{n} e \mathbf{t} indicam a componente da normal e a componente transversal do choque, respectivamente, e μ_0 é permeabilidade magnética do espaço livre.

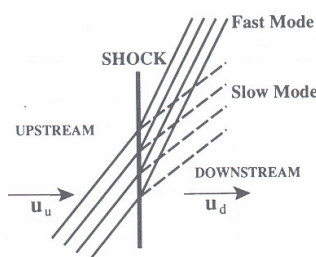


Figura 2.29: Figura esquemática da superfície de um choque. [Fonte: adaptado de Introduction to Space Physics, Kivelson e Russell, pag. 142].

Na teoria Magnetohidrodinâmica (MHD), assim como na dinâmica de fluidos, existem superfícies sobre as quais os campos físicos variam descontinuamente e em qualquer lado desta descontinuidade o campo permanece constante. Estas superfícies incluem estruturas que não se propagam (descontinuidades tangenciais e descontinuidade de contato) e estruturas que se propagam (descontinuidades rotacionais e ondas de choque). Na realidade, cada tipo de superfície possui uma estrutura interna determinada pelos processos de plasma, mas estas estruturas são ignoradas nas aproximações MHD (Russell e Kivelson, 1996).

Na dinâmica de fluidos existe somente uma velocidade característica do meio, a velocidade do som. Conseqüentemente, existe somente um tipo de onda de choque. Na teoria MHD, existem 3 velocidades características: a Velocidade do Som, a Velocidade de Alfvén e a Velocidade Magnetosônica. Logo, existem 5 tipos de ondas de choque interplanetários, dependendo da velocidade do choque em relação às outras velocidades características. Uma característica para a identificação dos choques é a sua propagação em relação ao meio ambiente, de modo que exista um fluxo de massa através da superfície. Esta não é uma condição suficiente para a existência de um choque, pois descontinuidades rotacionais e outras ondas não lineares propagam-se em relação ao meio ambiente, mas eles não são choques. Uma 2ª condição necessária para um choque é que deve haver um aumento da entropia através da superfície de propagação. Ocorre um aumento na energia térmica à custa de uma diminuição na energia cinética (Burlaga, 1995).

Existem 2 tipos básicos de choques MHD no Vento Solar: choques rápidos e choques lentos. A magnitude do campo magnético aumenta em um choque rápido e diminui em um choque lento. Um choque movendo-se para fora a partir do Sol em relação ao meio ambiente é chamado de “choque direto”. Um choque movendo-se em direção ao Sol em relação ao meio ambiente é chamado de “choque reverso”. Como o meio ambiente move-se supersonicamente para fora a partir do Sol, ambos os choques direto ou reverso movem-se para fora a partir do Sol em relação ao Sol (Burlaga, 1995).

Qualquer tipo de choque possui um vetor unitário normal \mathbf{n} , que é definido no ponto em direção contrária ao fluxo de plasma, região de mais baixa entropia. Na teoria MHD, os choques são classificados tomando como base o ângulo α entre \mathbf{n} e o campo magnético ambiente \mathbf{B}_1 . Se $\alpha = 90^\circ$, o choque é chamado de “Choque Perpendicular”. Um choque onde $\alpha = 0^\circ$ é chamado de “Choque Paralelo”, e um onde α é próximo de 0° é um “Choque

Quase Paralelo”. Um choque onde $\alpha \approx 45^\circ$ é chamado de “Choque Oblíquo”. O salto nos campos e variações de velocidade através de um choque depende de α , assim como do beta de plasma, β e do número de Mach. O campo magnético contém flutuações cuja natureza e estrutura depende de α . Finalmente, a estrutura interna de um choque depende α . Por todas estas razões, α é um parâmetro muito importante, apesar de não ser o único parâmetro. Implicitamente, uma quantidade fundamental no estudo quantitativo dos choques é a normal do choque \mathbf{n} (Burlaga, 1995).

O ângulo do choque α é o mais importante fator que controla o tipo de choque, mas quase todos os parâmetros de plasmas podem ter um efeito: temperatura, composição (tipo de íon presente) e o número de Mach do choque \mathbf{M} . O número de Mach indica a força do choque e é medido na quantidade de energia que está sendo processada pelo choque. Como é de se esperar, quanto maior o número de Mach, mais dramático será o comportamento do choque. No Sistema Solar, choques podem ser encontrados com números de Mach entre (quase) um e talvez 20 (Russell e Kivelvon, 1996).

CAPÍTULO 3

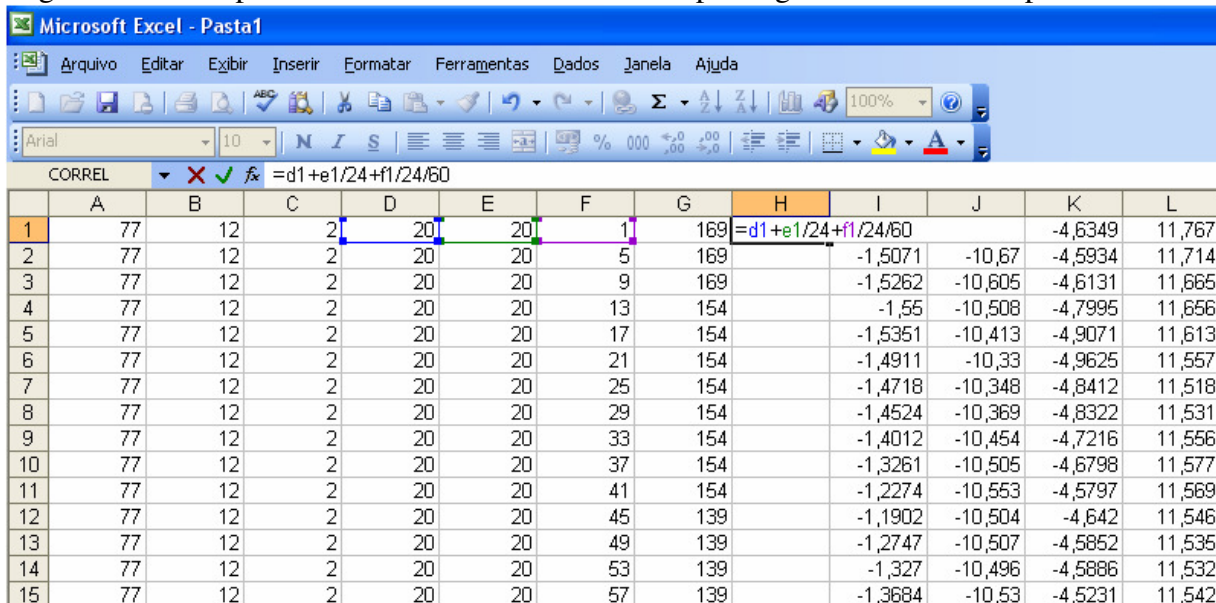
METODOLOGIA E INSTRUMENTAÇÃO UTILIZADA

O presente Capítulo tem como objetivo apresentar a Metodologia e Instrumentação utilizada para a análise de eventos. Os eventos foram analisados através das medidas de campo magnético disponíveis na internet (<http://www-spc.igpp.ucla.edu/forms/isee/> e <http://cohoweb.gsfc.nasa.gov/>) das sondas ISEE 1 e 2 (Terra) e Mariner 10 (Mercúrio). Para isto, foram utilizados os softwares Origin 6.0 e Excel disponíveis no CRSPE/INPE – MCT.

3.1 METODOLOGIA

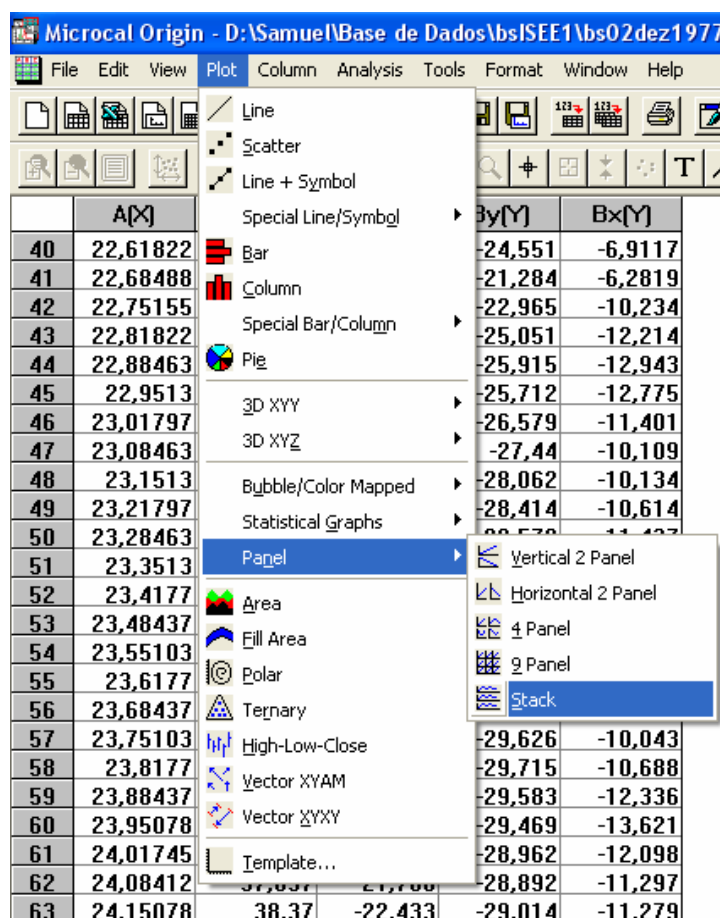
Para a análise dos dados, se utilizaram medidas de campo magnético por meio das sondas espaciais ISEE 1 e 2 e Mariner 10. A Figura 3.1 abaixo mostra um exemplo de arquivo de dados da sonda ISEE 1. As colunas “A”, “B”, “C”, “D”, “E”, “F” e “G” indicam respectivamente, o ano, mês, dia, hora, minuto, segundos e milésimos do evento analisado e as colunas “I”, “J”, “K” e “L” indicam respectivamente, as componentes “Bx,” “By”, “Bz” e Bt” do campo magnético. Os arquivos com os dados das missões são no formato “.dat” e para poder plotá-los, é preciso fazer uma transformação no tempo para que o mesmo seja contínuo. Na mesma figura está demonstrada na coluna “H” a equação com a transformação das colunas “D”, “E” e “F” em fração de hora e na Figura 3.2 está o procedimento para que todas as componentes do vetor campo magnético e o vetor campo magnético total sejam plotados como um painel.

Figura 3.1: Exemplo do tratamento dos dados de campo magnético da sonda espacial ISEE 1.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	77	12	2	20	20	1	169	=d1+e1/24+f1/24/60			-4,6349	11,767
2	77	12	2	20	20	5	169		-1,5071	-10,67	-4,5934	11,714
3	77	12	2	20	20	9	169		-1,5262	-10,605	-4,6131	11,665
4	77	12	2	20	20	13	154		-1,55	-10,508	-4,7995	11,656
5	77	12	2	20	20	17	154		-1,5351	-10,413	-4,9071	11,613
6	77	12	2	20	20	21	154		-1,4911	-10,33	-4,9625	11,557
7	77	12	2	20	20	25	154		-1,4718	-10,348	-4,8412	11,518
8	77	12	2	20	20	29	154		-1,4524	-10,369	-4,8322	11,531
9	77	12	2	20	20	33	154		-1,4012	-10,454	-4,7216	11,556
10	77	12	2	20	20	37	154		-1,3261	-10,505	-4,6798	11,577
11	77	12	2	20	20	41	154		-1,2274	-10,553	-4,5797	11,569
12	77	12	2	20	20	45	139		-1,1902	-10,504	-4,642	11,546
13	77	12	2	20	20	49	139		-1,2747	-10,507	-4,5852	11,535
14	77	12	2	20	20	53	139		-1,327	-10,496	-4,5886	11,532
15	77	12	2	20	20	57	139		-1,3684	-10,53	-4,5231	11,542

Figura 3.2: Exemplo do procedimento para plotar os gráficos como um painel.



3.2 CÁLCULO DA NORMAL DO CHOQUE.

Há vários métodos para se calcular a normal dos choques. Aqui será citado apenas um dos métodos. Ele utiliza medidas dos campos físicos obtidos por um único satélite. Teoricamente, pode-se calcular a normal do choque \mathbf{n} a partir de observações do campo magnético por um único satélite usando o Teorema da Coplanaridade (Colburn e Sonett, 1966). O Teorema da Coplanaridade Magnética diz que \mathbf{B}_u , \mathbf{B}_d e \mathbf{n} estão em um mesmo plano. A continuidade da componente normal do campo magnético \mathbf{B}_n através do choque implica que $(\mathbf{B}_d - \mathbf{B}_u)$ seja paralelo à superfície do choque. Logo, $(\mathbf{B}_u \times \mathbf{B}_d) \times (\mathbf{B}_d - \mathbf{B}_u)$ estão ao longo da direção normal do choque. O vetor unitário normal ao choque será

$$n = \frac{(\mathbf{B}_u \times \mathbf{B}_d) \times (\mathbf{B}_d - \mathbf{B}_u)}{|(\mathbf{B}_u \times \mathbf{B}_d) \times (\mathbf{B}_d - \mathbf{B}_u)|}$$

A vantagem deste método é que necessita somente das medidas do campo magnético antes e depois do choque (Burlaga, 1995).

Para calcular a normal do choque, utilizamos como valor *upstream*, o background ligeiramente afastado da frente de choque, para evitar efeitos da região do *foot* do choque, onde perturbações magnéticas devido a íons refletidos ocorrem. E para o lado *downstream*, utilizamos os valores distantes da grande oscilação vista após o choque. Em média, o afastamento é de 5 minutos em cada lado. Com a média do campo magnético dentro de um período de 15 minutos tanto do lado *upstream* como do *downstream* é, então, realizado o cálculo da normal de choque. São apresentados alguns exemplos de cruzamentos de frentes de choque.

3.3 INSTRUMENTAÇÃO

MAGNETOMÊTRO

O Magnetômetro é um instrumento para medição de campos magnéticos. Muitas sondas espaciais carregam magnetômetros para medir campos magnéticos nas vizinhanças dos planetas onde orbitam ou no espaço interplanetário. As sondas espaciais podem detectar o magnetismo associado, de uma maneira ou de outra, ao vento Solar ou ao magnetismo do Sol. O Vento Solar, fluxo de partículas eletricamente carregado emitido pelo Sol, carrega o campo magnético do Sol para fora através do Sistema Solar.

O campo magnético detectado por uma sonda espacial pode ser uma combinação de campos produzidos por muitos efeitos. Por exemplo, o campo magnético próximo da Terra é o resultado da combinação do campo global da Terra, partículas carregadas ao redor da magnetosfera terrestre e outros fatores.

Quando registros eletrônicos de campos são necessários, o sistema *Fluxgate* é geralmente escolhido. Em instrumentos deste tipo, a não linearidade das propriedades de magnetização para altas permeabilidades de fácil saturação de ligas ferromagnéticas provê um indicador do módulo do campo magnético naquele local. A palavra *fluxgate* tipicamente aplicada a magnetômetros refere-se a um método periódico de ligar/desligar a “porta” do detector de fluxo magnético.

O módulo do campo magnético é obtido da geração de harmônicos da saída do campo, medido por laços secundários sobre o núcleo. A versão mais usada do método do núcleo-saturado é o segundo componente do harmônico da frequência de excitação, gerada no sensor de escala não linear de saturação. Na figura abaixo, é mostrado o ambiente externo do campo magnético H_0 superposto ao campo de excitação senoidal de amplitude A (Campbell, 1997).

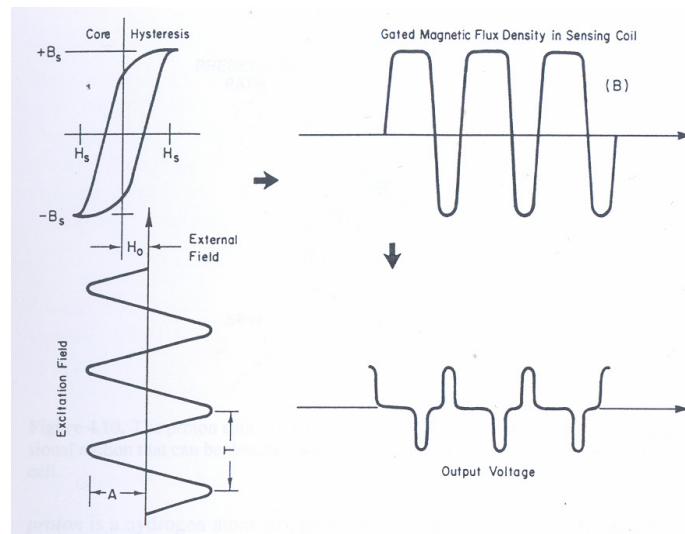


Figura 3.3: Resposta do núcleo saturado para um campo de amplitude A e período T . [Fonte: adaptado de Introduction to Geomagnetic Fields, Wallace H. Campbell, pág. 186].

Os tamanhos relativos são tais que $A \gg H_0$, sendo que A é ajustado para ser maior que o necessário para a saturação do núcleo de alta permeabilidade. O campo assimétrico causado para contrabalancear a adição do campo ambiente, H_0 , resulta na distorção na forma da variação da densidade do fluxo magnético, B , ligando a bobina detectora secundária enrolada sobre o núcleo. Esta distorção na variação do B com respeito ao tempo, t , cuja assimetria com respeito ao eixo do tempo, tem um alto índice uniforme de harmônicos na série de Fourier. Ela pode ser aproximada da maneira abaixo:

$$B(t) = a(H_0 + H_e) + b(H_0 + H_e)^2 + c(H_0 + H_e)^3.$$
 Onde H_e é o campo excitado e a , b e c são constantes.

Neste método, dois núcleos paralelos são enrolados em direções opostas no circuito do campo excitado, e uma bobina ao redor dos dois núcleos, como mostra a figura abaixo (Campbell, 1997).

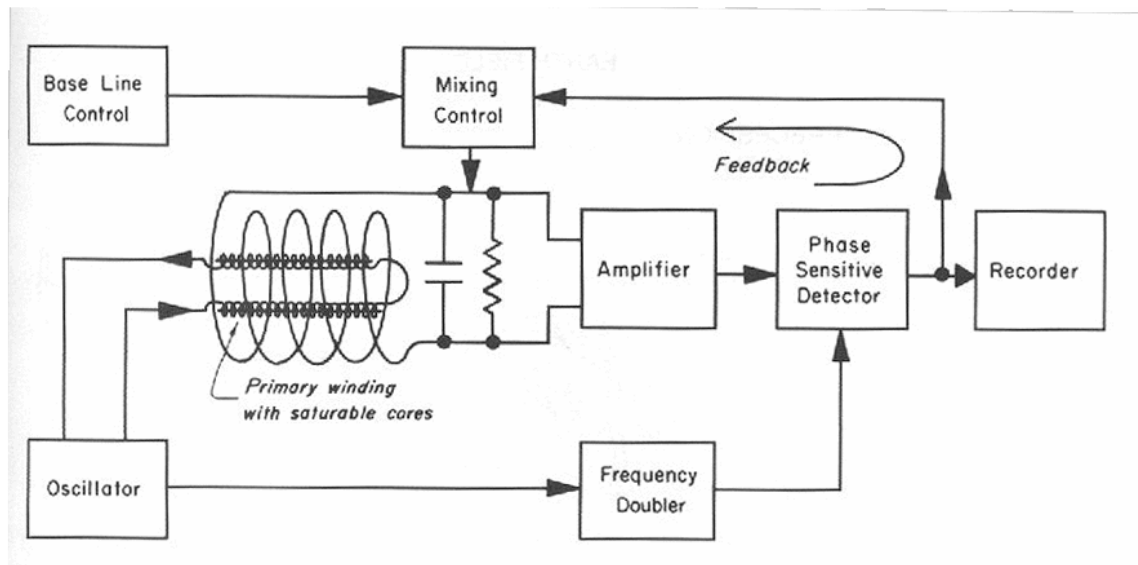


Figura 3.4: Esquema de um Magnetômetro *fluxgate* direcional (vetor) para medidas de campos geomagnéticos. [Fonte: adaptado de Introduction to Geomagnetic Fields, Wallace H. Campbell, pág. 187].

3.4 MISSÕES ESPACIAIS.

O homem em seu desejo de pesquisar o espaço, enviou ônibus espaciais e sondas espaciais ao espaço. Nesta seção são abordadas as missões das sondas Mariner 10, ISEE 1 e 2.

3.4.1 MARINER 10

A Mariner 10 foi à primeira sonda espacial (e a única até agora) enviada a Mercúrio. A missão explorou dois planetas (Mercúrio e Vênus) durante uma única missão, usou a ajuda da gravidade para mudar sua rota de vôo e retornou ao seu alvo depois de um encontro inicial, utilizou-se o Vento Solar como o principal meio de orientação durante o vôo.

O objetivo preliminar da Mariner 10 foi estudar a atmosfera (se houvesse), superfície, e características principais de Mercúrio. Logo após deixar a órbita da Terra, a sonda enviou fotos da Terra e da Lua e rumou para o seu primeiro destino, Vênus. Houve diversos problemas técnicos, incluindo o mau funcionamento da antena de alto ganho e do sistema de controle. Em 5 de Fevereiro de 1974, a Mariner 10 aproximou-se de Vênus e enviou um total de 4.165 fotos do planeta e coletou importantes dados durante o encontro. A distância mais próxima que chegou do planeta foi de 5.768 km Auxiliada pela gravidade de Vênus, a sonda se dirigiu para o planeta mais interno do Sistema Solar, o qual alcançou depois de muitos problemas. Assim que a Mariner 10 aproximou-se de Mercúrio, suas fotos começaram a mostrar uma superfície muito parecida com a da Lua, com crateras, cumes e terreno caótico. O Magnetômetro da sonda revelou um campo magnético fraco. As leituras do radiômetro indicaram uma temperatura durante a noite de -183°C e máxima de 187°C durante o dia. A distância mais próxima que chegou de Mercúrio foi às 20h 47 min UT de 29 de Março de 1974 a 703 km Tendo contornado o Sol, a Mariner 10 mais uma vez encontrou Mercúrio a uma distância de 48.069 km O terceiro e último encontro aconteceu a uma distância de 327

km da superfície e foi em 16 de Março de 1975. O contato com a sonda terminou em 24 de Março de 1975. Do ponto de vista de medidas de campo magnético, o 1º e o 3º *flybys* (29 de Março de 1974 e 16 de Março de 1975) são os ideais para o estudo de magnetosfera de Mercúrio (Siddiqi, 2002).

A Tabela 3.1 abaixo mostra algumas características e instrumentos científicos da Mariner 10.

Sonda	Mariner 10
Objetivos	Vôos a Mercúrio e Vênus
Massa da Sonda	502,9 kg
Design e administração	NASA JPL
Data de lançamento	3 de Novembro de 1973
Instrumentos Científicos	Radiômetro infravermelho, 2 magnetômetros, telescópios de partículas carregadas, analisador de plasma, sistema de imagem, espectrômetro ultravioleta airglow.

Tabela 3.1: Características da Mariner 10. [Fonte: adaptado de Deep Space Chronicle, Asif A. Siddiqi, pág. 105].



Figura 3.5: Foto da Mariner 10. [Fonte: adaptado de <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/tmp/1973-085A.html>]

3.4.2 ISEE 1 E 2

O programa ISEE consistiu de três naves espaciais, a ISEE-1 e ISEE-3 que foram as principais contribuições dos Estados Unidos ao estudo magnetosférico internacional, e a ISEE-2 que foi construída e controlada pela agência espacial europeia (ESA). ISEE-1 e ISEE-2 foram lançadas em 22 de Outubro de 1977, e estavam em órbitas quase coincidentes em torno da Terra com períodos de aproximadamente 57 horas, e sua

separação temporal, nesta órbita, poderia ser alterada manobrando a ISEE-2. A ISEE-3 foi lançada em 12 de Agosto de 1978, e colocada em uma órbita “halo” a uma distância de ≈ 240 raios da Terra (R_E) entre a Terra e o Sol. O plasma que passa neste ponto chega à Terra em aproximadamente 1 h, onde instrumentos na ISEE-1 e ISEE-2 podem detectar as propriedades físicas do mesmo. As naves espaciais ISEE-1 e ISEE-2 reentraram na atmosfera da Terra em Setembro 1987, após 1517 órbitas ao redor da Terra (<http://www-spc.igpp.ucla.edu/ssc/isee/>).

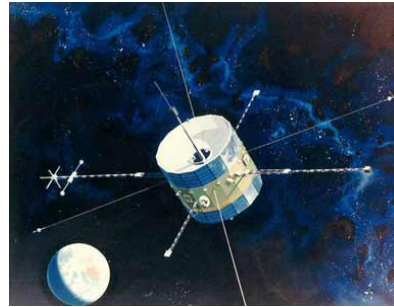


Figura 3.6: Foto ilustrativa da Sonda Espacial ISEE 1. [Fonte: adaptado de <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/database/MasterCatalog?sc=1977-102A>].

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

Durante o período de vigência deste Projeto de Pesquisa: Estudo Comparativo das Frentes de Choque Planetárias foram analisados dados de campo magnético medidos por Magnetômetros a bordo de sondas espaciais. As datas dos eventos analisados pelas respectivas sondas espaciais, são apresentadas na Tabela 4.1.

Data	ISEE 1 e 2	Mariner 10
	TERRA	MERCÚRIO
2/12/1977	✓	-
5/12/1977	✓	-
25/07/1978	✓	-
27/08/1978	✓	-
5/09/1978	✓	-
26/03/1974	-	✓
15/03/1975	-	✓

Tabela 4.1: Datas das Frentes de Choques analisadas.

4.1 ANÁLISE DOS EVENTOS DETECTADOS PELA SONDA ESPACIAL ISEE 1 E 2 – TERRA

4.1.1 CRUZAMENTO DA FRENTE DE CHOQUE DO DIA 2 DE DEZEMBRO DE 1977

As componentes do vetor campo magnético, antes (*upstream*) e após (*downstream*), o cruzamento da frente de choque do dia 02/12/1977 são apresentados na forma de diagrama na Figura 4.1. Temos de cima para baixo a componente X do campo magnético (B_x), a componente Y do campo magnético (B_y), a componente Z do campo magnético (B_z) e a intensidade do campo magnético (B_t). São mostradas as regiões *upstream* e *downstream* que ficam entre a frente de choque do evento estudado.

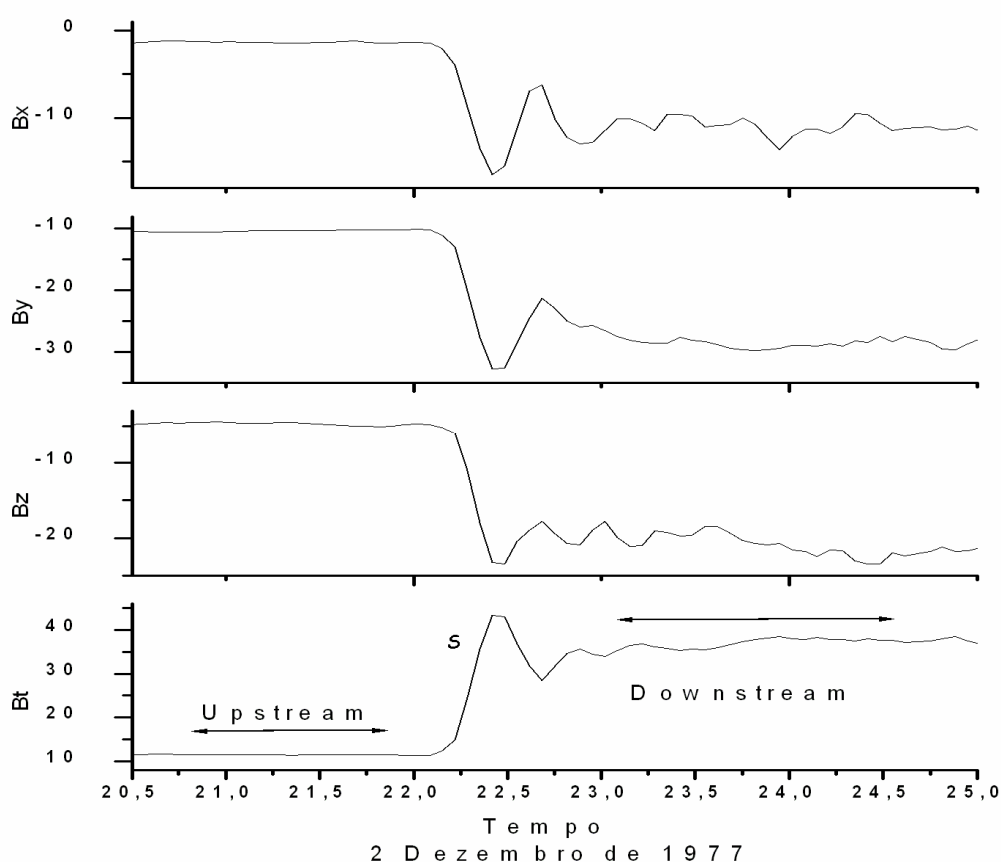


Figura 4.1: Variações temporais do campo magnético antes (*upstream*) e após (*downstream*) o choque.

Observamos os sinais de cruzamento da frente de choque que ocorrem neste evento pelo aumento na média do campo magnético e pela flutuação do mesmo. Neste evento, o campo magnético no lado *downstream* foi 3,30 vezes maior que o campo magnético *upstream*.

4.1.2 CRUZAMENTO DA FRENTE DE CHOQUE DO DIA 5 DE DEZEMBRO DE 1977.

As componentes do vetor campo magnético, antes (*upstream*) e após (*downstream*), o cruzamento da frente de choque do dia 05/12/1977 são apresentados na forma de diagrama na Figura 4.2. Temos de cima para baixo a componente X do campo magnético (B_x), a componente Y do campo magnético (B_y), a componente Z do campo magnético (B_z) e a intensidade do campo magnético (B_t). São mostradas as regiões *upstream* e *downstream* que ficam entre a frente de choque do evento estudado.

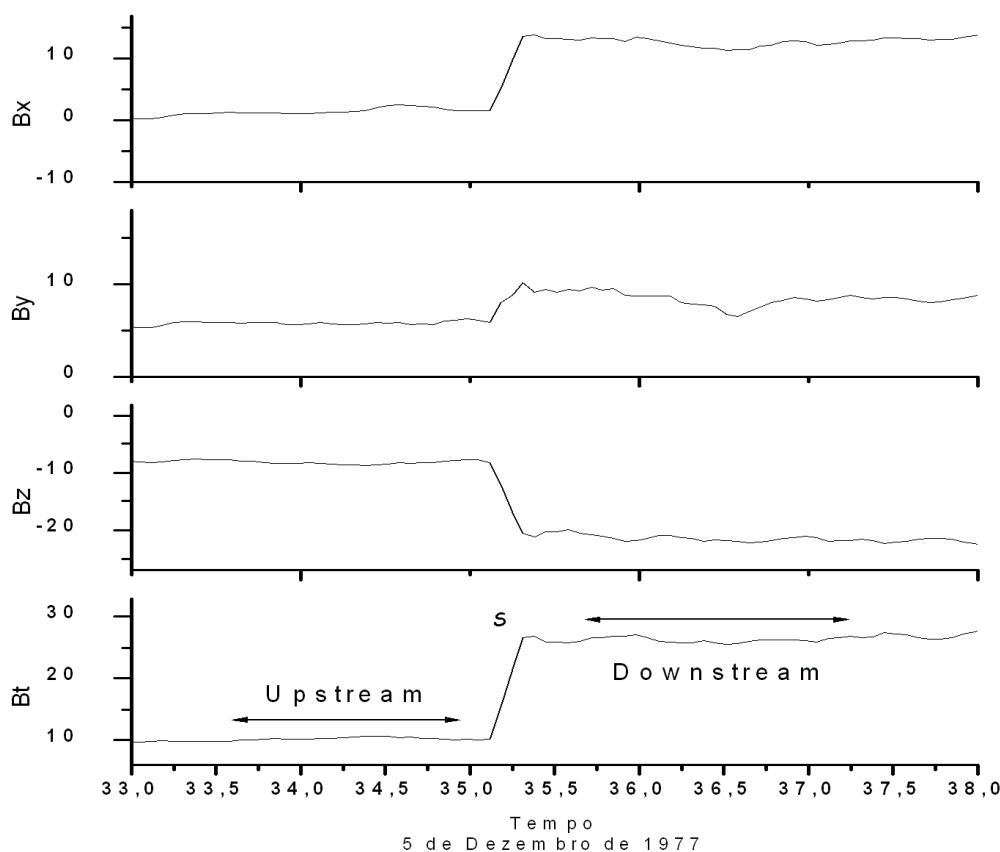


Figura 4.2: Variações temporais do campo magnético antes (*upstream*) e após (*downstream*) o choque.

Observamos sinais de cruzamento da frente de choque que ocorrem neste evento. Neste evento, o campo magnético no lado *downstream* foi 2,51 vezes maior que o campo magnético *upstream*.

4.1.3 CRUZAMENTO DA FRENTE DE CHOQUE DO DIA 25 DE JULHO DE 1978.

As componentes do vetor campo magnético, antes (*upstream*) e após (*downstream*), o cruzamento da frente de choque do dia 25/07/1978 são apresentados na forma de diagrama na Figura 4.3. Temos de cima para baixo a componente X do campo magnético (B_x), a componente Y do campo magnético (B_y), a componente Z do campo magnético (B_z) e a intensidade do campo magnético (B_t). São mostradas as regiões *upstream* e *downstream* que ficam entre a frente de choque do evento estudado.

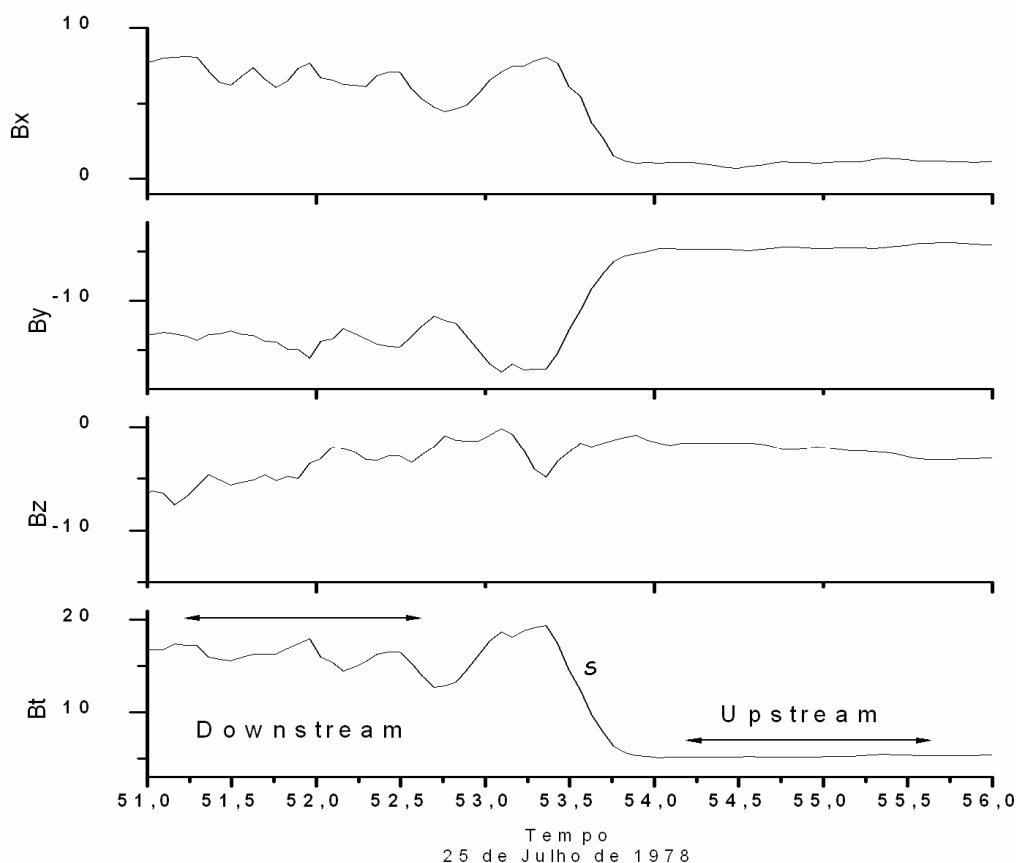


Figura 4.3: Variações temporais do campo magnético antes (*upstream*) e após (*downstream*) o choque.

Observamos sinais de cruzamento da frente de choque que ocorrem neste evento. Os sinais são identificados tanto pelo aumento na média do campo magnético como pela flutuação do mesmo. Neste evento, o campo magnético no lado *downstream* foi 3,23 vezes maior que o campo magnético *upstream*.

4.1.4 CRUZAMENTO DA FRENTE DE CHOQUE DO DIA 27 DE AGOSTO DE 1978.

As componentes do vetor campo magnético, antes (*upstream*) e após (*downstream*), o cruzamento da frente de choque do dia 27/08/1978 são apresentados na forma de diagrama na Figura 4.4. Temos de cima para baixo a componente X do campo magnético (B_x), a componente Y do campo magnético (B_y), a componente Z do campo magnético (B_z) e a intensidade do campo magnético (B_t). São mostradas as regiões *upstream* e *downstream* que ficam entre a frente de choque do evento estudado.

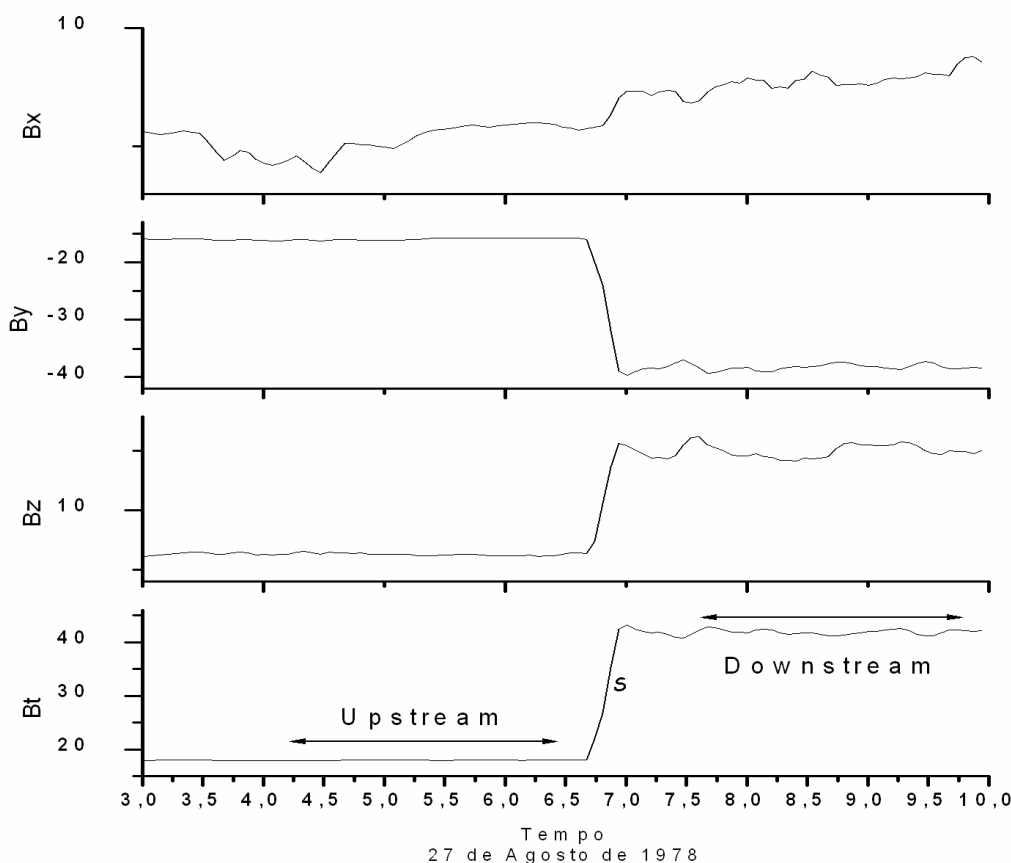


Figura 4.4: Variações temporais do campo magnético antes (*upstream*) e após (*downstream*) o choque.

Observamos sinais de cruzamento da frente de choque que ocorrem neste evento. Os sinais são identificados tanto pelo aumento na média do campo magnético como pela flutuação do mesmo. Neste evento, o campo magnético no lado *downstream* foi 2,31 vezes maior que o campo magnético *upstream*.

4.1.5 CRUZAMENTO DA FRENTE DE CHOQUE DO DIA 5 DE SETEMBRO DE 1978.

As componentes do vetor campo magnético, antes (*upstream*) e após (*downstream*), o cruzamento da frente de choque do dia 05/09/1978 são apresentados na forma de diagrama na Figura 4.5. Temos de cima para baixo a componente X do campo magnético (B_x), a componente Y do campo magnético (B_y), a componente Z do campo magnético (B_z) e a intensidade do campo magnético (B_t). São mostradas as regiões *upstream* e *downstream* que ficam entre a frente de choque do evento estudado.

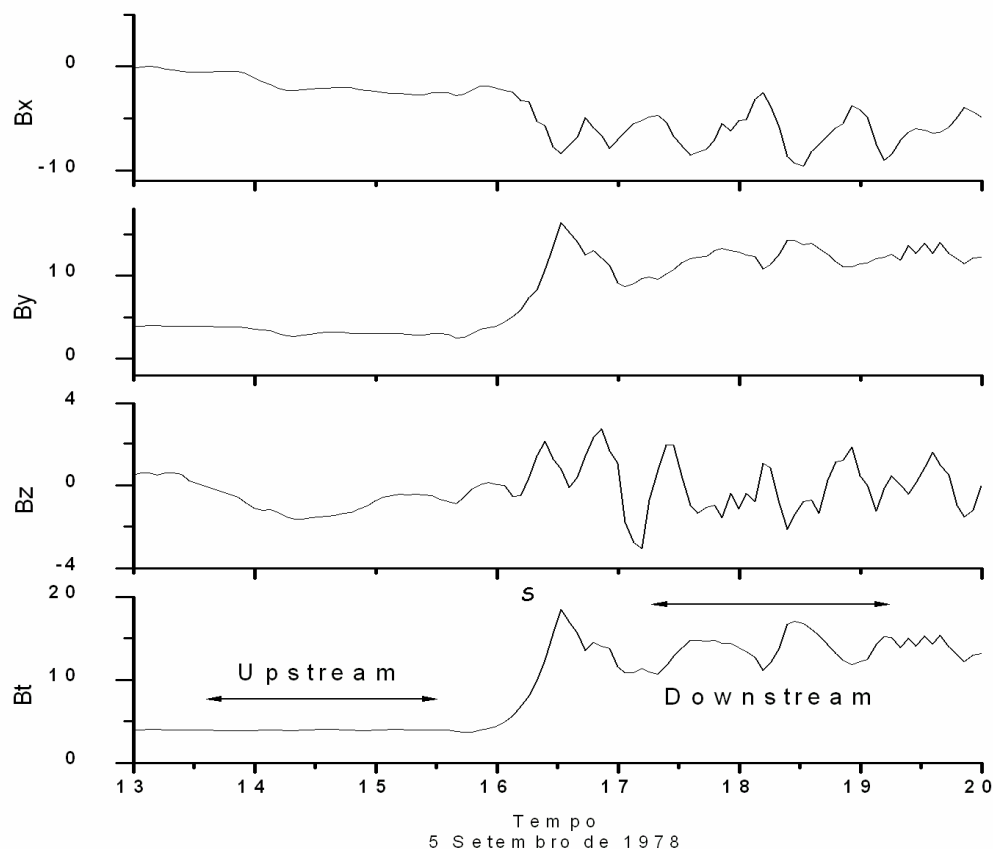


Figura 4.5: Variações temporais do campo magnético antes (*upstream*) e após (*downstream*) o choque.

Observamos sinais de cruzamento da frente de choque que ocorrem neste evento. Os sinais são identificados tanto pelo aumento na média do campo magnético como pela flutuação do mesmo. Neste evento, o campo magnético no lado *downstream* foi 3,59 vezes maior que o campo magnético *upstream*.

Os principais parâmetros físicos dos eventos analisados pela ISEE 1 e 2 são apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Terra (ISEE 1e 2)

Data	UT	\vec{B}_u	\vec{B}_d	B_u	B_d	r_B (B_d / B_u)	\hat{n}	θ_{Bn}
2/12/1977	20:20	(-1,38; -10,28; -4,8)	(-11,04; -28,58; -22,11)	11,43	37,80	3,30	(-0,54; 0,71; -0,44)	67,34°
5/12/1977	5:05	(1,77; 5,81; -8,37)	(12,2; 7,9; -21,59)	10,36	26,05	2,51	(0,54; -0,77; 0,3)	53,6°
25/07/1978	3:48	(0,99; -4,7; -1,75)	(7,19; -13,89; -5,48)	5,13	16,62	3,23	(0,84; 0,51; 0,14)	69,04°
27/08/1978	20	(5,57; -15,92; 6,24)	(7,73; -38,2; 14,71)	17,99	41,66	2,31	(0,54; -0,77; 0,3)	53,6°
5/09/1978	0:10	(-2,38; 3,03; -0,87)	(-6,5; 12,61; -0,71)	3,989	14,33	3,59	(0,67; 0,27; 0,68)	69,9°

4.2 ANÁLISE DOS EVENTOS DETECTADOS PELA SONDA ESPACIAL MARINER 10 - MERCÚRIO

4.2.1 CRUZAMENTO DA FRENTE DE CHOQUE DO DIA 26 DE MARÇO DE 1974

As componentes do vetor campo magnético, antes (*upstream*) e após (*downstream*), o cruzamento da frente de choque do dia 26/03/1974 são apresentados na forma de diagrama na Figura 4.6. Temos de cima para baixo a componente X do campo magnético (B_x), a componente Y do campo magnético (B_y), a componente Z do campo magnético (B_z) e a intensidade do campo magnético (B_t). São mostradas as regiões *upstream* e *downstream* que ficam entre a frente de choque do evento estudado.

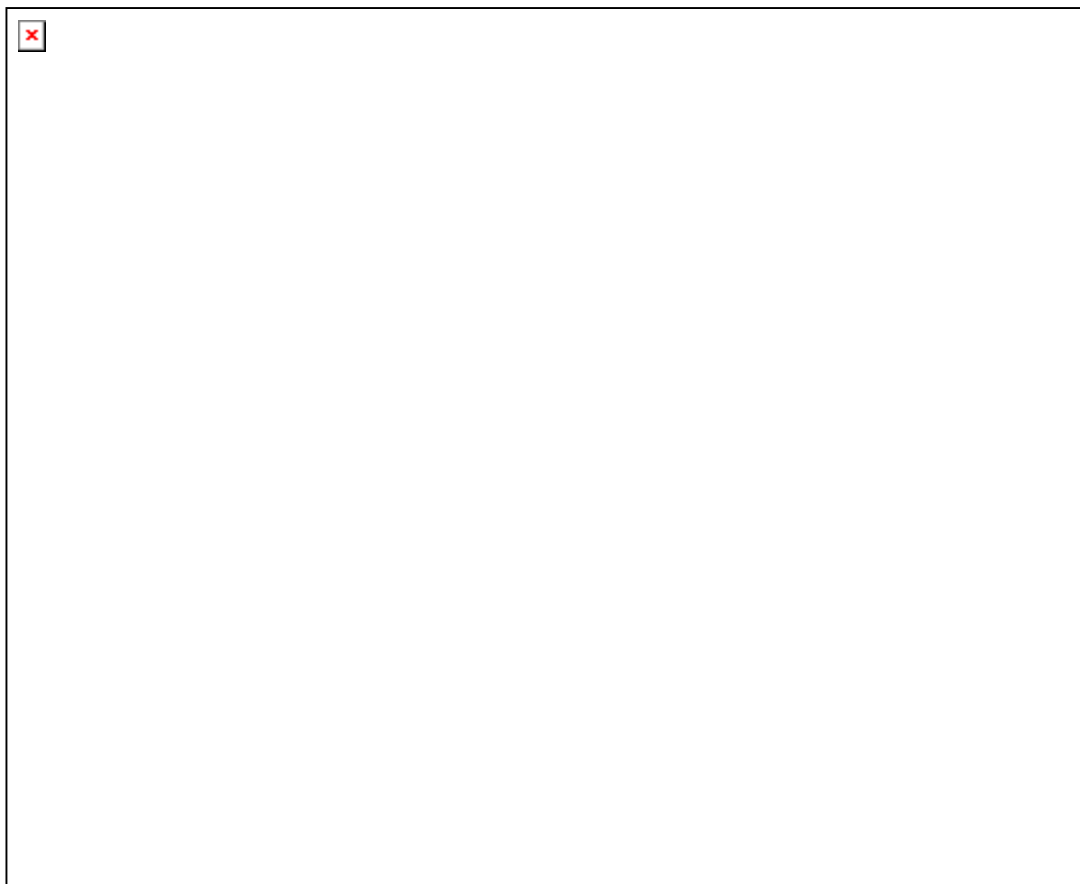


Figura 4.6: Variações temporais do campo magnético antes (*upstream*) e após (*downstream*) o choque.

Observamos sinais de cruzamento da frente de choque que ocorrem neste evento. Os sinais são identificados tanto pelo aumento na média do campo magnético como pela flutuação do mesmo. Neste evento, o campo magnético no lado *downstream* era 3,14 vezes maior que o campo magnético *upstream*.

4.2.2 CRUZAMENTO DA FRENTE DE CHOQUE DO DIA 15 DE MARÇO DE 1975

A Figura 4.7, mostra o lado antes (*upstream*) do vetor campo magnético ao cruzamento pela frente de choque do dia 15/03/1975. No painel superior, são visualizadas as componentes do vetor campo magnético e no painel inferior, é visualizado o módulo do vetor campo magnético. Soa observadas as grande oscilações do vetor campo magnético que acontecem próximo a frente de choque.

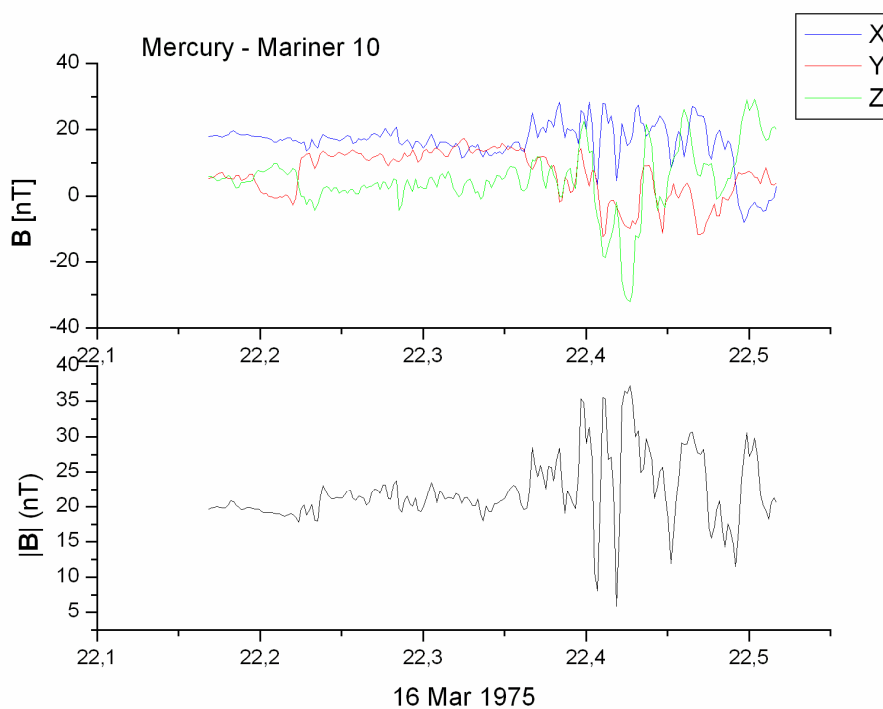


Figura 4.7: Variações temporais do campo magnético antes (*upstream*) da frente de choque.

A Figura 4.8, mostra o lado depois (*downstream*) do vetor campo magnético ao cruzamento pela frente de choque do dia 15/03/1975. No painel superior, são visualizadas as componentes do vetor campo magnético e no painel inferior, é visualizado o módulo do vetor campo magnético.

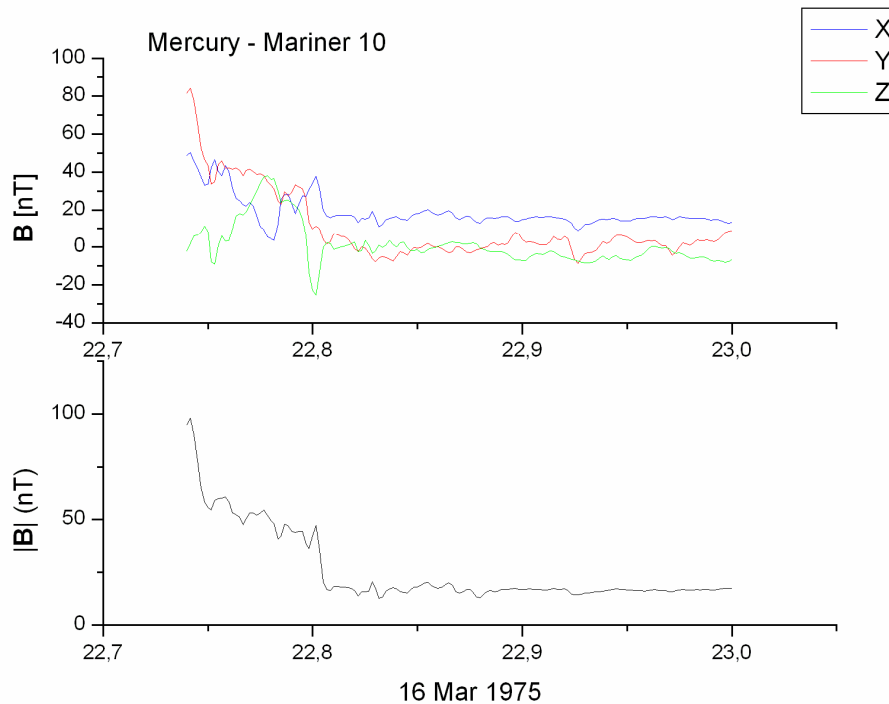


Figura 4.8: Variações temporais do campo magnético depois (*downstream*) da frente de choque

Neste cruzamento através da frente de choque, o campo magnético no lado *downstream* era 0,8 vezes o campo magnético *upstream*.

Os principais parâmetros físicos dos eventos analisados da Mariner 10 são apresentados na Tabela 4.3

Tabela 4.3: Mercúrio (Mariner 10)

Data	UT	\vec{B}_u	\vec{B}_d	B_u	B_d	r_B (B_d / B_u)	\hat{n}	θ_{Bn}
29/03/1974	20:47	(3,22; -8,26; -13,77)	(-30,39; 6,91; 28,56)	17,48	55	3,14	(0,72; 0,57; 0,37)	62,62°
16/03/1975	22:04	(16,57; 9,91; 3,64)	(15,35; 1,62; -3,66)	20,52	16,57	0,8	(-0,96; -0,08; 0,25)	36,2°

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

O desenvolvimento deste Projeto de Pesquisa de Iniciação Científica junto ao Laboratório de Clima Espacial e de Previsão de Tempestades Geomagnéticas do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, em Santa Maria, RS, possibilitou ao bolsista adquirir conhecimento básico referente à formação de frentes de choque (bow shocks) planetárias no Sistema Solar, sobre magnetosferas planetárias, vento solar e trabalhar com os dados de campo magnético e plasmas medidos por sondas interplanetárias.

Foi estudado que os parâmetros - distância heliocêntrica, velocidade do Vento Solar e campo magnético do planeta - influenciam na forma e na intensidade da frente de choque. Isto foi observado nos planetas exteriores, Júpiter e Saturno, os quais têm uma magnetosfera enorme devido à distância que estão do Sol, e aliado a baixa velocidade do Vento Solar e campo magnético intenso. Conseqüentemente, eles formam uma forte frente de choque.

Os planetas com campo magnético induzido, como Marte e Vênus, não possuem uma magnetosfera, por conseqüência, as frentes de choque são causadas pela interação entre o Vento Solar e as ionosferas planetárias.

Devido à proximidade da Terra ao Sol e do campo magnético terrestre, há uma frente de choque entre a Terra e o Sol. A intensidade da frente de choque varia com a intensidade da velocidade do Vento Solar.

Os choques que foram analisados nos eventos deste trabalho são oblíquos ou quase-perpendiculares. Estas características são devidas em grande parte ao comportamento flutuante do campo magnético interplanetário e as perturbações atribuídas a processos internos dos choques que produzem uma incerteza na estimativa dos parâmetros. Isto restringe a duração das regiões *upstream* e *downstream* relevantes para poucos minutos antes e depois do choque.

Com os dados das missões recém lançadas (*Galileo*, *Cassini*) e futuras missões programadas (*Venus Express*, *Mercury Messenger* e *Bepi-Colombo*, e várias para Marte), nós esperamos aumentar nosso conhecimento do ambiente no Meio Interplanetário.

Durante o período de vigência da bolsa de Iniciação Científica, o aluno participou na elaboração de diversos trabalhos que foram desenvolvidos e apresentados em congressos nacionais de iniciação científica e em congressos internacionais.

Entre os dias de 28 de Novembro a 5 de Dezembro de 2005, o aluno teve a oportunidade de participar da 3^o Escola de Física Solar de El Leoncito-San Juan-Argentina com a apresentação do trabalho intitulado *A Comparative Study of Planetary Bow Shock*. Nesta escola, teve a oportunidade de interagir com renomados pesquisadores e aprender sobre tópicos de física solar.

Entre os dias de 6 a 10 de Março de 2006, o aluno teve a oportunidade de participar do 11^o SCOSTEP - Quadrennial Solar Terrestrial Physics Symposium, “Sun, Space Physics and Climate” e apresentar o trabalho *A Comparative Study of Planetary Bow Shock*.

O aluno participou como co-autor dos trabalhos intitulados: *Preliminary Data from the new muon telescope located in the southern space observatory at São Martinho Serra, RS, Brazil* que foi apresentado na *Egu General Assembly 2006*, de 2 a 7 de Abril de 2006, que ocorreu em Viena, Áustria e, no trabalho intitulado: *Cosmic Ray Modulation And Noise Level On The Extended Multidirectional Muons Detector Telescope Installed In South Of*



Brazil: Preliminary Analysis, que será apresentado no **36th Cospas Scientific Assembly** em Beijing, China, de 16 a 23 de Julho de 2006.

Saliento que o trabalho intitulado: ***Cálculo do Vetor Normal às Frentes de Choque dos Planetas Terrestres pelo Método da Coplanaridade Magnética***, foi aceito e será apresentado na **58^o Reunião Sênior da SBPC**, de 16 a 21 de Julho, em Florianópolis, Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abraham- Shrauner, Barbara, **Determination of magnetohydrodynamic shock normals**, American Geophysical Union, pp. 736-739;

“**Astronomia e Astrofísica**” da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/solar/>>. Acesso em: 1 jun. 2006;

Brecht, S. H., **Shock formation at unmagnetized planets**, Adv. Space Res., Vol. 15, n° 8/9, pp (8/9) 415- (8/9) 421, 1995;

Burlaga, L. F., **Interplanetary magnetohydrodynamics**, Oxford University Press, pp. 70 - 74, 1995;

Campbell, W. H., **Introduction to geomagnetic fields**, Cambridge University Press, pp. 186, 187, 1997;

Curso a distância de Astrofísica do Sistema Solar do Observatório Nacional – MCT, Ministério da Ciência e Tecnologia, 2004;

Echer, E.; Gonzalez, W. D.; Guarnieri, F. L.; Dal Lago, A.; Vieira, L. E. A., **Introduction to space weather**, Adv. In Space Res. 35 (2005) 855-865;

Echer, E.; Rigozo, N. R.; Vieira, L. E. A.; Nordemann, D. J. R.; Prestes, A.; De Faria, H. H., **O número de manchas solares, índice da atividade do sol**, Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 25, no. 2, Junho, 2003;

González- Esparza, J. A.; Balogh, A., **The θ_{Bn} problem: Determination of local magnetic parameters of interplanetary shocks from in situ IMF data**, Geosifisica Internacional (2001), Vol. 40, Num. 1, pp. 53-63;

Huddleston, D. E.; Russell, C. T.; Kivelson, M. G.; Khurana, K. K.; Bennett, L., **The location of the Jovian Bow Shock and Magnetopause: Galileo initial results**, Adv. Space Res., Vol. 21, n° 11, pp. 1463 – 1467, 1998;

International Sun-Earth Explorer (ISEE). Disponível em: <<http://www-spc.igpp.ucla.edu/ssc/isee/>>. Acesso em: 1 jun. 2006;

Kivelson, M. G.; Russell, C. T., **Introduction to Space Physics**, Cambridge University Press, pp. 141, 142, 1995;

Luhmann, J. G.; Ledvins, S. A.; Russell, C. T., **Induced magnetospheres**, Adv. in Space Res. 33 (2004) 1905-1912;

Luhmann, J. G.; Russell, C. T., **Venus: Magnetic Field And Magnetosphere**. Originally Published In: Encyclopedia Of Planetary Sciences, Edited By J. H. Shirley And R. W. Fainbridge, 905-907, Chapman And Hall, New York, 1997;

Luhmann, J. G.; Russell, C. T., **Mars: Magnetic Field And Magnetosphere**, Originally published in: Encyclopedia of Planetary Sciences, edited by J. H. Shirley and R. W. Fainbridge, 454-456, Chapman and Hall, New York, 1997;

National Aeronautics and Space Administration, NASA , Washington, DC. Disponível em: <<http://solarsystem.nasa.gov/galile.cfm>>. Acesso em: 16 jun. 2006;

National Aeronautics and Space Administration, NASA , Washington, DC. Disponível em: <http://science.nasa.gov/headlines/y2000/ast07apr_2m.htm>. Acesso em: 20 abr. 2006;

Rice University, Houston, Texas. Disponível em: <<http://www.rice.edu>>. Acesso em: 1 de jun. 2006;

Russell, C. T., **The Solar Wind Interaction with the Earth's Magnetosphere: A Tutorial**, Space Weather, Geophysical Monograph 125, American Geophysical Union, 2001;

Russell, C. T.; Luhmann, J. G., **Earth: Magnetic Field and Magnetosphere**, Originally published in: Encyclopedia of Planetary Sciences, edited by J. H. Shirley and R. W. Fainbridge, 208-211, Chapman and Hall, New York, 1997;

Russell, C. T., **The Magnetic Field of Mars: Mars 5 Evidence re-examined**, Geophysical Research Letters, vol. 5 n° 1, jan. 1978;

Russell, C. T., **The Magnetic Field of Mars: Mars 3 Evidence re-examined**, Geophysical Research Letters, vol. 5 n° 1, jan. 1978;

Russell, C. T.; Luhmann, J. G.; **Jupiter: Magnetic Field And Magnetosphere**, Originally published in Encyclopedia of Planetary Sciences, edited By J. H. Shirley and R. W. Fainbridge, 372-373, Chapman and Hall, New York, 1997;

Russell, C. T.; Luhmann, J. G.; **Saturn: Magnetic Field And Magnetosphere**, Originally published in Encyclopedia of Planetary Sciences, edited By J. H. Shirley and R. W. Fainbridge, 718-719, Chapman and Hall, New York, 1997;

Russell, C. T.; Luhmann, J. G.; **Neptune: Magnetic Field And Magnetosphere**, Originally published in Encyclopedia of Planetary Sciences, edited By J. H. Shirley and R. W. Fainbridge, 531, Chapman and Hall, New York, 1997;

Russell, C. T.; Luhmann, J. G.; **Uranus: Magnetic Field And Magnetosphere**, Originally published in Encyclopedia of Planetary Sciences, edited By J. H. Shirley and R. W. Fainbridge, 863-864, Chapman and Hall, New York, 1997;

Russell, C. T., **Outter planet magnetospheres: a tutorial**, Adv. In Space Res. 33 (2004) 2004-2020;

Russell, C. T; Hoppe, M. M.; Livesey, W. A., **Overshoots in planetary bow shocks**, Nature, Vol. 296, n° 5852, pp. 45-48, 4 de Março de 1982;

Russell, C. T., **Planetary Bow Shocks**, Collisionless Shocks in the Heliosphere: Reviews of Current Research, Geophysical Monograph 35, 1985; 375-385;

Russell, C. T.; Luhmann, J. G., **Mercury: Magnetic Field and Magnetosphere**, Encyclopedia of Planetary Sciences, edited by J. H. Shirley and R. W. Fainbridge, 476-478, Chapman and Hall, New York, 1997;

Shirley, D. L., **The Mariner 10 Mission to Venus and Mercury**, Acta Astronautica 53 (2003)

Siddiqi, A. A., **Deep Space Chronicle**, Monograph in Aerospace History n° 24, National Aeronautics and Space Administration, NASA , pág. 105, 2002;

The National Center for Atmospheric Research & the UCAR Office of Programs, operado pela University Corporation for Atmospheric Research, Boulder, Colorado. Disponível em: <www.windows.ucar.edu/windows.html>. Acesso em: 15 abr. 2006;

Wikipédia – a enciclopédia livre. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/>>. Acesso em: 15 maio 2006.



ANEXOS



ANEXO 1

TABELA DE PROPRIEDADES PLANETÁRIAS

Tabela A1.1 – PARÂMETROS FÍSICOS E ASTRONÔMICOS PLANETÁRIOS.

Planeta	Período Orbital (Terra = 1 ano)	Período de Rotação (Dias)	Inclinação com a Eclíptica	Momento Magnético (ME)	Campo Magnético Global (nT)
Mercúrio	0,24	58,65	7°	4×10^{-4}	250
Vênus	0,62	-243	3,39°	$\approx 10^{-5}$	$\approx 10^{-5} B_T$
Terra	1	1	0,00°	1	31000
Marte	1,88	1,025	1,85°	$\approx 10^{-4}$	
Júpiter	11,86	0,41	1,30°	$1,8 \times 10^4$	$> 10 B_T$
Saturno	29,46	0,44	2,49°	580	$\approx B_T$
Urano	84,01	-0,72	98°	50	menor do que B_T
Netuno	164,79	0,67	1°48'	24	menor do que B_T

Tabela A1.2 – PARÂMETROS FÍSICOS E ASTRONÔMICOS PLANETÁRIOS.

Planeta	Distância Heliocêntrica (1 AU)	Distância esperada da Magnetopausa	Pressão do Vento solar (nPa)	Composição da Atmosfera	Temperatura na Superfície (°C)
Mercúrio	0,387	1,5 R_M	20	none	260
Vênus	0,723			CO ₂	480
Terra	1	10-15 R_T	3,0	N ₂ +O ₂	15
Marte	1,52			CO ₂	-60
Júpiter	5,20	70 R_J	0,1	H ₂ +He	-110
Saturno	9,54	21 R_S	30	H ₂ +He	-190
Urano	19,19	27 R_U	8	H ₂ +He	-215
Netuno	30,07	26 R_N	3	H ₂ +He	-225
Plutão	39,48			CH ₄	-235



ANEXO 2

PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE
INICIAÇÃO CIENTÍFICA - PIBIC/CNPQ**

Nome do Orientador: Dr. Ezequiel Echer

CPF: 589.080.130-91

Nome do Co-Orientador: Dr. Nelson Jorge Schuch

CPF: 620.284.568-68

Nome do Bolsista: Samuel Martins da Silva

Título do Projeto: ESTUDO DE FRENTES DE CHOQUE PLANETÁRIAS

Palavras-chaves: ondas de choque, magnetosferas, clima espacial.

Área de conhecimento (de acordo com formulário CNPq): 1.07.02.00-8 Geofísica, 1.04.05.00-3 Astrofísica do Sistema Solar, Física dos Fluídos, Física de Plasmas e Descargas elétricas.

Objetivos Específicos:

O objetivo deste projeto é capacitar o bolsista a adquirir conhecimentos básicos referentes à formação de frentes de choque (bow shocks) planetárias no sistema solar. O bolsista deverá adquirir conhecimento básico referente à: formação de choques supersônicos em fluídos e plasmas; magnetosferas planetárias; vento solar; processo de formação de frentes de choque no sistema solar. O bolsista também deverá adquirir familiaridade com os dados de campo magnético e plasmas medidos pelas sondas interplanetárias que vem estudando a heliosfera nos últimos 40 anos.

Metodologia:

Revisão bibliográfica básica sobre formação de choques supersônicos em fluídos, em plasmas e em plasmas espaciais (sistema solar); revisão básica sobre física solar, o vento solar e as magnetosferas planetárias; entendimento dos processos físicos responsáveis pela formação e variação das frentes de choque planetárias. Estudo comparativo das frentes de choque dos planetas: não magnetizados (Vênus), fracamente magnetizados (Marte, Mercúrio), magnetizados (Terra) e magnetosferas gigantes (Júpiter, Saturno).

Aquisição de dados das sondas interplanetárias, através da internet, familiarização do mesmo e desenvolvimento de programas. Estudo do cruzamento de frentes de choque planetário (identificação nos dados). Sondas interplanetárias com dados disponíveis: Mariner 2 (Mercúrio), Pioneer Vênus (Vênus), Explorer 12, IMP-8, ISEE1 e 2, entre outras (Terra), Voyager 1 (Júpiter, Saturno, Urano), Voyager 2 (Júpiter, Saturno, Urano, Netuno).

Plano de trabalho do bolsista:

O bolsista deverá iniciar uma revisão bibliográfica sobre a física de choques em fluídos plasmas e sobre os tópicos de física solar, vento solar e magnetosferas planetárias. Posteriormente um estudo mais específico sobre a formação e variações de frentes de choque planetárias.

O bolsista devese familiarizar com os dados de campo magnético e plasmas medidos pelas várias sondas e desenvolver programas para realizar plotagem de gráficos e análise dos mesmos.

O bolsista deverá realizar um estudo comparativo das frentes de choque planetárias, escolhendo alguns exemplos de cruzamento de frente choques medidos pelas sondas.

O bolsista e o orientador manterão contato regular por e-mail e telefone, em virtude da localização em cidades diferentes. O Dr. Nelson J. Schuch co-orientara o bolsista no CRSPE em Santa Maria, RS.

Cronograma de atividades:

- Mês 1 a Mês 3: Revisão bibliográfica básica, aquisição de dados via internet;
- Mês 4 a Mês 6 : Revisão bibliográfica específica sobre frentes de choque, desenvolvimento de programas para plotagem de gráficos;
- Mês 7 a Mês 12: Análise dos dados, estudo de casos, preparação de trabalhos e apresentação em Conferencias Científicas.

Resultados esperados:

O bolsista deverá adquirir conhecimentos básicos sobre formação de choques em fluídos e plasmas, especialmente em plasmas não colisionais. Também deverá obter fundamentos sobre física solar e do vento solar e magnetosferas planetárias comparadas. Devese obter conhecimento mais específico, a nível mais conceitual, sobre formação de frentes de choque.

Espera-se que o bolsista adquira familiaridade com os dados de sondas interplanetárias operando em várias distâncias heliocêntricas, cruzando as magnetosferas planetárias e que aprenda a interpretar os dados de cruzamento de frentes de choque planetárias. .

Os resultados dos estudos deverão ser apresentados em Conferências Científicas. O bolsista deverá preparar um trabalho para apresentação no 11º Simpósio Quadri-anual de Física Solar Terrestre SCOSTEP (Rio de Janeiro, Marco, 2006).

Referências Bibliográficas:

- Burlaga, L, Interplanetary Magnetohydrodynamics, International Series on Astronomy and Astrophysics, 1995;
- Echer, E. et al., On the preferential occurrence of interplanetary shocks in July and November, Journal of Geophysical Research, 110, A02101, 2005;
- Kivelson, M. G. and Russell, C. T., Introduction to Space Physics, Cambridge University Press, 1995;
- Parks, G., Physics of Space Plasmas, An Introduction, 2nd Edition, Westview Press, 2004;
- Russell, C. T., The dynamics of planetary magnetospheres, Planetary and Space Science, 49, 1005-1030, 2001.



ANEXO 3

**TÍTULOS E RESUMOS DE TRABALHOS APRESENTADOS E OU SUBMETIDOS
NO PERÍODO DE VIGÊNCIA DA BOLSA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
AGOSTO/2005 – JULHO/2006.**

TRABALHOS APRESENTADOS E ACEITOS

- 1 **SILVA, S. M. DA**; SAVIAN, J. F.; BRAGA, C. R.; ANDRIOLI, V. F.; SILVA, C. W. S. DA; ECHER, E.; SCHUCH, N. J. *A COMPARATIVE STUDY OF PLANETARY BOW SHOCK*. 11° SCOSTEP que aconteceu de 6 a 10 de Março no Rio de Janeiro, Brasil;
- 2 **SILVA, S. M. DA**; SAVIAN, J. F.; BRAGA, C. R.; ANDRIOLI, V. F.; ECHER, E.; SCHUCH N. J. *ESTUDO COMPARATIVO DE FRENTES DE CHOQUE PLANETÁRIAS*. XX Jornada Acadêmica Integrada que foi realizada de 8 a 10 de Março de 2005 na Universidade Federal de Santa Maria-UFSM, Santa Maria, RS;
- 3 **SILVA, S. M. DA**; SAVIAN, J. F.; BRAGA, C. R.; ANDRIOLI, V. F.; SILVA, C. W. S. DA; ECHER, E.; SCHUCH, N. J. *A COMPARATIVE STUDY OF PLANETARY BOW SHOCK*. 3° Escola de Física Solar de El Leoncito-San Juan-Argentina que aconteceu de 28 de Novembro a 5 de Dezembro de 2005;
- 4 SAVIAN, J. F.; SILVA, M. R. DA; DAL LAGO, A.; BRAGA, C. R.; SANTOS, L. C. DOS; SILVA, C. W. S. DA; ANDRIOLI, V. F.; **SILVA, S. M. DA**; MUNAKATA, K.; SCHUCH, N. J. *PRELIMINARY DATA FROM THE NEW MUON TELESCOPE LOCATED IN THE SOUTHERN SPACE OBSERVATORY AT SÃO MARTINHO SERRA, RS, BRAZIL*. Egu General Assembly 2006, Viena, Áustria que foi realizado de 2 a 7 de Abril de 2006;
- 5 SAVIAN, J. F.; SILVA, M. R. DA, A. DE LUCAS, DAL LAGO, A.; ECHER, E.; LUIS E. VIEIRA, BRAGA, C. R.; SANTOS, L. C. DOS; SILVA, C. W. S. DA; ANDRIOLI, V. F.; **SILVA, S. M. DA**; MUNAKATA, K.; GONZALEZ, W.; BIEBER, J.; SCHUCH, N. J. *ON THE SOLAR AND INTERPLANETARY ORIGIN OF INTENSE GEOMAGNETIC STORMS AND GROUND COSMIC RAY RESPONSE*. 3° Escola de Física Solar de El Leoncito-San Juan-Argentina que aconteceu de 28 de Novembro a 5 de Dezembro de 2005;
- 6 **SILVA, S. M. DA**; ECHER, E.; BRAGA, C. R.; SILVA, C. W. S. DA; SAVIAN, J. F.; SCHUCH, N. J.; *CALCULO DO VETOR NORMAL ÀS FRENTES DE CHOQUE DOS PLANETAS TERRESTRES PELO MÉTODO DA COPLANARIDADE MAGNÉTICA*. Que será apresentado na 58° Reunião Sênior da SBPC de 16 a 21 de Julho em Florianópolis, Brasil;
- 7 SAVIAN, J. F.; BRAGA, C. R.; SILVA, C. W. S. DA; **SILVA, S. M. DA**; ANDRIOLI, V. F.; SILVA, M. R. DA; DAL LAGO, A; GONZALEZ, W. D.; MUNAKATA, K; BIEBER, J.; SCHUCH, N. J. *ANALYSIS OF THE SOLAR AND INTERPLANETARY ORIGIN OF INTENSE GEOMAGNETIC STORMS AND THEIR EFFECTS ON GROUND COSMIC RAYS*. 11° SCOSTEP que aconteceu de 6 a 10 de Março no Rio de Janeiro, Brasil;
- 8 SAVIAN, J. F.; SILVA, M. R. DA; DAL LAGO, A.; BRAGA, C. R.; SILVA, C. W. S. DA; SANTOS, L. C. N. DOS; **SILVA, S. M. DA**; ECHER, E.; VIEIRA, L. E. A.; MUNAKATA, K.; KUWABARA, T.; SCHUCH, N. J. *ANALYSIS OF THE THREE INTENSE GEOMAGNETIC STORM OBSERVED ON JULY 20-31, 2004: SOLAR, INTERPLANETARY AND COSMIC RAY EFFECTS NEAR THE EARTH*. Que será

apresentado no 36th COSPAR SCIENTIFIC ASSEMBLY em Beijing, China, de 16 a 23 de Julho de 2006;

9 BRAGA, C. R.; SAVIAN, J. F.; SILVA, M. R. DA; **SILVA, S. M. DA**; SILVA, C. W. S. DA; SANTOS, L. C. N DOS; DAL LAGO, A.; KUWABARA, T.; MUNAKATA, K.; BIEBER, J. W.; SCHUCH, N. J. *COSMIC RAY MODULATION AND NOISE LEVEL ON THE EXTENDED MULTIDIRECTIONAL MUONS DETECTOR TELESCOPE INSTALLED IN SOUTH OF BRAZIL: PRELIMINARY ANALYSIS*. Que será apresentado no 36th COSPAR SCIENTIFIC ASSEMBLY em Beijing, China, de 16 a 23 de Julho de 2006;

10 BRAGA, C. R.; DAL LAGO, A.; SILVA, M. R. DA; SAVIAN, J. F.; **SILVA, S. M. DA**; SCHUCH, N. J. *DETECTOR DE RAIOS CÓSMICOS DE ALTA-ENERGIA (MUONS) DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL: AMPLIAÇÃO*. Que será apresentado na 58^o Reunião Sênior da SBPC de 16 a 21 de Julho em Florianópolis, Brasil;

11 **Silva, S. M. da**; Echer, E.; Schuch, N. J. *ESTUDO COMPARATIVO DAS FRENTE DE CHOQUE PLANETÁRIAS*. Que será apresentado no SICINPE 2006 em São José dos Campos, SP, entre os dias 11 e 12 de Julho de 2006.

A COMPARATIVE STUDY OF PLANETARY BOW SHOCKS

S. M. da Silva^{1, 3}, V. F. Andrioli^{1, 3}, C. R. Braga^{1, 3}, C. W. S. da Silva^{1,3}, J. F. Savian^{1,3}, E. Echer², N. J. Schuch³

(1) Space Science Laboratory of Santa Maria – LACESM/UFSM, Santa Maria, RS, Brazil.

(2) National Institute for Space Research – INPE – MCT, São José Campos, SP, Brazil.

(3) Southern Regional Space Research Center – CRSPE/INPE – MCT, Santa Maria, RS, Brazil.

samuel@lacesm.ufsm.br/ Fax: +55 – 55 3220 8007

We present a comparative study of planetary bow shocks in the solar system. The planetary bow shocks shape and strength will depend both on the planetary magnetosphere and on the solar wind strength (Mach number). The solar wind properties vary with the heliocentric distance and this variation will influence on the solar wind – planet interaction. In the solar system, it is known that planets have two types of magnetospheres: induced (Venus, Mars) and intrinsic (Earth, Mercury, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptune). The induced magnetospheres of Venus and Mars are caused by the interaction of solar wind with their ionospheres, since their intrinsic magnetic fields are very weak. The others planets are known to have an internal magnetic field (with exception of Pluto, which it is not know at present if it has or not an intrinsic magnetic field). These differences in the magnetospheres will cause different types of bow shocks. We review the present day knowledge about these bow shocks and show examples of bow shock crossings as measured by magnetometers on spacecrafts.

ESTUDO COMPARATIVO DE FRENTES DE CHOQUES PLANETÁRIAS¹

Samuel Martins da Silva², Vânia Fátima Andrioli³, Jairo Francisco Savian⁴,
Carlos Roberto Braga⁵, Ezequiel Echer⁶, Nelson Jorge Schuch⁷.

A atmosfera superior solar encontra-se em contínua expansão supersônica através do meio interplanetário, com o plasma e o campo magnético da coroa solar preenchendo o sistema solar inteiro e constituindo o vento solar. O objetivo deste trabalho é um estudo comparativo entre as frentes de choque dos diversos planetas, através da comparação das respectivas magnetosferas e da identificação dos sinais de cruzamento das frentes de choque por espaçonaves, utilizando dados de plasma e campo magnético medidos por sensores a bordo das mesmas. Neste trabalho apresentamos uma comparação das principais características das magnetosferas planetárias e da variação do vento solar com a distância heliocêntrica. Alguns exemplos de cruzamentos de frente de choque são apresentados.

1 – Trabalho desenvolvido no Laboratório de Clima Espacial do CRSPE/INPE – MCT, em parceria com o LACESM/CT – UFSM.

2 – Apresentador/Autor: Acadêmico do Curso de Física Bacharelado – UFSM.

3 – Co-Autor: Acadêmico do Curso de Física Licenciatura – UFSM.

4 – Co-Autor: Acadêmico do Curso de Física Licenciatura – UFSM.

5 – Co-Autor: Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica – UFSM.

6 – Orientador: Pesquisador do Departamento de Geofísica Espacial – DGE/CEA/INPE – MCT.

7 – Co-orientador: Coordenador da Ação 1275 do PNAE, Implantação do CRSPE/INPE – MCT.

XX Jornada Acadêmica Integrada, UFSM, 19, 20 e 21 de outubro de 2005.

CÁLCULO DO VETOR NORMAL ÀS FRENTES DE CHOQUE DOS PLANETAS TERRESTRES PELO MÉTODO DA COPLANARIDADE MAGNÉTICA

Samuel Martins da Silva	(1,3)	samuel@lacesm.ufsm.br
Ezequiel Echer	(2)	
Carlos Roberto Braga	(1,3)	
Cristian Willian Saueressig da Silva	(1,3)	
Jairo Francisco Savian	(1,3)	
Nelson Jorge Schuch	(3)	

- (1) Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria (LACESM/UFSM);
(2) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE – MCT);
(3) Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRSPE/INPE – MCT).

INTRODUÇÃO

Nós apresentamos neste trabalho um estudo sobre as propriedades físicas das frentes de choques planetárias dos planetas terrestres (Mercúrio, Vênus, Terra e Marte) e apresentamos o cálculo dos vetores normais às frentes de choque pelo teorema da coplanaridade magnética. Este método nos permite determinar o ângulo entre as normais à superfície dos choques e o campo magnético interplanetário ambiente. O teorema da coplanaridade diz que o campo magnético pré-choque, \mathbf{B}_u , o campo magnético pós-choque, \mathbf{B}_d , e a normal de choque, \mathbf{n}_s , devem estar todos no mesmo plano. O ângulo entre o campo magnético pré-choque e a normal do choque é um dos mais importantes parâmetros na determinação dos processos físicos que ocorrem nos choques. Escolhemos este método por exigir somente as medidas de campo magnético antes e depois do choque. As flutuações no campo magnético através do choque dependem do ângulo. O campo magnético interplanetário na região anterior e posterior ao choque nunca é uniforme. Por todas essas razões, o ângulo é um importante parâmetro. Implicitamente, uma quantidade fundamental no estudo quantitativo dos choques é a normal. Usando o ângulo, nós definimos os choques como paralelos, oblíquos ou perpendiculares. A orientação da normal ao choque em relação ao campo magnético ambiente tem grande importância na geração de ondas de plasma na região anterior ao choque.

METODOLOGIA

Para inferirmos os parâmetros locais dos choques, é necessário definir as regiões pré-choque e pós-choque, utilizando dados de campo magnético medidos por sensores a bordo de sondas espaciais. Utilizamos os dados de campo magnéticos fornecidos pelas sondas Mariner 10 (Mercúrio) e ISEE-1 (Terra) disponíveis na internet. Para calcular a normal do choque, temos que utilizar como valor pré-choque, o background ligeiramente afastado da frente de choque, para evitar efeitos da região do “pé” do choque, onde perturbações magnéticas devido a íons refletidos ocorrem. E para o lado pós-choque, temos que utilizar os valores longe da grande oscilação vista após o choque, a sobre-oscilação. Em média, o afastamento é de 5 minutos em cada lado. Em seguida, com a média do campo magnético dentro de um período de 15 minutos tanto do lado pré-choque como do pós-choque é, então, realizado o cálculo da normal de choque. Apresentaremos alguns exemplos de cruzamentos de frentes de choque.

RESULTADOS

No evento detectado pela ISEE-1 ao investigar a magnetosfera terrestre em 2 Dezembro de 1977, obtivemos um ângulo de $67,34^\circ$ e $\mathbf{n}=(-0,54; 0,71; -0,44)$ e em 25 de Julho de 1978, um ângulo de $69,04^\circ$ e $\mathbf{n}=(0,84; 0,51; 0,14)$. Na passagem da Mariner 10 por Mercúrio em 26 de Março de 1974, obtivemos um ângulo de $62,62^\circ$ e $\mathbf{n}=(0,72; 0,57; 0,37)$ e em 15 de Março de 1975, um ângulo $50,64^\circ$ e $\mathbf{n}=(-0,90; 0,42; 0,04)$. Estes dados indicam que os choques naqueles casos eram do tipo oblíquo ou quase-perpendicular.

CONCLUSÃO

Os choques observados são oblíquos ou quase-perpendiculares, significando que o ângulo entre o campo magnético pré-choque e a normal não é nem próximo de 90° nem de 0° . O comportamento flutuante do campo magnético interplanetário e as perturbações atribuídas a processos internos dos choques produzem uma incerteza na estimativa dos parâmetros. Isto restringe a duração das regiões pré-choque e pós-choque relevantes para poucos minutos antes e depois do choque.

Fomento: PIBIC/CNPq.

Trabalho de Iniciação Científica.

Palavra-chave: interações Terra-Sol, frentes de choque, normal de choque.

ESTUDO COMPARATIVO DAS FRENTES DE CHOQUE PLANETÁRIAS

Samuel Martins da Silva¹ (LACESM/CT/UFSM, Bolsista PIBIC/INPE - CNPq/MCT).

Dr. Ezequiel Echer² (DGE/CEA/INPE - MCT, Orientador).

Dr. Nelson Jorge Schuch³ (CRSPE/INPE - MCT, Co-orientador).

O espaço interplanetário é um meio rarefeito, onde colisões ordinárias (mecânicas) entre partículas são raras. Este meio é preenchido pela atmosfera solar que se encontra em constante expansão – o vento solar. Este plasma magnetizado interage com os planetas, formando as magnetosferas planetárias. Como o vento solar se expande de maneira supersônica, frentes de choque se formam à frente dos planetas. Estas frentes de choque são choques não colisionais, onde a interação eletromagnética desempenha o papel atribuído às colisões mecânicas em fluidos ordinários. O objetivo deste trabalho é o estudo comparativo entre as frentes de choque planetárias no Sistema Solar. Este estudo é realizado com dados vetoriais de campo magnético medidos por diversas sondas planetárias. Primeiro, realizamos um estudo comparativo das frentes de choques planetárias através de trabalhos publicados na literatura científica. Há dois tipos de magnetosferas planetárias: induzidas (Vênus e Marte) e intrínsecas (Mercúrio, Terra, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno). As propriedades das frentes de choque variam com a distância heliocêntrica, em função da variabilidade do vento solar, e da intensidade do campo magnético planetário. Em seguida, utilizando os dados de campo magnético medidos por sensores a bordo das sondas planetárias, aprendemos a identificar o sinal do cruzamento das frentes de choque. Determinamos as médias dos vetores campo magnético à frente (*upstream*, B_u) e após o choque (*dowstream*, B_d). Utilizando estes vetores médios e o teorema da coplanaridade magnética, determinamos o vetor normal à frente de choque e o ângulo entre a mesma e o vetor campo magnético ambiente (*upstream*). Exemplos de cruzamentos de frente de choque para Mercúrio e a Terra bem como o cálculo da normal ao choques são apresentados.

¹ Aluno de Graduação em Física Bacharelado, UFSM. E-mail: samuel@lacesm.ufsm.br

² Pesquisador da Divisão de Geofísica Espacial-DGE/CEA/INPE - MCT. E-mail: eecher@dge.inpe.br

³ Pesquisador, Coordenador da Ação 1275 de Implantação do CRSPE e Chefe da RSU/CIE/INPE – MCT. E-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br

DETECTOR DE RAIOS CÓSMICOS DE ALTA-ENERGIA (MUONS) DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL: AMPLIAÇÃO

Carlos Roberto Braga	1, 2 (carlos@lacesm.ufsm.br)
Alisson Dal Lago	3
Marlos Rockembach da Silva	3
Jairo Francisco Savian	1, 2.
Samuel Martins da Silva	1, 2.
Nelson Jorge Schuch	1, 2.

1. Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRSPE/INPE – MCT)
2. Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria (LACESM/CT – UFSM)
3. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DGE/CEA/INPE – MCT)

INTRODUÇÃO:

Estruturas ejetadas pelo Sol viajam através do meio interplanetário podendo atingir a magnetosfera da Terra e causar tempestades geomagnéticas. Estas estruturas agem como escudo blindando parte dos raios cósmicos de alta energia observados na superfície terrestre. Este efeito de blindagem é utilizado para previsão da chegada destas estruturas à Terra. Para permitir observações dos raios cósmicos cobrindo todo o globo terrestre foi criada uma rede internacional com detectores de muons em Nagoya (Japão), Hobart (Austrália) e em São Martinho da Serra – RS, no Observatório Espacial do Sul (OES/CRSPE/INPE – MCT). O objetivo deste estudo é mostrar as diferenças entre o telescópio de São Martinho da Serra antes e após a sua ampliação.

METODOLOGIA:

O telescópio protótipo de São Martinho da Serra operou desde 2001 até maio de 2005, com 8 detectores dispostos em duas camadas de 2x2 detectores. Após a ampliação, realizada em dezembro de 2005, o telescópio passou a ter 56 detectores, dispostos em duas camadas de 4x7 detectores. O telescópio protótipo gerava dados com resolução de contagens por hora, já o telescópio expandido, a resolução é de contagens por minuto. As contagens são realizadas em várias direções, constituindo os componentes direcionais.

RESULTADOS:

A área de observação sofreu um aumento de 600% e o erro na contagem de muons no componente direcional vertical passou de 0,16% para 0,06% para uma contagem horária. O número de componentes direcionais passou de 9 para 13.

CONCLUSÕES:

A ampliação permitiu redução do erro percentual nas contagens horárias. Com o acréscimo no número de direções de visão obteve-se uma melhor cobertura da superfície terrestre, as áreas antes não cobertas pelo protótipo agora possuem uma cobertura satisfatória.

Instituição de fomento: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
Trabalho de Iniciação Científica

Palavras-chave: Clima Espacial; detectores de raios cósmicos de alta energia (muons); tempestades geomagnéticas.

COSMIC RAY MODULATION AND NOISE LEVEL ON THE EXTENDED MULTIDIRECTIONAL MUONS DETECTOR TELESCOPE INSTALLED IN SOUTH OF BRAZIL: PRELIMINARY ANALYSIS

C. R. Braga (1, 2), J. F. Savian (1,2), M. R. da Silva (3), S. M. da Silva (1, 2), C. W. S. da Silva (1, 2), L. C. N dos Santos (1, 2), A. Dal Lago (3), T. Kuwabara (5), K. Munakata (4), J. W. Bieber (5), N. J. Schuch (1,2)

(1) Southern Regional Space Research Center, National Institute for Space Research (CRSPE/INPE - MCT), Santa Maria-RS, Brazil (2) Space Science Laboratory of Santa Maria, Federal University of Santa Maria (LACESM/CT/UFSM), Santa Maria-RS, Brazil (3) Space Geophysics Division, National Institute for Space Research (DGE/CEA/INPE - MCT), São José dos Campos-SP, Brazil (4) Physics Department, Faculty of Science, Shinshu University (5) Bartol Research Institute and Department of Physics and Astronomy, University of Delaware, Newark, DE, USA

Because of the large detector mass required to detect high-energy cosmic rays, groundbased instruments remain the state-of-the-art method for studying these particles. At energies up to ~ 100 GeV, primary galactic cosmic rays experience significant variation in response to solar wind disturbances, such as interplanetary coronal mass ejections (ICMEs). In this way, ground-based detectors can provide unique information on conditions in the near-earth interplanetary medium. Since 2001 a prototype multidirectional high energy > 50 GeV cosmic-ray (muons) detector telescope was operating in the Southern Space Observatory (SSO/CRSPE/INPE - MCT), Brazil (geomagnetic coordinates $19^{\circ} 13' S$ and $16^{\circ} 30' E$). In December 2005, an upgrade increased the collection area in 600 %, becoming two layers of 28 m² each. The objective of this work is to analyze cosmic ray count rates observed by ground-based detector in order to find both variations not associated with interplanetary structures, possible associated with the noise from the instrument, and decrease rates caused by cosmic ray modulation due to interplanetary structures near Earth. We use 1 minute resolution data from the extended telescope collected since January 2006, which is the first data since the update of the instrument on December 2005. We also use the disturbance storm time Dst index from Kyoto, plasma and interplanetary magnetic field from the ACE satellite. In the future, this study will help to separate cosmic ray modulation caused by interplanetary structures from those variations in short periods (less than 1 month) caused by noise from the instrument. The high energy cosmic ray (muon) telescope at the SSO is a tri-lateral collaboration between Brazil, Japan and the United States.

UPGRADE OF THE INTERNATIONAL HIGH-ENERGY COSMIC RAY (MUONS) DETECTOR NETWORK

C. R. Braga^(1,2), J. F. Savian^(1,2), C. W. S. da Silva^(1,2), S. M. da Silva^(1,2), V. F. Andrioli^(1,2),
M. R. da Silva⁽³⁾, A. Dal Lago⁽³⁾, K. Munakata⁽⁴⁾, N. J. Schuch^(1,2).

1 - Southern Regional Space Research Center, National Institute for Space Research (CRSPE/INPE – MCT), Santa Maria, Brazil

2 - Space Sciences Laboratory of Santa Maria, Federal University of Santa Maria (LACESM/CT/UFSM), Santa Maria, Brazil

3 - Space Geophysics Division, National Institute for Space Research (DGE/CEA/INPE – MCT), São José dos Campos, Brazil

4 - Physics Department, Faculty of Science, Shinshu University, Matsumoto, Japan
carlos@lacesm.ufsm.br / Fax: +55-55-220-8007

The utilization of high-energy cosmic-ray (muons) detectors has been shown to be a useful tool for Space Weather studies and forecasting. The objective of this study is to show preliminary cosmic-ray response to interplanetary geoeffective events and comment on the engineering-related aspects of the upgrade of the prototype multidirectional muons detector telescope at the Southern Space Observatory (SSO/CRSPE/INPE – MCT), at geographic coordinates (29°26'24''S, 53°48'38''W) and geomagnetic coordinates (19° 13' 48''S and 16°30'E) with inclination “dip” 33°S, in Sao Martinho da Serra, Brazil. We use the vertical component hourly muon count rates of SSO's detector, Kyoto's hourly Equatorial Dst values and IMF data from the Advanced Composition Explorer (ACE) satellite for periods with intense geomagnetic storms (Dst < -100nT). We plotted the data and observed, at many times, a decrease in the hourly muon count rates during the geomagnetic storms (Forbush decreases). On the second part, we use manufacturer's information and obtain a general description of the prototype's construction/operation and muon counting characteristics, in order to allow future works linked with ground-based high-energy cosmic ray Space Weather instrumentation. The data in analysis tend to confirm previous studies that show a gap in muon detector coverage and the necessity of the current network upgrade.

ANALYSIS OF THE THREE INTENSE GEOMAGNETIC STORM OBSERVED ON JULY 20-31, 2004: SOLAR, INTERPLANETARY AND COSMIC RAY EFFECTS NEAR THE EARTH.

J. F. Savian¹, M. R. da Silva², A. Dal Lago², C. R. Braga¹, C. W. S. da Silva¹,
L. C. N. dos Santos¹, S. M. da Silva¹, E. Echer², L. E. A. Vieira², K. Munakata³,
T. Kuwabara⁴, N. J. Schuch¹

¹ *Southern Regional Space Research Center (CRSPE/INPE – MCT) and Space Science Laboratory of Santa Maria, Federal University of Santa Maria (LACESM/CT/UFSM), Santa Maria, 97910-110, (RS), Brazil,*

² *Space Geophysics Division, National Institute for Space Research (DGE/CEA/INPE – MCT), São José dos Campos, 12201-970, (SP), Brazil,*

³ *Physics Department, Faculty of Science, Shinshu University, Matsumoto, 390-8621, Japan,*

⁴ *Bartol Research Institute, University of Delaware (BARTOL/UDEL), Newark, (DE), 19716, USA.*

ABSTRACT

Geomagnetic storms are geomagnetic field disturbances caused by gusts in the solar wind, injecting a substantial quantity of energy into the magnetosphere, intensifying the ring current, becoming strong enough to exceed some key threshold of the quantifying storm time Dst index. In this work we analyze three intense geomagnetic storms ($Dst < -100\text{nT}$) occurred in period of July 22nd, 24th and 27th, 2004. We use images of solar corona made by Large Angle and Spectroscopic Coronagraph (LASCO) and the solar disk made by the Extreme Ultraviolet Imaging Telescope (EIT) aboard the Solar and Heliospheric Observatory (SOHO). Observations of plasma and interplanetary magnetic field obtained by the Advanced Composition Explorer (ACE) were also used. We analyze high energy cosmic ray observations obtained using the Muon Telescope of the Brazilian Southern Space Observatory-SSO of the INPE's Southern Regional Space Research Center at ($29^{\circ}26'24''\text{S}$; $53^{\circ}48'38''\text{W}$) for identify Forbush decreases in the cosmic ray intensity. The main objective of this work is study three intense geomagnetic storms ($Dst < -100\text{ nT}$), that occurred in a relatively small time interval, in order to identify their solar origin, interplanetary counterparts and cosmic ray modulation near the Earth. This study is important for the study of energetic cosmic rays modulation due to a subsequent chain of interplanetary disturbances, and in the near future it will help the understanding of space weather cosmic ray variability.

ANALYSIS OF THE SOLAR AND INTERPLANETARY ORIGIN OF INTENSE GEOMAGNETIC STORMS AND THEIR EFFECTS ON GROUND COSMIC RAYS

Jairo Francisco Savian^(1,2), Carlos Roberto Braga^(1,2),
Cristian Saueressig da Silva^(1,2), Samuel Martins da Silva^(1,2),
Vânia Fátima Andrioli^(1,2), Marlos Rockembach da Silva⁽²⁾,
Alisson Dal Lago⁽²⁾, Walter Demetrio Gonzalez⁽²⁾, Kazuoki Munakata⁽³⁾,
John Bieber⁽⁴⁾, Nelson Jorge Schuch⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Space Science Laboratory of Santa Maria – LACESM/CT – UFSM, Santa Maria, Brasil, ⁽²⁾ National Institute For Space Research – INPE – MCT, São José dos Campos, Brasil, ⁽³⁾ Physics Department, Faculty of Science, Shinshu University, Matsumoto, Japan. ⁽⁴⁾ Bartol Research Institute, University of Delaware, Newark, USA, ⁽⁵⁾ Southern Regional Space Research Center – CRSPE/INPE – MCT, Santa Maria, Brasil

Abstract

Solar coronal mass ejections (CMEs) are the principal cause of the intense geomagnetic storms at Earth. In this paper we study the solar origin of intense geomagnetic storms ($Dst < -100nT$), in the period from April 2001 to May 2005, using observations of the *Large Angle and Spectroscopic Coronagraph* (LASCO) instrument, aboard the *Solar and Heliospheric Observatory* (SOHO). In order to do that, we correlate the geoeffective interplanetary structures near the Earth, using observations of *Advanced Composition Explorer* (ACE) satellite, with solar CMEs. ACE supplies observations of plasma and magnetic field in the interplanetary medium. We analyze the effects this solar-interplanetary structures in geomagnetic activity using geomagnetic index and modulation effects in high-energy cosmic rays (muons) observed in South of Brazil at Sao Martinho da Serra, with the multidirectional muon telescope in the Southern Space Observatory – SSO of the INPE's Southern Regional Space Research Center at (29°26'24"S, 53°48'38"W). In this project we present preliminary results and future perspectives.

**Preliminary data from the new muon telescope located
in the Southern Space Observatory at São Martinho
Serra, RS, Brasil.**

J. F. Savian(1, 3), M. R. da Silva(2), A. Dal Lago(2), C. R. Braga(1, 3), L. C. N. dos Santos(1,3), C. W. S. da Silva(1,3), S. M. da Silva(1,3), V. F. Andrioli(1,3), K. Munakata(4), N. J. Schuch(3)

(1) Space Science Laboratory of Santa Maria – LACESM/CT/UFSM, Brasil, (2) National Institute for Space Research – INPE/MCT, Brasil, (3) Southern Regional Space Research Center – CRSPE/INPE/MCT, Brasil, (4) Physics Department, Faculty of Science, Shinshu University, Matsumoto Japan.

(savian@lacesm.ufsm.br/ +55-553220-8021)

Large geomagnetic storms are primarily caused by interplanetary disturbances associated with coronal mass ejection (CMEs). The cosmic ray particles of intensities $> 1\text{GeV}$ are normally suppressed by a factor of ~ 1 to 10% downstream the CME shock and within the CME ejecta following the shock. In addition to these intensity depressions, called “Forbush decreases” (FDs), precursory phenomena appearing upstream the CME shock have also been reported. Munakata et. al. (2000) have identified cosmic ray precursors with lead times ranging from six to nine hours prior to the storm sudden commencement (SSC) and demonstrated that the muon detector network may provide useful information for space weather forecasting. In early March 2001, a small prototype muons detector was installed at Sao Martinho da Serra ($29^{\circ}26'24''\text{S}$, $53^{\circ}48'38''\text{W}$, above 500m sea level), at the SSO of INPE, Brazil. The detector consists of two horizontal layers of plastic scintillators separated by 1.73 m, with an intermediate 5 cm thick layer of lead to absorb the soft component in cosmic rays in the atmosphere. Each layer comprises a 2×2 array of 1 m^2 unit detectors ($1\text{m} \times 1\text{m} \times 0.1\text{m}$ plastic scintillator viewed by a photomultiplier tube of 12.7 cm diameter) giving a total detection area of 4 m^2 . In December 2005 this detector was upgraded to a 7×4 configuration, enlarging its detection capability. In this work we present some preliminary data from this new muon telescope. This study is important for the monitoring of energetic cosmic rays and their response to interplanetary magnetic disturbances, and in the near future it will be used for space weather forecasting.

ESTUDO COMPARATIVO DAS FRENTES DE CHOQUE PLANETÁRIAS

Samuel Martins da Silva⁴ (LACESM/CT/UFSM, Bolsista PIBIC/INPE - CNPq/MCT)

Dr. Ezequiel Echer⁵ (DGE/CEA/INPE - MCT, Orientador)

Dr. Nelson Jorge Schuch⁶ (CRSPE/INPE - MCT, Co-orientador)

O espaço interplanetário é um meio rarefeito, onde colisões ordinárias (mecânicas) entre partículas são raras. Este meio é preenchido pela atmosfera solar que se encontra em constante expansão – o vento solar. Este plasma magnetizado interage com os planetas, formando as magnetosferas planetárias. Como o vento solar se expande de maneira supersônica, frentes de choque se formam à frente dos planetas. Estas frentes de choque são choques não colisionais, onde a interação eletromagnética desempenha o papel atribuído às colisões mecânicas em fluidos ordinários. O objetivo deste trabalho é o estudo comparativo entre as frentes de choque planetárias no Sistema Solar. Este estudo é realizado com dados vetoriais de campo magnético medidos por diversas sondas planetárias. Primeiro realizamos um estudo comparativo das frentes de choques planetárias através de trabalhos publicados na literatura científica. Há dois tipos de magnetosferas planetárias: induzidas (Vênus e Marte) e intrínsecas (Mercúrio, Terra, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno). As propriedades das frentes de choque variam com a distância heliocêntrica, em função da variabilidade do vento solar, e da intensidade do campo magnético planetário. Em seguida, utilizando os dados de campo magnético medidos por sensores a bordo das sondas planetárias, aprendemos a identificar o sinal do cruzamento das frentes de choque. Determinamos as médias dos vetores campo magnético à frente (*upstream*, B_u) e após o choque (*dowstream*, B_d). Utilizando estes vetores médios e o teorema da coplanaridade magnética, determinamos o vetor normal à frente de choque e o ângulo entre a mesma e o vetor campo magnético ambiente (*upstream*). Exemplos de cruzamentos de frente de choque para Mercúrio e a Terra bem como o cálculo da normal ao choques são apresentados.

⁴ Aluno de Graduação em Física Bacharelado, UFSM. E-mail: samuel@lacesm.ufsm.br

⁵ Pesquisador da Divisão de Geofísica Espacial-DGE/CEA/INPE - MCT. E-mail: eecher@dge.inpe.br

⁶ Pesquisador, Coordenador da Ação 1275 de Implantação do CRSPE e Chefe da RSU/CIE/INPE – MCT. E-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br



NATIONAL INSTITUTE FOR SPACE RESEARCH – INPE/MCT
 SOUTHERN REGIONAL SPACE RESEARCH CENTER – CRSPE/INPE – MCT
 SOUTHERN SPACE OBSERVATORY – OES/CRSPE/INPE – MCT
 FEDERAL UNIVERSITY OF SANTA MARIA – UFSM
 CENTER OF TECHNOLOGY – CT
 SPACE SCIENCE LABORATORY OF SANTA MARIA – LACESM/CT – UFSM



UPGRADE OF THE INTERNATIONAL HIGH-ENERGY COSMIC RAY (MUONS) DETECTOR NETWORK

C. R. Braga^(1,2), J. F. Savian^(1,2), C. W. S. da Silva^(1,2), S. M. da Silva^(1,2)
 M. R. da Silva⁽³⁾, A. Dal Lago⁽³⁾, K. Munakata⁽⁴⁾, N. J. Schuch^(1,2)

- 1 - Southern Regional Space Research Center, National Institute for Space Research (CRSPE/INPE – MCT), Santa Maria, Brazil
- 2 - Space Sciences Laboratory of Santa Maria, Federal University of Santa Maria (LACESM/CT/UFSM), Santa Maria, Brazil
- 3 - Space Geophysics Division, National Institute for Space Research (DGE/CEA/INPE – MCT), São José dos Campos, Brazil
- 4 - Physics Department, Faculty of Science, Shinshu University, Matsumoto, Japan
 carlos@lacesm.ufsm.br / Fax: +55-55-220-8007

ABSTRACT

The utilization of high-energy cosmic-ray (muons) detectors has been shown to be a useful tool for Space Weather studies and forecasting. The objective of this study is to show preliminary cosmic-ray response to interplanetary geoeffective events and comment on the engineering-related aspects of the upgrade of the prototype multidirectional muons detector telescope at the Southern Space Observatory (SSO/CRSPE/INPE – MCT), at geographic coordinates (29°22'24"S, 53°48'38"W) and geomagnetic coordinates (199°13'48"E and 16°30"E) with inclination "dip" 33%. In São Martinho da Serra, Brazil. We use the vertical component hourly muon count rates of SSO's detector, Kyoto's hourly Equatorial Dst values and IMF data from the Advanced Composition Explorer (ACE) satellite for periods with intense geomagnetic storms (Dist < -100nT). We plotted the data and observed, at many times, a decrease in the hourly muon count rates during the geomagnetic storms (Forbush decreases). On the second part, we use manufacturer's information and obtain a general description of the prototype's construction/operation and muon counting characteristics, in order to allow future works linked with ground-based high-energy cosmic ray Space Weather instrumentation. The data in analysis tend to confirm previous studies that show a gap in muon detector coverage and the necessity of the current network upgrade.

INTRODUCTION

Since the detectors with large volume can be installed at ground-based stations, neutron monitor and muon detectors are the preferred monitors for measuring anisotropies of > 1 GeV cosmic rays⁽¹⁾. In early March 2001, a small prototype muons detector was installed at São Martinho da Serra, RS, Brazil (29°22'24"S, 53°48'38"W, above 488 m sea level), at the Southern Space Observatory (SSO/CRSPE/INPE – MCT).



FIGURE 1 - Map showing the muons telescope localization in the Southern Space Observatory, south of Brazil.

OBJECTIVE

The objective is to show preliminary cosmic-ray response to interplanetary geoeffective events and comment on the engineering-related aspects of the upgrade of the prototype multidirectional muons detector telescope at the SSO.

PROTOTYPE x EXTENDED MUONS DETECTOR TELESCOPE

The prototype detector (see Figure 2) consists of two horizontal layers of plastic scintillators separated by 1.73 m, with an intermediate 5 cm thick layer of lead to absorb the soft component of the cosmic rays in the atmosphere. Each layer comprises a 2 x 2 array of 1 m² unit detectors (1 m x 1 m x 0.1 m plastic scintillator viewed by a photomultiplier tube of 12.7 cm diameter) giving a total detecting area of 4m²⁽²⁾. During December 2005, the extended muons detector was assembled (Figure 3). This upgrade increases the detecting area 600% and reduced the count rate error from 0.16% to 0.06%. The main differences between the prototype and the extended telescope are given on Table 1.

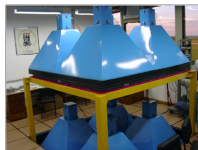


FIGURE 2 - A photograph of the prototype muons detector during May 2001 showing the eight detectors in the observation room.



FIGURE 3 - A photograph of the extended muons detector during December 2005 showing the upper layer.

TABLE 1 - The main differences between the prototype and the extended muons telescope.

Aspect	Prototype	Extended
Installation	March 2001	December 2005
Number of detectors	2 x 2 x 2	4 x 7 x 2
Detection area (m ²)	8	56
Detection area (m ²)	4 (2x2)	28 (4x7)
Hourly count rate for vertical direction	390000	2500000
Directional telescopes	9	16
Hourly count error for vertical direction (%)	0.16	0.06

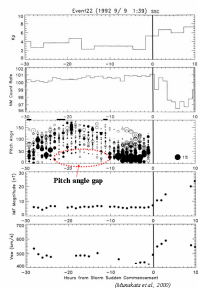


FIGURE 4 - Loss cone precursor on September 9, 1992. It is evidenced by dark circles near 0 degree pitch angle in the middle panel (1).

The increase in the number of directional telescopes will increase coverage on pitch angle and allow better understanding of precursors of geomagnetic storms and space weather forecasting⁽¹⁾. After the upgrade, the total number of directional telescopes on muons network is 47 (17 in São Martinho da Serra, 13 in Hobart and 17 in Nagoya), and the gap in Figure 4 is filled.



Figure 4 shows a sample pitch angle distribution during the period preceding the geomagnetic storm on September, 9 1992. In same plot are the Kp geomagnetic index, the neutron relative count rate of the McMurdo monitor, IMF magnitude and the solar wind velocity. In the third plot, each circle represent a directional telescope from Nagoya, Hobart and Moscow. The circle diameters are proportional to the decrease rate (solid circles) and increase rate (open circles). Seen in this plot is a signature of a "loss cone" anisotropy which is displayed as intensity deficit (solid circle) localized around 0° pitch angle. The signature appears about 8 hours prior to the SSC associated with activity increase in the Kp index⁽¹⁾.

MUONS DETECTOR OPERATING AND MUON COUNTING CHARACTERISTICS

When a muon reach the detector, it crosses a scintillator of 0.1 m thick plastic which is ionized and emit a photon that is detected by the PMTs. We use the same scintillator in both the prototype and the extended telescope. To detect the photons emitted by the scintillators (and in this way, count the detected muons), we use one photomultiplier tube (PMT) in each detector. The PMT is a versatile device providing ultra-fast response and extremely high sensitivity⁽³⁾. The recording system uses devices of Field Programmable Gate Array (FPGA) and VHDL Hardware Description Language (VHDL). By using FPGA and VHDL, it becomes possible to design a more complicated and advanced logical circuit at a reduced cost, which could not be accomplished by the conventional system using the logic gate ICs⁽⁴⁾. See Figure 5.

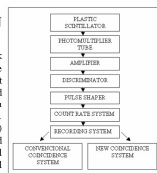


FIGURE 5 - An organization chart showing the main subsystems of the extended muons telescope.

DATA ANALYSIS

We plotted the hourly muons count rate for the muon telescope compared with the Dst index, plasma and interplanetary magnetic fields (IMF) parameters for the period of February 7th 2004 to February 15th 2004, when an intense geomagnetic storm with Dst index minimal value -109 nT was observed. The count rate correspond to muons arriving the detector in a vertical direction (near orthogonal with the Earth surface in the point where the muons detector is installed). The relative muon count rate is given by:

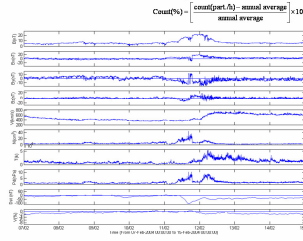


FIGURE 6 - Cosmic ray response during an intense geomagnetic storm between February 7th 2004 and February 15th 2004.

RESULTS, COMMENTS AND CONCLUSION

Figure 6 shows -2% muon count decrease rate. From top to bottom, the panels are the interplanetary magnetic field B (nT) and its orthogonal components (Bx, By, Bz), the solar wind velocity V (km/s), the proton temperature T (K) and the dynamic pressure Pdyn (nPa). All the above were observed on the Lagrangian Point L1. The second plot from bottom to top show the storm time Dst index (from Kyoto) and the relative muon count rate in the vertical direction (from the SSO). The storm commencement is observed on February 11th 2004 and the muon decrease rate is observed more than 12 hours later. From the analysis of Figure 6, it is possible to conclude that the interplanetary origin of this geomagnetic storm was a high speed stream, that compressed the solar wind in front of it.

Figure 4 shows that there was a gap in direction coverage of small pitch angles 10 to 15 hours before the SSC of that specific event. To fulfill this gap on the muon network coverage, it was necessary to increase the directional components of the muon detectors, allowing coverage of all pitch angles continuously. In this way, the upgrade of the SSO's muons detector allows better coverage of precursors.

REFERENCES

- [1] Munakata, K., Saitoh, J. W., Yano, S., Kato, C., Kiyama, M., Akahara, S., Fujimoto, K., Fujii, Z., Hattori, H. E., Dada, M. L. Precursors of geomagnetic storms observed by muon detector. *J. Geophys. Res.* 105, A12, 23491-23499 (2000).
- [2] Harada, T., Kato, K. K., Electron Tube Center. Construction and Operating Characteristics. www.lakesm.ufsm.br/engprodutos/ETD/ETD%20MCT%20construcao.pdf. Accessed 23 June 2005.
- [3] Vanzo, P., Romanello, R., Rizzo, C., Romanello, T., Abolmosa, E., Rogovin, M., Pini, S., Brenner, P., Richter, W. Design of a Recording System for a Muon Telescope Using FPGA and VHDL. In: 10th International Cosmic Ray Conference, 1641-1644 (2003).
- [4] Da Silva, M. E., Coimbra, D. E., Moraes, S., Thomé, N. E., Munakata, K., Kawahara, T., Schuch, N. J. Cosmic Ray muon observation at Southern Space Observatory – SSO/CRSPE/INPE. *Astronomy and Space Science* 200, 109-101 (2004).

ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks to Conselho Nacional de Desenvolvimento e Pesquisas (CNPq) of Brazil for financial support under the PIBIC program and project 47236/04-8, to the Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), for funding part of this work under project 05/54800-4 and to the National Science Foundation (NSF) of the USA for a subcontract between Delaware University and FATEC/UFSM from Brazil, for supporting part of the upgrade of the SSO's telescope. Thanks to the Universidade Federal de Santa Maria and its Technology Center (CTUFSM) for supporting part of this work. Also thanks to the data from World Data Center for Geomagnetism, Kyoto, Japan (Dst index data) and Spacecraft ACE (IMF and plasma data).





NATIONAL INSTITUTE FOR SPACE RESEARCH – INPE/MCT
SOUTHERN REGIONAL SPACE RESEARCH CENTER – CRSPE/INPE – MCT
SOUTHERN SPACE OBSERVATORY – SSO/CRSPE/INPE – MCT
FEDERAL UNIVERSITY OF SANTA MARIA – UFSM
CENTER OF TECHNOLOGY – CT/UFSM
SPACE SCIENCE LABORATORY OF SANTA MARIA – LACESM/CT/UFSM



A COMPARATIVE STUDY OF PLANETARY BOW SHOCKS

Samuel M. da Silva^{1,3}, Jairo F. Savian^{1,3}, Carlos R. Braga^{1,3}, Cristian W. S. da Silva^{1,3}, Vânia F. Andrioli^{1,3}, Ezequiel Echer², Nelson J. Schuch³

- (1) Space Science Laboratory of Santa Maria – LACESM/UFSM, Santa Maria, RS, Brazil.
- (2) National Institute for Space Research – INPE – MCT, São José Campos, SP, Brazil.
- (3) Southern Regional Space Research Center – CRSPE/INPE – MCT, Santa Maria, RS, Brazil.
samuel@lacesm.ufsm.br/ Fax: +55-55-32208007

ABSTRACT

We present a comparative study of Planetary Bow Shocks in the solar system. The planetary bow shock shape and strength will depend both on the planetary magnetosphere and on the solar wind strength (Mach Number). The solar wind properties vary with the heliocentric distance and this variation will influence on the solar wind-planet interaction. In the solar system, it is known that planets have two types of magnetospheres: induced (Venus, Mars) and intrinsic (Earth, Mercury, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptune). The induced magnetospheres of Venus and Mars are caused by the interaction of solar wind with their ionospheres, since their intrinsic magnetic fields are very weak. The others planets are known to have an internal magnetic field (with exception of Pluto, which it is not known at present whether it has or not an intrinsic magnetic field). These differences in the magnetospheres will cause different types of bow shocks. We review the present day knowledge about these bow shocks and show examples of bow shock crossings as measured by magnetometers on spacecrafts.

INTRODUCTION

The study of Planetary Bow Shocks provide us a class of very different space plasma environments. Planetary atmosphere and magnetic field, the presence of satellites and rings, and the distance from the sun constitute factors that influence the shape and characteristics of magnetospheres.

Bow shocks ahead magnetospheres occur because solar wind is moving supersonically in relation to the planets. The electromagnetic interaction between planetary and solar wind plasmas and fields gives the mechanism that make possible the formation of shocks even in the very low density space environment. We present here a comparative study of planetary magnetospheres and their bow shocks.

METHODOLOGY OF ANALYSIS

The present work has as objective an analysis of the planetary bow shocks in the solar system. We present here a review of our present knowledge about the different kinds of magnetospheres.

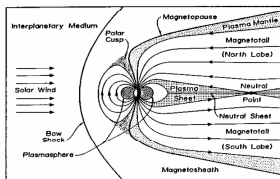


FIGURE 1 – Earth's bow shock – noon-midnight meridian cross section of the magnetosphere. Source: Russel, C. T. (1985)

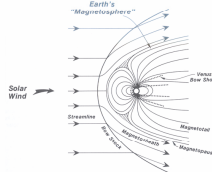


FIGURE 2 – Comparison of the size of the Venus-solar-wind intersection region with the magnetized Earth. Source: Kivelson, M. G. and Russel, C. T. (1995).

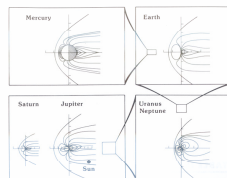


FIGURE 3 – Comparison of the sizes of planetary magnetospheres. Source: Kivelson, M. G. and Russel, C. T. (1995)

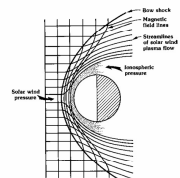


FIGURE 4 – Illustration of pressure balance between the solar wind and the thermal pressure of the ionosphere. Source: Kivelson, M. G. and Russel, C. T. (1995).

It is presented a comparison of the magnetic field strengths measured through the bow shocks on the Earth, Jupiter and Uranus. The overshoot in magnetic field just downstream of the shock ramp is a signature of the strengths of these shocks.

RESULTS AND DISCUSSION

It was observed:

- when magnetic field and heliocentric distance increase, the magnetosphere of the planet also increase, thus, the distance of the bow shock-planet also increases;
- when the temperatures at the surface of the planet is above the Curie point, the effects of the fields do not persist in rocky materials;
- the strength of a planetary bow shock depends on solar wind strength and then on the planet distance; this is because when the plasma is flowing stronger, the relative speed between planet and solar wind is higher and the shock is stronger. It also depends on the planetary plasma and magnetic field environment, because its combined pressure acts to deflect the solar wind ahead of the planet.

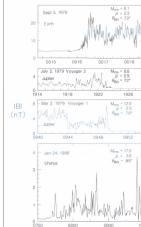


FIGURE 5 – Magnetic profile of high-Mach-number shocks at Earth, Jupiter and Uranus. Source: Kivelson, M. G. and Russel, C. T. (1995).

Table 1 – parameters that influence on the bow shock.

Source: Russel, C. T., http://www.alobakchange.umich.edu/killeen_archive/paper_to_html/evoluv_star.html; <http://spsc.exploratorium.edu/cpa/03activities/magnetism/magnetism03pages.html>.

Planet	Global Magnetic Field (nT)	Relative strength at surface	Helio-centric distance (1 AU)	Magnetopause distance	Surface Temperature (°C)
Mercury	230	0.0007	0.387	1.5 R _H	450
Venus	10 ⁻⁵ B _E	<0.0004	0.723	10-15 R _E	480
Earth	31000	1	1	10-15 R _E	15
Mars	More than 10 B _E	<0.0002	5.20	70 R _E	-60
Jupiter	600	20.000	5.20	70 R _J	-110
Saturn	B _E	600	9.54	21 R _S	-190
Uranus	Less than B _E	50	19.19	27 R _U	-215
Neptune	Less than B _E	25	30.07	26 R _N	-225
Pluto	Unknown		39.48		-235

CONCLUSIONS

Planetary environments found in our solar system are quite diverse. This provides us rich examples of a variety of conditions to study space plasmas. Magnetic field and planetary atmospheres, besides the distance from the Sun, determines the characteristic of each planetary magnetosphere. With recent missions (Galileo, Cassini) and future programmed space missions (Venus Express, Mercury Messenger and Bepi-Colombo, various Mars missions), we expect to improve our knowledge of these fascinating environments in the next years.

REFERENCES

- Kivelson, M. G. and Russel, C. T. *Introduction to Space Physics*, pp 210-211, 506, 509.
Russel, C. T. *The Magnetosphere, The Solar Wind and the Earth*.
Russel, C. T. *Planetary Bow Shocks, Collisionless Shocks in the Heliosphere: Reviews of Current Research*, Geophysical Monograph 35, 1985.
Russel, C. T. *Planetary Magnetospheres*, *Science Progress*, 75, 93-105, 1991;

ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks to the "Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico" (CNPq) for the financial support, thanks to "Universidade Federal de Santa Maria" and its "Centro de Ciências Naturais e Exatas" for supporting part of this work, and to Dra. Damaris Kirsch Pinheiro and Dr. Alison Dal Lago for reviewing this work.

3rd El Leoncito School of Solar Physics - El Leoncito, San Juan, Argentina
November 28th to December 5th, 2005





NATIONAL INSTITUTE FOR SPACE RESEARCH – INPE/MCT
SOUTHERN REGIONAL SPACE RESEARCH CENTER – CRSPE/INPE – MCT
SOUTHERN SPACE OBSERVATORY – SSO/CRSPE/INPE – MCT

FEDERAL UNIVERSITY OF SANTA MARIA – UFSM
CENTER OF TECHNOLOGY – CT/UFSM
SPACE SCIENCE LABORATORY OF SANTA MARIA – LACESM/CT/UFSM



A COMPARATIVE STUDY OF PLANETARY BOW SHOCKS

Samuel M. da Silva^{1,3}, Jairo F. Savian^{1,3}, Carlos R. Braga^{1,3}, Cristian W. S. da Silva^{1,3}, Ezequiel Echer², Nelson J. Schuch³.
(1) Space Science Laboratory of Santa Maria – LACESM/UFSM, Santa Maria, RS, Brazil.
(2) National Institute for Space Research – INPE – MCT, São José Campos, SP, Brazil.
(3) Southern Regional Space Research Center – CRSPE/INPE – MCT, Santa Maria, RS, Brazil.
samuel@lacesm.ufsm.br/ Fax: +55-55-3220-8007

ABSTRACT

We present a comparative study of Planetary Bow Shocks in the solar system. The planetary bow shock shape and strength will depend both on the planetary magnetosphere and on the solar wind strength (Mach Number). The solar wind properties vary with the heliocentric distance and this variation will influence on the solar wind-planet interaction. In the solar system, it is known that planets have two types of magnetospheres: induced (Venus, Mars) and intrinsic (Earth, Mercury, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptune). The induced magnetospheres of Venus and Mars are caused by the interaction of solar wind with their ionospheres, since their intrinsic magnetic fields are very weak. The others planets are known to have an internal magnetic field (with exception of Pluto, which it is not known at present whether it has or not an intrinsic magnetic field). These differences in the magnetospheres will cause different types of bow shocks. We review the present day knowledge about these bow shocks and show examples of bow shock crossings as measured by magnetometers on spacecrafts.

INTRODUCTION

The study of Planetary Bow Shocks provide us a class of very different space plasma environments. Planetary atmosphere and magnetic field, the presence of satellites and rings, and the distance from the sun constitute factors that influence the shape and characteristics of magnetospheres. Bow shocks ahead magnetospheres occur because solar wind is moving supersonically in relation to the planets. The electromagnetic interaction between planetary and solar wind plasmas and fields gives the mechanism that make possible the formation of shocks even in the very low density space environment. We present a comparative study of planetary magnetospheres and their bow shocks.

METHODOLOGY OF ANALYSIS

The present work has as objective an analysis of the planetary bow shocks in the solar system. We present a review of our present knowledge about the different kinds of magnetospheres.

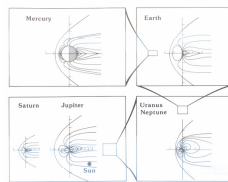


FIGURE 1 – Comparison of the sizes of planetary magnetospheres. Source: Kivelson, M. G. and Russell, C. T. (1995)

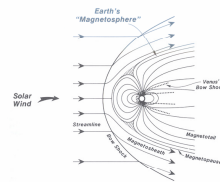


FIGURE 2 – Comparison of the size of the Venus-solar-wind interaction region with the magnetized Earth. Source: Kivelson, M. G. and Russell, C. T. (1995).

RESULTS AND DISCUSSION

It was observed:

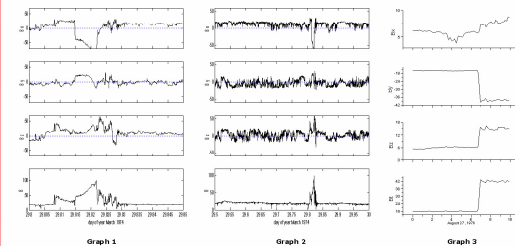
- The solar-wind dynamic pressure varies inversely as the square of the heliocentric distance, the magnetospheres of the outer planets should be considerably larger than the terrestrial planets, all else being equal;
- The strength of a planetary bow shock depends on solar wind strength and then on the planet distance; this is because when the plasma is flowing stronger, the relative speed between planet and solar wind is higher and the shock is stronger. It also depends on the planetary plasma and magnetic field environment, because its combined pressure acts to deflect the solar wind ahead of the planet;
- On average, the bow shock of the outer planets are stronger than those in the inner solar system.

Table 1 – Parameters that influence on the planetary bow shock.

Planet	Global Magnetic Field (nT)	Relative strength at surface	Heliocentric distance (1 AU)	Magnetopause distance	Surface Temperature (°C)
Mercury	250	0.0007	0.387	1.5 R _m	260
Venus	10 ⁻⁴ B _e	<0.0004	0.723	10-15 R _e	480
Earth	31000	1	1	10-15 R _e	15
Mars	<0.0002	<0.0002	1.52	70 R _e	-60
Jupiter	More than 10 B _e	20.000	5.20	21 R _e	-110
Saturn	B _e	600	9.54	21 R _e	-190
Uranus	Less than B _e	50	19.19	27 R _e	-215
Neptune	Less than B _e	25	30.07	26 R _e	-225
Pluto	Unknown		39.48		-235

<http://www.ghobak.hmcg.unh.edu/~ghobak/ghobak/ghobak.html> and <http://www.ghobak.hmcg.unh.edu/~ghobak/ghobak/ghobak.html> Source: Russell, C. T., *Introduction to Space Physics*, pp 210-211, 506, 509.

A multiple crossing of the Mercury's bow shock occurs on March 1974. It is identified by the abrupt increase in the fluctuating magnetic field by the Mariner 10 spacecraft (graphs 1 and 2). A sample of ISEE1 to cross the bow shock as it approaches the Earth (graph 3).



CONCLUSIONS

Planetary environments found in our solar system are quite diverse. This provides us rich examples of a variety of conditions to study space plasmas. Magnetic field and planetary atmospheres, besides the distance from the Sun, determines the characteristic of each planetary magnetosphere. With recent missions (Galileo, Cassini) and future programmed space missions (Venus Express, Mercury Messenger and Bepi-Colombo, various Mars missions), we expect to improve our knowledge of these fascinating environments in the next years.

REFERENCES

- Kivelson, M. G. and Russell, C. T. *Introduction to Space Physics*, pp 210-211, 506, 509.
Russell, C. T. *The Magnetosphere, The Solar Wind and the Earth*.
Russell, C. T. *Planetary Bow Shocks. Collisionless Shocks in the Heliosphere: Reviews of Current Research*. Geophysical Monograph 15, 1985.
Russell, C. T. *Planetary Magnetospheres*, *Science Progress*, 75, 93-105, 1991;
Hess, H. F. *The Magnetic Field of Mercury*, *Journal of Geophysical Research*, July 1, 1975;

ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks to the "Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico" (CNPq) for the financial support, thanks to "Universidade Federal de Santa Maria" and its "Centro de Ciências Naturais e Exatas" for supporting part of this work.



SCOSTEP – 11^o Quadrennial Solar Terrestrial Physics Symposium
"Sun, Space Physics and Climate"
6-10 March 2006, Rio de Janeiro, RJ, Brazil.





NATIONAL INSTITUTE FOR SPACE RESEARCH – INPE/MCT
SOUTHERN REGIONAL SPACE RESEARCH CENTER – CRSPE/INPE – MCT
SOUTHERN SPACE OBSERVATORY – SSO/CRSPE/INPE – MCT



FEDERAL UNIVERSITY OF SANTA MARIA – UFSM
CENTER OF TECHNOLOGY – CT/UFMS
SPACE SCIENCE LABORATORY OF SANTA MARIA – LACESM/CT/UFMS

ON THE SOLAR AND INTERPLANETARY ORIGIN OF INTENSE GEOMAGNETIC STORMS AND GROUND COSMIC RAY RESPONSE

Jairo F. Savian^{1,2}, Alisson D. Lago, Marlos R. da Silva², Aline de Lucas², Luiz C. Santos^{1,3}, Samuel M. da Silva^{1,3}, Carlos R. Braga^{1,3}, Cristian W. S. da Silva^{1,3}, Vânia F. Andrioli^{1,3}, Ezequiel Echer², Luis E. Vieira², Walter Gonzalez², Kazuoki Munakata⁴, John Bieber⁵, Nelson J. Schuch³

(1) Space Science Laboratory of Santa Maria – LACESM/UFMS, Santa Maria, RS, Brazil. (2) National Institute for Space Research – INPE – MCT, São José Campos, SP, Brazil. (3) Southern Regional Space Research Center – CRSPE/INPE – MCT, Santa Maria, RS, Brazil. (4) Physics Department, Faculty of Science, Shinshu University, Matsumoto, Japan (5) Bartol Research Institute, University of Delaware, Newark, USA
savian@lacesm.ufsm.br/ Fax: +55-55-32208007

ABSTRACT

Geomagnetic Storms are episodes of extraordinary fluctuation of the Terrestrial Magnetic Field (Gonzalez et al., 1994). It is believed that the physical mechanism responsible for the transfer of energy from the Solar Wind to the Magnetosphere is the reconnection between the Interplanetary Magnetic Field and the Terrestrial Magnetic Field (Tsurutani and Gonzalez, 1997). For the occurrence of such a mechanism, it is necessary that the Interplanetary Magnetic Field possesses substantial component in the negative Z direction considering the system of coordinates Sun-Magnetosphere, or Bs, South. The present work has as objective to identify the types of interplanetary structures that caused the Geomagnetic storms during period close to the maximum of the Solar Cycle 23, from 2002 to 2003. During this period there were observations of cosmic rays from the International Muon Detector Network, of which the Southern Space Observatory-SSO (OES/CRSPE/INPE) started to participate since 2001. These observations are being used for the forecasting of the occurrence of these Geomagnetic Storm with high efficiency, up to 8 hours in advance of alert (Munakata et al., 2000). The identification of the interplanetary structures that caused intense storms in this period is very important for a future comparison with the observations of cosmic rays (muons), allowing the verification whether there is some preferential type of structure that can be detected by the muon detector network.

INTRODUCTION

It is believed that the physical mechanism responsible for the energy transfer from the solar wind to the Earth's Magnetosphere is magnetic reconnection between the Interplanetary Magnetic Field (IMF) and the Earth's Magnetic Field (Tsurutani and Gonzalez, 1997) as represented in Figure 1.

An interplanetary disturbance, propagating from the Sun to the Earth, affects the galactic cosmic ray population in many ways. One of the most known is the "Forbush decrease". Some interplanetary disturbances like the interplanetary counterparts of coronal mass ejections (CME) can cause depressions in high energy cosmic rays along the IMF main direction, being detected before the arrival of the CME to the earth (Munakata et al., 2000), according to the diagram shown in Figure 2.

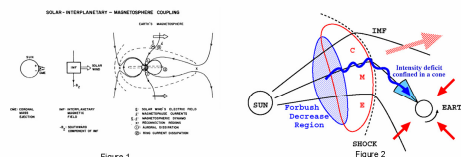


Figure 1. Schematic of interplanetary-magnetosphere coupling, showing the reconnection process and energy injection into the nightside magnetosphere, which leads to the formation of the storm-time ring current (Gonzalez and Tsurutani, 1992). Figure 2. Loss-cone precursors. Nagashima et al. [1992], Ruffolo [1999]

OBJECTIVES

- To identify the types of interplanetary structures that cause geomagnetic storms during the maximum of solar cycle 23.
- To verify if has some preferential type of structure that can be detected by the international muon detector network.

METHODOLOGY OF ANALYSIS

- We use observations of the Dst index of the Kyoto University, to identify intense geomagnetic storms.
- Plasma data - speed of the solar wind, temperature, and density of protons and interplanetary magnetic field had been taken from instruments of ACE satellite.
- Analysis of the Forbush decrease had been used given of muon telescope located in São Martinho da Serra, RS, Brasil.



Figure 3. Muon Telescope in the Southern Space Observatory - São Martinho da Serra, RS, Southern Space Research Center – CRSPE

3rd El Leoncito School of Solar Physics - El Leoncito, San Juan, Argentina
November 28th to December 5th, 2005

RESULTS AND DISCUSSION

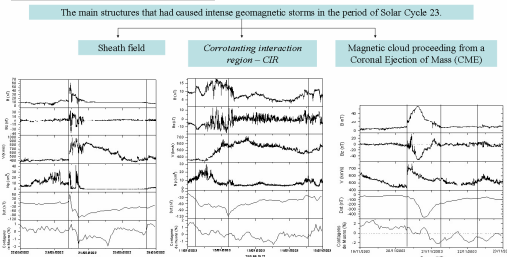


Figure 4. Example of Geomagnetic Storms caused for sheath field. Figure 5. Example of Geomagnetic Storms caused for Correlating interaction region – CIR. Figure 6. Example of Geomagnetic Storms caused for Magnetic cloud proceeding from a Coronal Ejection of Mass (CME).

CONCLUSIONS

- In the Period of January of 2002 to the December of 2003, 22 Intense Geomagnetic Storms had occurred (Dst < -100 NT). 15 storms had been analyzed, therefore of the 22, 7 had presented problems in the data of the detector of muons.
- We saw during the work that the structures of the type "magnetic clouds" are very important in this study of the Space Weather. We can observe clearly in the graphical diagrams that have some Geomagnetic Storms caused by a magnetic cloud, which are identified by a rotation in the component z of the interplanetary magnetic field.
- Important data that we observe in the analyzed Magnetic Storm events are that during the arrival of one it has shocked, characterized for the abrupt jump of the plasma parameters, occur a sudden increase in the interplanetary magnetic field strength. Fields compressed in the case soon after the shock are between the main intense storm causes, together with magnetic clouds.
- We got good data with relation to the decrease in the count rate of muons during the Geomagnetic Storm occurrence, in average we have a decrease of 1,5% approximately.

REFERENCES

[1] GONZALEZ, W. D., JOSELYN, J. A., HAMDE, Y., KROEHL, H. W., ROSTOKER, G., TSURUTANI, B. T., & VASYLIUNAS, V. M. 1994. What is a magnetic storm? *J. Geophys. Res.* 99, A4, 8377-8390.
[2] TSURUTANI, B. T. & GONZALEZ, W. D. 1997. The interplanetary cause of magnetic storms: a review. In: Tsurutani, B. T., Gonzalez, W. D., Kamide, Y., & Arbib, J. A. ed. *Magnetic storms*. Washington DC: AGU, p. 193-219.
[3] MUNAKATA, K., BIBER, J. W., YASUE, S., KATO, C., KOYAMA, M., AKAHANE, S., FURUKOTO, K., FUJII, Z., HUMBLE, J. E., DUDLOS, M. L., 2000. *J. Geophys. Res.* 105, A11, 2347-2366.
[4] GONZALEZ, W. D. & TSURUTANI, B. T. 1992. Terrestrial response to explosive solar flares: geomagnetic storms - a review. In: Svetkey, Z., Jackson, D. V., Mariani, M. E. ed. *Frontiers in space: explosive solar flares*. Berlin: Springer-Verlag, p. 271-283.
[5] NAGASHIMA, K. & FUKUDA, K. 1993. Enhancement of north-south anisotropy of cosmic rays during Forbush decrease, associated with the enhancement of the interplanetary magnetic field component perpendicular to the ecliptic plane. *Proc. 29th Internat. Cosmic Ray Conf. (Calgary)*, 3, 178-172.
[6] RUFFOLO, D., BIBER, J. W., EVENSON, P. & PYLE, R. 1999. Precursors to Forbush Decreases and Space Weather Prediction. *Proc. 25th Int. Cosmic Ray Conf. (Sedona AZ)*, 440-443.
[7] DAL LAGO, A. 2003. Um estudo de estruturas geomagnéticas no meio interplanetário e de suas causas solares. Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Física do INPE - São José dos Campos, INPE, 218p. (INPE-03208-1D/03).

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank the group of research workers at the Space Weather Laboratory, to Shinshu University for technical support and also to the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) for financial support. Thanks to the Federal University of Santa Maria and to the Center of Natural and exact Sciences for supporting partially this work. Thanks to World data Center for Geomagnetism - Hobo for the Dst index, to the International Solar-Terrestrial Physics Project, through ACE teams for high-resolution solar wind data. The special acknowledgement for the Dr. Nelson Jorge Schuch for constant devotion and for technical support of Southern Regional Space Research Center – CRSPE/INPE – MCT. Thanks to Dr. Alisson Dal Lago for excellent orientation. Thanks to Scientific Organizing Committee of 3rd El Leoncito School of Solar Physics for the acceptance.



NATIONAL INSTITUTE FOR SPACE RESEARCH – INPE/MCT
 SOUTHERN REGIONAL SPACE RESEARCH CENTER – CRSPE/INPE – MCT
 SOUTHERN SPACE OBSERVATORY – SSO/CRSPE/INPE – MCT
 FEDERAL UNIVERSITY OF SANTA MARIA – UFSM
 CENTER OF TECHNOLOGY – CT/UFSM
 SPACE SCIENCE LABORATORY OF SANTA MARIA – LACESM/CT/UFSM



ANALYSIS OF THE INTERPLANETARY ORIGIN OF INTENSE GEOMAGNETIC STORMS AND THEIR EFFECTS ON GROUND COSMIC RAYS

Jairo Francisco Savian⁽¹⁾, Carlos Roberto Braga⁽¹⁾, Samuel Martins da Silva⁽¹⁾, Cristian Willian Saueressig da Silva⁽¹⁾, Marlos Rockembach da Silva⁽²⁾, Alisson Dal Lago⁽²⁾, Walter Demetrio Gonzalez⁽²⁾, Kazuaki Munakata⁽⁴⁾, John Bieber⁽⁵⁾, Nelson Jorge Schuch⁽³⁾

(1) Space Science Laboratory of Santa Maria – LACESM/UFSM, Santa Maria, RS, Brazil. (2) National Institute for Space Research – INPE – MCT, São José Campos, SP, Brazil. (3) Southern Regional Space Research Center – CRSPE/INPE – MCT, Santa Maria, RS, Brazil. (4) Physics Department, Faculty of Science, Shinshu University, Matsumoto, Japan (5) Bartol Research Institute, University of Delaware, Newark, USA
 savian@lacesm.ufsm.br/ Fax: +55-55-32208007

ABSTRACT

Coronal mass ejections (CMEs) are the principal cause of intense geomagnetic storms at Earth. In this paper we study the interplanetary origin of intense geomagnetic storms (Dst < -100nT). In order to do that, we study the geoeffective interplanetary structures near the Earth, using observations of the *Advanced Composition Explorer* (ACE) satellite. ACE supplies observations of plasma and magnetic field in the interplanetary medium. We analyze the effects of these solar-interplanetary structures in geomagnetic activity using the Dst geomagnetic index and modulation effects in high-energy cosmic rays (muons) observed in South of Brazil at Sao Martinho da Serra, with the multidirectional muon telescope in the Southern Space Observatory – SSO of the INPE's Southern Regional Space Research Center at (29°26'24"S, 53°48'38"W). In this project we present preliminary results and future perspectives.

INTRODUCTION

It is believed that the physical mechanism responsible for the energy transfer from the solar wind to the Earth's Magnetosphere is magnetic reconnection between the Interplanetary Magnetic Field (IMF) and the Earth's Magnetic Field (Tsurutani and Gonzalez, 1997) as represented in Figure 1.

An interplanetary disturbance, propagating from the Sun to the Earth, affects the galactic cosmic ray population in many ways. One of the most known is the "Forbush decrease". Some interplanetary disturbances like the interplanetary counterparts of coronal mass ejections (CME) can cause depressions in high energy cosmic rays along the IMF main direction, being detected before the arrival of the CME to the earth (Munakata et al., 2000), according to the diagram shown in Figure 2.

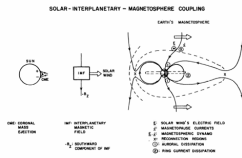


Figure 1. Schematic of interplanetary-magnetosphere coupling, showing the reconnection process and energy injection into the magnetosphere, which leads to the formation of the storm-time ring current (Gonzalez and Tsurutani, 1992).

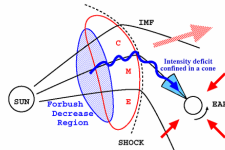


Figure 2. Loss-cone precursors. Nagashima et al. [1992], Buffalo [1999]

OBJECTIVES

- Identify the types of interplanetary structures that cause geomagnetic storms during the maximum of solar cycle 23.
- Verify whether there are some preferential type of structure that can be detected by the muon telescope at the SSO.



11th Quadrennial STP Symposium (STP-11) on "Sun, Space Physics, and Climate - Group P-1, Days 1 and 2, poster 5

METHODOLOGY OF ANALYSIS

- We used observations of the Dst index of the Kyoto University to identify intense geomagnetic storms.
- We used plasma data - solar wind speed, temperature, and density of protons and interplanetary magnetic field, taken from instruments of the ACE satellite.
- We analyzed the Forbush decreases that have been observed by the muon telescope located in São Martinho da Serra, RS, Brasil.



Figure 3. Muon Telescope in the Southern Space Observatory - São Martinho da Serra, RS, Southern Space Research Center – CRSPE

RESULTS AND DISCUSSION

The main structures that had caused intense geomagnetic storms in the period of Solar Cycle 23.

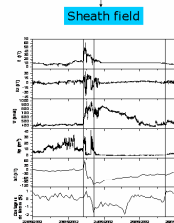


Figure 4. Example of Geomagnetic Storms caused for sheath field .

Corrotating interaction region – CIR

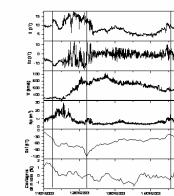


Figure 5. Example of Geomagnetic Storms caused for Corrotating interaction region – CIR

Interplanetary CME – Magnetic cloud

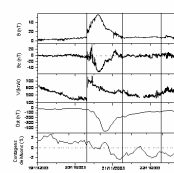


Figure 6. Example of Geomagnetic Storms caused by a Magnetic cloud interplanetary counterpart of which is believed to be the a coronal mass ejection (CME) .

1) In the period from January of 2002 to December of 2003, 22 Intense Geomagnetic Storms have occurred (Dst < -100 NT). 15 storms have been analyzed, from a total of 22, because 7 had presented problems in the data of the detector of muons.

2) We saw during the work that the structures of the type "magnetic clouds" are very important in this study of the Space Weather. We can observe clearly in the graphical diagrams that there are some Geomagnetic Storms caused by a magnetic cloud, which are identified by a rotation in the component z of the interplanetary magnetic field. In this work 5 events, or 33,3 %, of total presented rotation in the component Z.

3) We observe in the analyzed Magnetic Storm events, some during the arrival of shock, characterized by the abrupt jump of the plasma parameters, occur a sudden increase in the interplanetary parameters. Fields compressed soon after the shock are among the main intense storm causes, together with magnetic clouds. We found 5 events of this type.

4) We had good data regarding the decrease in the count rate of muons during the Geomagnetic Storm occurrence. On average we had a decrease of 1,5% approximately. The maximum pick decrease in the muon count rate was 15 % and the minimum decrease was 0.8 %.

CONCLUSIONS

In the period of 2002 to 2003, 15 events of intense geomagnetic storms were analyzed. Structures of the type "magnetic Clouds" are principal causes, 5 events or 33,3 % of total presenting rotation in the component Z. The corrotating interaction region (CIRs) cause 2 events (13,3%) characterized for the abrupt jump of the plasma parameters. The other events were call "complex events", and are difficult to identify. The muon count rate showed the maximum pick decrease of 15 % and the minimum decrease of 0.8 %, with average of 1,5%.

REFERENCES

[1] GONZALEZ, W. D., JOSELYN, J. A., KAMIDE, Y., KROEHL, H. W., ROSTOKER, G., TSURUTANI, B. T., & VASYLIUNAS, V. M.-1994- What is a magnetic storm? J. Geophys. Res., v.99, n.A4, p.5771-5792.
 [2] TSURUTANI, B. T. & GONZALEZ, W. D.-1997- The interplanetary cause of magnetic storms: a review. In: Tsurutani, B. T., Gonzalez, W. D., Kamide, Y., e Arzelle, J. A. ed. Magnetic storms, Washington, DC: AGU, v.98, p.77-89.
 [3] MUNAKATA, K., BIEBER, J. W., YASUE, S., KATO, C., KOYAMA, H., AKAHANE, S., FUGIMOTO, K., FUJII, Z., HUBBLE, J. E., DULIG, M. L.: 2000, J. Geophys Res. 105, A12, pp. 27427-27466.
 [4] GONZALEZ, W. D. & TSURUTANI, B. T.-1992- Terrestrial response to eruptive solar flares: geomagnetic storms – a review. In: Svestka, Z.; Jackson, B. V.; Machado, M. E. ed. Frontiers in physics: eruptive solar flares, Berlin: Springer-Verlag, p.277-283.
 [5] NAGASHIMA, K., & FUJIMOTO, K.-1993- Enhancement of north-south anisotropy of cosmic rays during Forbush decrease, associated with the enhancement of the interplanetary magnetic field component perpendicular to the ecliptic plane, Proc. 23rd Internat. Cosmic Ray Conf. (Calgary), 3, 719-722.
 [6] RUFFOLO, D., BIEBER, J. W., EVENSON, P. & PYLE, R.-1999- Precursors to Forbush Decreases and Space Weather Prediction, Proc. 25th Int. Cosmic Ray Conf., Salt Lake City 6, 440-443.
 [7] DAL LAGO, A.-2003- Um estudo de estruturas geofísicas no meio inter-planetário e de suas causas solares. Tese de Doutorado do Curso de Pós Graduação em Geofísica Espacial – São José dos Campos: INPE, 209p – (INPE-10298-TDI/917).

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank the group of research workers at the Space Weather Laboratory, to Shinshu University for technical support, the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) of Brazil for financial support under PIBIC Program and Project 472396/04-8 and Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), of Brazil, Project 05/54800-1. Thanks to the Federal University of Santa Maria and to the Center of Natural and Exact Sciences for supporting partially this work. Thanks to Word data Center for Geomagnetism – Kyoto for the Dst index, to the International Solar-Terrestrial Physics Project, through ACE teams for high-resolution solar wind data.





ANEXO 4

CERTIFICADOS