



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

## **ESTUDO DE ONDAS DE PLASMA NA MAGNETOSFERA DE MERCÚRIO**

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

**PROCESSO: Nº. 105376/2005-1**

**Fabício Deives Kummer - Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT**  
**Laboratório de Clima Espacial e Previsão de Tempestades Magnéticas**  
**LCEPTM/CRS/CIE/INPE – MCT**  
**Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais**  
**CRS/CIE/INPE – MCT**  
**E-mail: [deives@lacesm.ufsm.br](mailto:deives@lacesm.ufsm.br)**

**Dr. Ezequiel Echer**  
Orientador  
**Divisão de Geofísica Espacial**  
**DGE/CEA/INPE – MCT**  
**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**  
**INPE - MCT**  
**E-mail: [eecher@dge.inpe.br](mailto:eecher@dge.inpe.br)**

Santa Maria, Junho de 2008



**RELATÓRIO FINAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO  
PROGRAMA: PIBIC/INPE - CNPq/MCT**

**PROJETO**

**ESTUDO DE ONDAS DE PLASMA NA  
MAGNETOSFERA DE MERCÚRIO**

**PROCESSO: 105376/2005-1**

**Relatório elaborado em conjunto, relativo a execução das atividades por:**

**Fabício Deives Kummer** - Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT

E-mail: [deives@lacesm.ufsm.br](mailto:deives@lacesm.ufsm.br)

e

**Samuel Martins da Silva** - UFSM, Bolsista Substituído em Fevereiro 2008

E-mail: [samuel@lacesm.ufsm.br](mailto:samuel@lacesm.ufsm.br)

**Dr. Ezequiel Echer** - Orientador

**Divisão de Geofísica Espacial - DGE/CEA/INPE – MCT**

E-mail: [eecher@dge.inpe.br](mailto:eecher@dge.inpe.br)

**Dr. Nelson Jorge Schuch** - Co-Orientador

**Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE – MCT**

E-mail: [njschuch@lacesm.ufsm.br](mailto:njschuch@lacesm.ufsm.br)

## **Dados de Identificação**

### **TÍTULO DO PROJETO:**

**ESTUDO DE ONDAS DE PLASMA NA MAGNETOSFERA DE MERCÚRIO**

**PROCESSO: 105376/2005-1**

### **Bolsista:**

**Fabício Deives Kummer**

Acadêmico de Física - Bacharelado  
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

### **Bolsista Substituído:**

Samuel Martins da Silva

Acadêmico do Curso de Física – Licenciatura Plena  
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

### **Orientador:**

**Dr. Ezequiel Echer**

Divisão de Geofísica Espacial – DGE/CEA/INPE - MCT

### **Co-Orientador:**

**Dr. Nelson Jorge Schuch**

Centro Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE – MCT

### **Local de execução do projeto**

Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT, São Martinho da Serra, RS.

Laboratório de Clima Espacial e Previsão de Tempestades Magnéticas - LCEPTM/CRS/CIE/INPE – MCT, Santa Maria, RS.

Trabalho desenvolvido no âmbito da Parceria INPE – UFSM, através do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM.

### **Pesquisadores e Estudantes Colaboradores:**

- Acadêmico Carlos Roberto Braga – Curso Eng. Elétrica da UFSM
- Acadêmico Nikolas Kemmerich – Curso de Física da UFSM
- Acadêmico Marcos Vinicius Dias Silveira – Curso de Física da UFSM



**Grupo de Pesquisa**  
**Clima Espacial, Magnetosferas: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br**



Identificação

Recursos Humanos

Linhas de Pesquisa

Indicadores do Grupo

**Identificação**

**Dados básicos**

**Nome do grupo:** Clima Espacial, Magnetosferas: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br

**Status do grupo:** **certificado pela instituição**

**Ano de formação:** 1996

**Data da última atualização:** 10/04/2008 16:37

**Líder(es) do grupo:** Nelson Jorge Schuch - [nelson.schuch@pq.cnpq.br](mailto:nelson.schuch@pq.cnpq.br)

Ademar Michels - [michels@ct.ufsm.br](mailto:michels@ct.ufsm.br)

**Área predominante:** Ciências Exatas e da Terra; Geociências

**Instituição:** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

**Órgão:** Coordenação de Gestão Científica - CIE

**Unidade:** Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS

**Endereço**

**Logradouro:** Caixa Postal 5021

**Bairro:** Camobi

**Cidade:** Santa Maria

**Telefone:** 33012026

**E-mail:** [njschuch@lacesm.ufsm.br](mailto:njschuch@lacesm.ufsm.br)

**CEP:** 97110970

**UF:** RS

**Fax:** 33012030

**Home page:** <http://>

**Repercussões dos trabalhos do grupo**

O Grupo de Pesquisa - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS: INTERAÇÃO TERRA-SOL do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais CRS/CIE/INPE-MCT, em Santa Maria, e Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE - MCT, Lat. 29°26'24"S, Long. 53°48'38"W, Al 488m, em São Martinho da Serra, RS, criado por Nelson Jorge Schuch em 1996, colabora com pesquisadores da: UFSM (CT-LACESM), INPE (CEA, ETE, CPA), CRAAM-Universidade P. Mackenzie, IAG/USP, OV/ON, DPD/UNIVAP e SEFET/GO, no Brasil e internacionais do: Japão (Universidades: Shinshu, Nagoya, Kyushu, Takushoku e National Institute of Polar Research), EUA ((Bartol Research Institute/University of Delaware e NASA (Jet Propulsion Laboratory e Goddard Space Flight Center)), Alemanha (University of Greifswald e Max Planck Institute for Solar System Research), Australia (Australian Government Antarctic Division e University of Tasmania), Armênia (Alikhanyan Physics Institute) e Kuwait (Kuwait University). Linhas de Pesquisas: MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO, AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA, NANOSATC-BR. Áreas de interesse: Heliosfera, Física Solar, Meio Interplanetário, Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo, Aeronomia, Ionosferas, Aeroluminescência Raios Cósmicos, Muons, Pequenos Satélites Científicos. Objetivos: Pesquisar o acoplamento energético na Heliosfera, os mecanismos de geração de energia no Sol, o Vento Solar, sua propagação no Meio Interplanetário, acoplamento com as magnetosferas planetárias, no Geoespaço com a Ionosfera e a Atmosfera Superior, previsão de ocorrência de tempestades magnéticas e das intensas correntes induzida na superfície da Terra. Pesquisas teóricas e observacionais utilizando-se de larga base de dados de sondas no Espaço Interplanetário e dentro de magnetosferas planetárias, bem como de modelos computacionais físicos e estatísticos. Vice-Líderes: Alisson Dal Lago, Nalin Babulau Trivedi, Marcelo Barcellos da Rosa, Ademar Michels.

**Recursos humanos**

**Pesquisadores**

**Total: 32**

[Ademar Michels](#)

[Alan Prestes](#)

[Alicia Luisa Clúa de Gonzalez](#)

[Alisson Dal Lago](#)

[Jean Carlo Santos](#)

[Jean Pierre Raulin](#)

[Joao Paulo Minussi](#)

[Jose Humberto Andrade Sobral](#)



[Antonio Claret Palerosi](#)  
[Barclay Robert Clemesha](#)  
[Clezio Marcos De Nardin](#)  
[Cristiano Max Wrasse](#)  
[Delano Gobbi](#)  
[Eurico Rodrigues de Paula](#)  
[Ezequiel Echer](#)  
[Fabiano Luis de Sousa](#)  
[Fábio Augusto Vargas dos Santos](#)  
[Fernando Luís Guarnieri](#)  
[Hisao Takahashi](#)  
[Ijar Milagre da Fonseca](#)

[Mangalathayil Ali Abdu](#)  
[Marcelo Barcellos da Rosa](#)  
[Nalin Babulal Trivedi](#)  
[Natanael Rodrigues Gomes](#)  
[Nelson Jorge Schuch](#)  
[Odin Mendes Junior](#)  
[Osmar Pinto Junior](#)  
[Otavio Santos Cupertino Durão](#)  
[Petrônio Noronha de Souza](#)  
[Polinaya Muralikrishna](#)  
[Severino Luiz Guimaraes Dutra](#)  
[Walter Demetrio Gonzalez Alarcon](#)

**Estudantes**

**Total: 22**

[Alan Carlos Klein](#)  
[Carlos Roberto Braga](#)  
[Cassio Espindola Antunes](#)  
[Cézar Augusto Daroit](#)  
[Cristiano Sarzi Machado](#)  
[Eduardo Ceretta Dalla Favera](#)  
[Fabrício Deives Kummer](#)  
[Jean Carlos Daroit](#)  
[Jose Fernando Thuorst](#)  
[Josemar de Siqueira](#)  
[Juliano Moro](#)

[Lilian Piecha Moor](#)  
[Lucas Lopes Costa](#)  
[Lucas Silveira dos Santos](#)  
[Marcelo dos Santos Zastawny](#)  
[Marcos Vinicius Dias Silveira](#)  
[Mateus Sabadi Schuh](#)  
[Nikolas Kemmerich](#)  
[Rafael Lopes Costa](#)  
[Samuel Martins da Silva](#)  
[Silvano Lucas Prochnow](#)  
[Tiago Jaskulski](#)

**Técnicos**

**Total: 4**

Anderson Pereira Colvero - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Eletrônica  
Eduardo Ceretta Dalla Favera - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Computação  
Koiti Ozaki - Especialização - Analista de Sistemas  
Roben Castagna Lunardi - Graduação - Técnico em Computação

---

**Linhas de pesquisa**

**Total: 4**

- [AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA](#)
- [MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO](#)
- [MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL](#)
- [NANOSATC-BR](#)

---

**Relações com o setor produtivo**

**Total: 0**

---

**Indicadores de recursos humanos do grupo**

	<b>Integrantes do grupo</b>	<b>Total</b>
Pesquisador(es)		32
Estudante(s)		22
Técnico(s)		4



Linha de Pesquisa  
**MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL**

**Linha de pesquisa**

**MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL**

**Nome do grupo:** [Clima Espacial, Magnetosferas: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br](#)

**Palavras-chave:** Campo Magnético Interplanetário; Muons; Raios Cósmicos; Tempestade Geomagnética;

**Pesquisadores:**

[Alan Prestes](#)  
[Alicia Luisa Clúa de Gonzalez](#)  
[Alisson Dal Lago](#)  
[Ezequiel Echer](#)  
[Fernando Luis Guarnieri](#)  
[Jean Pierre Raulin](#)  
[Nelson Jorge Schuch](#)  
[Severino Luiz Guimaraes Dutra](#)  
[Walter Demetrio Gonzalez Alarcon](#)

**Estudantes:**

[Carlos Roberto Braga](#)  
[Fabrício Deives Kummer](#)  
[Jose Fernando Thuorst](#)  
[Josemar de Siqueira](#)  
[Marcos Vinicius Dias Silveira](#)  
[Nikolas Kemmerich](#)  
[Samuel Martins da Silva](#)

**Árvore do conhecimento:**

Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Geofísica Espacial;  
Ciências Exatas e da Terra; Astronomia; Astrofísica do Sistema Solar;  
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Instrumentação Científica;

**Setores de aplicação:**

Aeronáutica e espaço

**Objetivo:**

Pesquisar e prover em tempo real com o Telescópio Multidirecional de Raios Cósmicos-Muons, 2x(4mx7m), >50GeV, no Observatório Espacial do Sul, o monitoramento de muons e fenômenos das interações Sol-Terra, a previsão no Geoespaço de eventos solares e distúrbios geofísicos, graves efeitos das tempestades e subtempestades geomagnéticas sobre dispositivos e sistemas tecnológicos afetando equipes de trabalho e equipamentos na superfície da Terra e no Espaço. Vice-Líder: Alisson Dal Lago.



## Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



**Estudante**  
**Fabício Deives Kummer**



[Link para Currículo Lattes](#)

### [Dados gerais](#)

### [Indicadores de produção C, T & A](#)

#### Dados gerais

##### Identificação do estudante

**Nome:** Fabrício Deives Kummer

**Nível de treinamento:** Graduação

**Currículo Lattes:** 01/04/2008 22:04

**E-mail:** [deives@lapesm.ufsm.br](mailto:deives@lapesm.ufsm.br)

**Homepage:** [www.inpe.br](http://www.inpe.br)

##### Grupos de pesquisa que atua na instituição

[Clima Espacial, Magnetosferas: Interações Terra - Sol, NanoSatC-BINPE](#)

##### Linhas de pesquisa que atua

[MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL](#)

##### Orientadores participantes de grupos de pesquisa na instituição

[Ezequiel Echer](#)

#### Indicadores de produção C, T & A dos anos de 2005 a 2008

Tipo de produção	2005	2006	2007	2008
Produção bibliográfica	0	0	0	0
Produção técnica	0	0	0	0
Produção artística/cultural e demais trabalhos	0	0	0	0
Orientação concluída	0	0	0	0

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço muito a Deus pela saúde concedida para a realização dos trabalhos, aos meus pais Sérgio José Kummer e Therezinha Maria Kummer pelo carinho, compreensão e análise nos momentos difíceis e pelas alegrias em conjunto nos momentos de prosperidade e avanços. Aos meus colegas do Laboratório de Clima Espacial pelo auxílio, bem como ao Dr. Nelson Schuch pelo desenvolvimento pessoal, profissional e acompanhamento diário no desenvolvimento das atividades.

Ao meu orientador Dr. Ezequiel Echer, pela atenção, calma, programação e desenvolvimento das bases para uma boa compreensão dos assuntos trabalhados.

Ao Dr. Jose Carlos Becceneri, Coordenador do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, pela aprovação do Projeto de Pesquisa e, em especial, com carinho a secretaria do Programa Egidia I. Rosa.

## **PREÂMBULO**

O projeto teve o bolsista Samuel Martins da Silva, aluno do Curso de Física Bacharelado da UFSM, substituído no mês de fevereiro do ano de 2008 pelo acadêmico Fabrício Deives Kummer, aluno do Curso de Física Bacharelado da UFSM, que passou a realizar os trabalhos referentes ao projeto a partir do mês de março de 2008. O bolsista Fabrício Deives Kummer concluiu a etapa 6 onde deveria elaborar trabalhos para serem apresentados no congresso SICINPE do INPE/MCT. Atualmente Fabrício Deives Kummer está realizando as etapas 1, 2 e 3 referentes ao Plano de Trabalho do Projeto de Pesquisa. O relatório parcial de atividades do bolsista substituído Samuel Martins da Silva encontra-se anexado neste Relatório.

## RESUMO

O objetivo do Projeto de Pesquisa é adquirir conhecimentos básicos e familiaridade com os dados na análise de ondas de plasma na magnetosfera de Mercúrio. O estudo de frentes de choque planetárias dá uma visão do comportamento dos choques não colisionais em plasmas espaciais e da natureza do obstáculo planetário. A frente de choque (do inglês Bow Shock) é formada devido à interação do vento solar com o Campo Magnético Interplanetário (CMI). No desenvolvimento do Projeto, estudaram-se as diferenças entre as frentes de choque dos planetas terrestres e observou-se como identificar o cruzamento das frentes de choque pelas espaçonaves, através da análise dos dados de campo magnético planetário. As ondas eletromagnéticas de baixa frequência são os principais tipos de ondas na região da magnetobainha e na região pré-choque planetária. No estudo, utilizaram-se os dados de campo magnético de Mercúrio, de alta resolução (25.s), e dados do sensor de plasma de elétrons da sonda *Mariner – 10*. São apresentados os cálculos dos espectros de potência por meio da transformada de Fourier e análises das propriedades de ondas de plasma pelo método da coplanaridade magnética.

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	13
<b>INTRODUÇÃO E OBJETIVOS</b> .....	13
1.1- INTRODUÇÃO .....	13
1.2 – OBJETIVOS .....	14
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	15
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	15
2.1 CAMPO MAGNÉTICO NA MAGNETOBAINHA .....	15
2.2 ESTABILIDADE DA MAGNETOBAINHA .....	15
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	19
<b>METODOLOGIA</b> .....	19
3.1 SÉRIES E TRANSFORMADAS DE FOURIER .....	19
3.1.1 SÉRIES DE FOURIER .....	19
3.2 - TRANSFORMADA RÁPIDA DE FOURIER .....	21
3.2.1 SINAIS DISCRETOS .....	21
3.2.2 TEOREMA DA AMOSTRAGEM .....	21
3.2.3 TRANSFORMADA DE FOURIER DE UM SINAL DISCRETO .....	21
3.2.4 A TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER .....	22
3.2.5 ESFORÇO COMPUTACIONAL .....	22
3.2.6 CÁLCULO DIRETO DA DFT .....	22
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	27
<b>CONCLUSÃO</b> .....	27
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	28
<b>ANEXOS</b> .....	29
ANEXO 1 .....	30
PROJETO DE PESQUISA .....	30
ANEXO 2 .....	34
RELATÓRIO PARCIAL DE ATIVIDADES PROJETO DE PESQUISA .....	34
ANEXO 3 .....	38
TÍTULOS E RESUMOS DE TRABALHOS APRESENTADOS E OU SUBMETIDOS ..	38
ANEXO 4 .....	49
PÔSTER APRESENTADO .....	49

## ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1: Modelo proposto para frente de choque (do inglês Bow Shock), através de análise de dados de campo magnético e parâmetros de plasma..... 16

Figura 1.2: Frequência de íon ciclotrônica (escala da esquerda) e o tempo mínimo necessário de amostragem (escala da direita) versus a intensidade do campo magnético. Alcances representativos do campo para várias regiões na magnetosfera de Mercúrio são indicados. .... 17

Figura 1.3: *Primeiro painel:* espectro realizado durante a primeira passagem da *Mariner - 10*, em direção da magnetopausa ( inside the magnetopause ). O espectro está plotado para o módulo, componentes transversais e componentes paralelas. No painel abaixo estão plotados o módulo do campo magnético versus o tempo durante a passagem. *Segundo painel:* Espectro típicos feitos durante a terceira passagem. 18

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

#### 1.1- INTRODUÇÃO

A variabilidade solar, as ejeções de massa, o vento solar, têm grandes influências no comportamento de estruturas interplanetárias, tais como a frente de choque (do inglês, *bow shock*), além de danificar sistemas tecnológicos no espaço.

Neste projeto foi dado um foco para as estruturas planetárias, em especial a Frente de choque. Essa estrutura, situada anteriormente na magnetobainha (do inglês, *magnetosheath*), modifica as características do vento solar após ser transposta, influenciando em vários parâmetros, tais como velocidade e densidade de partículas.

O estudo das estruturas planetárias se torna de extrema importância, visto que com o lançamento de satélites na órbita solar temos o conhecimento, através de pesquisas realizadas, da variabilidade solar, e muitos outros parâmetros relativos a física solar. Através desse conhecimento podemos estabelecer situações comparativas da influência do vento solar em estruturas como a frente de choque para o planeta, propor uma modelagem que caracteriza a influências das diversas variáveis, além de tomar conhecimento sobre quais os parâmetros que sofrem alteração após a passagem do vento solar por cada estrutura planetária.

Contudo, com um conjunto de informações obtidas através de um estudo detalhado de cada estrutura interplanetária em particular, podemos entender o que acontece com diversos parâmetros, como aumento ou diminuição da energia cinética das partículas e obter explicações físicas sobre o motivo dessas alterações.

Para desenvolver o projeto de pesquisa usaram – se os dados do satélite *Mariner - 10*, que fornece informações sobre o campo magnético interplanetário e também dados referentes aos parâmetros de plasma existentes no meio interplanetário.

## **1.2 – OBJETIVOS**

Os objetivos específicos deste projeto envolvem a familiarização do aluno, através de seu aprendizado com a física e as observações das estruturas planetárias, o que será obtido a partir de leitura de bibliografia especializada, a análise de eventos de estruturas planetárias através de dados obtidos, por exemplo, pelo Satélite *Mariner - 10* na sua passagem por Mercúrio, e o aprendizado na utilização de software para a análise de dados de séries temporais. Também na análise dos parâmetros de plasma das estruturas planetárias, tais como o cálculo do vetor normal a frente de choque, sendo muito interessante do ponto de vista da física do meio planetário.

## **CAPÍTULO 2**

### **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **2.1 CAMPO MAGNÉTICO NA MAGNETOBAINHA**

O campo magnético da magnetobainha é discutido de forma abrangente, em termos de seu estado de estabilidade e suas componentes flutuantes. Flutuações do campo na magnetobainha são muito complexas, ocorrendo muitas variáveis e sendo, então, não muito bem entendidas. Uma definição utilizada para expressar a localização da magnetobainha é a de uma fronteira limitada anteriormente pela frente de choque e posteriormente, pela magnetopausa.

#### **2.2 ESTABILIDADE DA MAGNETOBAINHA**

Existem várias técnicas que podem ser utilizadas para estudar o comportamento dos parâmetros de plasma e campo magnético na magnetobainha. Um conjunto de equações magnetohidrodinâmicas (MHD) para a estabilidade de fluxo de um gás perfeito pouco dissipativo podem somente ser resolvidas exatamente no caso quando o campo magnético interplanetário estiver alinhado com a direção do vento solar.

No caso especial do campo alinhado, todas as quantidades exibem simetria axial sobre a direção de fluxo, e as linhas de campo são semelhantes às linhas de corrente.

No caso do campo alinhado, pode ser contrastado por outro caso especial de direção transversal para o vento solar, o qual Lees [1964] resolveu em duas dimensões, onde as variações não são permitidas nas direções perpendiculares para o plano do campo e da linha planeta – Sol.

A força de Lorentz deflete o fluxo e evita o plasma de alcançar o ponto de estagnação, onde a densidade é zero. A pressão magnética da magnetobainha precisa sozinha balancear o campo magnético planetário no ponto de estagnação.

Para calcular o campo magnético na magnetobainha para orientações arbitrárias, ela tem sido muito utilizada, pelo fato de que a energia cinética do vento solar é muito elevada com relação à energia magnética.

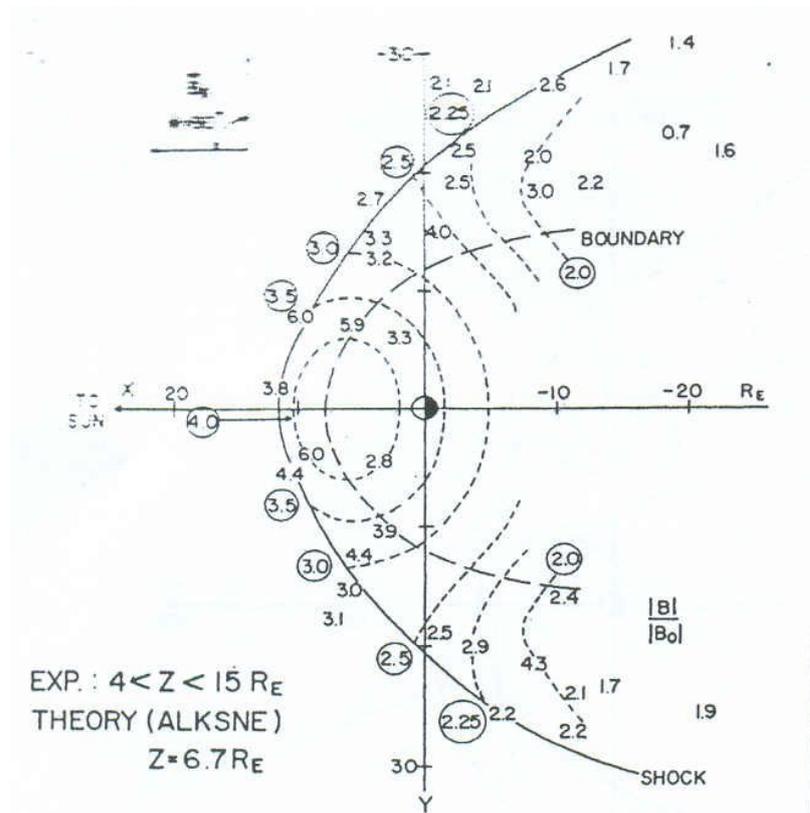


Figura 1.1: Modelo proposto para frente de choque (do inglês Bow Shock), através de análise de dados de campo magnético e parâmetros de plasma. Fonte: Boardsen et al. ( 2007 )

Análises de passagens da *Mariner - 10* pela magnetosfera de Mercúrio foram realizadas para obter evidências do íon  $Na^+$  eletromagnético ICW (ondas de íons ciclotrônicas). ICW são ondas, cujo vetor onda está aproximadamente alinhado com o campo magnético para qualquer frequência de onda ressonante com a frequência ciclotrônica de alguma espécie de íon. Estudos mostram que essas ondas são produzidas quando ocorre a termalização dos íons de  $Na^+$ .

O íon  $Na^+$  exosférico que não é absorvido pela superfície de Mercúrio pode, eventualmente, ser ionizado pela radiação solar. Análises de  $Na$  exosférico e  $Na^+$  sugerem que  $Na^+$  pode estar entre 10% e 50% da composição de íons de plasma da magnetosfera. Sendo isso verdade, então há a ocorrência de uma rápida

termalização, em ordem para incorporar  $\text{Na}^+$  na população de plasma da magnetosfera de Mercúrio. A interação partícula – onda é um dos principais mecanismos para a termalização.

Na Figura 2.1 pode-se visualizar a frequência ciclotrônica versus o módulo do campo magnético, para várias espécies de íons. Pode – se observar também o tempo mínimo de amostragem para resolver a frequência ciclotrônica.

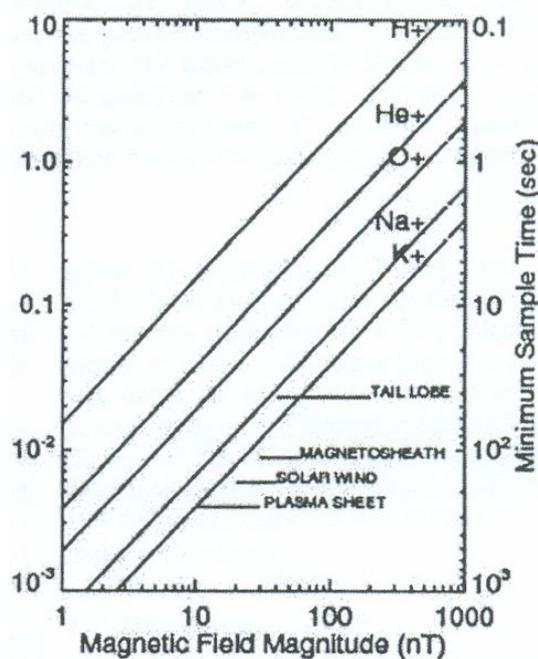


Figura 1.2: Frequência de íon ciclotrônica (escala da esquerda) e o tempo mínimo necessário de amostragem (escala da direita) versus a intensidade do campo magnético. Alcances representativos do campo para várias regiões na magnetosfera de Mercúrio são indicados.

Fonte: Boardsen et al. ( 2007 )

Espectros de Fourier do módulo do campo magnético, com componentes paralelas e perpendiculares podem ser gerados e analisados para as passagens do satélite. O intervalo de tempo para qualquer espectro pode ser ajustado, tal que o espectro máximo, e perto da frequência ciclotrônica do  $\text{Na}^+$  possa ser resolvido. A Figura 2.2 nos mostra um espectro no qual o máximo foi detectado perto da  $f_{\text{cNa}^+}$  durante a primeira passagem.

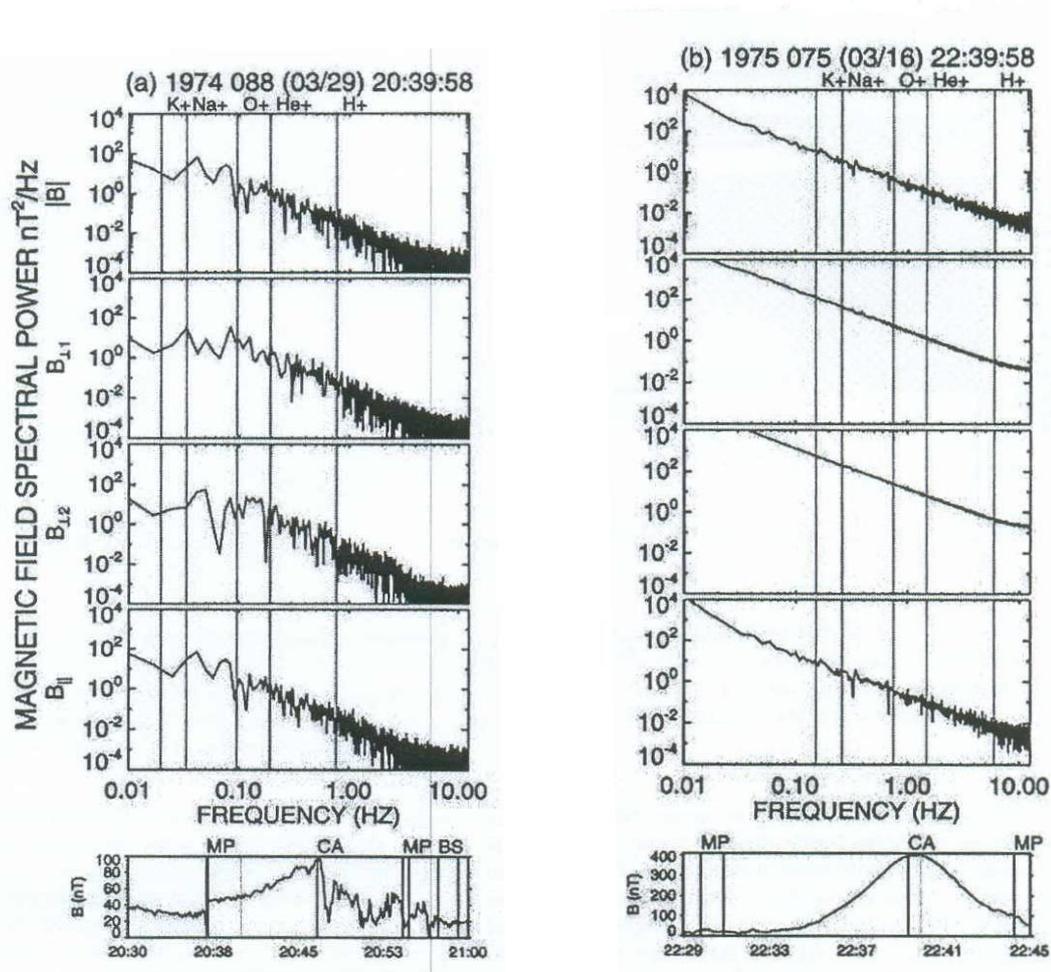


Figura 1.3: *Primeiro painel:* espectro realizado durante a primeira passagem da *Mariner - 10*, em direção da magnetopausa ( inside the magnetopausa ). O espectro está plotado para o módulo, componentes transversais e componentes paralelas. No painel abaixo estão plotados o módulo do campo magnético versus o tempo durante a passagem. *Segundo painel:* Espectro típicos feitos durante a terceira passagem.  
 Fonte: Boardsen et al. ( 2007 )

Durante o período de tempo, as freqüências elevadas (0.1 para 0.4 Hz) mostram que a amplitude de compressão decresce quando a *Mariner - 10* aproxima – se da magnetopausa, sugerindo a origem da magnetopausa. Conclui – se assim, que o espectro máximo em 0.04Hz pode ser mostrado pela movimentação da magnetopausa.

## CAPÍTULO 3

### METODOLOGIA

#### 3.1 SÉRIES E TRANSFORMADAS DE FOURIER

A Transformada de Fourier têm uma aplicação muito geral com relação às séries de Fourier. Uma motivação para usar as séries de Fourier ou a Transformada de Fourier é obter um espectro de um determinado sinal, o qual descreve a frequência contida no sinal. Em efeito esta Transformada se torna um método alternativo para visualizar o sinal, que se torna de melhor qualidade com relação a descrição do sinal original como uma função do tempo.

**3.1.1 SÉRIES DE FOURIER:** Utilizando uma expansão em séries de Fourier de um sinal, objetiva – se resolver o sinal para uma soma infinita de termos de seno e cosseno. Esta expansão pode ser expressa na forma:

$$g_p(t) = a_0 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \left[ a_n \cos\left(\frac{2\pi n t}{T_0}\right) + b_n \sin\left(\frac{\pi n t}{T_0}\right) \right] \quad 1,$$

onde  $g_p(t)$  denota um sinal periódico com período  $T_0$ . Os coeficientes  $a_n$  e  $b_n$  representam amplitudes desconhecidas dos termos cosseno e seno, respectivamente. A grandeza  $n / T_0$  representa a  $n^{\text{th}}$  harmônica de frequência fundamental  $f_0 = 1 / T_0$ . As funções seno e cosseno são chamadas de funções bases. As funções bases formam um conjunto ortogonal fechado num intervalo  $T_0$ , em que elas satisfazem um conjunto de relações mostradas abaixo:

$$\int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} \cos\left(\frac{2\pi m t}{T_0}\right) \cos\left(\frac{2\pi n t}{T_0}\right) dt = \begin{cases} \frac{T_0}{2}, & m = n \\ 0, & m \neq n \end{cases} \quad 2.$$

$$\int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} \cos\left(\frac{2\pi mt}{T_0}\right) \sin\left(\frac{2\pi nt}{T_0}\right) dt = 0, \text{ para todo } m \text{ e } n \quad 3.$$

$$\int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} \sin\left(\frac{2\pi mt}{T_0}\right) \sin\left(\frac{2\pi nt}{T_0}\right) dt = \begin{cases} \frac{T_0}{2} & m = n \\ 0 & m \neq n \end{cases} \quad 4.$$

Para encontrar o coeficiente  $a_0$  na equação onde determinamos o sinal periódico, devemos integrar ambos os lados da equação em um período completo. Com isso, encontramos que  $a_0$  é o valor médio do sinal periódico  $g_p(t)$  limitado num período, como mostrado pela média temporal.

$$a_0 = \frac{1}{T_0} \int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} g_p(t) dt \quad 5.$$

Na determinação de  $a_n$ , multiplicamos ambos os lados da mesma equação pela função cosseno  $\cos(2\pi nt / T_0)$  e integramos para um intervalo fechado de  $-T_0 / 2$  até  $T_0 / 2$ . Então utilizando as duas primeiras equações demonstradas nas relações acima encontramos que:

$$a_n = \frac{1}{T_0} \int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} g_p(t) \cos\left(\frac{2\pi nt}{T_0}\right) dt, \quad n = 1, 2, \dots \quad 6.$$

Similarmente, encontramos que:

$$b_n = \frac{1}{T_0} \int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} g_p(t) \sin\left(\frac{2\pi nt}{T_0}\right) dt, \quad n = 1, 2, \dots \quad 7.$$

Porém, para aplicar as séries de Fourier aqui representadas é necessário que o intervalo adotado e a função  $g_p(t)$  satisfaçam algumas condições, tais como:

- A função  $g_p(t)$  tenha um número finito de descontinuidades;
- Que a função  $g_p(t)$  tenha um número finito de máximos e mínimos, e que seja absolutamente integrável, tal que:

$$\int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} |g_p(t)| dt < \infty$$

8,

onde tem - se  $g_p(t)$  como um valor complexo.

## 3.2 - TRANSFORMADA RÁPIDA DE FOURIER

**3.2.1 SINAIS DISCRETOS:** Um sinal discretizado é obtido a partir de um sinal contínuo no tempo, através de uma amostragem com intervalos de tempo igualmente espaçados. Quando tivermos uma taxa de amostragem de um sinal maior que o dobro da maior freqüência presente no sinal, podemos afirmar que existirá um único sinal contínuo associado ao sinal discretizado.

**3.2.2 TEOREMA DA AMOSTRAGEM:** Uma operação básica no processamento digital de sinais e na comunicação digital é o processamento de amostragens, onde um sinal análogo é convertido para uma seqüência correspondente de amostras que são usualmente espaçadas de forma uniforme no tempo. Para que este procedimento tenha utilidade prática é necessário que tenhamos uma razão própria de amostragens que definam unicamente o sinal original análogo. Esta é a essência do Teorema de amostragem.

"Um sinal contínuo, com freqüência igual a X Hz, pode ser unicamente recomposto através de suas amostras se a taxa de amostragem for maior que 2 X amostras por segundo. Caso contrário, com taxas de amostragem inferiores, teremos sobreposição espectral. Dessa forma, a interpolação ou reconstrução deste sinal é uma soma infinita de funções de interpolação com peso dados pelas amostras no tempo.

**3.2.3 TRANSFORMADA DE FOURIER DE UM SINAL DISCRETO:** A transformada de Fourier de um sinal discreto deve ser uma função periódica na freqüência, sendo que, em uma seqüência de tamanho infinito de um sinal discreto x n é definida por:

$$X(w) = \sum_{-\infty}^{\infty} x_n e^{-jwn} \tag{9}$$

Essa transformada é definida para todos os valores da variável de frequência normalizada, w.

**3.2.4 A TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER:** A transformada discreta de Fourier (DFT), juntamente com a convolução discreta, é uma das duas operações fundamentais em Processamento Digital de Sinais. A DFT pode ser utilizada, por exemplo, em descrição, representação e análise de sinais discretos e também em conjunto com algoritmos eficientes para o cálculo rápido de convolução e correlação. Um sinal discreto  $x_n$  definido no conjunto finito dos inteiros  $0 \leq n \leq N-1$ , pode ser expresso em uma versão discreta da série de Fourier como:

$$X_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j(\frac{2\pi}{N})kn}, \tag{10}$$

onde os coeficientes  $X_k$  são dados por:

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} X_n e^{-j(\frac{2\pi}{N})kn}. \tag{11}$$

**3.2.5 ESFORÇO COMPUTACIONAL:** A Transformada Rápida de Fourier (FFT) é um algoritmo rápido para se implementar eficientemente a DFT, onde o número N de amostras do sinal de entrada são transformados em N pontos de frequência, sendo requerido um esforço computacional de  $(1/2)\log_2 N$  multiplicações e  $\log_2 N$  adições [COC 67].

**3.2.6 CÁLCULO DIRETO DA DFT:** O processo é feito através do cálculo dos valores desejados de  $X_k$ , de acordo com a equação 3. No caso de  $X_n$  ser complexo as partes real e imaginária ficam denotadas por  $X_n$  e  $Y_n$ , respectivamente, e as partes real e imaginária da transformada como  $A_k$  e  $B_k$ . Desta forma a DFT é expressa por:

$$A_k = \sum_{n=0}^{N-1} X_n \cos(Qnk) + Y_n \sin(Qnk) \quad k = 0, 1, \dots, N-1$$

$$B_k = \sum_{n=0}^{N-1} Y_n \cos(Qnk) + X_n \sin(Qnk) \quad k = 0, 1, \dots, N-1$$

13.

Nas equações acima representamos  $Q = 2\pi / N$ .

**3.2.7 FFT POR DIZIMAÇÃO EM FREQUÊNCIA (DIF):** Utiliza todas as dimensões de mesmo tamanho, tamanho este chamado de raiz do algoritmo. A DFT de tamanho N é relacionada com a raiz do algoritmo R por:

$$N = R^M, \tag{14}$$

o qual fornece M dimensões, cada uma de tamanho R. Desta forma, uma DFT de tamanho N pode ser calculada em termos de duas DFT's de tamanhos N/2.

**3.2.8 FFT POR DIZIMAÇÃO NO TEMPO:** FFT por dizimação no tempo são aquelas que decompõem a seqüência de tamanho N em seqüências sucessivas menores.

**3.2.9 TRANSFORMADA RÁPIDA DE FOURIER INVERSA:** Pode ser expressa pela seguinte equação matemática:

$$X_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k W_N^{-nk} = IDFT_n \{X_k\}. \tag{15}$$

Um novo método para o cálculo da DFT inversa foi proposto em [DUH 88], e é baseado no fato de que conjugando  $X_n$  em (7), teremos uma expressão que ainda está na forma da DFT:

$$X_n^* = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k^* W_N^{nk} \tag{16}$$

Pode-se realizar uma segunda consideração, em que:

$$X_n = a_n + j \cdot b_n \Rightarrow j \cdot X_n^* = b_n + j \cdot a_n. \tag{17}$$

Então, se multiplicarmos a equação (8) por  $j$ , teremos:

$$jX_n^* = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} jX_k^* W_N^{nk}$$

$$X_n = \frac{1}{N} j \left| \sum_{k=0}^{N-1} jX_k^* W_N^{nk} \right|$$

18

### 3.2.10 TRANSFORMADA DE FOURIER SOBRE NÚMEROS REAIS:

Para calcularmos a DFT de uma seqüência de números reais  $X_n$ , de tamanho  $2N$ , devemos formar duas seqüências de tamanho  $N$ , a partir das funções par e ímpar dos sinais de entrada:

$$U_n = X_{2n}$$

$$V_n = X_{2n+1}$$

19

A DFT de uma seqüência real de tamanho  $2N$  pode ser calculada de uma única vez utilizando – se uma transformada de tamanho  $N$  de uma seqüência complexa, através da formação de uma seqüência artificial composta pelas amostragens pares e ímpares da função original:

$$h_n = U_n + j.V_n$$

20

**3.2.11 SELETIVIDADE EM FREQUÊNCIA:** consiste na habilidade de se distinguir diferentes componentes em frequência do sinal de entrada. [OOP 75]. A utilização de uma função de ponderação causará perdas na seletividade de frequência, porém elas são necessárias para reduzir perdas resultantes do espalhamento espectral e da precisão finita do algoritmo utilizado.

**3.2.12 ESPALHAMENTO ESPECTRAL:** ao calcularmos a DFT, tomando  $N$  amostras para compor uma interpolação aproximada do sinal representado, geram uma descontinuidade das extremidades da seqüência de tamanho finito devido a propriedade da periodicidade da DFT [DEF 88]. Essa descontinuidade exerce uma contribuição espectral (como um espalhamento de frequências) através de todo o conjunto de valores de frequência. Funções de ponderação reduzem a

descontinuidade e seus efeitos na resposta em freqüência.

**3.2.13 JANELAS OU FUNÇÕES DE PONDERAÇÃO:** são utilizadas para modificar as características de resposta em freqüência dos algoritmos de DFT, e também são usadas em conjunto com a análise espectral via DFT, para reduzir o espalhamento em freqüência. A saída do algoritmo de DFT é expressa por:

$$Y_k = \sum_{n=0}^{N-1} a_n X_n W_N^{nk} \quad 21,$$

onde  $a_n$  é a função de ponderação ou janela adotada. Abaixo demonstraremos as equações relativas à alguns tipos de janelas, porém ao utilizar funções de ponderação consegue - se visualizar algumas modificações no lóbulo secundário, em relação ao lóbulo principal.

2.9.1 – Janela Retangular: A equação da janela retangular é expressa por:

$$a_n = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}, n = 0, 1, 2, \dots \quad n \langle 0 \text{ e } n \rangle N \quad 22,$$

e pode ser entendida como a amostragem do sinal de entrada, tomada sobre N pontos, cada um desses com peso igual a 1.

Com isso, a janela retangular, nada mais é que, um termo para designar o fato de que um sinal contínuo no tempo deve ser amostrado durante um intervalo de tempo finito, desprezando – se os valores do sinal fora deste intervalo. Os pontos assim amostrados são ponderados uniformemente com uma função unitária, que é a janela retangular, de forma a manter seus valores originais inalterados.

2.9.2 – Janela Triangular: a equação da janela triangular pode ser expressa por:

$$a_n = \begin{cases} a(N-n) \\ a(n-N/2) \end{cases}, \quad n = 0, 1, 2, \dots, N/2 \quad n = (N/2) + 1, (N/2) + 2, \dots, N - 1 \quad 23.$$

2.9.3 – Janela de HANN (HANNING): a função de HANN é definida como:

$$a_n = \begin{cases} 0.5(1 - \cos(2\pi/N)) \\ 0 \end{cases}, n = 0, 1, 2, \dots, N - 1 \quad 24.$$

**3.2.14 CONVOLUÇÃO:** é uma das operações mais utilizadas em PDS. Existe uma relação muito próxima entre convolução e DFT, devido ao fato de que a multiplicação de duas DFT's corresponde a uma convolução circular dos sinais correspondentes no domínio do tempo.

**3.2.14.1 CONVOLUÇÃO LINEAR:** A convolução linear entre dois sinais discretos no domínio do tempo,  $x_n$  e  $h_n$ , é definida por:

$$Y_n = \sum_{m=-\infty}^{\infty} h_{n-m} \cdot x_m, \quad 25$$

onde os sinais devem ser definidos para todos os valores de  $n$ , no intervalo especificado na equação 17. Se o sinal  $x$  é igual a zero para  $n$  fora do intervalo  $[N1, N2]$ , então pode-se definir o seu tamanho como  $(N2-N1+1)$ . Por conveniência, diz-se que esse sinal é de tamanho  $N$ , onde  $N = N2-N1+1$ . As mesmas considerações podem ser feitas para o sinal  $h$ , onde seu tamanho será indicado como  $M$ . Desta forma o sinal  $Y$  terá o tamanho  $(M2+N2-M1-N1+1)$ , ou seja, as somas dos comprimentos  $h$  e  $x$ , menos 1.

**3.2.14.2 – CONVOLUÇÃO CIRCULAR:** A convolução circular de dois sinais discretos,  $x_n$  e  $h_n$ , pode ser definida pela seguinte equação:

$$Y_{\langle n \rangle_M} = \sum_{m=0}^{N-1} h_{\langle n-m \rangle_M} x_{\langle m \rangle_M} \quad n = 0, 1, \dots, N - 1 \quad 26.$$

A convolução circular fornece uma saída com  $N$  amostras quando dois sinais de entrada de tamanho  $N$  são utilizados.

## CAPÍTULO 4

### CONCLUSÃO

Durante o período de vigência do Projeto de Pesquisa do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, 2007-2008, foram efetuados estudos das ondas de choque de Mercúrio e análises das medidas de parâmetros de plasma, densidade ( $N_p$ ), temperatura ( $T_p$ ), velocidade do vento solar (VSW) e campo magnético interplanetário (B).

Entre os dias de 19 e 22 de Novembro de 2007 foi apresentado o trabalho intitulado “**ANALYSIS OF THE MERCURY'S BOW SHOCK PROPERTIES DURING MARINER-10 ENCOUNTERS**” na 10<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Rio de Janeiro e nos dias 14 a 20 de Fevereiro de 2008, aconteceu o I H Y - INTERNATIONAL HELIOPHYSICAL YEAR SCHOOL, realizado na Universidade Presbiteriana Mackenzie, Escola de Engenharia, São Paulo, SP, com a apresentação do trabalho intitulado “**ESTUDO DAS PROPRIEDADES DA FRENTE DE CHOQUE DE MERCÚRIO COM OBSERVAÇÕES DA MARINER-10**”. Os congressos internacionais propiciaram a oportunidade de interagir com renomados pesquisadores na área de Geofísica Espacial e de conhecer diferentes áreas da Geofísica.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Echer, E. et al., Introduction to Space Weather, Adv. Spa. Res., 2005.
- Echer, E. and Guarnieri, F. L., Wavelet analysis of magnetic field fluctuations at Mercury's magnetosphere, Earth, Moons and Planets, submitted, 2007.
- Fairfield, D. H. and K. W. Behannon, Frente de choque (do inglês Bow Shock) and magnetobainhah waves at Mercury, Journal of Geophysical Research, 81, 3897-3906, 1976.
- Kivelson, M. G. and Russell, C. T., Introduction to Space Physics, Cambridge University Press, 1995.
- Ness, N. F., The magnetosphere of Mercury, p.183-206, in C. F. Kennel., L. J. Lanzerotti and E. N. Parkers (eds), Solar System Plasma Physics Vol II, North-Holland Publishing Company, 1979.
- Parks, G., Physics of Space Plasmas, An Introduction, 2nd Edition, West view Press, 2004.
- Russell, C. T., D. N. Baker, and J. A. Slavin, The magnetosphere of Mercury, p. 514-561, in Chapman, C. (Ed.), Mercury, University of Arizona Press, Tucson, 1988.
- Boardsen, S.A. and Slavin J.A., Search for pick-up ion generated Na<sup>+</sup> cyclotron waves at Mercury, Geophysical Research Letters, Vol.34, published 29 November 2007.
- Fairfield, D.H., Magnetic Field of the Magnetobainha, Reviews of Geophysics and Space Physics, February 1976.
- Haykin, Simon., Analog and Digital Communications.
- Cheng, A. F., R. E. Johnson, S. M. Krimigis, and L.J. Lanzerotii (1987), Magnetosphere, exosphere, and surface of Mercury, Icarus, 71, 430 – 440.
- Lee, M. A. (1989), Ultra low frequency waves at comets, in Plasma Waves and Instabilities at comets and in Magnetospheres, Geophys. Monogr. Ser., vol.53, edited by B.T. Tsurutani and H. Oya, pp.13 – 29, AGU, Washington, D.C.



## **ANEXOS**



## **ANEXO 1**

### **PROJETO DE PESQUISA**



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**Programa Institucional de Bolsas de  
INICIAÇÃO CIENTÍFICA - PIBIC/CNPq**

## **FORMULÁRIO PARA PROPOSTA DE PESQUISA**

**Nome do Orientador:** Dr. Ezequiel Echer

CPF: 589.080.130-91

**Nome do Co-Orientador:** Dr. Nelson Jorge Schuch

CPF: 620.284.568-68

**Título do Projeto:** Estudo de ondas de plasma na magnetosfera de Mercúrio

**Área de conhecimento (de acordo com formulário CNPq):** 1. 1.07.02.00-8 Geofísica 2. 1.04.05.00-3 Astrofísica do Sistema Solar 3. 1.05.06.00-4 Física dos Fluídos, Física de Plasmas e Descargas elétricas

### **Objetivos Específicos:**

O objetivo deste projeto é capacitar o bolsista a adquirir conhecimentos básicos e familiaridade com os dados na análise de ondas de plasma na magnetosfera de Mercúrio. Os principais tipos de onda a serem analisados são ondas eletromagnéticas de baixa frequência na região da magneto-bainha e na região pré-choque.

### **Metodologia:**

Revisão bibliográfica sobre formação a configuração e dinâmica da magnetosfera de Mercúrio e sobre as propriedades de vento solar na órbita de Mercúrio. Estudo teórico sobre frentes de choque e ondas de plasma. Análise de dados de campo magnético de alta resolução e fluxo de elétrons da sonda *Mariner - 10*. Estudo e aplicação de técnicas de análise de dados: transformada de Fourier, método da mínima variância, análise estatística básica.

### **Plano de trabalho do bolsista:**

O bolsista deverá realizar um estudo bibliográfico sobre a magnetosfera de Mercúrio, sobre frentes de choque e ondas de plasma.

O bolsista deverá se familiarizar com os dados de campo magnético e plasma/elétrons medidos pela sonda *Mariner - 10* e desenvolver programas para realizar plotagem de gráficos e análise dos mesmos.

O bolsista deverá estudar técnicas matemáticas de análise de dados – parâmetros estatísticos básicos, transformada de Fourier e método da mínima variância. Estas técnicas serão aplicadas aos dados de campo magnético e fluxo de elétrons da sonda *Mariner - 10* para o estudo das propriedades da frente de choque (do inglês Bow Shock) e das ondas de plasma presentes nas regiões da magneto-bainha e pré-choque de Mercúrio. 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 sobre a magnetosfera de Mercúrio, aquisição de dados via internet
- Mês 4 a Mês 6 : Revisão bibliográfica específica sobre frentes de choque e ondas de plasma, desenvolvimento de programas para plotagem de gráficos.
- Mês 7 a Mês 12: Estudo e aplicação das técnicas de análise dos dados, estudo de casos, preparação de trabalhos e apresentação em Conferências Científicas.

### **Resultados esperados:**

O bolsista deverá adquirir conhecimentos básicos sobre formação de choques em fluídos e plasmas, especialmente em plasmas não colisionais. Deverá obter conhecimento mais específico, a nível mais conceitual, sobre formação de frentes de choque e a física de magnetosferas de Mercúrio. Ainda deverá obter um conhecimento básico sobre ondas de plasma em magnetosferas planetárias.

Espera-se que o bolsista adquira familiaridade com os dados de campo magnético e plasma da sonda *Mariner - 10* e com técnicas de análise de dados. O aluno deverá estudar e aplicar aos dados os métodos estatísticos básicos (média, variância, desvio padrão, mediana, etc..) calcular espectros de potência por meio da transformada de Fourier e analisar as propriedades de ondas de plasma com o método da coplanaridade magnética. Os resultados dos estudos deverão ser apresentados em Conferências Científicas. O bolsista deverá preparar trabalhos para apresentação nas conferências científicas.

### **Referências Bibliográficas:**

- Echer, E. et al., Introduction to Space Weather, Adv. Spa. Res., 2005.
- Echer, E. and Guarniri, F. L., Wavelet analysis of magnetic field fluctuations at Mercury's magnetosphere, Earth, Moons and Planets, submitted, 2007.
- Fairfield, D. H. and K. W. Behannon, Frente de choque (do inglês Bow Shock) and magnetobainhah waves at Mercury, Journal of Geophysical Research, 81, 3897-3906, 1976.
- Kivelson, M. G. and Russell, C. T., Introduction to Space Physics, Cambridge University Press, 1995.
- Ness, N. F., The magnetosphere of Mercury, p.183-206, in C. F. Kennel., L. J. Lanzerotti and E. N. Parkers (eds), Solar System Plasma Physics Vol II, North-Holland Publishing Company, 1979.
- Parks, G., Physics of Space Plasmas, An Introduction, 2nd Edition, Westvview Press, 2004.
- Russell, C. T., D. N. Baker, and J. A. Slavin, The magnetosphere of Mercury, p. 514-561, in Chapman, C. (Ed.), Mercury, University of Arizona Press, Tucson, 1988.
- Boardsen, S.A. and Slavin J.A., Search for pick-up ion generated Na<sup>+</sup> cyclotron waves at Mercury, Geophysical Research Letters, Vol.34, published 29 November 2007.
- Fairfield, D.H., Magnetic Field of the Magnetobainha, Reviews of Geophysics and Space Physics, February 1976.
- Haykin, Simon., Analog and Digital Communications



**ANEXO 2**

**RELATÓRIO PARCIAL DE ATIVIDADES PROJETO DE PESQUISA  
PROGRAMA PIBIC/INPE – CNPq/MCT**

**FEVEREIRO DE 2008**

**RELATÓRIO PARCIAL DE ATIVIDADES PROJETO DE PESQUISA  
PROGRAMA PIBIC/INPE – CNPq/MCT**

**FEVEREIRO DE 2008**

**1. Título: ESTUDO DE ONDAS DE PLASMA NA MAGNETOSFERA DE MERCÚRIO**

**2. Identificação do aluno e orientador**

**Bolsista:** Samuel Martins da Silva

**Orientador:** Dr. Ezequiel Echer

**Co-orientador:** Dr. Nelson Jorge Schuch

**Protocolo:** 105376/2005-1

**3. Colocação do problema estudado:** O objetivo deste projeto é capacitar o bolsista a adquirir conhecimentos básicos e familiaridade com os dados na análise de ondas de plasma na magnetosfera de Mercúrio. Os principais tipos de onda a serem analisados são ondas eletromagnéticas de baixa frequência na região da magneto-bainha e na região pré-choque.

**4. Metodologia utilizada:** o bolsista fez a revisão bibliográfica sobre a formação, configuração e dinâmica da magnetosfera de Mercúrio e utilizou os dados de campo magnético de alta resolução e fluxo de elétrons da sonda *Mariner - 10*. O bolsista estudou as diferenças entre as frentes de choque dos planetas terrestres e observou como identificar o cruzamento pelas mesmas através dos dados de campo magnético.

**5. Resultados obtidos:** durante o segundo semestre letivo de 2007, o bolsista teve seu trabalho centrado na revisão bibliográfica sobre a formação, configuração e dinâmica da magnetosfera de Mercúrio e estudo/aplicação de técnicas de análise de dados pela transformada de Fourier. O aluno analisou os dados de campo magnético de alta resolução e fluxo de elétrons para o primeiro (M I – 29 de março de 1974) e terceiro (M III – 16 de março de 1975) flybys com softwares disponíveis no CRS/CIE/INPE – MCT. No período, o acadêmico participou e/ou submeteu trabalhos científicos para quatro :

- 1 DA SILVA, Samuel Martins, BRAGA, Carlos Roberto, SCHUCH, Nelson Jorge, SAVIAN, Jairo Francisco, ECHER, Ezequiel, GUARNIERI, Fernando Luís. Analysis of the Mercury's frente de choque (do inglês Bow Shock) properties during Mariner-10 encounters.** In: 10th *International Congress of the Brazilian Geophysical Society*, realizado no Rio de Janeiro, Brasil de 19 a 22 de Novembro de 2007;
- 2 DA SILVA, Samuel Martins, ECHER, Ezequiel, SCHUCH, Nelson Jorge, BRAGA, Carlos Roberto, KEMMERICH, Níkolos, SILVEIRA, Marcos Vinícius Dias, KUMMER, Fabrício Deives, Stekel, Tardelli Ronan Coelho. Estudo das propriedades da frente de choque (do inglês Bow Shock) de Mercúrio com dados de magnetômetro fluxgate e sensor de plasma/elétrons.** In: VI

- Latin American School of Geomagnetism – ELAG*, realizado em Vassouras - Rio de Janeiro - Brasil de 25 a 30 de Novembro de 2007;
- 3 KEMMERICH, Níkolás, DAL LAGO, Alisson, SCHUCH, Nelson Jorge, BRAGA, Carlos Roberto, **DA SILVA, Samuel Martins**; SILVEIRA, Marcos Vinivius Dias, KUMMER, Fabrício Deives; STEKEL, Tardelli Ronan Coelho. **Ampliação do protótipo de telescópio multidirecional de raios cósmicos de alta energia muons: participação do desenvolvimento técnico e de engenharia, e análise preliminar dos dados.** In: VI *Latin American School of Geomagnetism – ELAG*, realizado em Vassouras - Rio de Janeiro - Brasil de 25 a 30 de Novembro de 2007;
  - 4 SILVEIRA, Marcos Vinivius Dias, DAL LAGO, Alisson, SCHUCH, Nelson Jorge; BRAGA, Carlos Roberto, **DA SILVA, Samuel Martins**, KEMMERICH, Níkolás, KUMMER, Fabrício Deives. **Estudo de Estruturas Interplanetárias Utilizando Dados do Satélite ACE.** In: VI *Latin American School of Geomagnetism – ELAG*, realizado em Vassouras - Rio de Janeiro - Brasil de 25 a 30 de Novembro de 2007;
  - 5 **DA SILVA, Samuel Martins**, ECHER, Ezequiel, SCHUCH, Nelson Jorge, BRAGA, Carlos Roberto, KEMMERICH, Níkolás, SILVEIRA, Marcos Vinivius Dias. **Estudo comparativo das frentes de choque planetárias – SICINPE 2007.** In: 22º Jornada Acadêmica Integrada – JAI realizada em Santa Maria – RS – Brasil, de 22 a 25 de Outubro de 2007;
  - 6 KEMMERICH, Níkolás, DAL LAGO, Alisson; SCHUCH, Nelson Jorge; BRAGA, Carlos Roberto; **DA SILVA, Samuel Martins**; SILVEIRA, Marcos Vinivius Dias. **Ampliação do protótipo de telescópios multi direcionais de raios cósmicos - SICINPE 2007.** In: 22º Jornada Acadêmica Integrada – JAI realizada em Santa Maria – RS – Brasil, de 22 a 25 de Outubro de 2007;
  - 7 SILVEIRA, Marcos Vinivius Dias, DAL LAGO, Alisson, SCHUCH, Nelson Jorge; BRAGA, Carlos Roberto, **DA SILVA, Samuel Martins**, KEMMERICH, Níkolás. **Estudo de estruturas interplanetárias utilizando observações de satélites e observações de raios cósmicos - SICINPE 2007.** In: 22º Jornada Acadêmica Integrada – JAI realizada em Santa Maria – RS – Brasil, de 22 a 25 de Outubro de 2007;
  - 8 BRAGA, Carlos Roberto, SCHUCH, Nelson Jorge, **DA SILVA, Samuel Martins**, KEMMERICH, Níkolás, SILVEIRA, Marcos Vinivius Dias, DAL LAGO, Alisson. **Instrumentação para estudo do clima espacial: telescópio cintilador de raios cósmicos de alta-energia (muons).** In: 22º Jornada Acadêmica Integrada – JAI realizada em Santa Maria – RS – Brasil, de 22 a 25 de Outubro de 2007;
  - 9 SILVEIRA, Marcos Vinivius Dias, BRAGA, Carlos Roberto, **DA SILVA, Samuel Martins**, KEMMERICH, Níkolás, THUORST, José Fernando, STEKEL, Tardelli Ronan Coelho, DAL LAGO, Alisson, SCHUCH, Nelson Jorge. **Análise de Estruturas Interplanetárias Utilizando Dados do Satélite ACE e da Rede Internacional de Telescópios Cintiladores de Muons.** Submetido: *IHY - International Heliophysical Year School* que acontecerá em São Paulo – SP – Brasil de 14 a 20 de fevereiro de 2008;
  - 10 KEMMERICH, Níkolás, DAL LAGO, Alisson, SCHUCH, Nelson Jorge, BRAGA, Carlos Roberto, **DA SILVA, Samuel Martins**, SILVEIRA, Marcos Vinivius Dias, THUORST, José Fernando, STEKEL, Tardelli Ronan Coelho. **O uso do Telescópio Cintilador de Muons do Observatório Espacial do Sul e dados do Satélite ACE para Estudo e Previsão do Clima Espacial.** .

Submetido: *IHY - International Heliophysical Year School* que acontecerá em São Paulo – SP – Brasil de 14 a 20 de fevereiro de 2008;

- 11 **DA SILVA, Samuel Martins**, BRAGA, Carlos Roberto, KEMMERICH, Nícolas, SILVEIRA, Marcos Vinicius Dias, THUORST, José Fernando, STEKEL, Tardelli Ronan Coelho, ECHER, Ezequiel, SCHUCH, Nelson Jorge. **Estudo das Propriedades da Frente de choque (do inglês Bow Shock) de Mercúrio com Observações da *Mariner - 10***. Submetido: *IHY - International Heliophysical Year School* que acontecerá em São Paulo – SP – Brasil de 14 a 20 de fevereiro de 2008.



**ANEXO 3**

**TÍTULOS E RESUMOS DE TRABALHOS APRESENTADOS E OU  
SUBMETIDOS**

**POR  
Fabrício Deives Kummer**

**NO PERÍODO DE VIGÊNCIA DA BOLSA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**

## **A Study of the Low-Frequency Magnetic Field Fluctuations in the Mercury's Magnetosheat**

SAMUEL MARTINS DA SILVA<sup>1</sup>, Ezequiel Echer<sup>2</sup>, Nelson Jorge Schuch<sup>1</sup>  
Carlos Roberto Braga<sup>1</sup>, **Fabício Deives Kummer**<sup>1</sup>, Nícolas Kemmerich<sup>1</sup>, Marcos  
Vinicius Dias Silveira<sup>1</sup>, Fernando Luís Guarnieri<sup>3</sup>

1. Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE, and Space Science Laboratory of Santa Maria, Federal University of Santa Maria - LACESM/CT/UFSM, Santa Maria, RS, Brazil;
2. National Institute for Space Research - DGE/CEA/INPE, São José dos Campos, SP, Brazil;
3. Vale do Paraíba University – UNIVAP, São José dos Campos, SP, Brazil.

### **Abstract**

The low-frequency magnetic field fluctuations in the Mercury's magnetosheat studied in this work. In order to conduct this study, high-resolution (25 sample.s) *Mariner-10* magnetic field vector data are used. Fourier (FFT) and wavelet (Morlet) transforms are employed to identify the main periodicities present in the magnetosheat intervals. The inbound and outbound crossings during both M-1 and M-3 encounters are analyzed. The quasi-periodicities found in the analysis are evaluated in relation to the proton and heavy ions (e.g Na+) gyroresonance frequencies. Further, with the wavelet analysis we can study the non-stationarity of the magnetosheat fluctuations and interpret them in terms of amplitude, frequency and proximity to the bow shock or magnetopause. The differences for the magnetosheat intervals with quasi-perpendicular and quasi-parallel bow shock crossings are also investigated.

## **Study of interplanetary structure plasma parameters and ground cosmic ray modulation**

Kemmerich, Nikolas (1); **Kummer, Fabricio Deives (1)**; Schuch, Nelson Jorge (1);  
Silveira, Marcos Vinicius Dias (1); Da Silva, Samuel Martins (1); Braga, Carlos Roberto (1);  
Dal Lago, Alisson (2); Da Silva, Marlos Rockenbach (2); Munakata, Kazuoki (3); Echer,  
Ezequiel (2); Kuwabara, Takao (4) and Savian, Jairo Francisco (5).

*(1) Southern Regional Center, National Institute for Space Research (CRS/CIE/INPE – MCT) and Space Science Laboratory of Santa Maria, Federal University of Santa Maria (LACESM/CT/UFSM), Santa Maria, RS, Brazil,*

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

*(3) Physics Department, Faculty of Science, Shinshu University, Matsumoto, Japan,*

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

*(5) Geophysics Department, Institute of Astronomy, Geophysics and Atmospheric Science, University of São Paulo (IAG/USP), São Paulo, SP, Brazil.*

### **Abstract**

Interplanetary coronal mass ejections (ICMEs) are gigantic clouds of ionized gas launched from the Sun. These structures populate the interplanetary medium, frequently hitting the planets. Depending on their characteristic and orientation, they may transfer to the Earth magnetosphere the energy necessary to cause the geomagnetic storms. ICMEs can be studied according to the variability of plasma parameters, such as, magnetic field intensity, direction, proton density ( $N_p$ ), proton speed ( $V_p$ ) and radial component of proton temperature ( $T_p$ ). The objective of this work is to study ICMEs characteristics and their relation with modulation of ground cosmic rays. Plasma and magnetic field parameters will be used to calculate plasma beta ( $\beta$ ) which is defined as the ratio between thermal pressure and magnetic pressure. Using the minimum variance analysis (MVA) it is possible to identify the plane of maximum variance, and perpendicular to this, the normal direction corresponding to the axis of the interplanetary structures. This allows to obtain the azimuthal ( $\phi_k$ ) and inclination ( $\theta_k$ ) axis orientation in relation to the ecliptic plane. To do this, it will be used data from the *Advanced Composition Explorer* (ACE) spacecraft and ground cosmic ray  $> 50$  GeV (muon) data from the multidirectional muon telescope, installed in the Southern Space Observatory (OES/CRS/CIE/INPE - MCT) in São Martinho da Serra, Brazil. Geomagnetic response to the structures will be studied using the Dst index.

ESTUDO DAS PROPRIEDADES DA FRENTE DE CHOQUE (DO INGLÊS BOW SHOCK) DE MERCÚRIO COM DADOS DE MAGNETÔMETRO FLUXGATE E SENSOR DE PLASMA/ELÉTRONS

Samuel Martins da Silva [1], Ezequiel Echer [2], Nelson Jorge Schuch [1],  
Carlos Roberto Braga [1], Níkolos Kemmerich [1],  
Marcos Vinícius Dias Silveira [1], **Fabício Deives Kummer [1]**,  
Tardelli Ronan Coelho Stekel [1]

[1] Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE – MCT em parceria com o Laboratório de Ciência Espacial de Santa Maria, - LACESM/CT – UFSM, Santa Maria, RS, Brasil;

[2] Divisão de Geofísica Espacial, Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – DGE/CEA/INPE – MCT, São José dos Campos, SP, Brasil.

E-mail: samuel@lacesm.ufsm.br

As frentes de choque planetárias são formadas devido à interação eletromagnética do vento solar supermagnetosônico com os obstáculos magnetizados (campo magnético intrínseco ou magnetosfera induzida) dos planetas. O estudo de frentes de choque planetárias nos proporciona uma visão importante acerca do comportamento dos choques não colisionais no espaço interplanetário. A natureza da interação varia consideravelmente dependendo de uma série de fatores (módulo e direção do campo magnético interplanetário, valor do parâmetro beta de plasma, número de Mach do vento solar, tipo de magnetosfera planetária, populações de plasma das magnetosferas, intensidade do campo magnético intrínseco do planeta etc.). O presente trabalho tem como objetivo determinar o vetor normal ( $\vec{n}_s$ ) à frente de choque (do inglês Bow Shock) e o ângulo ( $\theta_{Bn}$ ) formado entre o campo magnético interplanetário (CMI) “*upstream*” e o vetor normal. Foram analisadas às propriedades da frente de choque (do inglês Bow Shock) de Mercúrio nos cruzamentos da *Mariner – 10* em 29/03/1974 (Mercúrio I) e 16/03/1975 (Mercúrio III) por meio de dados de magnetômetro *fluxgate* e sensor de plasma de elétrons. Usando um procedimento estatístico e o Teorema da Coplanaridade Magnética,

obteve-se o vetor normal à frente choque e o ângulo ( $\theta_{Bn}$ ). São apresentados os resultados dos cálculos dos ângulos ( $\theta_{Bn}$ ) e do salto dos parâmetros – campo magnético total, pressão magnética, densidade de elétrons, temperatura de elétrons e pressão cinética de elétrons – através da frente de choque (do inglês Bow Shock) de Mercúrio.

## Estudo de Estruturas Interplanetárias Utilizando Dados do Satélite ACE

Marcos Vinicius Dias Silveira [1]; Alisson Dal Lago [2]; Nelson Jorge Schuch [1];  
Carlos Roberto Braga [1]; Níkolás Kemmerich [1]; Samuel Martins da Silva [1];  
**Fabício Deives Kummer [1].**

[1] Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE – MCT em parceria com o Laboratório de Ciência Espacial de Santa Maria, - LACESM/CT – UFSM, CEP 97110 – 900, Santa Maria, RS, Brasil;

[2] Divisão de Geofísica Espacial, Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – DGE/CEA/INPE – MCT, São José dos Campos, SP, Brasil.

E-mail: silveira@lacesm.ufsm.br

A variabilidade solar é responsável por fenômenos no espaço e na superfície terrestre como, por exemplo, as auroras nos pólos do nosso planeta e tempestades geomagnéticas que podem causar muitos danos nos sistemas de telecomunicação, naves e estações espaciais. Por estes motivos são realizados inúmeros esforços internacionais proporcionando um intenso monitoramento da atividade solar. Um dos instrumentos utilizado para no monitoramento é o satélite ACE (*Advanced Composition Explorer*), construído pela NASA e lançado no ano de 1997, que se encontra localizado a aproximadamente 1,5 milhão de quilômetros de distância da superfície Terra, no ponto Lagrangeano L1, coletando dados *in situ* de estruturas interplanetárias originárias do Sol. Dentre os aparelhos a bordo do ACE estão o SWEPAN (*Solar Wind Electron Proton Alpha Monitor*), que obtém medidas de parâmetros de plasma das estruturas interplanetárias, e o MAG, que faz medidas de campo magnético. O projeto consiste em utilizar dados do SWEPAN e do MAG para realizar análises das estruturas interplanetárias conhecidas como nuvens magnéticas, que são um subconjunto das ejeções de massa coronais observadas no meio interplanetário (ICMEs). Os dados do ACE são públicos e estão disponíveis na internet (<http://www.srl.caltech.edu/ACE>). Com estes dados são realizadas análises com gráficos utilizando com rotinas em linguagem IDL para o entendimento de parâmetros, em especial o cálculo das pressões cinética e magnética e o parâmetro beta, que relaciona as pressões térmica e magnética através da razão entre elas.

## **AMPLIAÇÃO DO PROTÓTIPO DE TELESCÓPIO MULTIDIRECIONAL DE RAIOS CÓSMICOS DE ALTA ENERGIA – MUONS: PARTICIPAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO TÉCNICO E DE ENGENHARIA, E ANÁLISE PRELIMINAR DOS DADOS.**

Nícolas Kemmerich [1]; Alisson Dal Lago [2]; Nelson Jorge Schuch [1]; Carlos Roberto Braga [1]; Samuel Martins da Silva [1]; Marcos Vinícius Dias Silveira [1]; **Fabício Deives Kummer [1]**; Tardelli Ronan Coelho Stekel [1].

[1] Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE – MCT, em parceria com o Laboratório de Ciência Espacial de Santa Maria - LACESM/CT – UFSM, Santa Maria, RS, Brasil;

[2] Divisão de Geofísica Espacial, Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – DGE/CEA/INPE – MCT, São José dos Campos, SP, Brasil.

E-mail: nikolas@lacesm.ufsm.br

O clima espacial está ligado à relação entre o Sol, o espaço interplanetário, a magnetosfera, alta e baixa atmosfera, e a superfície terrestre, além de estudar as origens e a previsão de tempestades geomagnéticas. Tempestades magnéticas são originadas por estruturas ejetadas do Sol chamadas de Ejeções de Massa Coronais (EMC), que têm sua ocorrência modulada pelo ciclo solar de 11 anos. A estrutura típica dessas EMCs observada no meio interplanetário é a de uma nuvem magnética, sendo uma das causas principais das tempestades. A motivação desse estudo é conseguir avanços no entendimento do Sol e sua influência no meio interplanetário, uma vez que na Terra há várias consequências decorrentes desses fenômenos e de sua variabilidade. Tempestades magnéticas são responsáveis pelo aparecimento das auroras nos pólos devido à perturbação da magnetosfera terrestre e são responsáveis por danos em sistemas tecnológicos, perda de dados de satélite, *black-out* de energia elétrica e interferência nas telecomunicações e em radares. Dados fornecidos pelo satélite ACE da NASA localizado no ponto lagrangeano, L1, permitem identificar a chegada desses distúrbios à Terra através do aumento da média da velocidade do vento solar, intensidade do Campo Magnético Interplanetário, densidade e temperatura. Na ocorrência das tempestades geomagnéticas parte dos raios cósmicos é blindada pela EMC quando se encontra no meio interplanetário próximo a Terra causando um decréscimo na taxa de contagem de muons. O muon é originado da colisão de raios cósmicos de alta energia (~50GeV) com partículas da atmosfera, conservando a direção do raio primário incidente. Com o objetivo de efetuar a previsão e, portanto, possibilitar a tomada de decisão para prevenir possíveis danos tecnológicos foi instalado em 2001 o protótipo detector de raios cósmicos muons de alta energia no Observatório Espacial do Sul (OES/CRS/CIE/INPE – MCT), constituído de 2 camadas de 4 detectores (2x2x2) com resolução temporal a cada hora. O detector foi expandido em 2005, passando a ser constituído de 56 detectores (2x4x7) e com resolução temporal a cada minuto, sendo 7 vezes mais preciso que o protótipo, otimizando o desempenho da Rede Mundial de Detectores de muons. O telescópio detector de



raios cósmicos mostra resposta à ocorrência de tempestades geomagnéticas na forma de decréscimo de 1% a 10% na contagem de muons.

## **A STUDY OF JUPITER’S MAGNETOPAUSE ORIENTATION AND POSITION**

**FABRÍCIO DEIVES KUMMER**<sup>1</sup>, Ezequiel Echer<sup>2</sup>, Nelson Jorge Schuch<sup>1</sup>, Orimar Antonio Battistel<sup>3</sup>, Samuel Martins da Silva<sup>1</sup>, Níkolos Kemmerich<sup>1</sup>, Marcos Vinicius Dias Silveira<sup>1</sup>, Carlos Roberto Braga<sup>1</sup>, Tiago Domingos dos Santos<sup>1</sup>.

1. Southern Regional Space Research Center – CRS/CIE/INPE, Santa Maria, RS, Brazil

2. National Institute for Space Research – DGE/CEA/INPE, São José dos Campos, SP, Brazil

3. Physics Department, Federal University of Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brazil

### **ABSTRACT**

The solar wind is a supersonic magnetized fluid which continuously flow outwards from the solar atmosphere. When the solar wind flows through the solar system and encounters an obstacle such as a planetary magnetic field, a magnetosphere is formed. The boundary between the solar wind and a planetary plasma environments is the magnetopause. At this boundary, mass, momentum and energy exchange between the solar wind and the planetary environment occur. Jupiter has the largest and more complex magnetosphere of the solar system. The position and shape of Jupiter’s magnetopause is determined by a balance between the solar wind dynamic pressure and the internal, magnetic plus plasma pressure of Jupiter magnetosphere. The objective of this work is to study the orientation and position of the Jupiter magnetopause, using magnetic field observations and the minimum variance analysis. To conduct this study, we use magnetopause crossing data from the Voyager-1, Voyager-2 and Ulysses spacecraft. Finally, the position of the magnetopause is investigated in relation to the ambient solar wind conditions.

## **Study of interplanetary structure plasma parameters and ground cosmic ray modulation**

Kemmerich, Nikolas (1); **Kummer, Fabricio Deives (1)**; Schuch, Nelson Jorge (1); Silveira, Marcos Vinicius Dias (1); Da Silva, Samuel Martins (1); Braga, Carlos Roberto (1); Dal Lago, Alisson (2); Da Silva, Marlos Rockenbach (2); Munakata, Kazuoki (3); Echer, Ezequiel (2); Kuwabara, Takao (4) and Savian, Jairo Francisco (5).

(1) *Southern Regional Center, National Institute for Space Research (CRS/CIE/INPE – MCT) and Space Science Laboratory of Santa Maria, Federal University of Santa Maria (LACESM/CT/UFSM), Santa Maria, RS, Brazil,*

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

(3) *Physics Department, Faculty of Science, Shinshu University, Matsumoto, Japan,*

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

(5) *Geophysics Department, Institute of Astronomy, Geophysics and Atmospheric Science, University of São Paulo (IAG/USP), São Paulo, SP, Brazil.*

### **Abstract**

Interplanetary coronal mass ejections (ICMEs) are gigantic clouds of ionized gas launched from the Sun. These structures populate the interplanetary medium, frequently hitting the planets. Depending on their characteristic and orientation, they may transfer to the Earth magnetosphere the energy necessary to cause the geomagnetic storms. ICMEs can be studied according to the variability of plasma parameters, such as, magnetic field intensity, direction, proton density ( $N_p$ ), proton speed ( $V_p$ ) and radial component of proton temperature ( $T_p$ ). The objective of this work is to study ICMEs characteristics and their relation with modulation of ground cosmic rays. Plasma and magnetic field parameters will be used to calculate plasma beta ( $\beta$ ) which is defined as the ratio between thermal pressure and magnetic pressure. Using the minimum variance analysis (MVA) it is possible to identify the plane of maximum variance, and perpendicular to this, the normal direction corresponding to the axis of the interplanetary structures. This allows to obtain the azimuthal ( $\phi_k$ ) and inclination ( $\theta_k$ ) axis orientation in relation to the ecliptic plane. To do this, it will be used data from the *Advanced Composition Explorer (ACE)* spacecraft and ground cosmic ray  $> 50$  GeV (muon) data from the multidirectional muon telescope, installed in the Southern Space Observatory (OES/ CRS/CIE/INPE - MCT) in São Martinho da Serra, Brazil. Geomagnetic response to the structures will be studied using the Dst index.

## **SPACE WEATHER FORECASTING - A MULTI DIRECTIONAL TELESCOPE FOR DETECTION OF HIGH ENERGY COSMIC RAYS - MUONS - SOUTHERN SPACE OBSERVATORY - BRAZIL**

NELSON JORGE SCHUCH<sup>1</sup>, Alisson Dal Lago<sup>2</sup>, Marlos Rockenbach da Silva<sup>2</sup>, Ezequiel Echer<sup>2</sup>, Walter Demétrio Gonzalez Alarcon<sup>2</sup>, Carlos Roberto Braga<sup>1</sup>, Tardelli Ronan Coelho Stekel<sup>1</sup>, Nikolas Kemmerich<sup>1</sup>, Marcus Vinicius Dias Silveira<sup>1</sup>, Fabício Deives Kummer<sup>1</sup>, Kazuoki Munakata<sup>3</sup>, Chihiro Kato<sup>3</sup>, Zenjirou Fujii<sup>4</sup>, John W. Bieber<sup>5</sup>, Takao Kuwabara<sup>5</sup>, Marcus L. Duldig<sup>6</sup>, Ismail Sabbah<sup>7</sup>, Ashot Chilingarian<sup>8</sup>, Rainer Hippler<sup>9</sup>, John E. Humble<sup>10</sup>.

1. Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE, Santa Maria, RS, Brazil
2. National Institute for Space Research - DGE/CEA/INPE, São José dos Campos, SP, Brazil
3. Shinshu University, Japan
4. STE Laboratory, Nagoya University, Japan
5. Bartol Research Institute, University of Delaware, USA
6. Australian Government Antarctic Division, Australia
7. Kuwait University, Kuwait
8. Alikhanyan Physics Institute, Armenia
9. University of Greifswald, Germany
10. University of Tasmania, Hobart, Tasmania, Australia

### **ABSTRACT**

A multi-directional telescope for detection of high-energy galactic cosmic rays (GCRs) - muons was installed in 2001, through an international cooperation between Brazil, Japan and USA, and is operational since then at the Southern Space Observatory - SSO/CRS/INPE - MCT, (29S, 53W), Sao Martinho da Serra, RS, south of Brazil, whose capacity and sensitivity were upgraded in 2005. The observations conducted by this telescope are used for forecasting the arrival of the geomagnetic storms drivers in the near-earth geospace. The telescope's detectors measure high-energy (GCRs) by detecting secondary muons produced from the hadronic interactions of primary (GCRs) (mostly protons) with atmospheric nuclei. Since muons have a relatively long life-time (about 2.2 microsecond for muons at rest) and can reach the detector at ground level preserving the incident direction of primary particles, the telescope can measure the (GCRs) intensity in various directions with a multidirectional detector at a single location, such as in Brazil. Interplanetary coronal mass ejection (ICME) accompanied by a strong shock often forms a (GCRs) depleted region behind the shock, this abrupt decrease of the (GCRs) density (i.e. the isotropic intensity), is known as the Forbush decrease, which is a region of suppressed cosmic ray density located downstream of a the (ICME) shock. The (ICME) arrival also causes a systematic variation in the (GCRs) streaming (i.e. the directional anisotropy of intensity). The magnitude of the streaming is small (about 1 % or less), but its variation is relevant. Some particles from this suppressed density region traveling with about the speed of light leak into the upstream region, much faster than the approaching shock, create the possibility to be observable, on earths surface, by a network of ground based (GCRs) – Muon detector multi-directional telescopes as a precursory loss-cone anisotropy ahead of the upstream region. Loss-cones are typically visible 4-10 hours ahead of shock arrival for shocks associates with major geomagnetic storms. The Brazilian Muon Detector Telescope, at SSO, is part of a global network on an international collaboration, consisting of 9 institutes from 7 countries. Solar mass ejections, or (ICME), traveling in the interplanetary space and reaching at the Earth, cause reduction in cosmic ray counts at the earths surface by one to ten percent, and can be detected sometimes almost ten hours before their arrival at earth, if the global network of Muon detectors are deployed all over the world by the international network scheme developed at the Shinshu University, Japan, permitting accurate and I Space Weather forecasting.

Keywords: cosmic rays, Muon telescope, solar-terrestrial interactions, space weather, geomagnetic storms.



**ANEXO 4**  
**PÔSTER APRESENTADO**  
  
**POR**  
**Fabício Deives Kummer**  
**EM EVENTO CIENTÍFICO**

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE/MCT**  
 CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – CRS/INPE – MCT  
 OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL – OES/CRS/INPE – MCT

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA – UFSM**  
 CENTRO DE TECNOLOGIA – CT/UPSM  
 LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS ESPACIAIS DE SANTA MARIA – LACESM/CT/UPSM

---

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES DA FRENTE DE CHOQUE DE MERCÚRIO COM DADOS DE MAGNETÔMETRO FLUXGATE E SENSOR DE PLASMA/ELÉTRONS**

Samuel M. da Silva<sup>1</sup>, Ezequiel Eche<sup>2</sup>, Nelson J. Schuch<sup>1</sup>, Carlos R. Braga<sup>1</sup>, Nikolas Kemmerich<sup>1</sup>,  
 Marcos V. D. Silveira<sup>1</sup>, Fabrício D. Kummer<sup>1</sup>, Tardelli R. C. Stekel<sup>1</sup>.

[1] Laboratório de Ciéncia Espacial do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – LCE/CRS/CIE/INPE – MCT em parceria com o Laboratório de Ciéncia Espacial de Santa Maria, – LACESM/CT – UFSM, Santa Maria, RS, Brasil;  
 [2] Divisão de Geofísica Espacial da Coordenação de Ciéncias Espaciais e Atmosféricas – DGE/OEA/INPE – MCT, São José dos Campos, SP, Brasil.

E-mail: [XXXXXXXXXXXX@inpe.br](mailto:XXXXXXXXXXXX@inpe.br)

---

**INTRODUÇÃO**

O estudo de frentes de choque planetárias fornece uma visão importante do comportamento dos choques não colisionais e da natureza do obstáculo planetário frente ao fluxo do vento solar [1]. Caso o vento solar esteja fluindo supermagnetosonicamente, uma frente de choque será formada na frente do obstáculo planetário. Mercúrio possui um campo magnético significativo, assim o planeta terá uma frente de choque. O objetivo do trabalho é determinar a normal ao choque de Mercúrio e o ângulo formado entre o vetor normal e campo magnético interplanetário.

**MARINER – 10**

▶O objetivo da sonda foi estudar a atmosfera, superfície e características principais de Mercúrio (estrutura interna, magnetosfera e  $B_{int}$ ). A espaçonave teve 3 flybys: 1º em 29 de Março de 1974 a 703 km da superfície; 2º em Setembro de 1974 a uma distância de 48.069 km e o último em 16 de Março de 1975 a 327 km da superfície. Porém, apenas o 1º e o 3º flybys forneceram dados ideais para o estudo de magnetosfera de Mercúrio [2].

▶As regiões  $B_{int}$  e  $B_{ext}$  para o 1º cruzamento (29 de Março de 1974) e o 3º cruzamento (16 de Março de 1975) são apresentadas na Figura 1.

Figura 1 - Dados de campo magnético com resolução temporal de 6 s durante os eventos (Mercúrio 1 e 3).

**METODOLOGIA**

O procedimento para a obtenção de todas as possíveis combinações dos vetores Campo Magnético Interplanetário (CMI) apontam com os vetores CMI downstream é apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Procedimento para a obtenção das combinações possíveis de vetores  $B_{int}$  e  $B_{ext}$ . O primeiro painel mostra as componentes do vetor campo magnético e abaixo o módulo do vetor campo magnético.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO**

São apresentados os resultados dos cálculos dos ângulos ( $\theta_s$ ) e do salto dos parâmetros – campo magnético total, pressão magnética, densidade de elétrons, temperatura de elétrons e pressão cinética de elétrons – através da frente de choque de Mercúrio nas Figuras 3, 4, 5 e 6.

**Mercúrio M-1 Inbound Frente de Choque**

Figura 3 - Histograma do parâmetro local ( $\theta_s$ ) associado a melhor solução para o choque.

Figura 4 - Variações através da frente de choque do campo magnético e de plasma. As regiões upstream, downstream,  $B_{int}$  e frente de choque (BS) estão indicadas.

**Mercúrio M-3 Outbound Frente de Choque**

Figura 5 - Histograma do parâmetro local ( $\theta_s$ ) associado a melhor solução para o choque.

Figura 6 - Variações através da frente de choque do campo magnético e de plasma. As regiões upstream, downstream,  $B_{int}$  e frente de choque (BS) estão indicadas.

**Sumário e Trabalhos Futuros**

▶ Sob condições ideais (dados contínuos de campo magnético e dados de plasma de vento solar e mesma resolução temporal), técnicas iterativas envolvendo parâmetros magnéticos e de plasma [3, 4, 5] são as melhores opções para inferir as características locais dos choques.

▶ Com as recentes missões (MESSENGER, BepiColombo) e futuras missões espaciais programadas (LISA, Europa, Messenger e BepiColombo), várias  $B_{int}$  e  $B_{ext}$  esperam-se aumentar o conhecimento do fascinante ambiente interplanetário nos próximos anos.

**AGRADECIMENTOS**

▶ Os autores agradecem ao Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT pela aprovação dos Projetos de Pesquisas e ao pessoal técnico do Planetary Data System, Planetary Plasma Interactions (NASA) por disponibilizarem os dados de campo magnético.

▶ Os autores agradecem ao Centro de Ciências Naturais e Exatas e ao Curso de Física da Universidade Federal de Santa Maria pelo apoio financeiro para participar do VI Latin American School of Geomagnetism – ELAG.

**REFERÊNCIAS**

[1] Russell, C. T., Planetary Bow Shocks, Calendars, Shocks in the Heliosphere: Review of Current Research, Geophysical Monograph 25, 1985;  
 [2] Silva, A. F. e I. O. Soudier, Fast and Optimal Solution to the "Rankine-Hugoniot Problem". J. Geophys. Res., 91, 30, 1986;  
 [3] Newell, R. A., J. Cobble, U. Hochmann e F. M. Neubauer, Shock normal determination for multi-ion shocks. J. Geophys. Res., 99, 13239-13274, 1994;  
 [4] Szabo, A., An improved solution to the Rankine-Hugoniot problem. J. Geophys. Res., 99, 14737-14746, 1994;  
 [5] Seldig, A. A., Deep Space Chronicle, Monograph in Aerospace History #F-24, National Aeronautics and Space Administration, NASA, pag.105, 2002;

VI Latin American School of Geomagnetism - ELAG  
 25 - 30 Novembro de 2007  
 Vassouras - Rio de Janeiro - Brasil