



---

# PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - PIBIC

---

**3º Seminário de Iniciação  
Científica do INPE (3º SICINPE)**

---

**01 e 02 de julho de 1997  
São José dos Campos, SP**

## **Comitê Institucional para Bolsas de Iniciação Científica**

Jerônimo dos Santos Travelho - Presidente  
Benjamin da Silva Medeiros Correia Galvão  
Evlyn Marcia Leão de Moraes Novo  
Inez Staciarini Batista  
José Gobbo Ferreira  
Mario César Ricci  
Regina Célia dos Santos Alvalá

## **• Editor**

Mario César Ricci

## **• Produção e Arte**

Lourdes Beatriz B. F. Araújo (Bia)  
José Domínguez Sanz (Pepito)

## **• Impressão**

Gráfica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

## **APRESENTAÇÃO**

Esse Volume reúne os resumos dos trabalhos apresentados no 3<sup>o</sup> Seminário de Iniciação Científica do INPE (3<sup>o</sup> SICINPE) realizado nos dias 01 e 02 de julho de 1997 no Auditório do Laboratório de Integração e Testes do INPE (LIT/INPE) em São José dos Campos. Os resumos estão organizados segundo a ordem cronológica das apresentações.

Nessa terceira edição o Seminário conta com 6 sessões técnicas onde deverão ser apresentados cerca de 33 trabalhos realizados pelos bolsistas de iniciação científica sob a orientação de pesquisadores e tecnologistas do INPE. Os autores dos trabalhos são estudantes de graduação das seguintes instituições de ensino

- Escola de Engenharia Industrial, EEI;
- Escola Politécnica da USP, EPUSP;
- Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, FEG-UNESP;
- Instituto Tecnológico da Aeronáutica, ITA;
- Universidade Braz Cubas, UBC;
- Universidade de Taubaté, UNITAU;
- Universidade do Vale do Paraíba, UNIVAP

Finalizando, quero agradecer a todos que tornaram este evento possível. Em especial, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela concessão das bolsas de iniciação científica aos nossos bolsistas.



Mário César Ricci  
membro do CIBIC/INPE  
julho de 1997



**PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - PIBIC/CNPq**  
**3º Seminário de Iniciação Científica do INPE - 3º SICINPE**  
**Auditório do Laboratório de Integração e Testes - LIT**  
**01 e 02 de julho de 1997**

**1º dia: Terça Feira, 01 de julho de 1997**

08:00 - 09:30 Entrega de Materiais

09:30 - 10:00 Cerimônia de abertura

**10:00 - 12:00 1ª Sessão Técnica -**

**Chairperson: Dr. Roberto Vieira da Fonseca Lopes, Tecnologista Sênior, DMC**

- 10:00 - 10:20 Propagação de Órbita de Satélites Artificiais Usando Receptores GPS  
Aluno: André Rodrigo Boscolo de Moraes, EEI  
Orientador: Dr. Otávio S. C. Durão, Tecnologista Sênior, DMC.....3
- 10:20 - 10:40 Elaboração de Catálogos Estelares Dedicados a Satélites Artificiais  
Aluna: Ana Stela Furlan Salles, UNIVAP  
Orientador: Dr. Roberto Vieira da Fonseca Lopes, Tecnologista Sênior, DMC.....5
- 10:40 - 11:00 Identificação Autônoma de Estrelas  
Aluna: Emanuella de Cássia Vicente, UNIVAP  
Orientador: Dr. Roberto Vieira da Fonseca Lopes, Tecnologista Sênior, DMC.....7
- 11:00 - 11:20 Modelagem de Forças de Marés Atuantes em Satélites GPS  
Aluno: Christiano dos Santos Mendes Pereira, ITA  
Orientador: Dr. Hélio Koiti Kuga, Tecnologista Sênior, DMC.....9
- 11:20 - 11:40 Modelamento de Satélites Artificiais Rígido/Flexíveis  
Aluno: Alexandre Bizarro Fernandes, EEI  
Orientador: Dr. Luiz Carlos Gadelha de Souza, Tecnologista Sênior, DMC.....11
- 11:40 - 12:00 Estudo de Manobras Orbitais Multi-Impulsivas  
Aluna: Gislaíne de Felipe, UNITAU  
Orientador: Dr. Antonio F. Bertachini de Almeida Prado, Tecnologista Sênior, DMC..13

**12:00 - 13:55 ALMOÇO**

**13:55 - 15:35 2ª Sessão Técnica -**

**Chairperson: MSc. Mário César Ricci, Tecnologista Senior, DMC**

**Membro do Comitê Institucional para Bolsas de Iniciação Científica - CIBIC**

- 13:55 - 14:15 Técnicas de Preparação de Superfície para Estudos de Nucleação de Diamante-CVD  
Aluna: Mary Christiane Pinto, EEI  
Orientadora: Dra. Nélia Ferreira Leite, Pesquisadora, LAS.....17
- 14:15 - 14:35 Efeito de Ultrassom na Corrosão Anisotrópica de Silício em KOH  
Aluno: Adriano Nicola Rios, LME/EPUSP  
Orientador: Dr. José Roberto Sbragia Senna, Pesquisador, LAS.....19

14:35 - 14:55	Estudos de Crescimento de Diamante-CVD Aluna: Elaine Cristina Goulart, EEI Orientador: Dr. Vladimir Jesus Trava Airoidi, Pesquisador, LAS.....	21
14:55 - 15:15	Simulação Numérica e Visualização Gráfica de Crescimentos de Macrocristais Aluna: Nanci Naomi Arai, UNITAU Orientador: Dr. Maurício Fabbri, Pesquisador, LAS.....	23
15:15 - 15:35	Sistema para Caracterização de Camadas Epitaxiais de PbSnTe por Transmissão no Infravermelho Aluno: Leonardo Castro Ribeiro, ITA Orientador: Dr. Sukarno Olavo Ferreira, Pesquisador, LAS.....	25
<b>15:35 - 15:50 INTERVALO PARA CAFÉ</b>		
<b>15:50 - 17:50 3ª Sessão Técnica -</b>		
<b>Chairperson: Dr. Benjamin da Silva Medeiros Correia Galvão, Tecnologista Senior, LIT</b>		
<b>Membro do Comitê Institucional para Bolsas de Iniciação Científica - CIBIC</b>		
15:50 - 16:10	Medidas de Resistividade e Efeito Hall em Camadas Epitaxiais $Pb_{1-x}Sn_xTe/BAF_2$ Aluno: Celso Ferreira Mastrella, ITA Orientador: Dr. Eduardo Abramof, Pesquisador, LAS.....	29
16:10 - 16:30	Análise e Aprimoramento do Registro Geométrico das Imagens AVHRR/NOAA Aluna: Rovedy Aparecida Busquim e Silva, UNIVAP Orientador: Dr. Alberto W. Setzer, Pesquisador, DSR.....	33
16:30 - 16:50	Estudo da Relação entre Batimetria e a Distribuição de Plantas Aquáticas no Reservatório da UHE-TUCURUÍ Aluno: Fernando Pereira Fernandes, UNIVAP Orientadora: Dra. Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo, Pesquisadora Titular, DSR.....	35
16:50 - 17:10	Trabalho sobre Teoria dos Grafos Aluno: Rudini Menezes Sampaio, ITA Orientador: Dr. Horácio Hideki Yanasse, Pesquisador Titular, LAC.....	37
17:10 - 17:30	Problema da Sequência de Padrões para Minimizar o Máximo de Pilhas Abertas Aluno: Alexandre Fonseca, UNITAU Orientador: Dr. Horácio Hideki Yanasse, Pesquisador Titular, LAC.....	39
17:30 - 17:50	Análise Não-Linear da Variação da Cota do Rio Paraguay - Pantanal Aluna: Renata Silva Paula, UNIVAP Orientadores: Dr. Nelson J. Ferreira, Pesquisador, DCM Dr. Reinaldo R. Rosa, Pesquisador, LAC.....	41

**2º dia: Quarta Feira, 02 de julho de 1997**

**10:00 - 12:00 4ª Sessão Técnica -**

**Chairperson: Dra. Inez Staciardini Batista, Pesquisadora Titular, DEA**

**Membro do Comitê Institucional para Bolsas de Iniciação Científica - CIBIC**

- 10:00 - 10:20 Estudo das Variações Diurnas e Pulsações Geomagnéticas com Períodos entre 10 e 1000 s nas Regiões do Eletrojato Equatorial e Anomalia Magnética do Atlântico Sul  
Aluno: Alexsander Costa, UNITAU  
Orientadores: Dr. José Marques da Costa, Depto. de Matemática e Física, UNITAU  
Dr. Severino Luiz Guimarães Dutra, DGE/CEA.....45
- 10:20 - 10:40 Estudos do Campo Geomagnético e Estudos Fotométricos da Termosfera Utilizando Técnicas Digitais  
Aluno: Gustavo Cilento Moreschi, UNIVAP  
Orientador: Dr. José Humberto Andrade Sobral, Pesquisador, CEA.....47
- 10:40 - 11:00 Sensor RPA - Retarding Potential Analyser (Analisador de Potência Retardante)  
Aluno: Leandro Paulino Vieira, EEI  
Orientador: Dr. Polinaya Muralikrishna, Pesquisador, DAE/CEA.....49
- 11:00 - 11:20 Observação de Aeroluminescência Utilizando o Fotômetro Multicanal 2: Estudos de Ondas de Gravidade  
Aluna: Patrícia Almeida Silva, UNIVAP  
Orientador: Dr. Hisao Takahashi, Pesquisador, DAE/CEA.....51
- 11:20 - 11:40 Estudo de Perfis de Densidade Eletrônica e Temperatura Eletrônica Através da Análise de Dados de Foguetes  
Aluna: Daniela Cristina Santana, UNIVAP  
Orientador: Dr. Mangalatahyhl Ali Abdu, Pesquisador Titular, DAE/CEA.....53
- 11:40 - 12:00 Análise de Séries Temporais  
Aluno: Caio Teruo Hideshima, ITA  
Orientador: Dr. Daniel Jean Roger Nordeman, Pesquisador Titular, DGE/CEA.....55

**12:00 - 13:55 ALMOÇO**

**13:55 - 15:35 5ª Sessão Técnica -**

**Chairperson: Dr. Paulo Giácomo Milani, Tecnologista Sênior, DMC**

- 13:55 - 14:15 Geração de Plasmas Metálicos no experimento PCEN  
Aluno: Clênio Ricardo da Fonsêca Sobreira, ITA  
Orientador: Dr. Renato Dallaqua, Pesquisador, LAP.....59
- 14:15 - 14:35 Bobina de Rogowski para Medida de Corrente Pulsada de Plasma em Tokamaks  
Aluno: João Augusto Giacoia, ITA  
Orientador: Dr. Edson Del Bosco, LAP.....61
- 14:35 - 14:55 Anomalia da Atividade Convectiva Sobre a América do Sul  
Aluno: Fredy Alexandre Sargaço, UNIVAP  
Orientadora: Dra. Iracema F. A. Cavalcanti, Pesquisadora, CPTEC.....63

14:55 - 15:15	Previsão Estatística das Precipitações Diárias na Cidade de São Paulo Usando uma Única Radiossondagem Aluno: Roberto Rabelo Júnior, UNIVAP Orientador: Dr. Clóvis Angeli Sansigolo, Pesquisador, DCM.....	65
15:15 - 15:35	Aplicação do Algoritmo de Box e Hill para Discriminação entre Modelos Competitivos Aluno: Átila Madureira Bueno, UBC Orientador: Dr. Ralph Gielow, Pesquisador Titular, DCM.....	67
<b>15:35 - 15:50 INTERVALO PARA CAFÉ</b>		
<b>15:50 - 17:50 6ª Sessão Técnica -</b>		
<b>Chairperson: Dr. Jerônimo dos Santos Travelho, Pesquisador Titular, LAC</b>		
<b>Presidente do Comitê Institucional para Bolsas de Iniciação Científica - CIBIC</b>		
15:50 - 16:10	<i>Software</i> de Redução de Dados Telemétricos do Projeto MASCO Aluna: Érika Trench Sestari Orientador: Dr. Thyrso Vilela, Pesquisador, CEA.....	71
16:10 - 16:30	Dinâmica da Precipitação de Partículas na Região Antártica Durante Eventos Geomagnéticos Aluno: Caio Marcos Frank Pessotto, EEI Orientador: Dr. René A. Medrano Balboa, Pesquisador, CEA.....	73
16:30 - 16:50	Desenvolvimento de Chave de Polarização para o Espectrógrafo Decimétrico Aluna: Flávia Aparecida Corrêa, UNIVAP Orientador: Dr. H. S. Sawant, Pesquisador, DAS.....	75
16:50 - 17:10	Explosões Solares em Ondas Milimétricas (18-23 GHz): Tratamento e Análise de Dados Aluna: Eliana Soares de Andrade, UNIVAP Orientador: Dr. H. S. Sawant, Pesquisador, DAS.....	77
17:10 - 17:30	Desenvolvimento de <i>Software</i> para Formatação dos Dados da Experiência ORCAS-SACI-1 - Características dos Telescópios do Experimento ORCAS Aluno: Júlio Albuquerque Maranhão, ITA Orientador: Dr. Udaya B. Jayanthi, DAS.....	79
17:30 - 17:50	Avaliação de Integradores Numéricos Para Cálculo de Trajetórias de Veículos Espaciais Aluna: Áurea Aparecida da Silva, UNESP Orientador: Dr. Antonio F. Bertachini de Almeida Prado, Tecnologista, DMC..... Co-orientador: Dr. Othon Cabo Winter, Professor do Departamento de Matemática, FEG/UNESP	81
17:50 - 18:00	Encerramento	

# **1ª Sessão Técnica**

**01 de julho de 1997, 10:00 - 12:00**  
**Chairperson: Dr. Roberto Vieira da Fonseca Lopes**



# PROPAGAÇÃO DE ÓRBITA DE SATÉLITES ARTIFICIAIS USANDO RECEPTORES GPS (GLOBAL POSITIONING SYSTEM)

Bolsista do CNPQ/PIBIC: **André Rodrigo Boscolo Moraes**

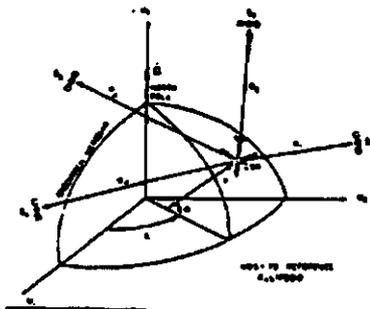
Aluno da Escola de Engenharia Industrial de São José dos Campos - EEI

Orientador: **Dr. Otávio S. C. Durão**, Divisão de Mecânica Espacial e Controle - DMC  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Propagação de órbita de satélites artificiais usando receptores GPS, propõe integrar órbitas adequando os satélites GPS aos seus respectivos posicionamentos e tempos. Para tal feito, implementou-se as principais perturbações agindo nos satélites GPS, afim de se obter um mínimo de precisão razoável nos resultados. Após, a perturbação devida à pressão de radiação solar e às que permitem a comparação entre as diversas perturbações das quais podem afetar o movimento dos satélites componentes da constelação GPS, implementou-se propriedades numéricas propostas por um algoritmo de navegação, visando um baixo-custo em receptores GPS, e que correspondem às modernas aplicações geodésicas atuais.

Receptores GPS de baixo-custo transmitem códigos pseudo-ranges decorrentes de dois sinais da banda, porém estas transmitem sinais a todos os usuários mundialmente cadastrados. A disponibilidade do equipamento provém de um pequeno receptor de transmissão pseudo-range e pseudo-range -rate. No entanto, este capta, simultaneamente quatro satélites, estimando assim, erros na ordem de 100 metros que o torna útil à navegação aérea, marítima e espacial (militar americano).

Dois computadores são utilizados na simulação aérea C5A. O primeiro, PROFGEN, é um perfil aéreo genérico desenvolvido pelo Laboratório de Aviação da Força Aérea dos Estados Unidos para uso do computador CDC 6600. Especifica as condições iniciais e uma série de dados de entrada envolvendo a aceleração lateral, inclinação do ângulo e mudança de grau. Integra numericamente as equações de movimento de quinta ordem, algoritmo Kutta-Mercer de passo variável. Os dados de saída do PROFGEN são especificados em intervalos de tempos que incluem a latitude, longitude, altitude, velocidade e os componentes de aceleração de acordo com a referência elíptica geodésica no sistema de coordenadas WGS-72. Estes dados de saída são armazenados, proporcionando assim, dados de entrada para o segundo programa, NAVSIM, que computa os posicionamentos dos satélites GPS em intervalos de tempos estimados.



(Simulação geométrica)

A resolução das posições de navegação dos satélites GPS, introduzindo o algoritmo de navegação aos programas computacionais citados acima, pode ser resolvida da seguinte forma:

Dados fornecidos pelo receptor.

Pseudo-Range ( $r_i$ ,  $i = 1 \rightarrow 4$ ).

Posição dos satélites usuários ( $u_i$ ,  $i = 1 \rightarrow 3$ ).

Posição dos satélites GPS ( $x_{ij}$ ,  $i \rightarrow 4$  e  $j \rightarrow 3$ ).

Determina-se:

Pseudo-Range calculado( $r_i, i = 1 \rightarrow 4$ ).

$$r_i = [(x_{i1} - u_1)^2 + (x_{i2} - u_2)^2 + (x_{i3} - u_3)^2]^{1/2} + b$$

Correção da posição desejada ( $\delta U_i, i = 1 \rightarrow 4$ ).

$$\delta r_i = r_i - r_i'$$

$$H_i = \{[(u_1 - x_{i1})/(r_i - b)] \cdot [(u_2 - x_{i2})/(r_i - b)] \cdot [(u_3 - x_{i3})/(r_i - b)] \cdot 1\}$$

$$\delta U_i = H_i^{-1} \cdot \delta r_i$$

Estima o posicionamento dos satélites.

Se  $\delta U_i > \varepsilon$

$$u_i = u_i + \delta U_i$$

Então retorna aos dados do receptor, configurando-se assim, integrações das posições em relação aos tempos.

Várias rotinas e funções, cedidas pela biblioteca Fortran de Mecânica Celeste, pertencentes ao Departamento de Mecânica Celeste (DMC), foram utilizadas no decorrer do projeto de Iniciação Científica. A mais importante subrotina a ser associada ao programa "Propagação de Órbita de Satélites Artificiais Usando Receptores GPS" é a matriz inversa ( $H^{-1}$ ), cujo método exposto segue as condições impostas por Gauss-Jordan.

Enfim, os procedimentos desenvolvidos servem de suporte ao algoritmo de navegação finalizando sua execução, obtendo futuros posicionamentos dos satélites em diferentes tempos desejados, dentro do escopo do projeto de Propagação de Órbitas do Sistema de Posicionamento Global conforme previsto.

Bibliografia:

H. F. Fliegel, T. E. Gallini e E. R. Swift "Global Positioning System Radiation Force Model for Geodetic Applications", Journal of Geophysical Research, Vol. 97, No. B1, pages 559-568, January 10, 1992.

P. S. Noe, K. A. Myers, e T. K. Wu "A Navigation Algorithm for the Low-Cost GPS Receiver", IEEE Trans on Aerospace and Electronic Systems, Vol. AES-12, pages 245-298, No. 2, March 1976.

Maximilian Emil Hell "Linguagem de Programação Estruturada Fortran 77", Editora McGraw-Hill.

# Elaboração de Catálogos Estelares Dedicados a Satélites Artificiais

Ana Stela Furlan Salles

Aluna da Universidade do Vale do Paraíba - Bolsa PIBIC/CNPq

Orientador: Dr. Roberto Vieira da Fonseca Lopes

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Divisão de Mecânica Espacial e Controle - DMC/ETE

Avenida dos Astronautas, 1758 - Caixa Postal 515, São José dos Campos, SP

As tecnologias atuais de micro processadores e de matrizes CCD já viabilizam a determinação autônoma precisa de atitude em satélites artificiais, baseada unicamente em sensores estelares, desde que estes possuam catálogos dedicados embarcados. Tratam-se de catálogos seletivos de estrelas guias, cujas características peculiares são de fundamental importância para a adequada identificação autônoma das estrelas observadas pelo satélite, dentro dos vínculos específicos de uma missão. Neste trabalho, estrelas guias foram selecionadas com o auxílio de um mapeamento especial.

Os objetivos do trabalho são: estabelecer características desejáveis de catálogos dedicados a satélites artificiais com base em requisitos de determinação autônoma de atitude; propor critérios de avaliação destas características que permitam selecionar estrelas a partir de um catálogo de referência; editar um catálogo protótipo; e mensurar o desempenho do processo resultante de determinação autônoma de atitude com base em dados de simulação, somando esforços ao projeto do sensor de estrelas do INPE.

Os resultados obtidos foram os seguintes:

1. Digitação de **Catálogo Fonte**, no início do trabalho, composto de coordenadas médias de estrelas até magnitude visual 5, fornecidas pelo Observatório Nacional (1), paralelamente a esforços para a obtenção de um catálogo estelar digital maior. Coordenadas de algumas estrelas polares foram também incorporadas ao catálogo fonte, com o auxílio do Norton's star atlas (2).
2. Simulação de um **Catálogo de Referência**, composto de uma grande quantidade de estrelas, através de interpolação fractal (3) das estrelas do **Catálogo Fonte**, suprimindo assim as necessidades da pesquisa enquanto não se dispunha dos catálogos digitais mais extensos que posteriormente foram obtidos (SKY 2000 e FK5). A interpolação foi feita num tipo de coordenadas especialmente desenvolvido no trabalho, que mapeia a esfera numa linha fractal fechada e que não se cruza, aqui denominada **casulo**.
3. Formulação dos seguintes critérios de seleção de estrelas (4) para compor o **Catálogo Dedicado** a partir do **Catálogo de Referência**:

- Uniformidade Global: é a distribuição homogênea em todo o céu. Em outras palavras, qualquer que seja a orientação do sensor no espaço, sempre devem haver estrelas em seu campo de visada.
- Variabilidade Local: as estrelas selecionadas devem formar, no campo de visada do sensor, constelações tais que pela sua geometria diferenciada minimize ambigüidades no processo de identificação.
- Estabilidade: são estrelas não variáveis, não duplas e que possuem baixo movimento próprio.
- Confiabilidade: são estrelas não muito próximas; não nebulosas; e não muito díspares em termos de faixa espectral e magnitude, reduzindo assim a margem de possibilidade de indução a interpretação errônea das observações do sensor.

4. Edição de um protótipo de **Catálogo Dedicado**, procurando atender prioritariamente aos dois primeiros critérios acima, que são os mais difíceis de serem satisfeitos. Dado que a identificação de estrelas em geral segue esquemas de comparação angular entre pares de estrelas observadas, a estratégia seguida foi selecionar as estrelas de tal modo que a distância de cada uma delas em relação à anterior e à posterior nas coordenadas **casulo** fosse homogeneamente distribuída. O propósito disto foi minimizar, de modo sistemático, a probabilidade de haverem duas triplas de estrelas com a mesma separação angular entre seus elementos, e portanto indistinguíveis no processo de identificação. No **Catálogo de Referência**, devido à aglomeração de estrelas na Via Láctea, em contraste com o resto do céu, ocorrem grandes concentrações de estrelas relativamente próximas e um número bem menor de estrelas esparsas.

Os resultados, obtidos através de programas desenvolvidos utilizando o MATLAB, demonstram o potencial da metodologia adotada no trabalho e representam um primeiro passo para futuros trabalhos que o aprimorem.

#### **Referências Bibliográficas:**

- (1) Efemérides Astronômicas 1996. Observatório nacional do Rio de Janeiro, 1996.
- (2) Norton, A.P. *Norton's star atlas*. Gall & Inglis Ltd., Edinburgh, Scotland, 17<sup>th</sup> ed., 1978.
- (3) Peltgen, H-O, Jürgens, H. and Saupe, D. *Chaos and fractals: new frontiers of science*. Springer-Verlag. N.York, 1992.
- (4) Vedder, J.D. "Star Trackers, Star Catalogs, and Attitude Determination: Probabilistic Aspect of System Design." *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*. Vol.16, No.3, May-June 1993.

# **IDENTIFICAÇÃO AUTÔNOMA DE ESTRELAS**

**Emanuella de Cássia Vicente**

**Aluna da UNIVAP - Universidade do Vale do Paraíba - São José dos  
Campos - SP  
Bolsa PIBIC - CNPq**

**Orientador: Dr. Roberto Vieira da Fonseca Lopes, Pesquisador,  
DMC - INPE**

Em trabalho anterior [1], desenvolvido pelo aluno Gustavo Baldo Carvalho, estudou-se o problema de identificação de estrelas com o auxílio de informações provenientes de sensores não estelares. Prosseguindo com aquele trabalho foi analisado o caso onde tal informação não é disponível. Assim, após extensa análise bibliográfica, a determinação de atitude em três eixos foi feita a partir somente de observações de sensores estelares. A simulação tomou por base o catálogo de estrelas do Observatório Nacional, supondo uma distribuição Gaussiana de erros nas medidas e utilizando o método de mínimos quadrados linearizados.

A identificação autônoma de estrelas foi realizada por um método baseado na comparação da separação angular entre pares de estrelas observadas com seus respectivos valores catalogados, segundo critério de matriz de notas[2].

A comparação entre os resultados obtidos foi feita a partir de estatísticas originadas do método de Monte Carlo, explorando diversas configurações em termos de concentração de estrelas e sua distribuição espacial.

## **Referências:**

- **1. Carvalho, G.B. 2º SICINPE, pags.15-21, maio, 27-28, INPE, São José dos Campos-SP;**
- **2. Van Bezooijen, R. W. H. Autonomous Star Referenced Attitude Determination. (AAS 89-003) Journal of Guidance, Control and Dynamics, Vol. 68, 1989, pp. 31-52.**

## MODELAGEM DE FORÇAS DE MARÉS ATUANTES EM SATÉLITES GPS

Christiano dos Santos Mendes Pereira  
Aluno do Instituto Tecnológico de Aeronáutica -Bolsa  
PIBIC/CNPq  
Orientador: Dr. Hélio Koiti Kuga, Pesquisador  
Divisão de Mecânica Espacial-INPE

A modelagem de forças de marés constitui um importante passo para a modelagem das forças totais atuantes num satélite GPS. Modelos de forças gravitacionais e não gravitacionais atuantes já foram desenvolvidos, inclusive a nível de rotinas para cálculo de propagação de órbita de satélite. As fontes de distorção das forças gravitacionais são a não esfericidade da terra e a atração das marés.

O modelo utilizado neste trabalho baseia-se em correções nos harmônicos esféricos do geopotencial da terra. As correções dos coeficientes devido aos efeitos de marés terrestres, marés polares e devido ao tratamento de marés permanentes, são feitas separadamente.

A computação das contribuições das marés terrestres nos coeficientes do geopotencial é melhor feita se dividida em dois passos. No primeiro passo a parte (2m) do potencial de maré é computada no domínio do tempo para cada m, usando-se as efemerides do sol e da lua, e as correspondentes correções  $\Delta C_{2m}$  e  $\Delta S_{2m}$  são computadas usando-se os valores nominais  $K_{2m}$  independentes da frequência para os respectivos  $K_{2m}^{(0)}$  (dependentes da frequência). Da mesma forma calculam-se as contribuições das marés terrestres de grau 3 nos coeficientes  $C_{3m}$  e  $S_{3m}$  através de  $K_{3m}^{(0)}$  e as contribuições das marés de grau 2 nos coeficientes  $C_{4m}$  e  $S_{4m}$  através de  $K_{2m}^{(+)}$ , ambas estas independentes da frequência.

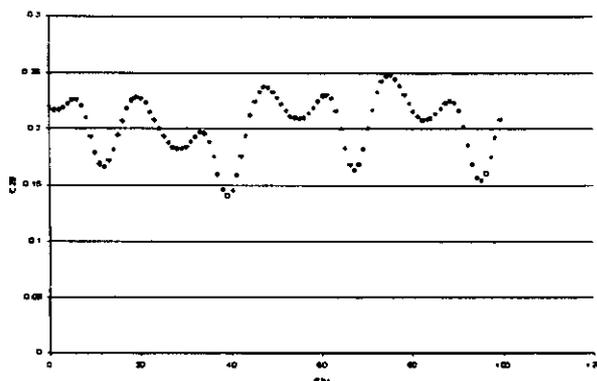
Num segundo passo corrigem-se os desvios de  $K_{21}^{(0)}$  da constante nominal  $K_{21}$  assumida no primeiro passo, para várias frequências constitutivas da banda de variação diária de marés. Estes desvios são devido a consideração de inelasticidade da terra. Também devem ser calculados os desvios de  $K_{20}^{(0)}$  e  $K_{22}^{(0)}$  das constantes nominais  $K_{20}$  e  $K_{22}$ , respectivamente.

Marés polares são geradas pelo efeito centrífuga do movimento polar. As deformações que constituem estas marés, produzem perturbações no potencial externo que equivalem a correções nos coeficientes  $C_{21}$  e  $S_{21}$  do geopotencial. Estas correções são calculadas através de fórmulas dependentes das coordenadas dos polos.

O tratamento de marés permanentes deve-se ao fato de o grau 2 do potencial gerador de marés ter um valor médio (média temporal) diferente de zero. Este potencial permanente produz uma deformação permanente que reflete na figura estática da terra, e corresponde a uma contribuição independente do tempo no geopotencial. Esta contribuição possui valor constante e pode ser adotada como parte do valor adotado para  $C_{20}$ .

Para simulação das contribuições totais de marés para cada coeficiente, tomou-se vários intervalos de tempo diferentes para ilustrar melhor estas contribuições. No exemplo abaixo tem-se a variação no coeficiente  $C_{20}$  para o intervalo de tempo de um dia durante cem dias.

Com a rotina que corrige os coeficientes dos harmônicos esféricos do geopotencial, poder-se-á determinar as acelerações geradas pelas forças gravitacionais num satélite GPS, incluindo os efeitos de marés, o que possibilita, através de integradores, a determinação do desvio do satélite de sua órbita.



**Figura 1:** Variação de  $C_{20}$  ( $\times 10^8$ ) em função do tempo em horas, tomando-se como início 12 horas do dia 01/01/1997.

Warh, J.M., "The Forced Nutations of na Elliptical, Rotating, Elastic and Oceanless Earth." *Geophys. J. Roy. Aston. Soc.*, 64, pp. 705-727., 1981

McCarthy, D.D., (ed.). IERS TECHNICAL NOTE 21. (Chp 5-6). IERS Conventions (1996)

## **MODELAMENTO DE SATÉLITES ARTIFICIAIS RÍGIDO/FLEXÍVEIS**

**Alexandre Bizarro Fernandes**

**Aluno da Escola de Engenharia Industrial de São José dos Campos**

**Bolsa PIBIC**

**Orientador: Dr. Luiz Carlos Gadelha de Souza, Pesquisador da Divisão de Mecânica Espacial e Controle**

**Avenida dos Astronautas, 1.758 - Caixa Postal 515**

Em geral um satélite precisa apontar, através de uma manobra de atitude, ou ficar apontado para uma determinada região do espaço. Como exemplo, muitos satélites precisam ficar apontados para a Terra. Outros satélites apontam uma face na direção do sol ou certas estrelas de interesse, outros ainda são projetados para apontar primeiro para um objeto e depois para algum outro. Frequentemente parte do satélite (uma antena de comunicação) deve apontar para a região da Terra, enquanto outra parte (um painel solar) deve apontar para o sol. Para se atingir os objetivos da missão, a estabilização da atitude e o sistema de controle são partes importantes do projeto do satélite.

A definição de satélite rígido/flexível está associada às diferentes partes móveis que constituem o satélite. Por exemplo, um painel solar, uma roda de reação ou mesmo um amortecedor de nutação.

A maioria dos veículos espaciais exige a execução de movimentos de atitude que ajustam o vetor do momento angular durante pelo menos uma fase de sua missão. Muitos desses veículos estarão rodando durante parte ou todo o seu tempo de vida no espaço.

Para satélites estabilizados por rotação é praticamente mandatório a inclusão de um amortecedor de nutação passivo ou ativo. Os amortecedores passivos são muito eficientes e confiáveis além de requerer pouca massa e espaço. Os amortecedores de nutação têm a função de alinhar o eixo de "spin" com o vetor quantidade de movimento angular, amortecendo assintoticamente movimentos de cone originados por perturbações ambientais ou torques de manobra e/ou controle de atitude.

Deseja-se sempre obter um mínimo tempo de amortecimento. Isto pode ser atingido ajustando o amortecedor, variando-se certos parâmetros. Entretanto, não é aconselhável regular o amortecedor muito precisamente, conforme as tolerâncias de fabricação, mudanças da taxa de rotação e variações de temperatura aumentariam demais uma variação na constante de tempo de amortecimento e podem algumas vezes tornar os amortecedores instáveis e, portanto, inúteis.

Um dos amortecedores de nutação mais utilizados é o tipo massa-mola, o qual contém uma fonte e uma massa deslizadora, com uma caixa fixada rigidamente no corpo do satélite. A aceleração linear ao longo do tubo é usada como uma função forçada para o amortecedor.

A dissipação de energia vem de uma fricção estática ou dinâmica resultando um amortecimento da nutação. Na determinação do projeto desse tipo de amortecedor deve-se levar em conta a velocidade de "spin" e as propriedades de inércia do veículo.

Neste trabalho determina-se as equações de movimento de um satélite rígido/flexível, considerando em particular um amortecedor de nutação, para isso utilizamos primeiramente o "software" MATCAD para obtenção das equações do movimento do amortecedor, considerando fatores como a posição de sua massa deslizante em função do tempo, os momentos de inércia do satélite e a dissipação de energia proveniente desse movimento.

Através destas equações estabelecemos algumas restrições para os parâmetros desse amortecedor, as quais foram utilizadas na simulação realizada posteriormente, utilizando a linguagem FORTRAN.

Os resultados dessa simulação puderam ser observados utilizando o aplicativo "GRAPHER FOR WINDOWS".

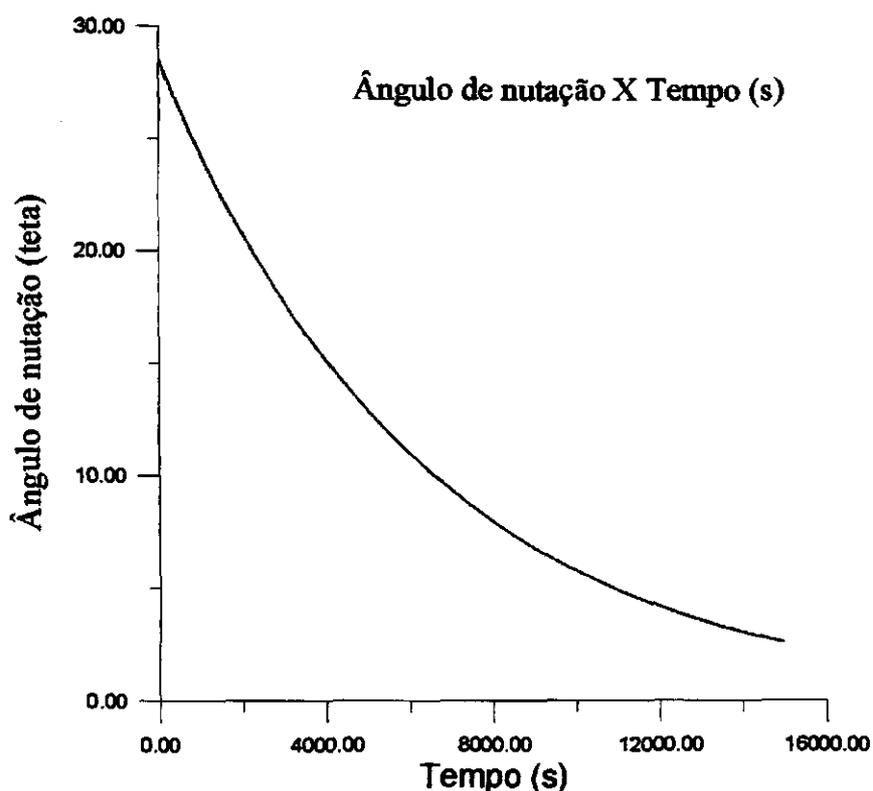
Observamos que com certos parâmetros o amortecedor de nutação não conseguia impor seu papel preestabelecido, assim, o satélite mantinha seu movimento indesejado.

Tivemos então que variar os parâmetros do amortecedor, tais como: constante elástica da mola, coeficiente de atrito viscoso, velocidade de "spin" e massa deslizante.

Alguns parâmetros conseguiam fazer com que o movimento indesejado fosse eliminado, porém o tempo gasto para realização de tal objetivo era muito além do que se esperava.

Com as restrições anteriormente citadas, estabelecidas a partir da análise das equações do movimento, pudemos enfim encontrar os parâmetros os quais se encaixam melhor nesse tipo de amortecedor, considerando evidentemente os parâmetros do satélite utilizado.

O amortecimento do ângulo de nutação com a utilização desses parâmetros é apresentado a seguir:



**Figura 01** - Amortecimento do ângulo de nutação em função do tempo.

- 1- Malik, N.K.. ISRO-ISAC-TN-06-77.
- 2- Junkis, J. L. e Kim, Y, Introduction to dynamics and control of flexible structures, AIAA - Education Series, USA, 1.993. ISBN 1-56347-054-3
- 3- Inman, D. J.; Vibration with control measurement and stability, Prentice Hall Ed., USA, 1.989. ISBN 0-13-941642-0.

## ESTUDO DE MANOBRAS ORBITAIS MULTI-IMPULSIVAS

Gislaine de Felipe

Aluna da Universidade de Taubaté - Bolsa PIBIC/CNPq  
Orientador: Dr. Antonio F. Bertachini de Almeida Prado  
Pesquisador da Divisão de Mecânica Espacial e Controle  
Avenida dos Astronautas, 1758 - Caixa Postal 515

Este trabalho estuda o problema de transferências entre duas órbitas coplanares elípticas que extremizam o impulso aplicado (consumo de combustível).

Efetuar uma transferência orbital significa transladar um veículo espacial de um ponto para outro no espaço, entre órbitas diferentes.

A transferência torna-se necessária quando ocorrem desvios nos parâmetros nominais da órbita do satélite, fazendo com que o mesmo se encontre em uma trajetória diferente da pré-estabelecida. Esta transferência também pode estar prevista na própria missão, pois é em geral mais fácil colocar um satélite em uma órbita intermediária e depois transferi-lo para a órbita desejada, do que tentar colocá-lo diretamente na órbita pretendida.

O problema de transferências ótimas (no sentido de redução de consumo de combustível) entre duas órbitas coplanares Keplerianas tem sido investigado há mais de 40 anos. Em particular, muitos artigos resolvem este problema para um sistema de controle impulsivo, com um número fixo de impulsos. A literatura apresenta muitas soluções para casos particulares, como as transferências de Hohmann e Hoelker-Silber entre duas órbitas circulares e suas variantes para elipses com geometrias particulares.

Neste trabalho, são implementados e testados os métodos que fornecem a solução deste problema para uma transferência entre duas órbitas coplanares elípticas com dois ou três impulsos. Outra questão analisada é o ângulo de transferência para a manobra bi-impulsiva.

Os resultados mostram que a transferência bi-impulsiva é vantajosa para transferências envolvendo mudanças apenas no argumento do perigeu e/ou na excentricidade. Já a manobra tri-impulsiva é sempre vantajosa quando a manobra altera apenas o semi-eixo maior da órbita. Nos casos onde o semi-eixo maior é alterado juntamente com o argumento do perigeu ou com a excentricidade, a decisão sobre qual a melhor manobra tem que ser feita, caso a caso, conforme mostrado nas tabelas 1 à 6. Essas tabelas mostram apenas parte dos resultados obtidos, já que não existe espaço suficiente para todos os resultados obtidos. Os símbolos utilizados são:  $a$  = semi-eixo maior,  $e$  = excentricidade,  $\omega$  = argumento do perigeu,  $\Delta V_{bi}$  = Variação da velocidade na transferência bi-impulsiva,  $\Delta V_{tri}$  = Variação da velocidade na transferência tri-impulsiva,  $\sigma$  = ângulo de transferência para a manobra bi-impulsiva,  $\Delta VD = |\Delta V_{bi} - \Delta V_{tri}|$ .

Do ponto de vista de ângulo de transferência da manobra bi-impulsiva, os resultados mostram que todas as manobras que envolvem excentricidade possuem como solução  $\sigma$  igual a  $180^\circ$ , bem

como manobras que alteram somente o semi-eixo maior. Manobras que alteram somente o argumento do perigeu ou o argumento do perigeu e o semi-eixo maior possuem soluções com  $\sigma$  diferente de  $180^\circ$  a menos que  $\omega_i = 0^\circ$  e  $\omega_f = 180^\circ$ .

LAWDEN, D.F., "Optimal Transfers Between Coplanar Elliptical Orbits", *J. of Guidance Control and Dynamics*, Vol. 15, nº3, 1991, pp.788-791.

PRADO, A.F.B.A., "Optimal Transfer and Swing-By Orbits in the Two and Three-Body Problems", Ph.D. Dissertation, University of Texas, Austin, TX, USA, 1993.

ZANARDI, M.C.F.P.S., "Fundamentos da Astronáutica", Apostila do Instituto Técnico Aeroespacial (ITA), São José dos Campos, SP, 1988.

Tabela 1. Manobras que alteram somente  $\omega_f$

$e_i$	$e_f$	$\omega_f$	$\Delta V_{\Delta}$	$\Delta V_{\Delta}$	TIn	$\Delta VD$	$\sigma$
0.2	0.2	60°	0.0987	0.4082	7.6758	0.3094	168
0.2	0.2	120°	0.1679	0.4082	9.0517	0.2403	172
0.2	0.2	180°	0.1927	0.4082	10.4276	0.2155	180
0.2	0.2	240°	0.1681	0.4082	11.8035	0.2401	172
0.2	0.2	300°	0.0990	0.4082	13.1793	0.3092	168
0.4	0.4	60°	0.2004	0.8728	8.0338	0.6724	152
0.6	0.2	60°	0.3149	1.5000	8.4183	1.1851	134

Tabela 2. Manobras que alteram somente  $e_f$

$e_i$	$e_f$	$\Delta V_{\Delta}$	$\Delta V_{\Delta}$	TIn	$\Delta VD$
0.0	0.020	0.0099	0.0202	6.2057	0.0103
0.0	0.800	0.4305	2.0000	2.9279	1.5695
0.2	0.300	0.0510	0.5462	5.8334	0.4952
0.2	0.500	0.1557	0.9155	4.9370	0.7598
0.2	0.800	0.3472	2.1835	3.6896	1.8413

Tabela 3. Manobras que alteram  $\omega_f, e_f$

$e_i$	$e_f$	$\omega_f$	$\Delta V_{\Delta}$	$\Delta V_{\Delta}$	TIn	$\Delta VD$
0.0	0.3	60°	0.1473	0.3628	5.9373	0.2155
0.0	0.3	300°	0.3147	0.3628	10.1703	0.0480
0.0	0.5	120°	0.2484	0.7321	6.1853	0.4837
0.2	0.3	120°	0.2108	0.5463	8.5852	0.3354
0.2	0.5	180°	0.3338	0.9155	9.0647	0.5817

Tabela 4. Manobras que alteram  $\omega_f, a_f$

$e_i$	$\omega_f$	$\Delta V_{\Delta}$	$\Delta V_{\Delta}$	$\Delta VD$	TIn	$\sigma$
2.0	60°	0.2719	0.1849	0.0870	11.8118	144
2.0	300°	0.2719	0.1849	0.0558	17.3153	156
5.0	60°	0.4385	0.4615	0.0230	27.7878	146
5.0	120°	0.463	0.4615	0.0014	29.1637	156
5.0	300°	0.4601	0.4615	0.0014	34.6673	180
5.0	240°	0.4631	0.4615	0.0015	31.9154	156
10.0	60°	0.4742	0.6219	0.1477	63.5310	168
30.0	120°	0.4879	0.7856	0.2977	284.5228	170

Tabela 5. Manobras que alteram  $e_f, a_f$

$e_i$	$a_f$	$e_f$	$\Delta V_{\Delta}$	$\Delta V_{\Delta}$	TIn	$\Delta VD$
0.2	2.0	0.3	0.25136	0.21875	9.3380	0.0326
0.2	2.0	0.5	0.21375	0.40825	7.2682	0.1945
0.1	2.0	0.3	0.25342	0.17716	8.8045	0.0763
0.1	2.0	0.5	0.21792	0.32021	6.7783	0.1023
0.0	2.0	0.2	0.27045	0.13397	9.3380	0.1365
0.0	2.0	0.5	0.22475	0.22475	6.300	0.0000
0.0	2.0	0.6	0.26663	0.41421	5.3790	0.1476
0.2	5.0	0.5	0.37614	0.31341	15.8525	0.0627
0.1	5.0	0.2	0.44119	0.45467	25.6537	0.0135
0.1	5.0	0.3	0.42629	0.39294	21.9751	0.0333
0.0	5.0	0.5	0.40950	0.26274	14.5847	0.1467
0.1	50.0	0.8	0.41008	0.57813	82.3720	0.1681

Tabela 6. Manobras que alteram somente  $a_f$

$e_i$	$a_f$	$e_f$	$\Delta V_{\Delta}$	$\Delta V_{\Delta}$	TIn	$\Delta VD$
0.00	1.2	0.00	0.0869	0.0871	7.2682	0.0002
0.00	5.0	0.00	0.4800	0.5527	32.7357	0.0727
0.05	1.1	0.05	0.0463	0.0511	6.7541	0.0048
0.05	1.2	0.05	0.0865	0.0490	7.2187	0.0374
0.05	2.7	0.05	0.3625	0.3608	15.3094	0.0017
0.05	2.8	0.05	0.3709	0.3723	15.9168	0.0014
0.05	3.5	0.05	0.4161	0.4386	20.3827	0.0225
0.10	1.1	0.10	0.4611	0.1495	6.7299	0.3116
0.10	1.2	0.10	0.0859	0.1046	7.1693	0.0187
0.10	1.3	0.10	0.1206	0.0947	7.6178	0.0259
0.10	3.3	0.10	0.3959	0.3938	18.2888	0.0021
0.10	3.4	0.10	0.4013	0.4028	18.8988	0.0015
0.10	20.0	0.10	0.4980	0.7551	185.9283	0.2571
0.20	1.3	0.20	0.1176	0.2576	7.4673	0.1400
0.20	3.3	0.20	0.3755	0.3350	16.7607	0.0405
0.20	3.5	0.20	0.3848	0.3545	17.8190	0.0302

## **2<sup>a</sup> Sessão Técnica**

**01 de julho de 1997, 13:55 - 15:35**  
**Chairperson: MSc. Mário César Ricci**



# **TÉCNICAS DE PREPARAÇÃO DE SUPERFÍCIE PARA ESTUDOS DE NUCLEAÇÃO DE DIAMANTE-CVD**

Mary Christiane Pinto

Aluna da Escola de Engenharia Industrial - Bolsa PIBIC / CNPq

Orientadora : Nélia Ferreira Leite

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Laboratório Associado de Sensores e Materiais - LAS

Avenida dos Astronautas, 1758 - Caixa Postal 515

São José dos Campos, SP

O tema de estudo é o crescimento de filmes de diamante em diversos materiais, entre eles a liga Ti6Al4V, através do processo CVD - Deposição Química da Fase Vapor ( do inglês Chemical Vapor Deposition ).

O amplo uso do titânio e de suas ligas estão baseados, em primeiro lugar, em duas características muito importantes : alta relação resistência por peso e excelente resistência à corrosão. A relação resistência por peso do titânio favorece sua utilização como material estrutural básico para aeronaves e aplicações aeroespaciais em geral [1]. O Ti6Al4V possui uma baixa resistência ao desgaste, por esse motivo a adição de um filme fino de diamante por CVD pode oferecer uma vida prolongada à este material em muitas aplicações.

O tratamento e a preparação da superfície do substrato é de grande importância na nucleação e demais características do filme de diamante depositado sobre o Ti6Al4V, como tem sido verificado em outros tipos de substratos[2].

A limpeza de uma superfície é realizada por vários métodos, tais como lavagem com solventes, aquecimento, tratamento com plasma, polimento abrasivo ou químico. Cada um é estendido para uma determinada aplicação, sendo a limpeza uma operação muito difícil e delicada.

A limpeza com ultra-som é um método vantajoso na remoção de contaminantes que aderem fortemente à superfície, sendo usado juntamente com os solventes. Este processo produz uma ação de limpeza física intensa e é, portanto, uma técnica muito eficaz para retirar partículas vinculadas à superfície.

Para se alcançar a limpeza da superfície do substrato devem ser usadas combinações de diversos métodos de limpeza, afim de proporcionar a eficácia da limpeza, assegurar as características da superfície e a viabilidade dos métodos à nível econômico e satisfatórios para uma boa taxa de nucleação e crescimento do filme de diamante.

O Ti6Al4V é um material que não adquire superfície de aspecto espelhado através do processo de polimento abrasivo. Com base em pesquisas, o ácido oxálico ( $C_2H_2O_4$ ) é um solvente orgânico que garante a limpeza e o aspecto espelhado da superfície do Ti6Al4V, que são de extrema importância no crescimento do filme de diamante sobre esta superfície.

Em estudos anteriores[3], verificou-se que o polimento químico, com ácido oxálico, melhorou consideravelmente a taxa de nucleação do filme de diamante com relação ao polimento abrasivo, com água.

Neste estudo, verificou-se a influência da pasta de diamante e da alumina, utilizadas nos métodos de polimento, na taxa de nucleação do filme de diamante.

Para tanto, desenvolveu-se quatro técnicas de preparação da superfície do substrato Ti6Al4V, utilizando métodos de polimento abrasivo e de polimento químico com pasta de diamante ( $3\mu m$  e  $6\mu m$ ) e pó de alumina ( $2\mu m$  e  $5\mu m$ ) nos dois métodos.

Verificou-se, então, que dentre as quatro técnicas desenvolvidas a que apresentou melhores resultados foi a técnica com polimento químico e pasta de diamante.

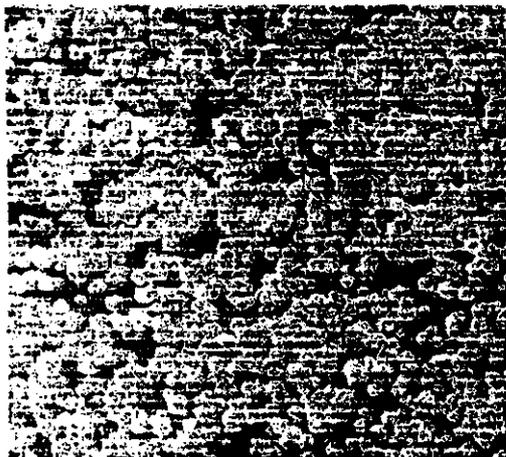
Tal técnica é realizada através dos seguintes passos :

⇒ Lixas : 320, 400 e 600 com água destilada

- ⇒ Lixa : 1000 com ácido oxálico
- ⇒ Banho de ultra-som em acetona por  $\pm$  5min
- ⇒ Polimento em ácido oxálico e pasta de diamante 6 $\mu$ m
- ⇒ Polimento em ácido oxálico e pasta de diamante 3 $\mu$ m
- ⇒ Banho de ultra-som em acetona por  $\pm$  5min

Em todas as técnicas de preparação da superfície foram utilizados substratos em formato cilíndrico com aproximadamente 8mm de diâmetro e 2mm de espessura. O crescimento foi realizado a uma temperatura de 600°C, pressão de 50torr, fluxo de 100sccm e uma atmosfera de 98,5% de H<sub>2</sub> e 1,5% de CH<sub>4</sub>. O filme foi crescido por processo CVD (Deposição Química da Fase Vapor) assistido por filamento quente. Utilizou-se um reator sob vácuo com dois filamentos de tungstênio de 150 $\mu$ m, dispostos paralela e horizontalmente em relação ao centro do substrato, considerando uma distância de 6mm do substrato. A temperatura foi medida através de um termopar e, o controle da mistura foi efetuado por fluxímetros calibrados DATAMETRICS modelo Controller 1605.

Foi verificado através de Microscopia Eletrônica de Varredura-MEV, que a taxa de nucleação do filme de diamante é consideravelmente maior, para um mesmo tempo de deposição, em substratos tratados com polimento químico e pasta de diamante, conforme é mostra do nas figuras 1 e 2.



**Fig.1 - Crescimento com polimento químico e alumina; tempo : 1h30min**



**Fig.2 - Crescimento com polimento químico e pasta de diamante; tempo : 1h30min**

- 1 - "Introduction to Titanium and its Alloys", "Relation of Properties to Processing for Wrought Titanium Alloys", "Properties of Titanium and Titanium Alloys", "Titanium Castings and Corrosion Resistance of Titanium", "Metals Handbook", Ninth Edition, Vol.3, "Properties and Selection Stainless Steels", "Tool Materials and Special-Purpose Metals", American Society for Metals, 1980, pp. 353-417.
- 2 - Trava-Airoldi, Vladimir J., Corat E. J., Baranauskas, V., Diamond CVD : Emerging Technology for Tooling Applications - Advanced Ceramic Tools for Machining Application - III, Accepted to be published.
- 3 - Pinto, Mary C., Relatório parcial de atividades PIBIC, (1996).

## EFEITO DE ULTRASSOM NA CORROSÃO ANISOTRÓPICA DE SILÍCIO EM KOH

bolsista: Adriano Nicola Rios-LME, EPUSP

orientador: José Roberto Sbragia Senna, LAS, INPE

**Introdução:** A corrosão de Silício monocristalino por soluções de KOH é muito usada na fabricação de sensores e dispositivos micromecânicos de Silício. A característica que torna essa solução útil é a de que a taxa de corrosão depende do plano cristalino sendo corroído. Assim, formas bem definidas podem ser obtidas, usando máscaras que expõem determinados planos cristalinos à corrosão [1]

A presente pesquisa foi motivada por um resultado apresentado na literatura [2], em que o autor alegava ter obtido um aumento da taxa de corrosão de silício em solução de KOH, por imersão em ultrassom de potência não especificada, porém citando o uso de "um reator de limpeza de 20 KHz".

**Método:** Duas seqüências de experimentos estão em andamento: a determinação da taxa de ataque de um conjunto de planos completo de planos cristalinos, na presença ou não de ultrassom, mantendo todas as outras condições idênticas, e a determinação da influência do ultrassom na qualidade das superfícies (100) obtidas.

Resultados preliminares sobre a corrosão de silício com ultrassom mostraram uma taxa de aumento pequena (da ordem de 10% a 20%) na taxa de corrosão. Como a determinação da taxa de ataque dos vários planos depende da confecção de duas máscaras já desenhadas e encomendadas, mas que ainda não foram entregues, estamos no momento determinando o efeito do ultrassom na qualidade das superfícies (100) de amostras não mascaradas.

Em ambos os casos serão feitas medidas para cobrir uma gama de concentrações, temperaturas e profundidades: Concentrações de 14%, 20% e 30%; temperaturas 40 C, 60 C e 80 C; e profundidades 2, 30 e 100 microns; e com e sem o ultrassom ligado.

**Aparato:** Utilizamos como reator um bequer de 1 litro parcialmente imerso em um banho de ultrassom Thornton, de 240 Watts a 25 kHz. No banho de ultrassom circula água com temperatura controlada com precisão de 0.01°C por um banho termostático recirculante (Fisher Scientific).

O bequer continha, além de aprox 600 ml de solução de KOH, um sensor de temperatura PT-100 revestido de Teflon (conectado a um indicador digital Omega DP41-TC), uma pá agitadora de Teflon acionada por um pequeno motor elétrico, e um suporte de Teflon no qual a amostra a ser corroída é colocada. Além disso contém na parte superior uma serpentina de Polietileno por onde circula água de resfriamento, e que serve como condensador.

**Taxas de Corrosão:** O método baseia-se no efeito geométrico de que superfícies concavas tem uma forma limitada por planos de corrosão lenta e superfícies convexas são limitadas por planos de corrosão rápida. As máscaras de corrosão consistem em tiras orientadas em ângulos variando de um em um grau em torno do eixo perpendicular à superfície da lâmina (100) como mostrado na Fig.1. Numa primeira etapa, será corroída apenas a região "A" expondo assim para cada ângulo, o plano mais lento "L". Numa segunda etapa a região "B" também é corroída, permitindo assim o surgimento do plano rápido "R" compreendido entre "L" e (100). Esta evolução é mostrada na Fig.2.

Da medida das dimensões geométricas usando microscópio óptico e perfilômetro teremos para cada  $\phi$  a velocidade de corrosão de dois planos com ângulos  $\Theta$  e  $\Theta'$ , e poderemos construir um diagrama polar tridimensional das taxas de corrosão.

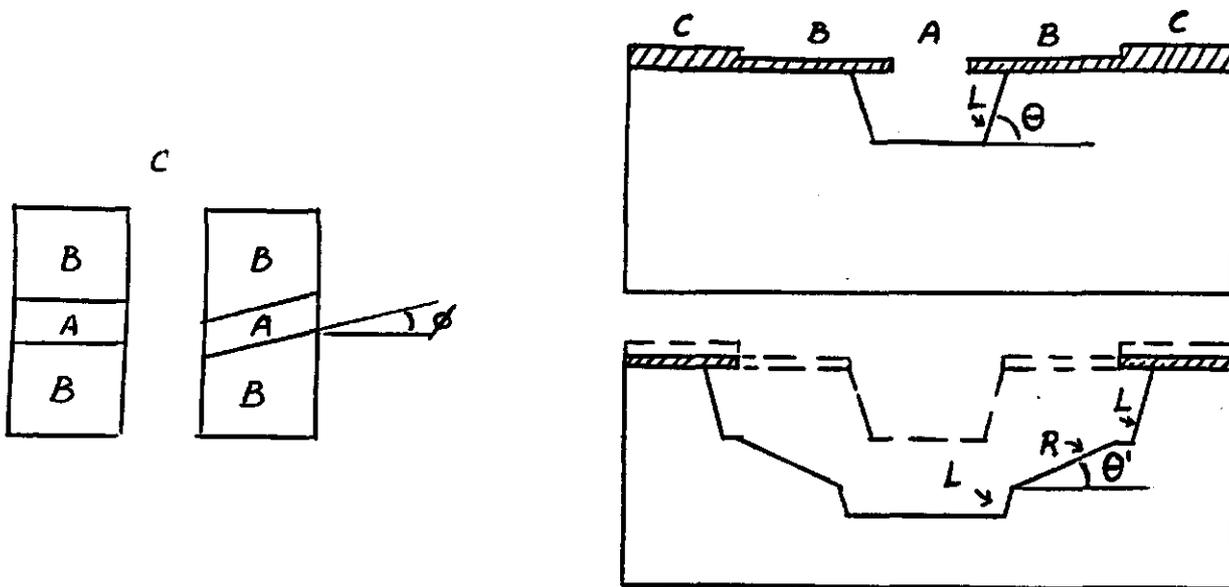


Fig 1

Fig 2

### Acabamento da superfícies:

As amostras são quartos de lâminas de silício (100) tipo p, de 1-10 Ohm-cm. A preparação das amostras consiste em uma limpeza RCA completa, seguida de imersão em HF 10% (por 2min) e secagem com nitrogênio. Depois disso a amostra é colocada no suporte de teflon, e levada ao reator. No caso das corrosões curtas, a mostra é pré-aquecida em água DI à temperatura de corrosão, antes de ser inserida no reator.

Imediatamente após a amostra ser retirada do reator, a mesma é colocada em uma solução (1:10) de ácido acético e água com o objetivo de interromper imediatamente a corrosão. Finalmente a amostra é deixada em água DI corrente por aproximadamente dois minutos e secada com nitrogênio. A rugosidade da superfície é medida por perfilometria mecânica e pela refletividade óptica das superfícies

**Resultados:** A Fig 3 mostra espectros do quociente (Refletancia Difusa/Refletancia Especular+Difusa) para algumas corrosões feitas até agora. Sistemáticamente, esse quociente é menor para as amostras corroídas na presença de ultrassom. A diferença de qualidade tende a diminuir com o aumento da concentração de KOH, o que levanta a suspeita de que talvez o ultrassom não seja suficiente para melhorar o acabamento das melhores superfícies. No entanto, conclusões devem aguardar a finalização de todas as medidas.

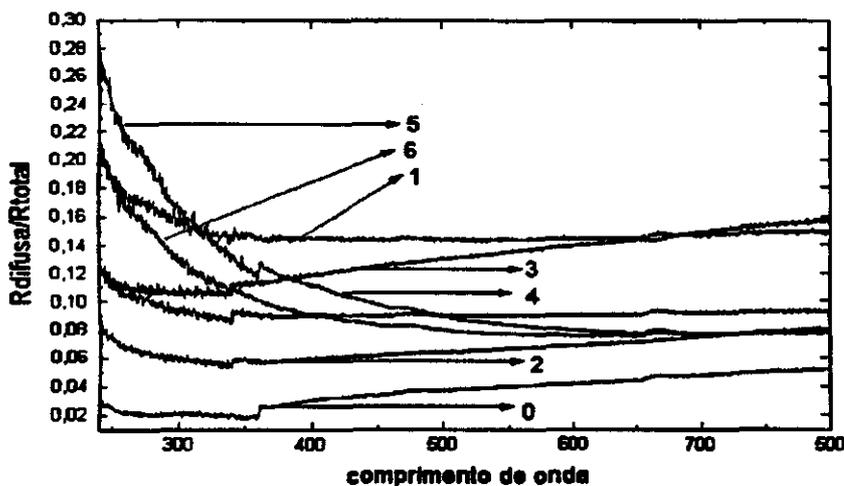


Fig 3: 0-não corroída; outras: KOH 20%: 1,2 :40 C, 17 min; 3,4: 60 C, 4,5 min; 5,6: 80 C, 1,5 min. 1,3,5: sem ultrassom; 2,4,6: com ultrassom.

1. J.B.Angell, S.Terry, P.W.Barth, Scientific American 248, 36-48 (1983)
- 2.A.Kuntman, J.Mat Science Letters 11,1274-1275 (1992)

## ESTUDOS DE CRESCIMENTO DE DIAMANTE - CVD

Elaine Cristina Goulart

Aluna da Escola de Engenharia Industrial - Bolsa PIBIC / CNPq

Orientador: Dr. Vladimir Jesus Trava-Airoldi, Pesquisador

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Laboratório Associado de Sensores e Materiais - LAS

Avenida dos Astronautas, 1758 - Caixa Postal 515

São José dos Campos - SP

O grupo de crescimento de filmes de diamante-CVD do LAS/INPE, tem acompanhado os estudos e desenvolvimento mundiais de perto, tendo conseguido resultados atraentes a nível nacional e internacional[1,2]. A curiosidade científica tem estado presente com estudos que buscam o entendimento dos possíveis mecanismos envolvidos com o processo CVD("Chemical Vapor Deposition") [3,4]. No campo tecnológico, tem-se conseguido empenhar grande esforço buscando a formação de recursos humanos e mais recursos financeiros, com o objetivo de se colocar esse material, de grande interesse econômico, ao alcance da indústria brasileira, nas mais diversificadas formas de aplicações, como está descrito na Referência 1.

O objetivo do grupo é estar presente na aplicação da indústria mecânica que é bastante atraente, devido a possibilidade do uso em ferramentas de corte como camadas protetoras, como camada anti-atrito em juntas espaciais, especialmente as de satélites, em motores automotivos e aeronáuticos, proteção de superfícies para ambientes agressivos, etc. Aplicações ópticas e da área médica são, também, prioridades. Sendo assim, o objetivo desse trabalho, está voltado para a área da indústria, principalmente a mecânica. Com o estudo das diferentes formações morfológicas, obteve-se o conhecimento para desenvolver um apalpador mecânico de alta durabilidade, visto que os apalpadores mecânicos utilizados atualmente, possuem baixa resistência ao desgaste. Este apalpador tem interesse direto da indústria de controle da qualidade que operam com alta tecnologia de materiais e processamento destes.

Para o crescimento do filme de diamante, que posteriormente deve ser soldado no material do apalpador, utilizou-se a técnica assistida por filamento quente, que compreende de um filamento de tungstênio de 300 $\mu$  de diâmetro em forma de espiras, colocado acima do substrato a uma temperatura entre 2000 e 2500°C. Dentro do reator que é uma pequena câmara em vidro pyrex em baixa pressão, cerca de 50 Torr, coloca-se uma mistura de gás metano diluído em hidrogênio (2% vol.). Esse meio ativo transforma as moléculas desses gases em radicais de hidrogênio e radicais contendo carbono, que através de reações químicas de superfícies dão início ao crescimento do filme de diamante.

O material do substrato utilizado foi o molibdênio já com a forma de uma canaleta, que é a forma utilizada em determinados tipos de apalpadores. Foram feitas várias tentativas de obter o filme auto-sustentado nesta forma, desenvolvendo os parâmetros ideais para o crescimento do filme em formas que não sejam em superfícies planas. O reator foi mantido funcionando sem interrupções durante cerca de 100 horas em condições estáveis, de forma que foi obtido um filme de cerca de 200  $\mu$ m de espessura. Depois de obtido o filme de diamante, o molibdênio é dissolvido por ataque químico e o filme de diamante fica auto-sustentado. O próximo passo foi o de processar o filme de diamante a Laser para cortar nas dimensões adequadas para a solda na superfície do apalpador.

O material do apalpador é um aço ferramenta na forma de cunha arredondada.

O material da solda é uma liga especial de titânio, cobre e prata, cujo ponto de fusão está em torno de 850°C. O equipamento utilizado para a solda foi um forno vertical à vácuo com controle de temperatura até cerca de 1100°C. Antes do procedimento de solda o apalpador passa por um processo de desengraxe, com o objetivo de se retirar a sujeira, para que esta não interfira na qualidade da solda.

Então monta-se o dispositivo de solda, com o apalpador, o material da solda e o filme de diamante, que serão colocados em um tubo de quartzo e levados ao forno. Após a montagem do tubo de quartzo, inicia-se o vácuo ligando-se a bomba mecânica e em seguida a bomba difusora. O tempo para se fazer o vácuo é de aproximadamente 30 minutos e o nível de vácuo é controlado por medidores de baixo e alto vácuo, acoplados ao sistema. Em seguida através do controlador de temperatura, aumenta-se a temperatura do forno até atingir aproximadamente 880°C, aguarda-se 10 minutos para a temperatura do forno estabilizar e então desliga-se o controlador e aguarda-se até a temperatura chegar a aproximadamente 25°C, para que o apalpador possa ser retirado do forno.

Para verificar a resistência da solda entre o apalpador e o filme de diamante e também para testar a durabilidade do apalpador com filme de diamante, testes foram realizados em um torno, prendendo-se um eixo de alumínio-silício na placa do torno e utilizando-se o apalpador como a ferramenta de corte. O fato de se usar a liga de AlSi é porque trata-se de uma liga muito dura e normalmente utilizada na fabricação de partes de motores, principalmente, os automotivos. A figura abaixo mostra a forma do apalpador desenvolvido no nosso laboratório.

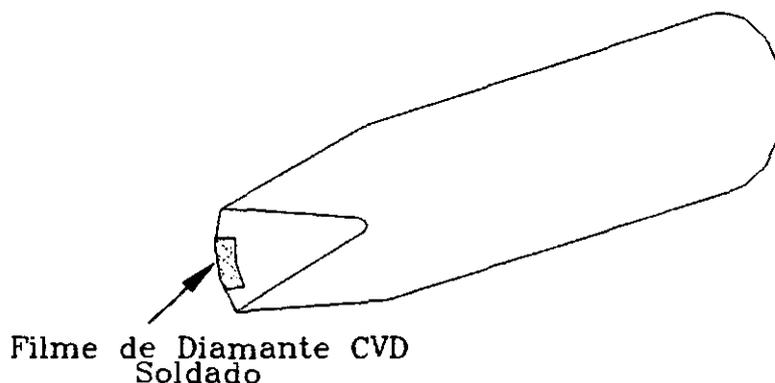


Figura 1. Esquema do apalpador mecânico

## Referências

- 1 - TRAVA-AIROLDI, V.J., E.J.Corat, V.Baranauskas. CVD DIAMOND: Emerging Technology for Tooling Applications, in Advanced Ceramics for Tools Applications. Vol.3, Trans Tech, Switzewrland, 1996, no prelo.
- 2 - TRAVA-AIROLDI, V.J., CORAT, E.J., LEITE, N.F.,NONO, M.C., FERREIRA, N.G., and BARANAUSKAS, V., Diamond and Related Materials, Vol. 5 857 (1996).
- 3 - FERREIRA, N.G., CORAT, E.J., TRAVA-AIROLDI, V.J., LEITE, N.F. and BARROS, R.C.M., "H Actionometry with CF<sub>4</sub> Addition in Microwave Plasma-Assisted Chemical Vapor Deposition", accepted to be published in Diamond and Related Materials (1996).
- 4 - CORAT, E.J., FERREIRA, N.G., TRAVA-AIROLDI, V.J., LEITE, N.F., BARROS, R.C.M. E IHA, K., "Diamond Seeds Consolidation onto Untreated Silicon Substrate" Accepted to be published in Material Science Letters (1996).

# **SIMULAÇÃO NUMÉRICA E VISUALIZAÇÃO GRÁFICA DE CRESCIMENTOS DE MACROCRISTAIS**

**Nanci Naomi Arai**

*Aluna da Universidade de Taubaté - Bolsa PIBIC/CNPq*

**Orientador: Dr. Maurício Fabbri, Pesquisador**  
**Laboratório Associado de Sensores e Materiais**

A obtenção de ligas semicondutoras de estrutura monocristalina em laboratório é um passo básico na obtenção de dispositivos optoeletrônicos. A faixa de sensibilidade desses dispositivos depende essencialmente da composição local e da distribuição composicional média da amostra utilizada na sua fabricação. Desse modo, amostras homogêneas permitem a utilização de substratos de maior área, ou a fabricação de mais dispositivos para cada monocristal obtido. Um dos processos de crescimento mais comum, no caso de semicondutores que envolvem ligas de chumbo ou mercúrio, é a solidificação direcionada. Nesta técnica, a mistura que forma a liga é solidificada lentamente, ao ser deslocada da região quente para a região fria no interior de um forno (método de Bridgman).

Durante o crescimento, os efeitos de segregação são os responsáveis pela não homogeneidade em composição do cristal obtido. Estes efeitos são ditados, primordialmente, pelo diagrama de fase de equilíbrio da liga, e a composição final do cristal depende da interação entre as trocas de calor (condução, convecção e radiação), massa (difusão) e momento (convecção) durante o processo de crescimento. Em ambiente de microgravidade, os efeitos de convecção na fase líquida são bastante minimizados, e é então possível obter um regime de crescimento dominado pelos processos de condução e difusão. Ainda, em crescimentos lentos, em regime de quasi-equilíbrio, a amostra permanece essencialmente em equilíbrio térmico com o forno. Dessa maneira, na quase totalidade dos crescimentos de ligas semicondutoras em microgravidade pela técnica de solidificação direcionada, a difusão de massa é o fenômeno que governa a homogeneidade composicional resultante<sup>1</sup>.

A análise de crescimentos em condições especiais, tais como microgravidade e campos eletromagnéticos externos, pode ser feita através da simulação numérica dos processos de transporte clássicos que ocorrem na mistura líquida. Os modelos composicionais mais simples e de uso mais comum, são descritos através de dois parâmetros, que representam os coeficientes efetivos de segregação e de difusão na fase líquida.

Neste projeto, desenvolvemos modelos físicos e numéricos, bem como uma interface gráfica simples, para a análise de perfis de composição em ligas macrocristalinas crescidas pelo método de Bridgman. As equações de transporte são aproximadas por um modelo médio unidimensional difusivo, e discretizadas pelas técnicas de diferenças finitas e volumes de controle<sup>2</sup>. A presença da interface líquido-sólido é modelada por um problema de fronteira móvel. Na hipótese de acoplamento térmico perfeito, a velocidade da interface é ditada pela variação da temperatura de fusão com a composição, de acordo com o diagrama de fase da liga; este efeito é tanto menor quanto mais lento for o deslocamento da ampola no interior do forno durante o crescimento<sup>3</sup>.

A análise cuidadosa dos dados experimentais disponíveis para a liga PbTe-SnTe a 20%, mostra que, mesmo em crescimentos muito lentos, o perfil de composição axial obtido não segue o padrão esperado dos modelos de equi-partição de massa (equação de Scheil)<sup>4</sup>. O uso de modelos mais refinados, seguido de uma análise de erros das medidas, mostra também que, nestes casos, tanto a influência da convecção na fase líquida como o efeito da variação da temperatura da frente de solidificação com a composição, podem ser desprezados. Dentro da suposição de que os dados disponíveis sobre o diagrama de fase da liga são confiáveis (dentro dos erros experimentais documentados na literatura), uma hipótese provável é uma pequena redistribuição adicional de soluto pela fase sólida, dentro da região de altas temperaturas ao redor da interface, durante o crescimento.

O refinamento do modelo difusivo foi feito através de uma equação de difusão média pela fase sólida, acoplada com a difusão pela fase líquida através da fronteira móvel, e obedecendo ao coeficiente de distribuição de equilíbrio. Os primeiros resultados parecem mostrar que, dependendo da velocidade média de deslocamento do forno, o perfil de composição resultante pode ser sensível a uma contribuição de até duas ordens de magnitude menor da difusão na fase sólida em relação à fase líquida, dentro dos erros experimentais esperados<sup>5</sup>. A solução numérica da equação de difusão mista foi feita através de uma discretização conservativa por diferenças finitas.

<sup>1</sup>Fabbri, M. “*Modelamento Numérico e Simulação Computacional Aplicados ao Crescimento de Cristais*” I Escola de Verão em Crescimento de Cristais, IPEN-SP, 25-28 Fev.1997, p.81-102.

<sup>2</sup>Maliska, C.R. “*Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional*” LTC, RJ, 1995.

<sup>3</sup>Fabbri, M. “*Análise de Perfis de Composição em Macrocristais Pseudo-Binários Crescidos em Microgravidade*”, 2º Simpósio Brasileiro de Tecnologia Aeroespacial - BSAT, S.J.Campos, SP, 17-21 Out 1994.

<sup>4</sup>Kurz, W. and Fisher, D.J. “*Fundamentals of Solidification*”, Trans-Tech, Aedermannsdorf, Sw, 1992.

<sup>5</sup>Arai, N.N. e Fabbri, M. “*Perfis de Segregação em Crescimentos Bridgman com Difusão na Fase Sólida*” Aceito para apresentação no XX Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada, Caxambú, MG, 10 a 14 de Junho de 1997.

## **Sistema para Caracterização de Camadas Epitaxiais de PbSnTe por Transmissão no Infravermelho**

**Leonardo Castro Ribeiro**

**Aluno do Instituto Tecnológico da Aeronáutica - Bolsa PIBIC/CNPQ**

**Orientador :Dr.Sukarno Olavo Ferreira**

**,Pesquisador do Instituto de Pesquisas Espaciais ,CP 515 ,CEP12201-970,  
S.J.dos Campos,SP**

O PbSnTe é uma liga semicondutora utilizada na fabricação de detectores e lasers que operam no infravermelho nas faixas entre 3 e 12 $\mu$ m, e é muito importante no estudo de poluição atmosférica e em espectroscopia de materiais orgânicos.

Apesar deste material já ter sido muito pesquisado, ainda existem muitos detalhes que são mal entendidos, principalmente para concentrações de Sn superiores a 30%.

A energia do gap se reduz até chegar a zero para uma concentração de aproximadamente 35% a medida que se acrescenta Sn à liga PbTe ( a baixas temperaturas ) . Depois o gap volta a crescer até atingir 300meV para o SnTe.

O grupo de semicondutores do LAS utiliza diversas técnicas de crescimento, porém, a utilizada na amostra estudada foram crescidas utilizando o sistema MBE. Este sistema, que é de crescimento epitaxial por feixe molecular, permite produção de amostras mais perfeitas e sem limitação na concentração de Sn. O substrato utilizado foi o BaF<sub>2</sub>, que possui a estrutura cristalina parecida com a do PbTe e parâmetro de rede próximo (diferença de 2%).

As medidas de transmissão no infravermelho foram feitas na faixa de 2 a 13 $\mu$ m. Para isto foi utilizado um espectrofotômetro de transformada de Fourier (FTIR1600). As amostras são colocadas em um criostato de Nitrogênio líquido permitindo medidas entre 77 e 300K. Através do espectro de transmissão, é possível a determinação do gap e de várias constantes ópticas: índice de refração, coeficiente de absorção e etc.

Foram feitas medidas com as amostras MBE92 e MBE99, que consistem de camadas de PbTe crescidas sobre BaF<sub>2</sub> pela técnica de MBE , com concentrações de Sn de 15 e 82% respectivamente.

Podemos observar através dos resultados obtidos (gráficos da transmissão em função da temperatura) que na amostra MBE92 o espectro se desloca para a direita, região de maior energia. Isto indica que a energia do gap esta aumentando com a temperatura. Já as medidas da amostra MBE99 mostram que o espectro se desloca para a esquerda, desta forma, temos que a energia do gap esta diminuindo com a temperatura. Foram plotados os gráficos da energia do gap em função da temperatura para as duas amostras (fig 1 e 2)

e pode-se notar que são retas crescente, para a MBE92, e decrescente, para a amostra MBE99.

Podemos explicar o comportamento da amostra MBE99 (concentração de 82% de Sn) devido ao fato da existência de alta concentração de portadores. Isto provoca intensa absorção para energias menores que a do gap onde o material deveria ser transparente. Além disso, a intensidade transmitida é reduzida como um todo, o que torna as medidas mais ruidosas e menos precisa a determinação do gap.

Entretanto, é perfeitamente possível a determinação da variação do gap com a temperatura. Além disso a diminuição do gap, para esta amostra, com a temperatura já era previsto, pois há uma inversão do gap, que ocorre em compostos com alta concentração de Sn. Contudo, a taxa de variação é menos da metade da amostra MBE92 (concentração de 15% de Sn). Este fato não era previsto pela teoria e pode ser explicado, também, pela grande quantidade de portadores de cargas nos materiais crescidos por nós.

Os resultados das medidas efetuadas foram apresentados no "8<sup>th</sup> Brazilian Workshop on Semiconductor Physics", Águas de Lindóia, SP, e foram submetidos para publicação no 'Brazilian Journal of Physics'.

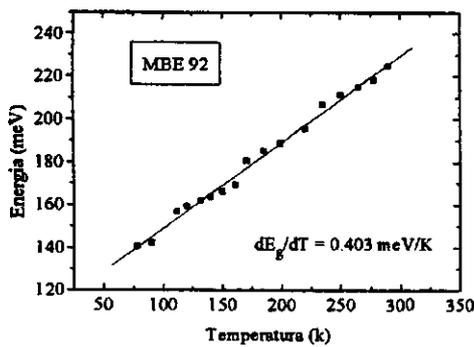


Fig. 1

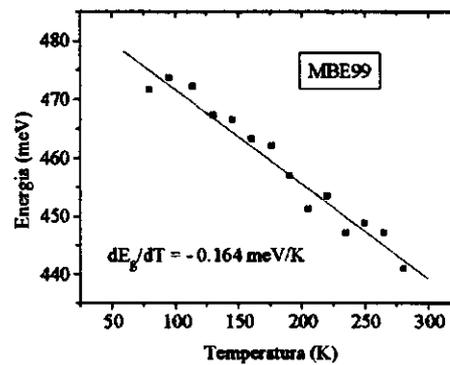


Fig. 2

## **3ª Sessão Técnica**

**01 de julho de 1997, 15:50 - 17:50**

**Chairperson: Dr. Benjamin da Silva Medeiros Correia  
Galvão**



# MEDIDAS DE RESISTIVIDADE E EFEITO HALL EM CAMADAS EPITAXIAIS $Pb_{1-x}Sn_xTe$ / $BAF_2$

Celso Ferreira Mastrella

Instituto Tecnológico de Aeronáutica-ITA, CTA

Dr. Eduardo Abramof

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / LAS, CP 515, CEP 12201-970, S.J.dos Campos, SP

Um sistema para medidas de efeito Hall dependente com a temperatura completamente automatizado foi implementado para a determinação da resistividade, concentração de portadores e mobilidade Hall de camadas epitaxiais. A amostra é montada no criostato de circuito fechado de He que opera até uma temperatura de 13K com 4 contatos na geometria Van der Pauw [1] ou com 6 contatos na geometria Hall. O controlador de temperatura do criostato é interfaceado com o microcomputador (PC 486) através da placa de aquisição de dados (DAS) com resolução de 12 bits. A placa DAS é também utilizada para se fazer o controle e a inversão do campo magnético durante as medidas de efeito Hall. As medidas de resistividade e efeito Hall propriamente ditas são efetuadas em um sistema de efeito Hall Keithley modelo 80A totalmente interfaceado com o microcomputador através da interface IEEE-488. A carta de efeito Hall do sistema é utilizada para chavear a corrente da fonte para a amostra e entregar os sinais de teste da amostra Hall para a instrumentação de medida. Esta carta contém amplificadores sensíveis para se fazer medidas de resistividade e efeito Hall em materiais de alta ou baixa resistividade.

Com o intuito de investigar a influência do desvio estequiométrico nas propriedades de camadas de  $Pb_{1-x}Sn_xTe$ , duas espécies de fontes de PbTe e SnTe foram usadas no crescimento por MBE [2]: fontes ricas em Te e outras estequiométricas.

A figura 1 mostra a concentração de portadores ( $p$ ) a 300K e a 12K em função da composição da liga para duas séries de camadas de  $Pb_{1-x}Sn_xTe$  crescidas a partir de fontes ricas em Te e a partir de fontes estequiométricas. Todas as amostras são tipo p. Para ambas as séries, a concentração de buracos aumenta exponencialmente com a composição da liga, mostrando algum desvio da dependência exponencial para  $x > 0,7$ . Como esperado, a concentração de buracos para camadas de  $Pb_{1-x}Sn_xTe$  crescidas a partir de fontes ricas em Te é sempre maior que a das camadas correspondentes (com o mesmo  $x$ ) crescidas a partir de fontes estequiométricas. A diferença entre a concentração de buracos de camadas com a mesma composição pertencentes às duas séries aumenta com o aumento de  $x$ , alcançando um valor de uma ordem de magnitude para a faixa com  $x > 0,8$ .

A concentração de buracos para cada amostra fica constante para toda a faixa de temperatura investigada (12K a 350K), independente da composição da liga. Isso prova que as características elétricas do PbTe, no qual o modelo de vacâncias [3] não prevê um congelamento de portadores, continuam válidas para todo o sistema  $Pb_{1-x}Sn_xTe$ .

A figura 2 mostra a resistividade em função da temperatura para camadas epitaxiais de  $Pb_{1-x}Sn_xTe$  com  $x$  variando de 0 até 1. As curvas de resistividade das amostras de  $Pb_{1-x}Sn_xTe$  revelam quase a mesma dependência da temperatura, exceto para as amostras com  $x$  no intervalo de 0,35 a 0,7. Para tais amostras, um mínimo muito bem definido na curva de resistividade é observado em temperaturas entre 20K e 120K, dependendo do valor de  $x$ . A resistividade das amostras, cujo valor depende principalmente das suas concentrações de buracos, mostra uma dependência exponencial da temperatura com uma derivada decrescendo à medida que a composição da liga vai de PbTe a SnTe.

#### Referências:

- [1] L.J. van der Pauw. *Phillips Research Reports*, 13, 1 (1958).
- [2] C. Mastrella, E. Abramof, *Sistema de Medidas de Efeito Hall Dependente com a Temperatura ( Rel. Parcial, 1997 )*.
- [3] N.J. Parada, *Phys. Rev. B* 3, 2042 ( 1971 ).

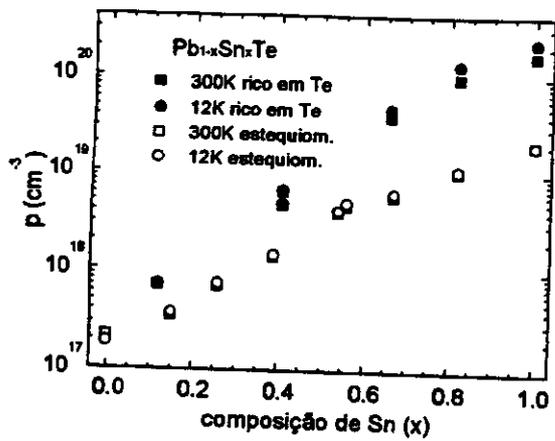


Figura 1

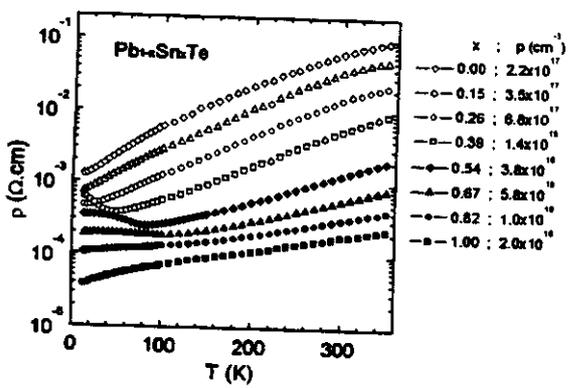


Figura 2



ANÁLISE E APRIMORAMENTO DO REGISTRO GEOMÉTRICO DAS IMAGENS  
AVHRR/NOAA

Rovedy Aparecida Busquim e Silva  
Universidade do Vale do Paraíba - UNIVAP  
Orientador : Dr. Alberto W. Setzer, Pesquisador  
Divisão de Sensoriamento Remoto  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE

Um problema comum no uso de imagens fornecidas por satélites ambientais, provenientes de sensores remotos, é a determinação correta das coordenadas geográficas de seus elementos de resolução, ou píxeis, comumente conhecida por navegação. Tal problema pode ser originado por vários fatores: variação da altitude, atitude, e velocidade da plataforma do satélite, e rotação da Terra. O procedimento mais comum para contornar esse problema é estabelecer um relacionamento matemático entre feições encontradas na imagem, conhecidas como pontos de controle, e sua correta identificação em um mapa. Essa operação é conhecida como correção geométrica.

Nesse trabalho foi pesquisado o algoritmo de correção geométrica utilizado nas imagens dos satélites com órbitas polares da série NOAA (National Oceanographic And Atmospheric Administration) recebidas diariamente pelo INPE. Tal trabalho permitiu uma avaliação da precisão dos píxeis, para que os estudos provenientes das imagens possuam uma maior certeza com relação a coordenadas geográficas de cada pixel.

Este trabalho realizado no INPE é necessário devido à grande utilização das imagens digitais AVHRR/NOAA em estudos aplicados ao meio ambiente, tais como: a geração de imagens Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), úteis para o estudo de estados da vegetação e previsão de safra; a localização de desmatamentos a partir das bandas 1, 2 e 3 das imagens AVHRR corrigidas geometricamente; e a detecção, localização e quantificação de queimadas.

A correção geométrica das imagens NOAA/AVHRR é baseada no conhecimento preciso dos parâmetros orbitais do satélite e na definição de pontos de controle da área imageada. Um ponto de controle é uma característica geográfica fisicamente detectável em uma imagem. Suas coordenadas podem ser obtidas através de um mapa relativo à área da imagem onde se deseja localizar o ponto. O arquivo de parâmetros orbitais é composto por informações que caracterizam sua órbita (período orbital, longitude de cruzamento com equador, etc.).

Através das coordenadas do ponto de controle (dado por linha, coluna, latitude e longitude) são realizados cálculos que modificam os valores dos parâmetros orbitais originais. Nesse trabalho o algoritmo de correção foi

modificado de forma a obter uma melhora na precisão das coordenadas geográficas da imagem.

Uma aplicação da necessidade da correção geométrica pode ser visualizado através da Figura 1, onde tem-se os focos de queimadas identificados pelas suas coordenadas geográficas.

Fernandes, A. E.,1996. Sistema Computacional de Detecção de Queimadas com imagens AVHRR/NOAA (Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada) INPE, SJCampos.

Setzer et al.,1992. O uso de satélites NOAA na detecção de queimadas no Brasil. Climanálise 740-53

Setzer et al.,1997. Reporting na AVHRR/NOAA-14 image anomaly. Submitted,Int. J. Remote Sensing.

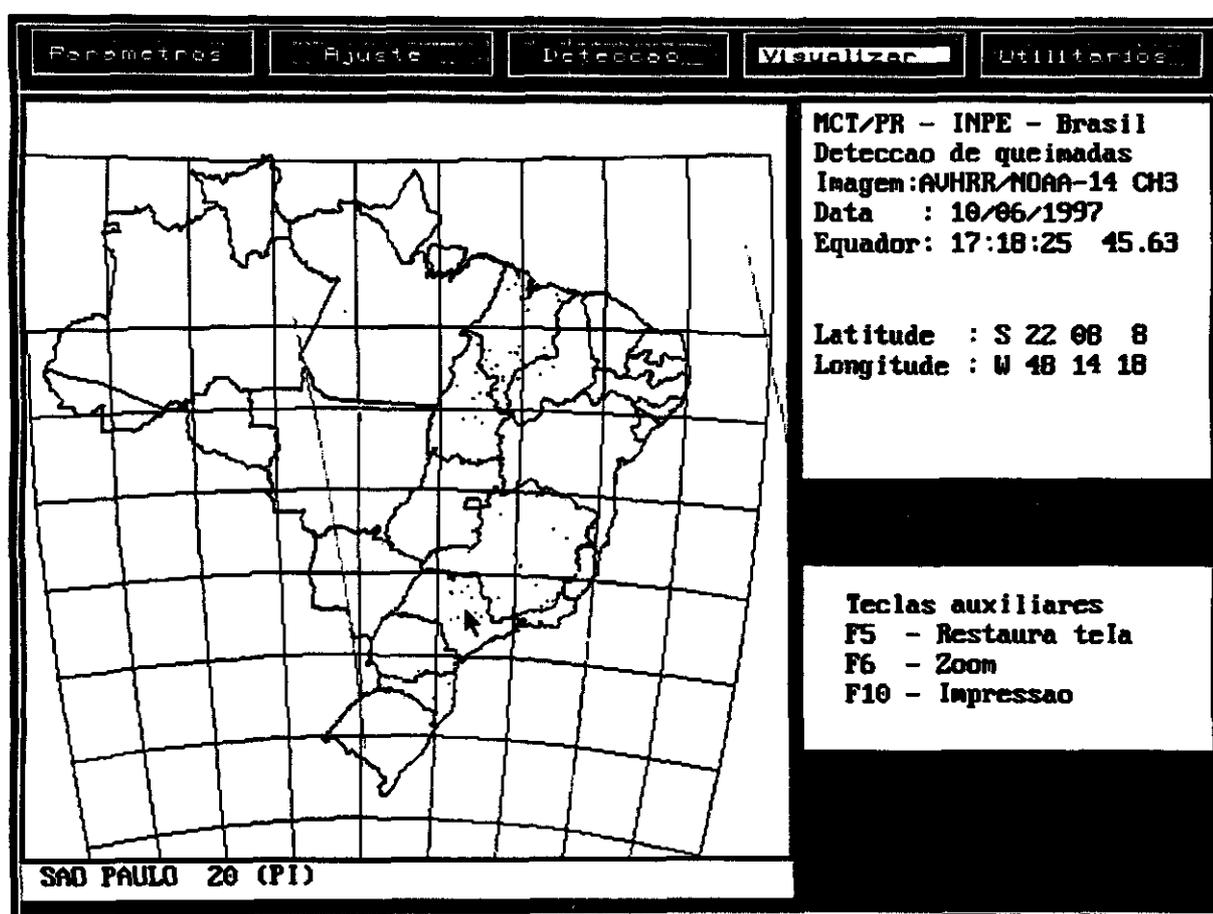


Fig.1 :Mapa do Brasil com pontos de queimadas, cuja precisão das coordenadas geográficas foram revisadas neste trabalho.

## ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE BATIMETRIA E A DISTRIBUIÇÃO DE PLANTAS AQUÁTICAS NO RESERVATÓRIO DA UHE-TUCURUÍ

Fernando Pereira Fernandes

Aluno da Universidade do Vale do Paraíba - Bolsa PIBIC/CNPQ

Orientadora: Dra. Evelyn Márcia Leão de Moraes Novo

Divisão de Sensoriamento Remoto

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Por possuir características naturais que favorecem a produção de energia através de recursos hídricos, o Brasil tem grande parte de sua produção de energia baseada na hidreletricidade. Por esta razão são necessários o monitoramento e o planejamento adequados das regiões fornecedoras de hidreletricidade.

Dentre as áreas úmidas artificiais, são os reservatórios de barragens destinadas à produção de energia elétrica os que ganham maior expressão, seja pelo peso que exercem no setor energético, seja pela dimensão espacial que ocupam ou ainda pelos impactos sócio-ambientais que ocasionam.

O represamento de rios para a geração de energia elétrica envolve uma série de modificações ambientais. Suas conseqüências são o deslocamento de populações da área a ser alagada, modificações no sistema de navegação e disponibilidade de água e alimentos para as populações ribeirinhas (Leite e Bittencourt, 1991), alterações climáticas e ecológicas que, de modo geral afetam profundamente a flora e a fauna, tanto aquáticas como terrestres.

No reservatório da UHE de Tucuruí houve um grande desenvolvimento de macrófitas aquáticas, que são consideradas uma das plantas mais produtivas do mundo, sendo de fundamental importância não só para a região litorânea, mas para todo o ecossistema lacustre. Estes vegetais participam da ciclagem de nutrientes, produzem biomassa e servem como habitat para a reprodução e crescimento de inúmeros organismos aquáticos (Junk, 1979; Junk e Howard-Williams, 1984).

Entretanto, apesar da reconhecida importância das comunidades de macrófitas aquáticas para o ecossistema lacustre, sabe-se que a proliferação excessiva destes vegetais pode resultar em inúmeros problemas para os múltiplos usos de um reservatório. Entre estes, podem ser citados a obstrução do fluxo d' água, o aumento da evaporação, o impedimento à navegação, restrição a alguns tipos de pesca, a alteração da qualidade da água devido ao excesso de biomassa e conseqüente redução de oxigênio da água, a proliferação de vetores de doença, além de muitos outros problemas (Noernberg, 1995).

Tendo em vista todos estes fatos, é importante um estudo que demonstre a relação entre a batimetria e a distribuição das macrófitas aquáticas no reservatório de Tucuruí, pois através dos dados levantados, pode-se acompanhar as áreas de maior e

menor incidência de macrófitas aquáticas e também prever suas incidências em futuros reservatórios a serem construídos.

Branco, S.M. Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária. CETESB / ASCETESB, São Paulo, 1986.

Esteves, F.A. Fundamentos de Limnologia. Interciência, Rio de Janeiro, 1988.

Leite, R.A.N.; Bittencourt, M.M. Impacto das hidrelétricas sobre a ictofauna da Amazônia: perspectivas para os anos noventa. In: Ferreira et al. Ed. Bases Científicas para estratégias de preservação e desenvolvimento da Amazônia. Vol. 2. Manaus, INPA, 1993, p. 199-213.

Noernberg, M.A. Aplicação de dados de radar para a discriminação de espécies de plantas aquáticas. (monografia referente ao exame integrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1995. INPE-5629-PUD/066.

Nunes de Mello, J.A.S. Hidrelétricas na Amazônia e o meio-ambiente. In: Ferreira et al. ed. Bases científicas para estratégias de preservação e desenvolvimento da Amazônia. v. 2. Manaus, INPA, 1993. p.11-16.

**Rudini Menezes Sampaio**  
**Aluno do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA)**  
**Bolsa PIBIC/CNPq**  
**Orientador: Horácio Hideki Yanasse**  
**Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada (LAC)**  
**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)**  
**Avenida dos Astronautas, 1758 - Caixa Postal 515**

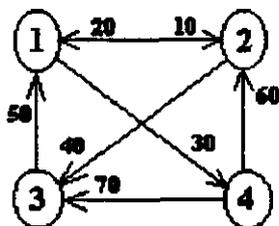
Problemas urbanos práticos tais como entrega de correspondência, limpeza de rua, coleta de lixo, serviços de ônibus para melhor atendimento à população, reparos de cabines telefônicas, remoção de neve e problemas de seleção de lugares para localização de serviços de emergência (pronto socorros, bombeiros,...) ou não emergência (terminais de transporte e etc...) podem ser modelados como problemas em grafos.

A teoria de grafos direcionada para a solução de tais problemas possui várias vantagens entre elas a fácil descrição do problema para parâmetros da teoria e a facilidade com que se pode encontrar soluções aproximadas para problemas matematicamente complexos.

O rápido avanço na tecnologia dos computadores proporcionou uma atenção especial para esta teoria, ocasionando o desenvolvimento de vários algoritmos que solucionem estes problemas. Tais algoritmos envolvem problemas de menor caminho, árvores de custo mínimo, tour euleriano e caminho euleriano, carteiro chinês, caixeiro viajante e outros.

Sendo assim, este trabalho tem por objetivo a implementação de tais algoritmos, criando um ambiente em que se possa manipular grafos e onde seja possível a visualização de tais grafos e dos resultados da aplicação dos algoritmos sobre eles.

Para isto, foi preciso definir uma estrutura de dados para a entrada de grafos, o que foi feito a partir de arquivos textos com um cabeçalho nas primeiras linhas para identificação interna e, nas restantes, cada linha representa um nó informando os nós a quem este se liga seguido do valor do arco correspondente. Para exemplificar, o grafo da figura 1, vem seguido do respectivo arquivo texto que o representa. A forma de desenho do grafo na tela é resolvido durante o desenvolvimento do programa e está bem explicado no relatório final, bem como no "Help" do programa executável, inclusive com as melhorias de tal estrutura.



Esboço do arquivo de representação:

2	10	4	30	0	(Ligações do Nó 1)
1	20	3	40	0	(Ligações do Nó 2)
1	50	0	0	0	(Ligações do Nó 3)
2	60	3	70	0	(Ligações do Nó 4)

Figura 1: Grafo seguido do esboço do arquivo que o representa, para exemplificar a estrutura de dados utilizada.

Resolvido o problema da entrada de dados, procurou-se desenvolver um programa com boa ambientação que possibilitasse a visualização dos grafos (entrados segundo a estrutura definida), a manipulação de seus valores e a execução de vários algoritmos. Começou-se então o desenvolvimento do programa "Graph.Pas".

Para tanto, necessitou-se de um conhecimento aprofundado das linguagens Pascal e Assembler, para implementação das rotinas e de tarefas mais complexas tais como gravação da tela em espaços de memória e utilização do mouse.

O programa foi desenvolvido visando uma boa modularização e principalmente a sua robustez (não ocorrência de defeitos, mesmo para entradas com erros), a sua reusabilidade (reutilização de rotinas) e a sua manutenibilidade (condição para introdução de novas rotinas ou modificação das anteriores, sem interferir no funcionamento geral do programa), que são palavras-chave em processos de engenharia de software, quando se busca boa qualidade para o produto final.

Foram necessários muitos testes para verificação do funcionamento correto e completo dos algoritmos, buscando-se todas as possibilidades que levassem a resultados diferentes.

Tendo em vista o tamanho do programa, este foi dividido em sete unidades e um programa principal. Tais unidades podem ser reutilizadas por outros programas. Na execução do programa principal, permite-se carregar um grafo externo, criar um grafo novo, modificar parâmetros do grafo e salvar modificações feitas. Permite-se ainda escolher a forma de visualização do grafo, identificar as principais características do grafo tais como se ele é direcionado, se é conexo, se é fortemente conexo ou se possui tour ou caminho euleriano, e executar os seguintes algoritmos: menor caminho de Dijkstra (entre um dado nó e os restantes), menor caminho de Floyd (entre todos os nós), árvore de custo mínimo de Prim e carteiro chinês de Edmonds.

Um último passo seria o aperfeiçoamento do programa, a implementação de novos algoritmos envolvendo vários problemas, como o de fluxo em grafos e o do caixeiro-viajante, e o desenvolvimento de um programa que utilize dados de imagens de satélite e os transforme para o tipo de entrada de dados que o programa final reconhece.

### **Bibliografia:**

- Aho, A.V.; Hopcroft, J.E.; Ullman, J.D., **The design and analysis of computer algorithms**, Addison-Wesley, 1974.
- Boaventura Netto, P.O., **Grafos: teoria, modelos e algoritmos**, Edgard Blücher, 1996.
- Campello, R.E.; Maculan, N., **Algoritmos e heurísticas**, EDUFF, 1994.
- Duncan, R., **Advanced MSDOS programming**, Microsoft Press, 1986.
- Larson, R.C.; Odoni, A.R., **Urban operations research**, Prentice Hall, 1981.
- Mokarzel, F.C., **Apostila do curso Estrutura de dados**, Computação, ITA, 1990.

## PROBLEMA DA SEQUÊNCIA DE PADRÕES PARA MINIMIZAR O MÁXIMO DE PILHAS ABERTAS

Alexandre Fonseca

Aluno da Universidade de Taubaté - Bolsa PIBIC / CNPq  
Orientador: Dr. Horácio Hideki Yanasse, Pesquisador,  
LAC - Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada

O objetivo deste projeto é estudar o problema de seqüenciamento de padrões de corte de forma a minimizar a quantidade máxima de pilhas abertas ao longo do processo de corte. Pilhas são abertas para armazenar os diferentes painéis que são obtidos a cada padrão cortado. Cada padrão na seqüência é cortado completamente. Como consequência destes cortes, várias pilhas (correspondentes a painéis diferentes) serão abertas e não necessariamente serão completadas. Precisamos eventualmente dispor de um espaço físico muito grande, o suficiente para armazenar estas pilhas ainda incompletas até que sejam concluídas à medida que os padrões vão sendo cortados. Queremos minimizar a requisição deste espaço físico, e, para isso, teremos que minimizar a quantidade máxima de pilhas abertas (painéis incompletos) a cada momento. Pretendemos neste trabalho implementar e testar um algoritmo que determine uma solução ótima para este problema, ou seja, determina uma seqüência de corte dos padrões que atinja o nosso objetivo.

Existem grandes dificuldades em se determinar uma seqüência ótima para este problema, pois temos que possibilitar uma busca em tempo computacional viável e com uma certa coerência no uso de memória da máquina. Um método de busca em árvore parece ser uma tentativa interessante para a solução deste problema. Uma análise de todas as possibilidades não seria muito prático, pois em situações onde as quantidades de painéis e padrões forem grandes, a solução degeneraria numa solução exaustiva (Explosões Combinatoriais). A busca em árvore está sendo definida segundo a metodologia conhecida como Branch-and-Bound. O percorrimto da árvore é feita segundo o método PPP (Pesquisa Profundidade Primeiro). Uma busca feita apenas pela PPP é cega, podendo tornar a busca exaustiva. Possibilitamos, por esta razão, um critério guloso de escolha em cada nível da árvore. Segundo esta estratégia, na melhor das hipóteses, poderemos encontrar uma solução ótima na primeira folha obtida, ou, pelo menos, encontraremos uma solução provavelmente muito boa que nos dá um referencial para excluirmos outros caminhos que apresentem, a priori, uma solução igual ou pior. Teríamos, desta forma, menos ramificações a serem analisadas.

O principal desafio deste algoritmo foi sua implementação prevendo a solução para problemas relativamente grandes. Isto se deve pela alta requisição de memória à máquina, pois quanto maior o problema inicial, exponencialmente maior é o consumo de memória e tempo. Eventualmente, vários artifícios podem ser utilizados para solucionar este problema, tais como relaxamento na busca da solução ou armazenamento de variáveis em disco rígido. Foi utilizado um recurso bastante conhecido e útil em programação que é a alocação dinâmica de variáveis. Essa decisão foi tomada para evi-

tar problemas comuns de manipulação (gravação e leitura repetidas) no caso de armazenamento de variáveis em arquivos, problemas bem conhecidos por programadores. A eficiência do algoritmo fica então dependente diretamente da configuração do equipamento utilizado. A disponibilidade de uma quantidade razoável de memória RAM (Random Access Memory) e de microprocessadores rápidos torna-se indispensável para o funcionamento do sistema para solução de problemas de maiores tamanhos.

Todo o sistema foi implementado para plataforma de 32 bits numa concepção de entrada e saída de dados via arquivos. Isto facilita a eventual construção de uma interface gráfica mais amigável ao usuário aproveitando o aplicativo original já desenvolvido em C/C++ para execução dos cálculos. Testes realizados num microcomputador com 32 Mb RAM e com clock de 200 MHz mostraram uma boa eficiência do algoritmo até em casos relativamente grandes dando origem a temas para futuras aplicações em casos mais específicos e práticos.

#### Bibliografia:

- Fischetti, M. ; Toth, P. ; Vigo, D. Branch-and-bound algorithm for the capacitated vehicle routing problem on directed graphs. **Operations Research**, 42(5):846-859, Sept.-Oct. 1994.
- Gendron, B.; Crainic T.G. Parallel branch-and-bound algorithms: survey and synthesis. **Operations Research**, 42(6):1042-1066, Nov.-Dec. 1994.
- Gillet, B.E. **Introduction to operations research: algorithm approach**. New York, McGraw Hill, 1976. 617p.
- Whitehouse, G.E.; Wechsler, B.L. **Applied operations research: a survey**. New York, Wiley, 1976. 434p.
- Schildt, H. **Linguagem C: guia do usuário**. São Paulo, McGraw Hill, 1986. 255p.
- Schildt, H. **C avançado: guia do usuário**. 2.ed. São Paulo. McGraw Hill, 1989. 335p.
- Schildt, H. **C completo e total**. São Paulo. McGraw Hill, 1990, 889p.
- Norton, P. **Programando em C++**. Rio de Janeiro. Campus, 1993, 489p.
- Daconta, C.D **C++ pointers and dynamic memory management**. New York, Wiley-QED, 1995. 464p.
- Ford, W. ; Topp, W. **Data structures with C++**. New Jersey. Prentice Hall, 1996. 896p.

# ANÁLISE NÃO-LINEAR DA VARIAÇÃO DA COTA DO RIO PARAGUAY - PANTANAL

Renata Silva Paula

Aluna da UNIVAP - Ciência da Computação - Bolsa PIBIC/CNPq

Orientadores:

Dr. Nelson J. Ferreira - Divisão de Ciências Meteorológicas

Dr. Reinaldo R. Rosa - Lab. de Computação e Matemática Aplicada

INPE - Cx. Postal 515, São José dos Campos - SP, 12201-970

A ocorrência persistente de cheias na região do Pantanal Matogrossense pode modificar significativamente o balanço de energia e a dinâmica espaço-temporal das variáveis de estado que caracterizam este sistema. A observação de vários fenômenos não-estacionários e transitórios, muitas vezes correlacionados entre si, bem como de estruturas coerentes no escoamento atmosférico, tem demandado a utilização de novas metodologias na análise de sinais meteorológicos. Neste trabalho apresentamos uma análise inédita da cota do Rio Paraguay observada durante aproximadamente 95 anos. O dado consiste de uma série temporal composta por 34858 pontos, denominada aqui por série PP95. Teoricamente a variabilidade neste sinal pode ser devido a natureza puramente estocástica do sistema. Entretanto, de maneira alternativa, tal variabilidade pode ser devido à natureza determinística e não-linear de um sistema dinâmico envolvendo várias variáveis de estado.

A análise não-linear de séries temporais, baseada na metodologia de Grassberger-Procaccia (1985), é capaz de caracterizar o grau de complexidade do sistema por meio da determinação do número mínimo de variáveis de estado, necessário para compor o sistema não-linear responsável pela flutuação complexa observada na série. Entretanto, como esse método supõe a existência de um atrator no espaço de fases, cujas propriedades dinâmicas são estacionárias, a sua aplicação só é válida em séries temporais estacionárias. O teste mais completo que permite qualificar, ou não, uma série como estacionária foi desenvolvido por Isliker e Kurths (1993). Este teste permite selecionar séries estacionárias, dentro de uma dada tolerância, para posterior estimativa da dimensão de correlação associada a um possível sistema dinâmico não-linear gerador da série.

Desenvolvemos, em ambiente IDL, o código de Isliker-Kurths para análise da série PP95. A performance do código foi testada e aprovada a partir de aplicações

em séries senoidais e randômicas. Para o teste de estacionaridade da série PP95, a mesma foi seccionada em 6 sub-séries com 5000 pontos e duas de 15000. Todos os valores obtidos para a porcentagem do qui-quadrado resultante destas aplicações foram  $< 95\%$  (ver Figura 1), o que indica a não-estacionaridade da série. Com base neste resultado discutimos a inviabilidade da determinação das dimensões de correlação para este sistema e a limitação do estudo da natureza dinâmica do mesmo.

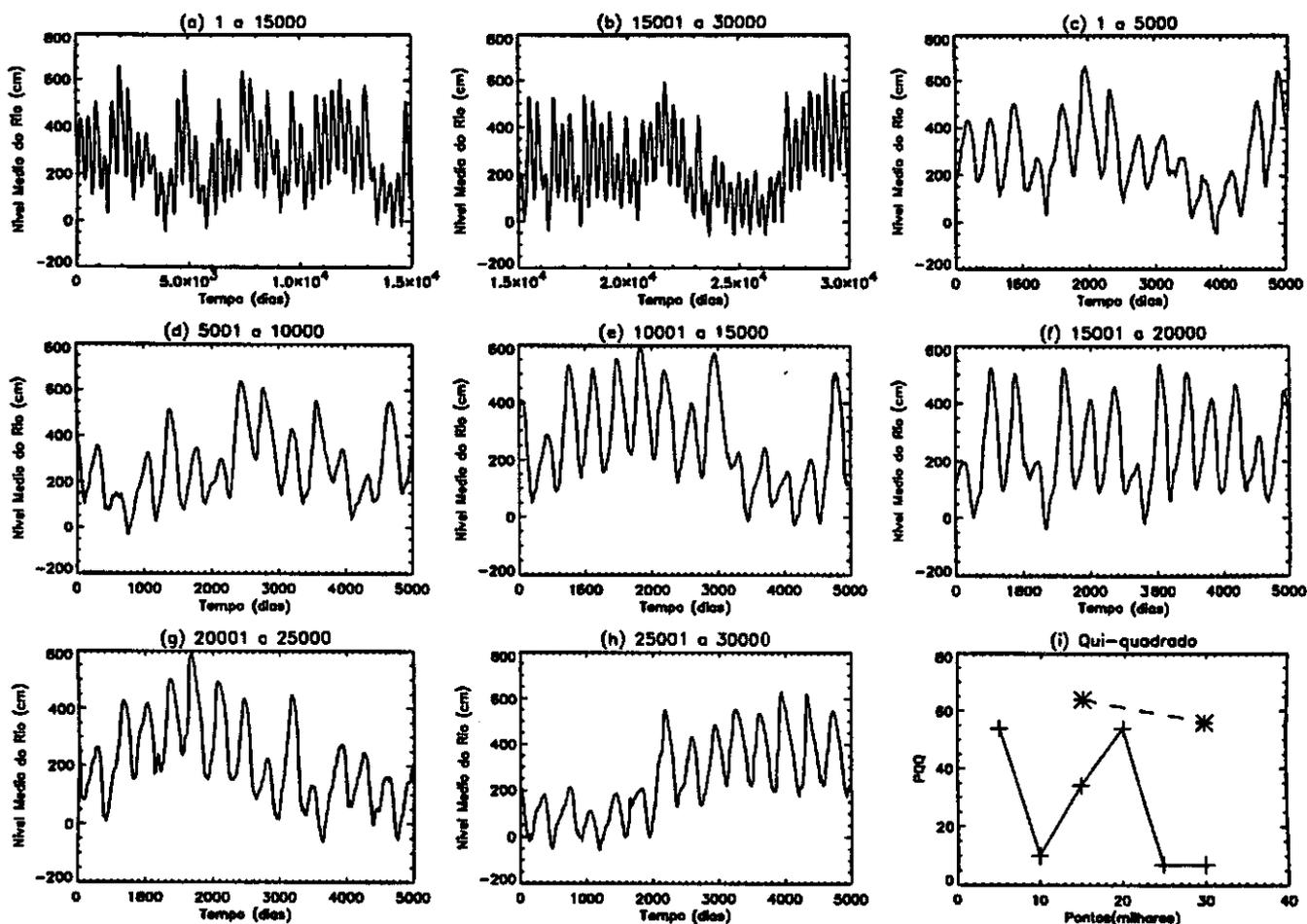


Fig. 1: Sub-séries, com 15000 e 5000 pontos, da variação da cota do Rio Paraguai (a-h), com os respectivos resultados do teste de estacionariedade (Isliker-Kurths) (i).

### Referências

Grassberger, P.; Procaccia, I. Measuring the strangeness of strange attractors. *Physica D*9:189-208, 1983.

Isliker, H.; Kurths, J. A Test for stationarity. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, V.3: 1573-1579, 1993.

## **4<sup>a</sup> Sessão Técnica**

**02 de julho de 1997, 10:00 - 12:00**  
**Chairperson: Dra. Inez Staciarini Batista**



**ESTUDO DE VARIAÇÕES DIURNAS E PULSAÇÕES GEOMAGNÉTICAS COM PERÍODOS ENTRE 10 E 1000s NAS REGIÕES DO ELETROJATO EQUATORIAL E ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLANTICO SUL**

**Alexsander Costa**

**Aluno da Universidade de Taubaté – Bolsa PIBIC/CNPq**

**Orientadores**

**Dr. José Marques da Costa**

**Universidade de Taubaté-UNITAU**

**Departamento de Matemática e Física**

**Rua Daniel Danelli, s/n**

**Taubaté - SP**

**e**

**Dr. Severino Luiz Guimarães Dutra**

**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE**

**Divisão de Geofísica Espacial**

**Av. dos Astronautas, 1758 – Caixa Postal 515**

**São José dos Campos – SP**

O campo magnético terrestre apresenta variações de longo e curto períodos. As primeiras com períodos  $T > 1$  ano são associadas aos processos dinâmicos em ocorrência no interior da Terra; as segundas com períodos  $T < 1$  ano são intimamente relacionadas a fenômenos físicos externos decorrentes da interação Sol-Terra. Essas variações são classificadas, segundo o período, em: secular ( $> 1$  ano), diurna (24 horas), distúrbios associados as tempestades magnéticas (com períodos bastante variáveis), micropulsações (0,2-1000 s) e atmosféricas ( $< 1$  s). Somam-se a estas o ruído produzido pelas atividades do homem, na mesma faixa de frequência das variações atmosféricas. A variação secular tem, primariamente, origem interna. A variação diurna é atribuída à existência de um sistema de correntes elétricas (Sq) na região E da ionosfera, com dois vórtices localizados respectivamente nas proximidades das latitudes de  $30^{\circ}\text{S}$  e  $30^{\circ}\text{N}$ . Os distúrbios resultam da entrada violenta de grandes quantidades de plasma solar na magnetosfera, por ocasião das tempestades geomagnéticas. As micropulsações resultam de interações complexas entre as partículas carregadas do vento solar e o plasma da magnetosfera e ionosfera terrestres. As variações atmosféricas originam-se de descargas elétricas em ocorrência na atmosfera terrestre; essas descargas atuam como antenas transmissoras gerando campos eletromagnéticos na atmosfera. As variações produzidas pelo homem são provenientes, geralmente, das redes de distribuição de energia elétrica. Os resultados apresentados neste estudo restringem-se a variação diurna e as variações geomagnéticas observadas na faixa de 10 a 1000s em algumas estações, situadas nas regiões do Eletrojato Equatorial e Anomalia Magnética do Atlântico Sul. Nos estudos referentes a AMAS, utilizou-se dados da estação magnética de Santa Maria, RS, ( $27^{\circ}\text{S}$ ,  $53^{\circ}\text{W}$ ) e, também, de Darwin, na Austrália, situada fora da região da Anomalia, na mesma faixa de latitude sul. Nos estudos sobre o Eletrojato Equatorial fez-se uso dos dados geomagnéticos coletados nas cadeias de estações que o INPE vem operando, já há vários anos, no noroeste, norte e nordeste do território brasileiro. Utilizou-se dados das seguintes estações: Cuiabá ( $15,35^{\circ}\text{S}$ ,  $56^{\circ}\text{W}$ ), Colibri ( $13,7^{\circ}\text{S}$ ,  $59,8^{\circ}$ ), Vilhena ( $12,7^{\circ}\text{S}$ ,  $60^{\circ}\text{W}$ ), Presidente Médici ( $11,3^{\circ}\text{S}$ ,  $61,8^{\circ}\text{W}$ ), Ariquemes ( $9,6^{\circ}\text{S}$ ,  $63^{\circ}\text{W}$ ), Porto Velho ( $8,8^{\circ}\text{S}$ ,  $69,9^{\circ}\text{W}$ ), Belém / Tatuoca ( $1,4^{\circ}\text{S}$ ,  $48,4^{\circ}\text{W}$ ), São Luiz/Alcantara ( $2,3^{\circ}\text{S}$ ,  $44,2^{\circ}\text{W}$ ), Eusébio/Fortaleza ( $3,9^{\circ}\text{S}$ ,  $38,5^{\circ}\text{W}$ ).



### Introdução

Conforme explicado na introdução do meu relatório preliminar desta Bolsa IC o objetivo principal deste projeto de pesquisa foi o estudo dos efeitos ionosféricos das tempestades magnéticas sobre a ionosfera na região de Cachoeira Paulista. O estudo dos efeitos das tempestades magnéticas sobre a ionosfera na região de baixa latitude magnética, constituem atualmente um dos principais temas de estudo no campo da física da ionosfera (Abdu et alii., 1996; Sobral, 1994; Sobral et alii, 1997).

O outro objetivo deste projeto de pesquisa foi a realização de um estudo sobre a variação do vetor campo magnético terrestre nas 6 seguintes localidades: São Luis, Fortaleza, Cachoeira Paulista, São José dos Campos, Santa Maria e Tucumán. Essas cidades foram escolhidas pois elas correspondem à localidades frequentemente estudadas pelo grupo de pesquisas ionosféricas do INPE. Além disso, tais localidades representam uma interessante variedade de setores latitudinais magnéticos, ou seja, São Luis região equatorial, Fortaleza região subequatorial, Cachoeira Paulista, São José dos Campos, Santa Maria (Rio Grande do Sul) e Tucumán (Argentina).

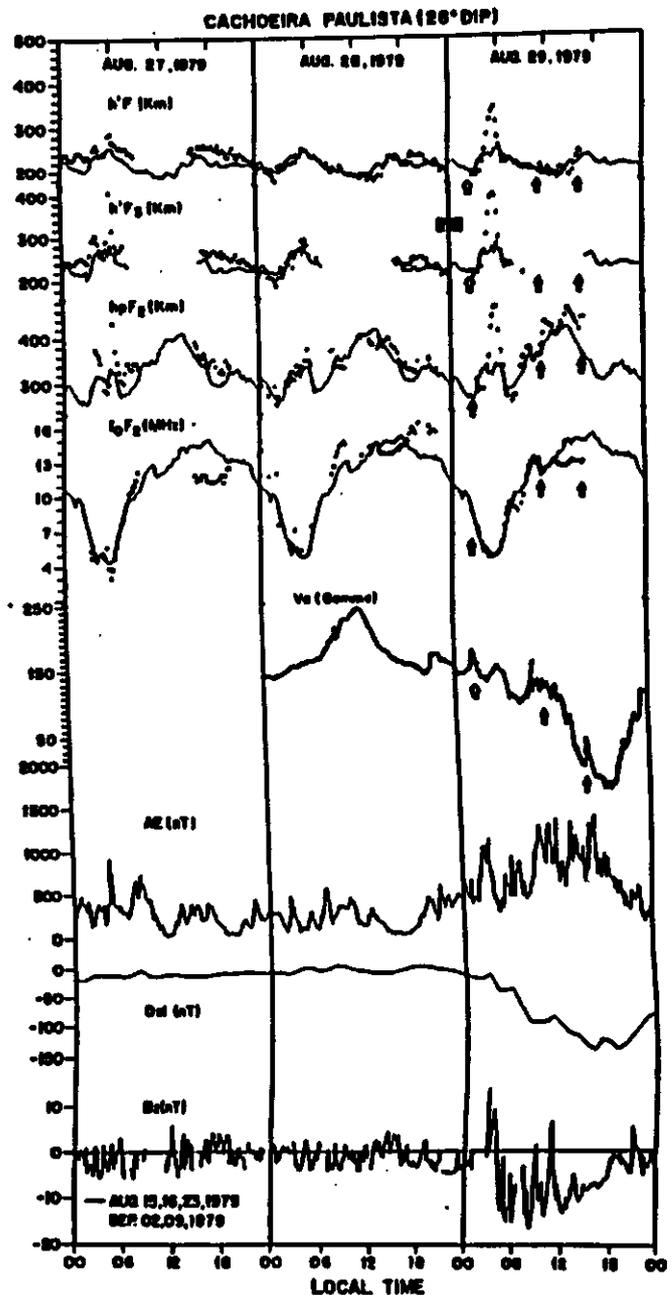
Os estudos ionosféricos em latitudes baixas e equatoriais são de grande interesse para os grupos de pesquisa que trabalham nessa área no Brasil, uma vez que todo o território brasileiro está confinado na região de baixa latitude magnética. As ionossondas são equipamentos apropriados para tais estudos, pois podem funcionar ininterruptamente durante longos períodos, produzindo longas séries temporais de dados contínuos (Abdu et alii, 1996a, b, 1997; Sobral et alii, 1997).

Os estudos relativos ao campo geomagnético aqui concernentes, foi feito utilizando-se um modelo de computador da NOAA, ou seja, o modelo GEOMAG - *Geomagnetic Field Models and Synthesis Software Version 2.0*, adquirido da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration- National Geophysical Data Center - World Data Center - A for Solid Earth Geophysics), U.S.A., 1993, que foi fornecido pelo meu orientador. Os dados de Bz foram medidos *in-situ* pelo satélite ISEE-3 e nos foi cedido pelo Professor B. T. Tsurutani do Jet Propulsion Laboratory.

### Resultados

#### Tempestades magnéticas:

A figura aqui mostrada representa os resultados finais deste estudo quanto aos efeitos das tempestades magnéticas. São na realidade um total de seis figuras semelhantes a essa figura, para dias diferentes. Nela estão representados os parâmetros ionosféricos h'F (altura da



base da camada F, h'F3 (altura virtual da camada, em f= 3 MHz), hpF2 (altura real aproximada do pico da camada F), AE (índice de atividade auroral) e Bz (componente norte-sul do campo geomagnético). As seis figuras mostram variações dramáticas dos parâmetros ionosféricos, em função das tempestades magnéticas. No presente caso vemos um enorme salto da camada F por volta da 03h00 no dia 29/8/79 causado pela penetração em baixas latitudes de campos elétricos aurorais devido à inversão de polaridade de Bz.

#### Variações do campo geomagnético

Foram calculadas as variações dos seguintes parâmetros do campo geomagnético no setor latino-americano: Inclinação (*Dip Angle*) de Declinação (*Declination*) à altura de 100 km (altura do eletrojato equatorial). Foram estudadas as variações nas seguintes localidades: São Luís (região equatorial), Fortaleza (região subequatorial), Cachoeira Paulista, São José dos Campos, Santa Maria (Rio Grande do Sul) e Tucumán (Argentina).

Chegamos a interessante conclusão geral que durante o período de 1975 a 1994 esses dois parâmetros variaram em sentidos opostos com a latitude. Ou seja, a inclinação do campo geomagnético variou mais fortemente quanto menor a latitude e a declinação variou mais fortemente quanto maior a latitude. Abaixo está o resultado da inclinação para as cidades acima citadas.

Por falta de espaço, obviamente, neste resumo são apresentados apenas resultados principais escritos de forma sucinta, adequadas à forma de resumo. A informação completa de todos os resultados obtidos aparecerão tanto o relatório final como a apresentação informação completa da pesquisas realizadas.

#### Inclinação (*dip angle*) a 100 km de altura

Data	Cachoeira Paulista	Fortaleza	São Luís Alcântara	São José dos Campos	Santa Maria	Tucumán
75/12/30	-25.843	-2.652	6.652	-25.855	-28.742	-22.377
76/12/30	-26.118	-3.043	6.317	-26.123	-28.927	-22.462
77/12/30	-26.393	-3.437	5.978	-26.39	-29.11	-22.548
78/12/30	-26.668	-3.83	5.64	-26.658	-29.295	-22.635
79/12/30	-26.945	-4.225	5.3	-26.927	-29.48	-22.72
80/12/30	-27.255	-4.627	4.932	-27.228	-29.695	-22.843
81/12/30	-27.565	-5.028	4.563	-27.532	-29.91	-22.966
82/12/30	-27.877	-5.43	4.192	-27.837	-30.125	-23.09
83/12/30	-28.188	-5.835	3.82	-28.14	-30.342	-23.213
84/12/30	-28.5	-6.238	3.445	-28.445	-30.557	-23.336
85/12/30	-28.782	-6.603	3.098	-28.722	-30.763	-23.463
86/12/30	-29.065	-6.97	2.75	-28.997	-30.968	-23.59
87/12/30	-29.348	-7.335	2.4	-29.275	-31.175	-23.716
88/12/30	-29.632	-7.703	2.05	-29.552	-31.382	-23.843
89/12/30	-29.915	-8.07	1.698	-29.828	-31.588	-23.971
90/12/30	-30.195	-8.438	1.342	-30.102	-31.783	-24.088
91/12/30	-30.475	-8.808	0.987	-30.375	-31.98	-24.205
92/12/30	-30.755	-9.178	0.628	-30.65	-32.177	-24.323
93/12/30	-31.035	-9.548	0.27	-30.923	-32.373	-24.44
94/12/30	-31.317	-9.918	-0.09	-31.198	-32.572	-24.558

ABDU, M. A. ; SOBRAL, J. H. A. ; RICHARD, P.; de GONZALEZ, M.M.; HUANG, Y.N.; REDDY, B.M.; CHENG, K.; SZUSZCZEWICZ, E. P. and BATISA, I. S. "Zonal/ Meridional Wind and Disturbance Dynamo Electric Field Control of the Low Latitude Ionosphere based on the SUNDIAL/ATLAS-1 Campaign". J. Geophys. Res., vol. 101, no. A12, 26729-26740, 1996.

SOBRAL, J. H. A. "Airglow studies of the low latitude ionospheric dynamics". *Editado por D.N. Baker, V.O. Papitashvili e M.J. Teague. COSPAR Colloquia Series, 5, 383-390, 1994.*

SOBRAL, J. H. A. ; ABDU, M. A. ; W. D. GONZÁLEZ; B. T. TSURUTANI; I.S. BATISTA "Effects of Intense Storms and Substorms on the Equatorial Ionosphere/Thermosphere System in the American Sector from Ground Based Satellite Data"  *Aceito. J. Geophys. Res., 1997.*

**SENSOR RPA - RETARDING POTENTIAL ANALYSER  
(ANALISADOR DE POTÊNCIA RETARDANTE)**

Leandro Paulino Vieira

Aluno da Escola de Engenharia Industrial - Bolsa PIBIC / CNPq  
Orientador: Dr. Polinaya Muralikrishna, Pesquisador  
Divisão de Aeronomia

As condições geomagnéticas e geográficas no Brasil apresentam importantes peculiaridades em escala global. Uma delas se refere à grande extensão longitudinal no território brasileiro. A região equatorial é caracterizada pela ocorrência do eletrojato equatorial e de diversos processos de instabilidade do plasma ionosférico.

A ionosfera tem um papel muito importante nas comunicações e telecomunicações por ser condutiva (conter elétrons e íons). Através dos tempos, viu-se que ela apresenta certos fenômenos que provocam interferências nas comunicações entre dois pontos do planeta ou entre um ponto do planeta e um ponto no espaço. Dentre os fenômenos pode-se citar: O Espalhamento -F (SPREAD-F) e o Eletrojato Equatorial.

O projeto de estudos da ionosfera e alta atmosfera com experimentos lançados a bordo de foguetes de sondagem, tem o objetivo principal de estudar os processos dinâmicos e eletrodinâmicos na ionosfera e alta atmosfera equatorial.

O fluxo das partículas de cargas positivas ou negativas, interage com a ionosfera. Um dos fatores que afeta a vida útil de um satélite é a intensidade desse fluxo. As partículas danificam os sensores, e interferem com o funcionamento dos experimentos a bordo de um satélite. O conhecimento dos mesmos é muito importante.

Qualquer tipo de carga útil deve ser leve, compacto e não apresentar elevada sensibilidade a vibrações. Pois o ambiente em que ele se encontrará no momento do lançamento e durante seu ciclo exigirá todos esses parâmetros.

A carga útil R.P.A. é um experimento sendo desenvolvido na Divisão de Aeronomia (DAE) do INPE para medir a distribuição de energia dos elétrons e íons, que estão presentes na ionosfera terrestre. O objetivo é realizar estudos mais aprimorados dos fenômenos característicos que interferem nas transmissões via sinal de rádio.

O alumínio foi o material adotado para alojar todas as partes deste sensor, devido a ser um material que satisfaz os pré-requisitos de uma carga útil. Foi desenvolvido o sistema mecânico do mesmo e após a sua fabricação na oficina mecânica do INPE, será integrado aos outros subsistemas, tais como o sistema eletrônico, e o sistema de telemetria e telecomando, a serem desenvolvidas nos laboratórios do INPE.

Este sensor terá um conjunto de grades em frente de um coletor de partículas. Essas grades serão mantidas em potenciais retardantes positivas/negativas para selecionar elétrons/íons

com energias dentro de uma faixa pré-determinada (de alta energia). A corrente produzida pelas partículas no ânodo (coletor de partículas) é interpretada pela placa de circuito impresso e nela será amplificada, e logo após transmitida pelo sistema de telemetria que estará a bordo.

Devido a falta de Recursos não foi possível realizar a fabricação deste sensor.

## Observação de aeroluminescência utilizando o fotômetro Multicanal 2: Estudos de ondas de gravidade

Patrícia Almeida Silva

Aluna da Universidade do Vale do Paraíba - Bolsa PIBIC/ CNPq

Orientador: Dr. Hisao Takahashi, Pesquisador da Divisão de Aeronomia.

Avenida dos Astronautas, 1758 - Caixa Postal 515

Sol e a lua geram forças na atmosfera, que produzem marés. Esse fenômeno é conhecido com ondas de marés, uma vez que essas forças produzem uma certa movimentação do ar. Tal movimentação de ar induz forças eletromotivas através do campo geomagnético, causando variações geomagnéticas. O sistema de campo elétrico, correntes e cargas elétricas, produzidos pelo processo acima, tem uma importância muito grande na dinâmica da ionosfera. Além disso, o conceito de marés atmosféricas é muito útil para se compreender a dinâmica da termosfera. As marés na termosfera são também afetadas pelos processos que ocorrem na baixa atmosfera. Marés que tem origem na baixa atmosfera, causada pelo aquecimento solar, podem se propagar para cima e assim modificar a dinâmica da termosfera.

As ondas de gravidade podem ser geradas por inúmeras fontes na troposfera e também podem ser geradas por eventos relacionados à atividade geomagnética.

Para caracterizarmos as ondas de marés atmosfera e ondas de gravidade observamos suas características amplitudinais assim com seu comprimento de onda e frequência respectivamente.

A observação da fase, comprimento de onda e amplitude é feita através da relação entre as variações noturnas das emissões de aeroluminescência (OI 5577, NaD, OH, OI6300 nm). Esses dados são representados por séries temporais com intervalo médio de 3,3 minutos e comprimento de 6 a 10 horas por noite.

Assim sendo, o objetivo desse trabalho é de analisar as variações periódicas dessas séries temporais, para caracterizarmos as ondas de marés/ gravidades.

Os dados das variações noturnas, são obtidos pelo fotômetro multicanal 2, que se encontra em Cachoeira Paulista. (serão analisados os dados entre 1995 a 1998.).

Para podermos analisarmos essas séries temporais, realizamos inicialmente organização de um arquivo de dados e uma pré-análise dos dados, com finalidade de selecionarmos as noites que se apresentavam com períodos mais longos. O programa de ajuste de curvas para retirar as tendências de longo tempo, são realizadas através do programa "Fitting e análise espectral" (Delano Gobbi), que utiliza o Método dos Mínimos Quadrados.

Feito isso, selecionamos uma das noites que apresentasse características mais evidentes à ondas de marés/gravidade, a fim de se estudar o melhor método de análise espectral. Na presente fase do projeto, nos encontramos no estudo do Método de Fourier (Fast Fourier Transform) assim como no estudo de um programa que melhor realize essa análise, assim como melhor reproduza os dados

graficamente. Os dados para análise estão sendo testados no Mahtematica , e a reprodução dos dados em gráficos está sendo testada no Origin ambos for Windows

Feita essa análise com o Método de Fourier, serão realizadas a análise através de outros métodos, e a escolha do melhor método será realizada através de testes estatísticos. O objetivo final será gerar um arquivo dessas análises e estudar os processos físicos que causam essas perturbações ondulatórias.

WHITTEN, R.C. and POPPOFF, I.G. Fundamentals of Aeronomy. Wiley, 1971.

MORETTI, Analise espectral de séries temporais. Mac Graw Hill, 1987.

# **ESTUDOS DE PERFIS DE DENSIDADE ELETRÔNICA E TEMPERATURA ELETRÔNICA ATRAVÉS DA ANÁLISE DE DADOS DE FOGUETES.**

Daniela Cristina Santana

Aluna da Universidade do Vale do Paraíba - Bolsa PIBIC/CNPq

Orientador: Mangalatayhl Ali Abdu - Pesquisador Titular - Div. de Aeronomia - CEA

A importância que a informação tem atualmente faz com que os meios de propagação dos sinais de comunicação sejam cada vez mais estudados. No momento, um dos meios de propagação em interesse, é a ionosfera terrestre. A ionosfera terrestre localiza-se de 70km a 1000km de altitude e compõem-se basicamente por íons e elétrons que geram as interferências nos sinais de comunicação que a usam como um meio de propagação.

A finalidade dessa bolsa de iniciação científica é obter perfis da densidade desses elétrons visualizando os fenômenos e as irregularidades ionosféricas e conseqüentemente monitorando o comportamento da ionosfera terrestre.

Para esse fim, foram desenvolvidos softwares, em linguagem C, que processaram os dados coletados *in loco* por foguetes lançados da base brasileira CLA (Centro de Lançamentos de Alcântara(MA)).

O Brasil tem, até nos dias de hoje, 09 (nove) campanhas de lançamentos de foguetes realizadas sendo que algumas dessas campanhas foram realizadas em parcerias com pesquisadores de outros países. Desse total, 07 (sete) campanhas foram bem sucedidas.

No período de vigência dessa bolsa de iniciação científica, agosto/96 a maio/97, foi aperfeiçoado o perfil de densidade eletrônica da Campanha Guará, datada de 14 de outubro de 1994, às 19:55hs(LT), com o apogeu em 956km de altitude e tempo total de dados coletados de 1053segundos, com o intuito de comparar o perfil de densidade obtido pelos pesquisadores brasileiros com o perfil de densidade obtido pelos pesquisadores norte americanos que também participaram, dessa campanha. O resultado dessa comparação foram favoráveis aos pesquisadores brasileiros significando que estão na linha certa de pesquisa.

Neste período também foi iniciado o desenvolvimento dos softwares para o processamento dos dados da Campanha Ionex2, datada de 18 de dezembro de 1995, às 21:17hs, com apogeu em 557km, mas o perfil de densidade obtido é um perfil preliminar para estudos.

Os resultados dos estudos desse meio de propagação, fornecem um conhecimento prévio que é útil em diversas aplicações, tais como: o melhoramento do sistema de telecomunicações, o desenvolvimento de sistemas de localização geográfica e o aperfeiçoamento dos sistemas de navegação de satélites.

## **Bibliografia**

**“Electric Field and Electron Density Irregularities Associated with Plasma Bubbles”,**

**P. Muralikrishna, M. A. Abdu, M. G. S. Aquino, D.C. Santana.**

**INPE - SJCampos/SPaulo.**

**“In Situ Measurement of High Altitude Spread-F Characteristics by Three Different Plasma Density Probes”,**

**P. Muralikrishna, M. A. Abdu, J. H. A. Sobral, M. G. S. Aquino, D.C. Santana.**

**INPE - SJCampos/SPaulo.**

## ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS

Caio Teruo Hideshima

Aluno do Instituto Tecnológico de Aeronáutica - Bolsa PIBIC/CNPq

Orientador: Dr. Daniel Jean Roger Nordeman, Divisão Geofísica Espacial

O estudo dos registros medidos sobre os fenômenos geofísicos, que ocorreram no passado e continuam ocorrendo no presente, tem a vantagem de permitir a observação de relações entre os fenômenos e através destas poder prever, para nos precaver-mos e até tirar-mos proveitos econômicos de um possível acontecimento envolvendo estes fenômenos geofísicos. Além disso, este estudo possibilita um maior conhecimento e intromissão com o assunto (hidrologia de rios e análise matemática de séries temporais), e também aperfeiçoamento no método de análise de sinais periódicos ou não periódicos.

Os dados analisados são tirados de amostras naturais tais como amostras de coluna de gelos, onde os gases que estão contidas em pequenas bolhas na amostra são analisados e mede-se a concentração dos gases que fazem parte da mistura ( $^{10}\text{Be}$ ,  $\text{CO}_2$ ); anéis de árvore, onde os dados são obtidos através do comprimento do anel da árvore; sedimentos marinhos e lacustres e também institutos de pesquisa e observatórios. Os dados obtidos através destes métodos de amostras naturais são todos encontrados na internet a disposição dos cientistas e estudantes.

As séries temporais obtidas foram estudadas através do método de regressão iterativa com o auxílio do software *Mathematica* que possui grande vantagem sobre os recursos gráficos e matemáticos, sendo este o motivo da escolha da utilização deste software.

Comparando-se os resultados, pode-se observar que:

Para a série do Rio Paraguai, o modelo prevê uma estiagem de grande amplitude até o ano 2000 seguida por uma alternância de períodos de enchentes e de nível próximo do nível médio. Embora haja as incertezas inerentes as séries temporais, o resultado pode fornecer informações úteis sobre as tendências do comportamento do Rio Paraguai no futuro à escala de alguns anos.

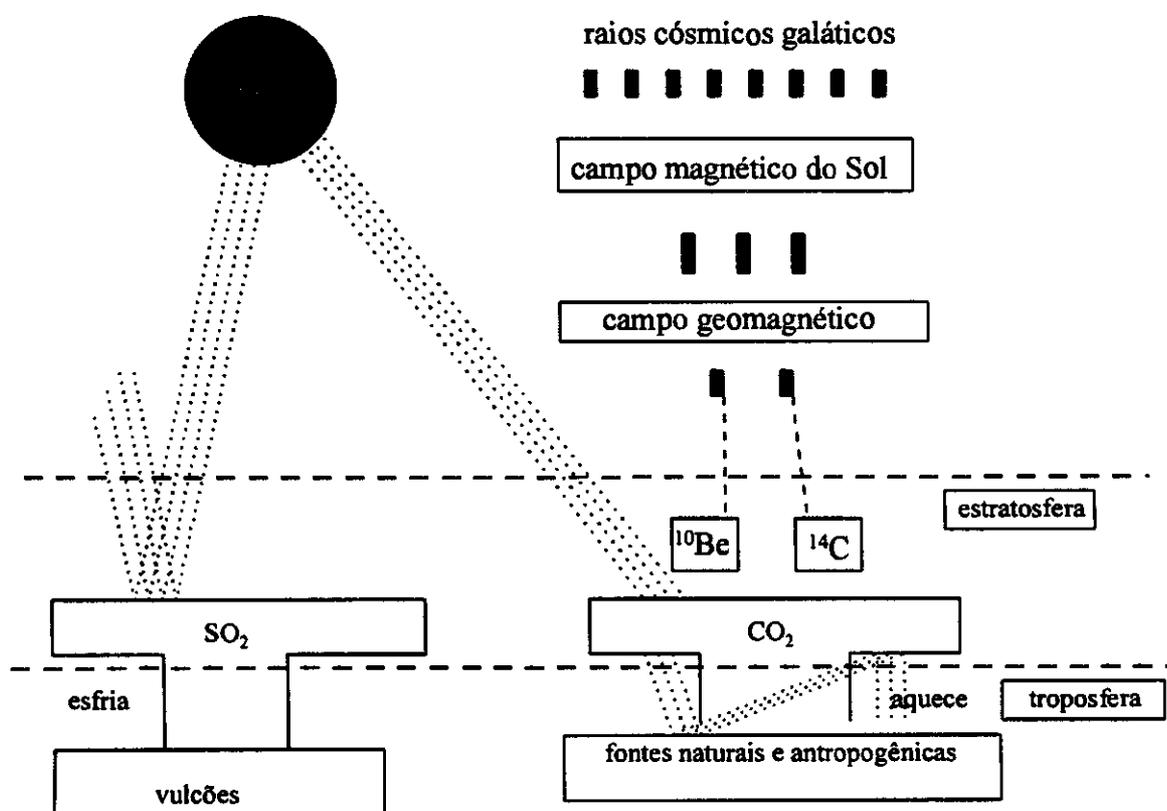
As variações climáticas na Terra pode ter suas origens no Sol, mediante variação da atividade solar, ou serem causadas na Terra por fenômenos naturais como erupções vulcânicas, ou artificiais, como queima de combustível fóssil pelo homem.

Quando há erupções vulcânicas, ocorre a emissão de dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) na estratosfera, que se transforma em gotas de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Esse ácido espalha-se rapidamente a luz solar, reduzindo assim a radiação que chega a superfície da Terra, o que provoca um esfriamento no planeta.

Quando o  $\text{CO}_2$  aumenta na atmosfera, seja por causas antropogênicas ou naturais, ocorre um aquecimento no planeta (efeito estufa). A luz solar que chega do Sol na Terra e atravessa a atmosfera, atingindo a superfície do planeta, tem uma parte absorvida pela superfície e outra parte é reemitida. A energia reemitida pela superfície encontra a atmosfera com maior densidade óptica, ocasionada pela maior concentração de  $\text{CO}_2$ , não conseguindo assim atravessá-la. Dessa forma a luz que foi reemitida pela superfície, fica presa entre a superfície e a atmosfera, o que provoca o aquecimento da terra.

Os raios cósmicos após serem modulados pelos campos heliomagnéticos e geomagnéticos, encontram o topo da superfície atmosférica terrestre. Eles se interagem formando os radionuclídeos cosmogênicos na estratosfera, e na troposfera entre as quais o  $^{14}\text{C}$  e o  $^{10}\text{Be}$ . No caso do  $^{14}\text{C}$ , logo depois de ser formado, ele oxida-se rapidamente e transforma-se em  $^{14}\text{CO}_2$ , e apresenta assim um tempo de residência na atmosfera relativamente longo (da ordem de anos). O aumento de  $\text{CO}_2$  na estratosfera e na troposfera, provoca a diluição, ou diminuição relativa, do  $^{14}\text{CO}_2$  atmosférico. No caso do  $^{10}\text{Be}$ , ele se aglutina facilmente aos aerossóis suspensos na estratosfera, permanecendo ali, por um ou dois anos e duas ou três semanas na troposfera. Logo após, se precipita para a superfície da Terra e dos oceanos.

A figura a seguir ilustra as possíveis relações entre o Sol, clima,  $\text{CO}_2$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{10}\text{Be}$ , vulcões.



# **5<sup>a</sup> Sessão Técnica**

**02 de julho de 1997, 13:55 - 15:35**  
**Chairperson: Dr. Paulo Giacomo Milani**



## GERAÇÃO DE PLASMAS METÁLICOS NO EXPERIMENTO PCEN

Clênio Ricardo da Fonseca Sobreira

Aluno do Instituto Tecnológico de Aeronáutica

Orientador : Renato Dallaqua , Pesquisador

Laboratório Associado de Plasma

Atualmente há um crescimento no uso de isótopos em áreas tais como: energia nuclear, agricultura, medicina nuclear, ciências biomédicas, química, física nuclear e etc. Com relação à geração de energia, utiliza-se o isótopo urânio-235 enriquecido a 2-3% com consumo de centenas a milhares de toneladas por ano. Como exemplo, uma usina nuclear de 1000MW (6,6TWh/ano, aproximadamente a energia consumida em Paris em um ano), consumirá 27 toneladas de urânio (2-3% de enriquecimento, reator PWR) ou 160 toneladas de urânio natural. Difusão gasosa e centrífuga mecânica são os métodos comercialmente usados para a obtenção do urânio-235 enriquecido. De particular interesse são as pesquisas em medicina nuclear e ciências biomédicas (utilizando isótopos estáveis), onde o desenvolvimento de um tratamento ou medicamento de uso corrente terá um grande retorno social e financeiro. Havendo um crescimento no consumo de isótopos estáveis ocorrerá uma procura a novos métodos de separação isotópica a custos mais baixos, uma das finalidades do experimento PCEN.

Até a presente data, plasmas metálicos de C, Mg, Zn, Ca e Pb tem sido obtidos facilmente. No entanto plasmas de Al, Ti, Ni e Cu tem sido obtidos marginalmente, isto é, há uma porcentagem alta de falha no chaveamento da descarga em arco no experimento PCEN. A energia obtida por meio de laser de CO<sub>2</sub> (o chaveador da descarga em arco) está no limiar para a formação do plasma que fechará a descarga principal para esses catodos. Para metais de ponto de fusão elevados como Zr, Ta, W e Mo o laser não consegue gatilhar a descarga em arco.

Este trabalho de iniciação científica propôs-se a substituir o laser de CO<sub>2</sub> por um circuito gerador de pulso em alta tensão (~15kV) com duração de ~50μs, implementado com sucesso por Geoffrey C. Watt e Peter G. Evans[1].

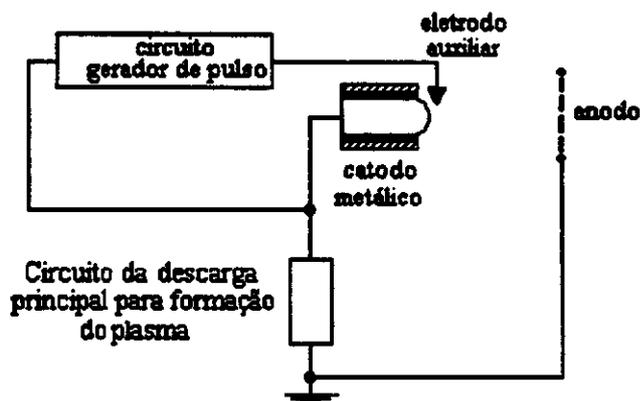


Figura 1 - Esquema para substituição do laser de CO<sub>2</sub> no chaveamento da descarga em arco na PCEN

Os resultados dos ensaios do circuito para diversas tensões contínuas de alimentação do circuito gerador de pulso são mostrados abaixo. Devido às limitações da ponta de prova utilizada, não foi possível testar o circuito com os níveis de tensão desejados (~15kV), contudo resultados satisfatórios foram obtidos para tensões de até 12,5kV. Os gráficos das formas de onda

obtidas e da extrapolação estão expostos nas figuras 2 e 3, respectivamente:

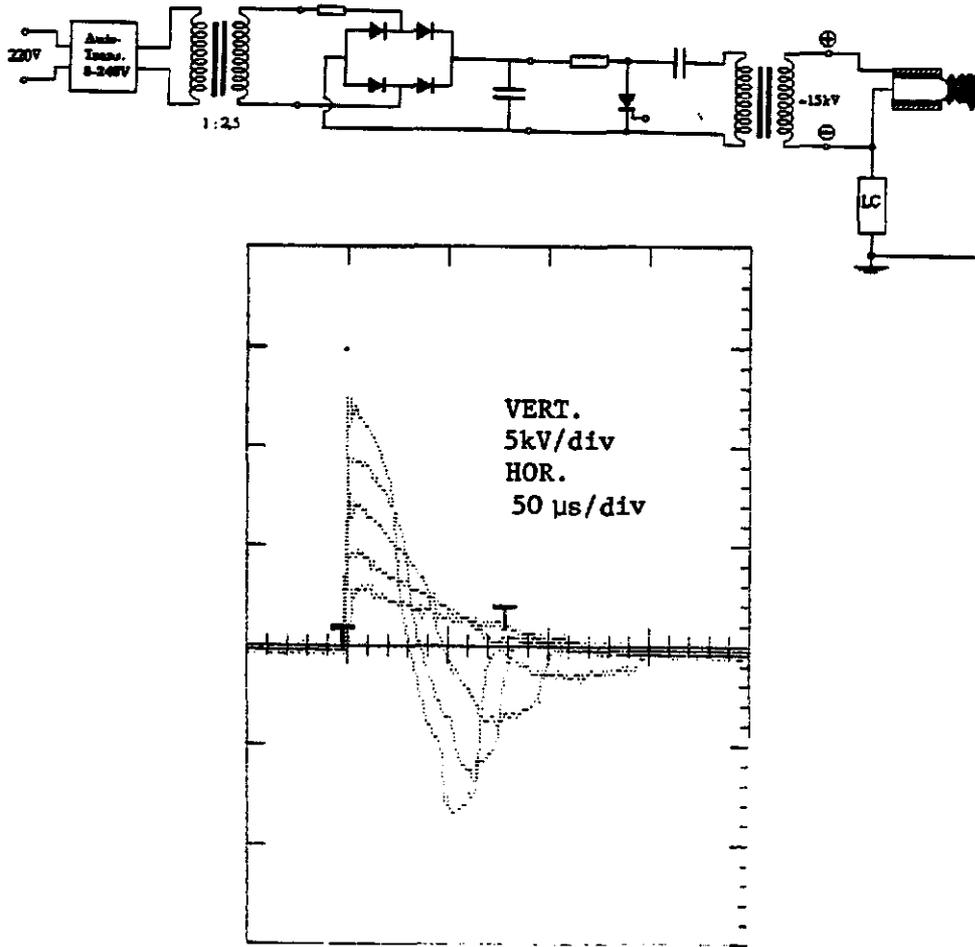


Figura 2 - Esquema do Circuito e saídas do circuito gerador de pulso para entradas contínuas de 100, 200, 300, 400 e 500V

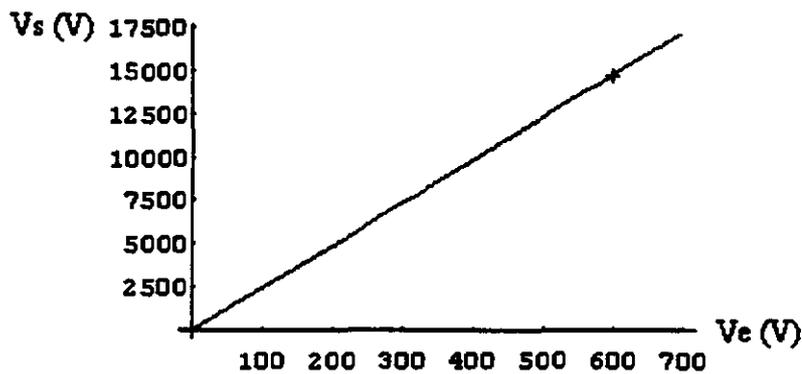


Figura 3 - Gráfico da Extrapolação da tensão de pico do Circuito Gerador de Pulso da PCEN elaborado no software Mathematica

[1] G.C. Watt P.G. Evans, "A Trigger Power Supply for Vacuum Arc Ion Source", IEEE Trans.on Plasma Science, vol. 21, pp.547-551, october 1993.

## BOBINA DE ROGOWSKI PARA MEDIDA DE CORRENTE PULSADA DE PLASMA EM TOKAMAKS

João Augusto Giacoia, bolsista FIBIC/CNPq

Graduando em Eng. Eletrônica do Instituto Tecnológico de Aeronáutica

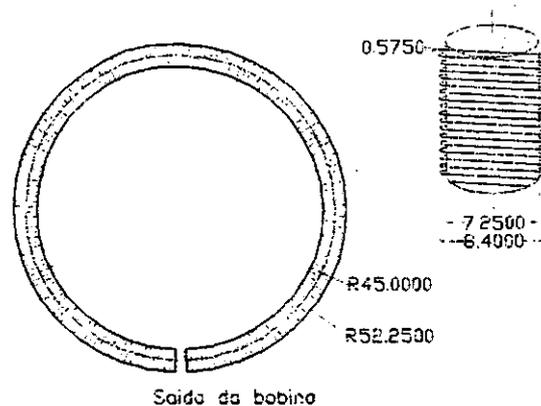
Orientador: Dr. Edson Del Bosco, Laboratório de Plasma - INPE

A fusão nuclear deve tornar-se, dentro de alguns anos, uma das principais fontes de energia elétrica. Seus recursos são praticamente inesgotáveis e sua produção não ocasiona prejuízos para o meio-ambiente. Entretanto, ainda não se conseguiu produzir energia a partir de fusão nuclear de um modo economicamente viável, sendo necessários estudos aprofundados para a construção de reatores compactos e eficientes.

Tais estudos incluem a construção de *tokamaks*, que são vasos toroidais onde se mantém gases ionizados confinados por campos magnéticos sob altas pressões e temperaturas. No Laboratório Associado de Plasma do INPE encontra-se em construção o ETE - Experimento Tokamak Esférico. O tema desta bolsa de iniciação científica está diretamente ligado à construção do ETE.

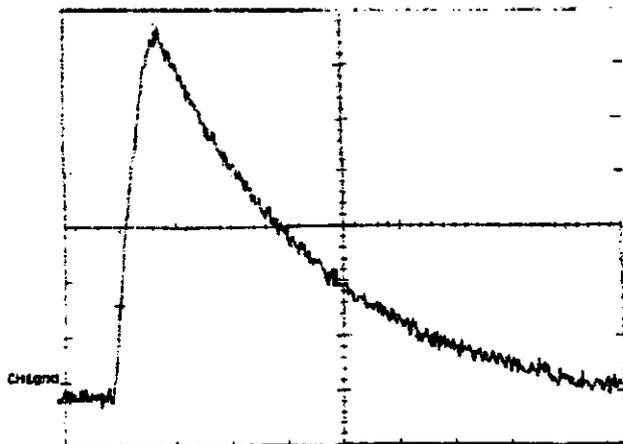
Dentro de um tokamak os gases estão em condições de temperatura e pressão tais que passam para o estado de plasma, ou seja, de gás ionizado. Um dos principais componentes que caracterizam um tokamak é a geração de uma corrente elétrica toroidal no gás ionizado, denominada *corrente de plasma* (ou *corrente toroidal*). Esta corrente pulsada possui valores bastante elevados. Para o caso do tokamak ETE deve-se alcançar aproximadamente 450 kA. Esta corrente é responsável pelo aquecimento do plasma, por efeito Joule, e também para gerar um campo magnético na direção poloidal, que juntamente com o campo toroidal, aplicado externamente, produz as linhas de campo helicoidais necessárias para confinar o plasma no tokamak. Esta bolsa tem por objetivo projetar, construir e calibrar uma *bobina de Rogowski* para medir a corrente de plasma pulsada produzida no tokamak ETE.

Na primeira etapa desta bolsa, foi projetado e construído um protótipo da bobina de Rogowski que será usada no tokamak (*Fig. 1*). Ele serviu para que fossem testados os circuitos de calibração, também projetados naquela ocasião. Na segunda e última etapa, construiu-se o circuito de calibração e realizou-se a calibração da bobina experimental, tanto com corrente pulsada quanto alternada, usando-se também um integrador diferencial.



**Figura 1: bobina de Rogowski.**

O circuito de calibração por corrente alternada nada mais é do que um variac ligado à bobina de calibração em série com um resistor de prova. Já o circuito de calibração por corrente pulsada consiste num banco de capacitores que, quando disparado, produz um pulso de corrente com duração da ordem de milissegundos. Além dos resultados teóricos obtidos a partir do valor nominal dos componentes, também foram feitas previsões do funcionamento do circuito utilizando-se o alpicativo *Pspice*. Das simulações obteve-se tanto a forma quanto a intensidade e a duração do pulso produzido pelo circuito, que foram bem próximas do esperado (*Fig. 2*). O valor da constante de calibração para o protótipo da bobina de Rogowski com integrador, medido pelo sistema pulsado, é de  $k^{-1} = 10,01 \text{ A/mV}$



**Figura 2: forma do pulso de corrente produzido pelo circuito de calibração.**

1. GIACOIA, J. A. e DEL BOSCO, E., **Bobinas de Rogowski.**

Relatório parcial, INPE, São José dos Campos, Dez/96.

2. GIACOIA, J. A. e DEL BOSCO, E., **Bobinas de Rogowski.**

Relatório final do projeto, INPE, S. J. dos Campos, Jun/97.

## ANOMALIA DA ATIVIDADE CONVECTIVA SOBRE A AMÉRICA DO SUL

Fredy Alexandre Sargaço

Aluno da Universidade do Vale do Paraíba - UNIVAP - Bolsa PIBIC/CNPq

Orientadora: Dra. Iracema F. A. Cavalcanti, Pesquisadora - CPTEC

Estudos anteriores mostraram que a atividade convectiva sobre a América do Sul pode ser identificada em análises de dados digitais de satélite e que as variações sazonais podem ser analisadas pelas médias mensais desses dados. Sargaço e Cavalcanti (1996) apresentaram as configurações médias nas quatro estações do ano, ressaltando as áreas com maior convecção sobre a América do Sul. Séries temporais de distribuição diária em cinco regiões da América do Sul também foram analisadas em Sargaço e Cavalcanti (1996).

O conhecimento das características estruturais da convecção tropical é importante para a compreensão da organização individual das células convectivas e sua interação com a circulação em grande escala, e uma forma de se observar a modulação da convecção pelo ciclo diurno é o de gerar imagens médias (Machado et al, 1996).

Além da análise das imagens médias é importante o conhecimento das configurações dominantes de anomalias da atividade convectiva.

O objetivo deste trabalho é o de identificar as principais configurações de anomalias de atividade convectiva sobre a América do Sul, utilizando dados digitais de imagens de satélite.

Essas anomalias podem ser analisadas através de análise de correlação ou aplicando o método de Funções Ortogonais Empíricas (FOE). Este método tem sido usado em estudos observacionais para analisar os principais padrões de circulação atmosférica e é uma maneira objetiva para o estudo das teleconexões e de anomalias. Aplicando o método em uma grade horizontal de pontos de dados, é possível extrair as principais configurações das anomalias em um grande conjunto de dados. Como mencionou Stidd (1967), este método reduz o número de cartas, gráficos ou tabelas requeridas para mostrar ou preservar as informações essenciais, e os padrões mostram as principais características dos dados.

As FOE's foram aplicadas a um conjunto de anomalias diárias de dados digitais de imagens de satélite para a região da América do Sul, em períodos anuais e sazonais.

As correlações foram calculadas entre as anomalias de alguns pontos escolhidos sobre a América do Sul e todos os outros pontos da grade correspondente. As anomalias de 1993 e 1994 foram geradas para cada dia através da subtração de cada ponto da imagem pela média desses dois anos. Foram tomados conjuntamente as anomalias diárias das séries sazonais de 1993 e 1994 para o cálculo de 15 pontos de correlação. Cada ponto possui suas coordenadas terrestres e corresponde a um valor na matriz de 28 x 30.

Os resultados de ambas as técnicas mostram as configurações dominantes de atividade convectiva sobre a América do Sul. A formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) foi identificada nas configurações do primeiro autovetor. Essa formação foi observada com maior clareza no verão, outono e primavera de 1993 e 1994.

No terceiro e no quarto autovetor a formação que mais se destaca é a configuração de trens de onda, ou seja, cadeias de centros opostos indicando circulações locais de ascensão e subsidência. Essa configuração pode ser associada a passagem de sudoeste para nordeste de sistemas frontais sobre a América do Sul. Estas

configurações podem ser melhor visualizadas no verão, outono, e inverno de 1993 e 1994. Os centros opostos localizados correspondem a núcleos positivos e negativos de anomalias. A figura 1 mostra um exemplo de configuração para o primeiro autovetor calculado do conjunto de anomalias referentes ao verão de 1993. Nessa figura nota-se anomalias com mesmo sinal sobre a América do Sul em uma banda NW-SE, enquanto o sul e o NE tem anomalias opostas.

Os resultados da análise de correlação mostram a associação de convecção na Amazônia com a ZCIT; regiões sem nebulosidade dos dois lados da ZCAS, e relações entre a nebulosidade em várias regiões da América do Sul. Um exemplo é mostrado na figura 2 das correlações para o verão de 93 e 94 quando o ponto considerado está no SE. Essas configurações de correlações positivas (nebulosidade) orientada NW/SE sobre o SE e áreas de correlações negativas (sem nebulosidade) estão associadas à atuação da ZCAS.

As anomalias encontradas na nebulosidade podem assim ser relacionadas com anomalias de convecção e de precipitação nas diversas épocas do ano.

Para complementar o trabalho é necessário avaliar as séries temporais das amplitudes para um perfeito entendimento do sinal das anomalias e analisar a evolução dos padrões aplicando o método das FOE estendidas, o que é fundamental para o entendimento de algumas configurações.

Machado, L. A. T., Guedes, R. L., Alves, M. A. S., 1996. Características Estruturais de Sistemas Convectivos e Forçantes da Convecção na América do Sul, Observada por Satélites. *Climanálise Especial*: 110 - 117.

Sargaço, F. A., Cavalcanti, I. F. A., 1996. Atividade Convectiva no Brasil através de dados Digitais de Imagens de Satélite. Trabalho Publicado na 48ª. Reunião Anual da SBPC.

Stidd, C., (1967). The use of eigenvectors for climate estimates. *J. Appl.* 6:255-264.

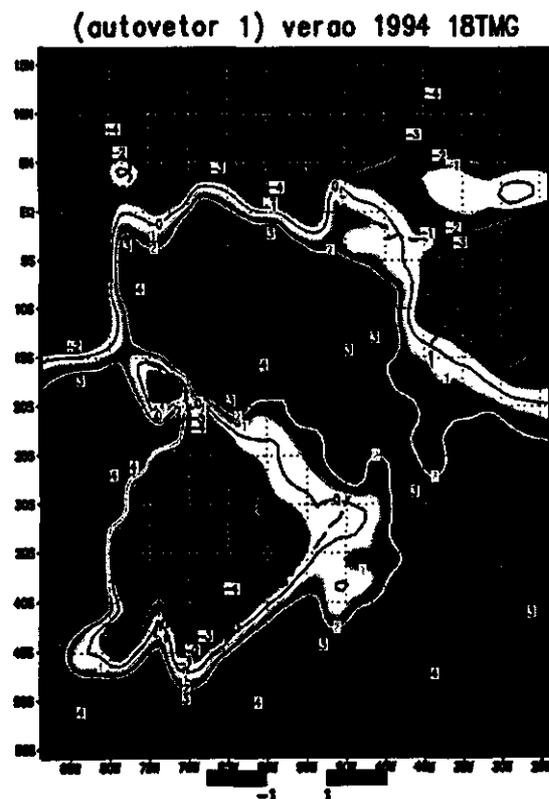


Fig. 1) Configuração do 1º. autovetor para o o verão de 1993.

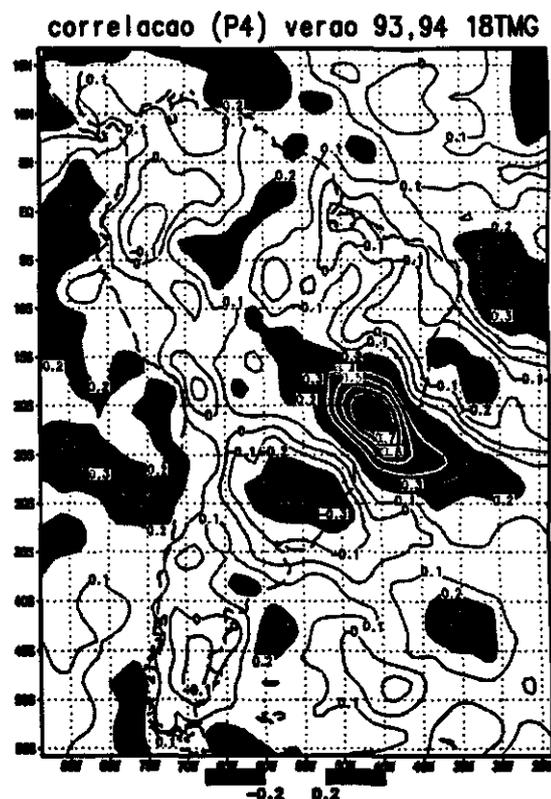


Fig. 2) Configuração da análise de correlação para o ponto (46.25W,20.75S) nos verões de 93 e 94.

# PREVISÃO ESTATÍSTICA DAS PRECIPITAÇÕES DIÁRIAS NA CIDADE DE SÃO PAULO USANDO UMA ÚNICA RADIOSSONDAGEM

**Roberto Rabelo Júnior**

Aluno da Universidade do Vale do Paraíba - Bolsista PIBIC/CNPq  
Orientador: Dr. Clóvis Angeli Sansigolo, Pesquisador  
Divisão de Ciências Meteorológicas  
Av. dos Astronautas, 1758 - Caixa Postal 515 - CEP: 12.201-970

As previsões estatísticas de precipitação têm sido objeto de pesquisa e desenvolvimento em diversas partes do mundo, desde o final do século passado. Contudo, ultimamente, tiveram maior interesse, a nível mundial, devido à ampliação das atividades econômicas e sociais envolvendo riscos de chuvas. Para essas previsões utilizam-se *Índices de Instabilidade*, que são parâmetros numéricos objetivos que visam relacionar a ocorrência de chuvas com a circulação atmosférica de grande escala (temperatura, vento e umidade).

Os dados meteorológicos utilizados neste projeto (geopotencial, temperatura, umidade relativa, velocidade e direção do vento, nos níveis padrões de pressão atmosférica) foram obtidos através das radiossondagens diárias no Aeroporto de Congonhas em São Paulo, no período de 1970 até 1991 e, as precipitações diárias foram obtidas no Parque do Estado - Água Funda (IAG/USP) e no Mirante de Santana (INEMET). Foram selecionados três períodos durante a estação chuvosa: Outubro/84-Março/85, Outubro/89-Março/90 e Outubro/90-Março/91.

Foram calculados, como mostrado abaixo, os seguintes índices de instabilidades:

<b>SHOWALTER (IS):</b>	$IS = T_{500} - T'_{500}$
<b>K:</b>	$K = (T_{850} - T_{500}) + Td_{850} - (T_{700} - Td_{700})$
<b>TOTALS (TOT):</b>	$TOT = T_{850} + Td_{850} - 2*T_{500}$
<b>SWEAT (SW):</b>	$SW = 12*Td_{850} + 2*V_{850} + V_{500} + 20*(TOT - 49) + 125*f(\alpha)$
<b>DRUYAN-SANT (IDS):</b>	$IDS = \frac{w}{Dz} \text{ (g / (Kg . 100m))}$
<b>GALWAY (IL):</b>	$IL = T_{500} - T''_{500}$
<b>FAWBUSH-MILLER (IFM):</b>	$IFM = T_{500} - T'''_{500}$

onde:

$T_p$  = Temperatura do ar em °C no nível de pressão p;

$Td_p$  = Temperatura de ponto de orvalho;

$V_p$  = Velocidade do vento (em nós);

$f(\alpha)$  = Função de cisalhamento do vento;

$w$  = Razão de mistura calculada a partir da pressão de vapor;

$Dz$  = Distância vertical entre o nível da radiossondagem e o nível de condensação por levantamento.

São estimadas as precipitações com 1 dia de antecedência (total acumulado entre as 9h do dia  $D$  às 9h do dia  $D+1$ ), através dos *Índices de Instabilidade* calculados para o dia  $D$ .

No período analisado, os índices se comportaram da seguinte forma:

⇒ Índice de **SHOWALTER (IS)**: Teve como média 4,0 e desvio-padrão 6,0 para os dias *chuvosos* e média 15,7 e desvio-padrão 7,7 para os dias *secos*. Quanto menores os resultados para  $IS$ , maior a possibilidade de precipitações na área mencionada. Esse índice apresentou grandes diferenças entre os dias secos e chuvosos e também apresentou uma destreza de 40,63% para a ausência de chuvas e de 76,39% para os dias com precipitação.

- ⇒ Índice *K*: Teve como média 30,7 e desvio-padrão 6,3 para os dias *chuvosos* e média 18,9 e desvio-padrão 13,5 para os dias *secos*. Quanto mais altos esses valores, maior a possibilidade de tempestades. O índice *K* apresentou uma destreza de 26,72% para a ausência de chuvas e de 87,27% para os dias com precipitação.
- ⇒ Índice *TOTALS (TOT)*: Teve como média 42,9 e desvio-padrão 3,5 para os dias *chuvosos* e média 39,4 e desvio-padrão 7,4 para os dias *secos*. Esse índice não teve um bom desempenho pois não permitiu uma boa distinção entre os dias secos e chuvosos. Quanto mais altos os valores obtidos para esse índice, maior a possibilidade de chuvas. O índice *TOT* apresentou uma destreza média de 96,98% para a ausência de chuvas e de 3,33% para os dias com precipitação.
- ⇒ Índice *SWEAT (SW)*: Teve como média 77,2 e desvio-padrão 86,8 para os dias *chuvosos* e média -17,5 e desvio-padrão 152,1 para os dias *secos*. Quanto mais altos os valores obtidos, maior a ameaça de tempestades severas, que não se observaram no período escolhido. O índice *SW* apresentou uma destreza média de 98,55% para a ausência de chuvas e de 1,67% para os dias com precipitação.
- ⇒ Índice de *DRUYAN-SANT (IDS)*: Teve como média 2,9 e desvio-padrão 2,2 para os dias *chuvosos* e média 1,4 e desvio-padrão 1,0 para os dias *secos*. Esse índice provou ser eficaz na maioria dos casos que houve precipitação. O índice *IDS* apresentou uma destreza de 66.56% para a ausência de chuvas e de 43.29% para os dias com precipitação.
- ⇒ Índice *GALWAY (IL)*: Teve como média 5,7 e desvio-padrão 9,2 para os dias *chuvosos* e média 20,1 e desvio-padrão 9,6 para os dias *secos*. Quanto menores os resultados para *IL*, maior a possibilidade de precipitações. Esse índice apresentou valores menores que os de *Showalter* e também apresentou uma destreza de 36,80% para a ausência de chuvas e de 71,06% para os dias com precipitação.
- ⇒ Índice *FAWBUSH-MILLER (IFM)*: Teve como média 3,5 e desvio-padrão 7,1 para os dias *chuvosos* e média 13,8 e desvio-padrão 7,0 para os dias *secos*. Quanto menores os resultados para *IFM*, maior a possibilidade de precipitações. Esse índice apresenta valores semelhantes com os de *Showalter* e também apresentou uma destreza de 39,92% para a ausência de chuvas e de 77,55% para os dias com precipitação.

Analisando os resultados, chegou-se à conclusão de que os Índices de Instabilidade *SHOWALTER, K, DRUYAN-SANT, GALWAY e FAWBUSH-MILLER* apresentaram boa destreza na previsão de chuvas e/ou ausência delas e tiveram comportamentos semelhantes no período em questão. Já os índices *TOTALS e SWEAT* não apresentaram bons resultados na previsão de tempestades severas e serão reavaliados.

#### **Bibliografia:**

- BENETI, C. A. A.; SILVA DIAS, M. A. *Análise do desempenho de índices de instabilidade como previsores de tempestades na região Centro-Sul do Brasil. Anais VI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Salvador, 1990, v. II, p. 467-471.*
- DRUYAN, L. M.; SANT, Y. *Objective 12h precipitation forecasts using a single radiosonde. Bulletin of the American Meteorological Society, 59(11):1438-1441, Nov 1978.*
- MILLER, R. C.; MADDOX, R. A. *Use of the Sweat and Spot Indices in operational severe storm forecasting. Ninth Conference on Severe Local Storms, Oklahoma, USA, Oct 1975, p. 1-6.*
- MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA. *Manual de análise do diagrama "Skew-T - Log P". MMA-DR-105-7, 1969, p. 56-61.*
- REAP, R. M.; FOSTER, D. S. *New operational thunderstorm and severe storm probability forecasts based on Model Output Statistics (MOS). Ninth Conference on Severe Local Storms, Oklahoma, USA, Oct 1975, p. 58-63.*

## **Aplicação do algoritmo de Box e Hill para discriminação entre modelos competitivos**

Atila Madureira Bueno

Aluno da Universidade Braz Cubas - Bolsa PIBIC/CNPq  
Orientador: Dr Ralf Gielow - Pesquisador Titular DCM/INPE

Fenômenos naturais ou processos artificiais, como evapotranspiração, reações químicas, dispersão de poluentes, acessibilidade urbana ou rendimento agrícola podem ser representados matematicamente por mais de um modelo, de acordo com o mecanismo de funcionamento do sistema ou ajuste estatístico-matemático que o observador ou experimentador considerar.

O algoritmo de Box e Hill (BH), implementado de forma amigável por Mendes (1997), com interface ser-humano-máquina do tipo GUI ("Graphical User Interface" - ao qual se acrescentaram informações de ajuda "clicáveis"), e utilizando o MATLAB e linguagem C em "background", constitui um procedimento para a discriminação entre modelos que competem para representar um determinado fenômeno ou processo. O algoritmo determina a probabilidade a posteriori de cada modelo, utilizando um procedimento bayesiano e considerando dados observados ou medidas experimentais e respectivos erros, cobrindo todo o domínio das variáveis envolvidas.

Neste trabalho, o autor apresenta a aplicação prática de BH a seis casos de competição entre modelos encontrados na literatura, processados por Mendes (1997), mais um caso adicional, mostrando-se a seguir as probabilidades  $\Pi_i$  determinadas para cada modelo  $i$ :

**Caso #1** - Concentração de poluentes na camada limite convectiva utilizando modelo Gaussiano versus soluções da equação de difusão. Cf. Tab. 2 de Degrazia et al. (1996) - 3 modelos -  $\Pi_1 = 0,33$   $\Pi_2 = 0,34$   $\Pi_3 = 0,33$  (empate).

**Caso #2** - Concentração de poluentes emitidos por fonte linha na camada limite convectiva utilizando soluções analíticas e numéricas. Cf. Tab. 1 de Carvalho et al. (1996) - 3 modelos -  $\Pi_1 = 0,30$   $\Pi_2 = 0,30$   $\Pi_3 = 0,40$

**Caso #3** - Concentração de poluentes ao nível da superfície da camada limite convectiva utilizando soluções analíticas e numéricas. Cf. Tab. 3 de Carvalho et al. (1996) - 3 modelos -  $\Pi_1 = 0,24$   $\Pi_2 = 0,23$   $\Pi_3 = 0,53$

**Caso #4** - Nível do rio Paraguai em quatro meses consecutivos utilizando redes neurais e regressão iterativa. Cf. Weigang e Nordemann (1996) - meses 03 a 06/95 - 3 modelos -  $\Pi_1 = 0,99$   $\Pi_2 = 0,01$   $\Pi_3 = 0,00$

**Caso #5** - Nível do rio Paraguai em quatro meses consecutivos utilizando quatro modelos de redes neurais. Cf. Weigang et al. (1996) e Weigang (1997) - meses 03 a 06/95 - 4 modelos -  $\Pi_1 = \Pi_2 = \Pi_3 = 0,00$   $\Pi_4 = 1,00$

**Caso #6** - Nível do rio Paraguai em quatro meses consecutivos utilizando dois modelos de redes neurais. Cf. Weigang et al. (1996) - meses 05 a 08/59 - 2 modelos -  $\Pi_1 = 0,9999$   $\Pi_2 = 0,0001$

**Caso #7** - Conteúdo ionosférico de elétrons sobre Cachoeira Paulista. Conforme Paula et al. (1996) - 2 modelos, SUPIM e IRI90, estratificados cf. o nível de atividade solar no Equinócio (baixo, médio ou alto), referentes a 1982, 1984, 1986 e 1989; resultam para o modelo SUPIM as probabilidades 0,52, 0,60 e 0,67, enquanto para o IRI90 têm-se 0,48, 0,40 e 0,32, respectivamente para a atividade solar em baixo, médio e alto níveis.

Assim, no caso #1 há igualdade entre os modelos, no caso #2 há empate técnico, no caso #3 há discriminação com probabilidade 0,52 para um dos três modelos, enquanto para os casos #4, #5 e #6 a probabilidade para um dos modelos respectivos é maior que 0,99. Finalmente, no caso #7, os resultados são favoráveis para o modelo SUPIM com probabilidades 0,52, 0,60 e 0,67.

Portanto, pode-se concluir que o BH é uma ferramenta de utilidade para a apreciação objetiva do desempenho de modelos que competem para representar realidades para as quais se têm dados observacionais ou experimentais.

### **Referências Bibliográficas**

- Carvalho, J. C.; Velho, H. F. de C.; Degrazia, G. A. Um estudo numérico da dispersão de poluentes na camada limite convectiva. *Anais, IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, Campos do Jordão, SP, nov. 1996. p. 4-9.*
- Degrazia, G. A.; Moreira, D. M.; Friedrich, H. R. Uma comparação entre um modelo Gaussiano e a equação de difusão no cálculo da concentração de poluentes na camada limite convectiva. *Anais, IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, Campos do Jordão, SP, nov. 1996. p. 86-89.*
- Mendes, R.F.M. **Algoritmo de Box e Hill para discriminação entre modelos competitivos.** Relatório parcial de bolsista PIBIC/INPE - agosto de 1996 a fevereiro de 1997. São José dos Campos, SP, fev.1997.
- Paula, E. R. de; Souza, J. R. de; Abdul, N. A. ; Bailey, G. J.; Batista, I. S.; Bittencourt, J. A.; Bonelli, E. Ionospheric electron content over brazilian low latitude and its comparison with the IRI and SUPIM models. *Advanced Space Research, 18 (6):245-248, 1996.*
- Weigang, L. **Dados observacionais e de simulações.** Comunicação pessoal, fev. 1997.
- Weigang, L.; Nordemann, D. J. R. Study and prediction of the Paraguay river level by harmonic analysis and neural networks. *Revista Brasileira de Geofísica, 14(2):195-202, 1996.*
- Weigang, L.; Sá, L. D. de A ; Galvão, G. P.; Bevilaqua, R. M. Prediction of the Paraguay river level using neural networks. Aceito para publicação no *Pesquisa Agropecuária Brasileira, 1996.*

## **6ª Sessão Técnica**

**02 de julho de 1997, 15:50 - 17:50**

**Chairperson: Dr. Jerônimo dos Santos Travelho**



## RESUMO DO SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (CNPq)

Orientador: Thyrso Villela

Elaborado por: Erika Trench Sestari

Projeto: Software de redução de dados telemétricos do projeto MASCO.

### Objetivo do Projeto:

O trabalho apresentado neste seminário teve por objetivo o desenvolvimento do software de redução de dados telemétricos do projeto MASCO. Esse software tem como objetivo principal ler arquivos binários, gerados pelo programa de aquisição da telemetria do experimento (*masco.vi LabView*) durante o processo de monitoração do Frame (quadro de dados) que é transmitido pelo microcontrolador de bordo HouseKeeping, com tamanho determinado e transmissão contínua, e convertê-los para um formato adequado a análise dos dados.

Após o vôo, através deste software será possível visualizar a evolução do balão (latitude, longitude e altitude em determinadas horas) além de colaborar na análise de grandezas tais como pressão e temperatura, desse modo facilitando a observação do comportamento do experimento e confecção de tabelas e gráficos.

### Objetivo do projeto MASCO:

Este projeto tem como objetivo principal obter imagens do céu em alta energia, sendo que por meio das imagens obtidas pelo telescópio MASCO que irá a bordo de um balão, será possível realizar o estudo de objetos astrofísicos.

### Desenvolvimento:

O software em questão foi realizado em 4 etapas. Inicialmente foi desenvolvido um programa em linguagem C que realizava as seguintes tarefas: pedir ao usuário o nome do arquivo binário de entrada a ser convertido, verificar a existência deste arquivo, abri-lo, converter os dados para a base decimal e gerar o arquivo de saída em modo texto ASCII, em um formato adequado para análise.

Na etapa seguinte foi feita a leitura da hora (formato: hh:mm:ss) e hora decimal, ambas baseadas no GPS, sendo verificados erros tais como frame com palavras a menos, arquivos com menor número de frames e arquivos inexistentes. Além disso foram calculadas as variáveis Altitude, Latitude e Longitude sendo essas variáveis introduzidas ao formato já existente, ficando este alterado para o formato apresentado a seguir:

### **Formato do Arquivo de Saída:**

<b>HORA</b>	<b>HORAdecimal</b>	<b>No Frame</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Altitude</b>	<b>Palavra 2</b>	<b>...</b>	<b>Palavra74</b>
[hh:mm:ss]	[ baseada no GPS]	[Palavra73]				[Palavra2]	...	[Palavra74]
.	.	.				.	.	.
[hh:mm:ss]	[ baseada no GPS]	[Palavra73]				[Palavra2]	...	[Palavra74]

Em seguida, o programa foi adaptado para funcionar com um tipo diferente de entrada, com menor número de frames e palavras por arquivo. Nesse estágio, o programa sofreu grandes alterações para acomodar tipos diferentes de entrada, permitindo fácil adaptação para novos tipos.

A etapa final do desenvolvimento do software consistiu na elaboração da interface gráfica do programa, utilizando como recurso o compilador Visual C++ da Microsoft.

### **Comentários Finais:**

A utilização de um compilador versátil como o Visual C foi necessária não na parte de tratamento de dados do programa mas para o melhor controle da interface com o usuário. Ele facilitou a confecção de diálogos e janelas em ambiente Windows para uma mais fácil compreensão e utilização do programa, requisitando o mínimo de informações do seu usuário e respondendo de maneira simples e clara.

Com o software de redução de dados telemétricos do projeto MASCO é possível visualizar a evolução do experimento com relação a latitude, longitude e altitude em determinadas horas. Ou seja, através deste software de redução de dados, seria possível a construção de tabelas e gráficos relativos a essas variáveis . Além disso, o software também mostra as palavras relativas a pressão, temperatura, tensões elétricas (tensão das baterias), codificadores de posição e estados digitais convertidas para decimal, o que facilita a sua análise.

## DINÂMICA DA PRECIPITAÇÃO DE PARTÍCULAS NA REGIÃO ANTÁRTICA DURANTE EVENTOS GEOMAGNÉTICOS

Caio Marcos Franck Pessotto  
Escola de Engenharia Industrial SJC - Bolsa PIBIC/CNPq  
Orientador: Dr. René A Medrano-B  
Proantar

O estudo da precipitação de partículas, durante tempestades magnéticas, na Antártida, é importante para comparações com eventos de mesma natureza no hemisfério oposto (isto é, a região Ártica), onde o número de pesquisas realizadas é incomparavelmente maior.

O presente trabalho baseia-se na análise de dados de um polarímetro VHF, instalado na Estação Antártica Comandante Ferraz, na península antártica (62°S, 58.4°W) e dados simultâneos de outro similar instalado em Cachoeira Paulista, SP (22°S, 45°W). Em princípio pretendia-se fazer o estudo incluindo 3 riômetros, também instalados na Estação Antártica Comandante Ferraz, entretanto, como uma análise preliminar mostrou indícios de ondas de gravidade se propagando acima de Ferraz, foi decidido concentrar-se no estudo de duas tempestades magnéticas, para cujos intervalos disponha-se de dados simultâneos de Ferraz e Cachoeira Paulista.

Em determinadas circunstâncias, quando a precipitação de partículas na atmosfera auroral é muito grande, surgem perturbações ionosféricas que, segundo a literatura, se propagam geralmente dos pólos para as regiões equatoriais deslocando-se horizontalmente com velocidades de até 700 m/s (Francis, 1975; Hunsucker, 1982). Por sua vez, estas perturbações produzem deformações no perfil eletrônico, na sua passagem.

Objetivando verificar este tipo de propagação, utilizou-se dados do polarímetro de Cachoeira Paulista para avaliar se as perturbações ionosféricas, produzidas na antártica alcançaram esta região, como previsto na literatura.

Na avaliação foi selecionado um período em que ocorreu um evento geomagnético, o qual vai de 05 de maio a 13 de maio de 1992, sendo que o maior valor do índice geomagnético Kp foi observado no dia 10 de maio (Solar Geophysical Data, 1992). Neste período teve que ser digitalizado o conjunto de dados da antártica em intervalos de 5 minutos, para complementar a falta de dados digitais.

A figura 1 mostra as curvas relativas ao conteúdo eletrônico, em unidades arbitrárias, que foram plotadas em sobreposição para Antártida e Cachoeira Paulista. A base temporal utilizada foi Universal Time - UT, possibilitando a comparação, para o dia 7 de maio de 1992 instante em que se dá o início da tempestade, nas duas regiões.

Da análise comparativa dos dados dos dois polarímetros, algumas condições podem ser apontadas. Os dados da antártida mostram picos de aumento do conteúdo eletrônico em intervalos de aproximadamente 1 hora. Estes picos podem ser identificados com as perturbações ocasionadas pela passagem de ondas de gravidade (Oliver and Hagan, 1991). Entretanto, os dados de Cachoeira Paulista não apresentam as mesmas características, o que pode indicar que as ondas de gravidade não se propagam na direção equatorial, ou então, que foram absorvidas na sua trajetória.

Nota-se também, novamente nos dados de Ferraz, uma diminuição significativa do conteúdo eletrônico, horas após o início da tempestade geomagnética. Este efeito não ocorre nos dados de Cachoeira Paulista, indicando que a diminuição, da densidade eletrônica, foi um evento localizado somente na Antártida. Este comportamento, segundo a literatura (Pavlov, 1994), pode ser devido à recombinação com moléculas de nitrogênio excitado, provocando tempestades ionosféricas negativas.

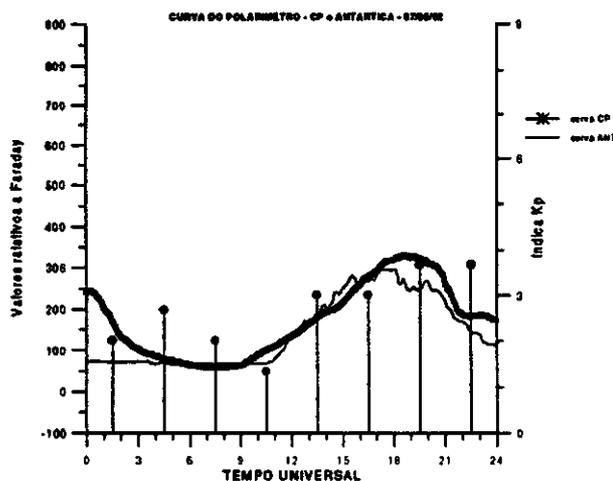


Figura 1

**Referências:**

- Francis, S. H., Global Propagation of Atmospheric Gravity Waves; J. Atmos. Terr. Phys. **37**(6/7), 1011, 1975.
- Hunsucker, R.D. Atmospheric Gravity Waves Generated in the High Latitude Ionosphere: A Review; Geophys. Space Phys., **20**(2), 293. 1982.
- Oliver, W. L. , M. E. Hagan , Simulation of a Gravity Wave Over the Middle and Upper Atmosphere Radar, J. Geophys. Res. **96** (A6) 9793, 1991
- Pavlov, A V. , The Role of Vibrationally Excited Nitrogen in the Formation of the Mid-Latitude Negative Ionospheric Storms, Ann. Geophysicae **12**,554,1994.
- Solar Geophysical Data, **125**, July 1992.

## DESENVOLVIMENTO DE CHAVE DE POLARIZAÇÃO PARA O ESPECTRÓGRAFO DECIMÉTRICO

Flávia Aparecida Corrêa  
Universidade do Vale do Paraíba - Univap  
Oreintador: Dr. H.S. Sawant

Os flares solares são fenômenos explosivos, que ocorrem na atmosfera do Sol, que liberam grandes quantidades de energia, na forma de radiação eletromagnética, partículas carregadas e ejeção de matéria. As partículas aceleradas durante os flares produzem desde emissões em raios- $\gamma$  e raios-X a emissões em ondas de rádio, incluindo as explosões solares classificadas como tipo III, "spikes" e suas variantes.

As explosões solares tipo III decimétricas e variantes são parcialmente polarizadas e a polarização é função da frequência e do tempo (Simnett e Benz, 1986). Os "spikes" decimétricos apresentam grau de polarização de até 100 % (Aschwanden e Gudel, 1992).

Os mecanismos de emissão propostos para explicar as emissões tipo III e variantes, assumem altas densidades eletrônicas ( $10^{10}$ - $10^{11}$  cm<sup>-3</sup>) nos loops magnéticos da coroa solar (Benz et al., 1992; Aschwanden et al., 1996). Neste sentido, o conhecimento da polarização como função da frequência e do tempo é papel fundamental para melhorar a interpretação destes tipos de explosões, pois possibilita determinações do campo magnético na coroa solar, que não pode ser medido diretamente a não ser através das observações de polarização.

Por este motivo, o Espectrógrafo Decimétrico de Banda Larga, de alta resolução temporal (10-1000 ms) e alta resolução espectral (3-10 MHz) (WDDHRS), em operação regular na sede do INPE, desde maio de 1996 (Fernandes, 1997), está sendo modificado para operar como POLARÍMETRO decimétrico (Sawant et al., 1996). Através do polarímetro pretende-se observar explosões solares decimétricas acima de 1000 MHz, em particular "blips", tipo III, "spikes" e "patches" (Sawant et al., 1994; Fernandes et al., 1996) e registrar os graus de polarização destas explosões, que serão usados nas investigações dos mecanismos de emissão destas explosões.

O WDDHRS utiliza um alimentador de banda larga (200-2000) MHz, instalado no foco da antena parabólica de 9 metros de diâmetro, composto de um par de antenas log-periódicas cruzadas, que permitem a recepção de sinais nas polarizações horizontal e vertical (Figura 1). Na saída do alimentador os sinais são introduzidos em dois pré-amplificadores casados, de ganho aproximadamente igual, na faixa de frequência de (1000-2000) MHz e, em seguida, passarão por um circuito híbrido de polarização de banda larga. Na saída deste híbrido, serão obtidos os sinais correspondentes às polarizações circulares à direita (R) e à esquerda (L).

Entre as atividades realizadas até o momento, participamos do desenvolvimento de um sistema eletrônico que gera, a partir da varredura do Analisador Espectral (receptor), os dois sinais referentes às polarizações circulares R e L para os diodos de chaveamento e os envia para os sistemas de aquisição de dados. Também foi desenvolvido um sistema para gerar um pulso de frequência que seja a metade da frequência de varredura do Analisador Espectral, para ser o sincronismo do sistema que será aplicado à entrada (EXT TRIG) do

Osciloscópio. Assim, teremos a varredura atendendo aos dois canais R e L em posições distintas na tela do osciloscópio, possibilitando a aquisição do espectro dinâmico separadamente nas duas polarizações.

Paralelamente ao desenvolvimento da chave de polarização, foi iniciada a análise de explosões solares tipo III decimétricas (100-3000 MHz) observadas pelo Espectrômetro PHOENIX, para definir os procedimentos de análise que serão utilizados nos dados de explosões observadas pelo WDDHRS.

Os dados digitais das explosões tipo III decimétricas, apresentando resolução temporal de 100 ms e em frequência de 15 MHz, foram analisados utilizando o pacote gráfico IRAF, nas estações de trabalho SUN, da DAS. Considerando intensidades de fluxo de corte de  $2\sigma$  acima do nível do background, foram determinados as frequências de início, e de fim e a duração total, para cada explosão individual. E a partir destes parâmetros foi estimada a taxa de deriva em frequência. Tais parâmetros serão aplicados nas determinações de densidade e número total de elétrons dos feixes que geram emissões tipo III.

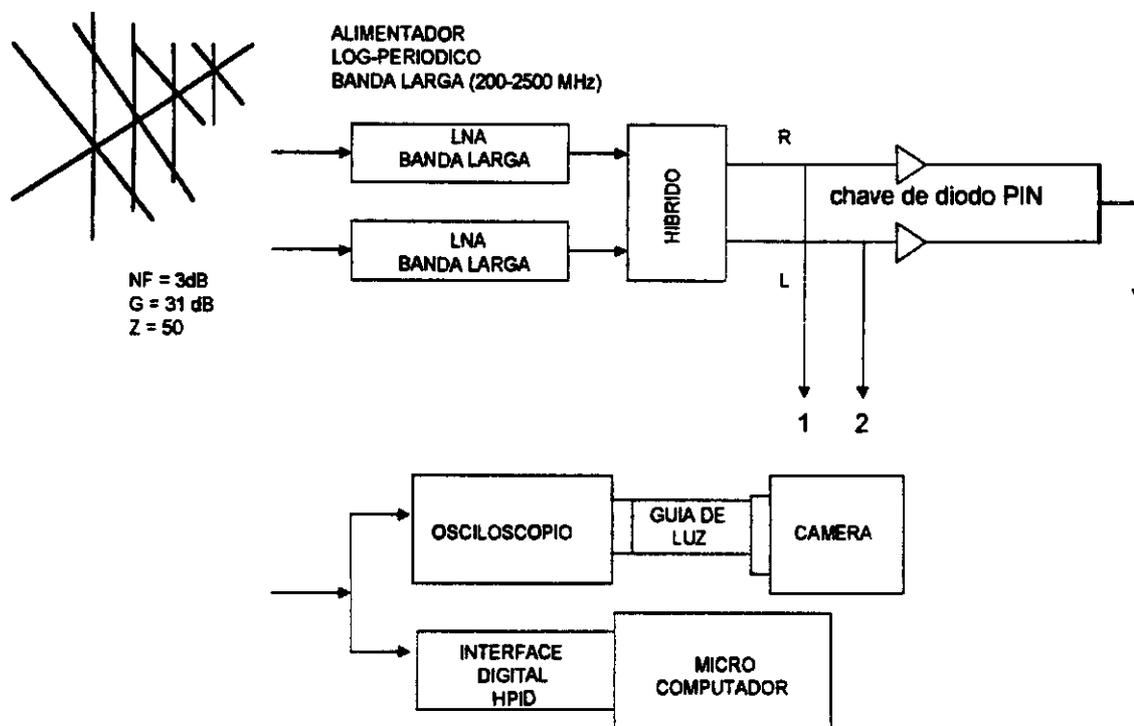


Fig. 1 - Diagrama de Blocos do Polarímetro Decimétrico.

## Bibliografia

- Aschanden, M.J. e Gudel, M., ApJ. 401, 736, 1992.  
 Aschanden, M.J. et al., ApJ. 464, 985, 1996.  
 Benz, A.O.; Magun, A.; Stehling, W. e Su, H., Solar Phys. 141(2), 335, 1992.  
 Fernandes, F.C.R.; Sawant, H.S.; Zheleznyakov, V.V., Solar Phys. 168, 159, 1996.  
 Fernandes, F.C.R., Tese de Doutorado, INPE, 1997.  
 Sawant, H.S.; Fernandes, F.C.R.; Neri, J.A.C.F., ApJ. Supp. Ser. 90, 689-691, 1994.  
 Sawant, H.S. et al., Advances in Space Research, 17(4/5), 385, 1996.  
 Simnett, G.M e Benz, A.O. Astron. Astrophys. 165: 227-234, 1986.

## **Explosões solares em ondas milimétricas (18-23 GHz): tratamento e análise de dados**

**Eliana Soares de Andrade**

Aluna da Universidade do Vale do Paraíba - Bolsa PIBIC/CNPq  
Orientador: Dr. H. S. Sawant, Pesquisador da Divisão de Astrofísica  
INPE, Av. dos Astronautas, 1758 - C.P. 515

Explosões solares são fenômenos que ocorrem nas regiões ativas solares - regiões de relativamente altos valores de densidade, campo magnético e temperatura comparados aos valores do meio ambiente circundante - estando normalmente associadas às chamadas fulgurações ("flares") solares. Estes fenômenos se manifestam pela liberação de grande quantidade de energia ( $10^{24}$  -  $10^{32}$  erg) num amplo espectro, desde ondas de rádio kilométricas até raios-X e raios- $\gamma$ , apresentam uma duração relativamente curta, de 1-2 minutos a  $\leq 2$  horas. As explosões podem apresentar até 3 fases: pré-fulguração, impulsiva e gradual. A maioria (90%) das explosões solares apresenta fase impulsiva, que pode ocorrer após a fase pré-fulguração, caracterizada pelo rápido aumento do fluxo em rádio, raios-X duros e H- $\alpha$  com uma duração de até 5-10 min. Nesta fase, a energia das partículas emissoras é de 100-300 keV (Sawant et al, 1993). Nesta investigação tratamos apenas com a fase impulsiva das explosões.

O disco solar possui um tamanho de  $30'$  de arco, o feixe da antena  $4'$  de arco e regiões ativas um tamanho  $< 1'$  de arco. Portanto, a identificação no disco e determinação das coordenadas da região ativa a ser observada necessita da realização do mapa solar em rádio. O mapa é feito através de varreduras cobrindo o disco solar inteiro, utilizando a antena de 13.7 m de diâmetro do Rádio Observatório do Itapetinga (Atibaia) que opera em conjunto com o Receptor de Frequência Variável (18-23 GHz), na frequência de melhor resposta da corneta utilizada, nesse caso 22 GHz (Sawant e Cecatto, 1994; Cecatto, 1991).

Esta investigação é baseada em dados de explosões solares simples. Com os perfis temporais em todas as 6 frequências (18-23 GHz) de observação, as explosões foram classificadas como simples - as explosões que apresentam uma única estrutura em tempo e com um fluxo de pico  $\leq 50$  U.F.S. (Unidades de Fluxo Solar) - ou complexas. Para as explosões simples, determinamos os tempos de início, de pico - máximo de emissão - e do término da explosão, e tempos subida e de decaimento como pode ser visto na Figura 1. Os tempos de início e término das explosões foram tomados como correspondendo ao nível  $1/e$  do nível de fluxo de pico, respectivamente durante a subida e decaimento do fluxo. O tempo de subida é medido como o intervalo de tempo entre o tempo de início e o tempo de pico, enquanto que o tempo de decaimento é o intervalo entre este último e o tempo do término da explosão. Utilizando-se esses dados as explosões são classificadas e publicadas em um catálogo para divulgação internacional.

Em seguida, foram construídos os espectros (curva de fluxo versus frequência) para a explosão e determinados os correspondentes índices espectrais - inclinação da reta de ajuste pelo método dos mínimos quadrados para os pontos de fluxo em função da frequência dispostos num gráfico em escala di-logarítmica.

Utilizando-se os parâmetros determinados para a explosão descritos acima e as fórmulas dadas na literatura para cálculo do espectro podemos estimar

os parâmetros físicos ( $N_e$ ,  $B$ ,  $H$ ,  $E_c$ ,  $E_T$  e  $N_T$ ) para as fontes emissoras das explosões solares em ondas milimétricas (Cecatto, 1996).

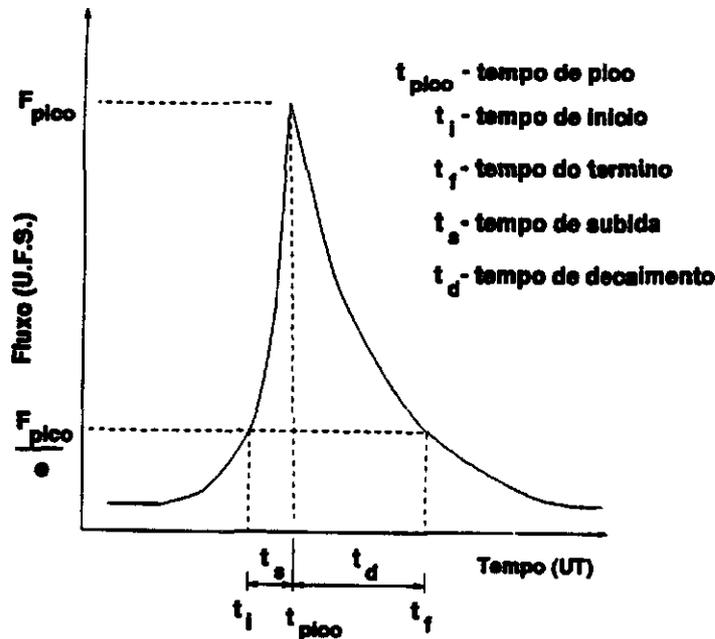


Fig. 1 - Perfil temporal típico de uma explosão simples mostrando a metodologia utilizada para a determinação dos parâmetros das explosões solares investigadas.

### Referências

- Cecatto, J.R. "Estrutura fina superposta em espectros de região ativa solar em comprimentos de onda mm (23-18 GHz)" INPE-5371-TDI/470, 1991.
- Sawant, H.S.; Cecatto, J.R.; Dennis, B.R.; Gary, D.E.; Hurford, G.J. "High spectral resolution, high sensitivity microwave and associated hard X-ray bursts" Adv. Space Res., 13(9):199, 1993.
- Sawant, H.S. e Cecatto, J.R. "High sensitivity spectral resolution mm-wavelength (18-23 GHz) radiometer" Sol. Phys., 150(1/2):375, 1994.
- Cecatto, J.R. "Radiômetro milimétrico de alta resolução e fragmentação temporal de fulgurações solares durante a fase impulsiva" INPE-6126-TDI/587, 1996.

## PROJETO: DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA FORMATAÇÃO DOS DADOS DA EXPERIÊNCIA ORCAS/SACI-1.

### **CARACTERÍSTICAS DOS TELESCÓPIOS DO EXPERIMENTO ORCAS**

**Aluno:** Júlio Albuquerque Maranhão, Instituto Tecnológico da Aeronáutica - ITA/CTA, São José dos Campos, SP.

**Orientador:** Udaya B. Jayanthi, Divisão do Astrofísica DAS-INPE, São José dos Campos, SP.

#### INTRODUÇÃO:

A experiência ORCAS, fazendo parte de satélite SACI-1, tem dois telescópios com detetores de estado sólido PRE e MAIN com as respectivas finalidades:

1. medir a população de elétrons, prótons e partículas alfa.
2. medir a população dos íons do He até Ne/Fe,

presentes na magnetosfera terrestre. O telescópio MAIN utiliza dois detetores de entrada de silício, tipo 'dE/dX', em ambos os lados de um conjunto de 5 detetores de silício, que atuam como detetores de energia 'E' [Fig.1a]. O telescópio PRE é composto de quatro detetores de diodos de silício, com absorvedores de alumínio entrelaçados [Fig.1b].

As perdas de energia das partículas nos detetores permitem a determinação de carga e energia da partícula detectada. Assim cada telescópio permite determinar o fluxo de cada espécie das partículas. Para isso desenvolvemos programas de simulação que determinassem a capacidade de resolução de carga pelo detetores de telescópio e a variação de função de resposta dos fluxos em cada telescópio (fator geométrico).

#### RESULTADOS:

1. Perdas de Energia: A primeira simulação das perdas de energia nos detetores compreende as interações nucleares dos elétrons, prótons, partículas alfa e partículas com  $Z > 2$ , em materiais como alumínio e silício [Ref. 1]. Nas figuras 2a e 2b. mostramos as perdas das energias nos sucessivos detetores de telescópios PRE para elétron e próton e nos detetores de MAIN para oxigênio e ferro (Fig. 3 a,b). Também mostramos na Fig. 3c a correlação cruzada das perdas de energia no detetores 1 e 2 do MAIN, a fim de permitir a identificação dos íons.

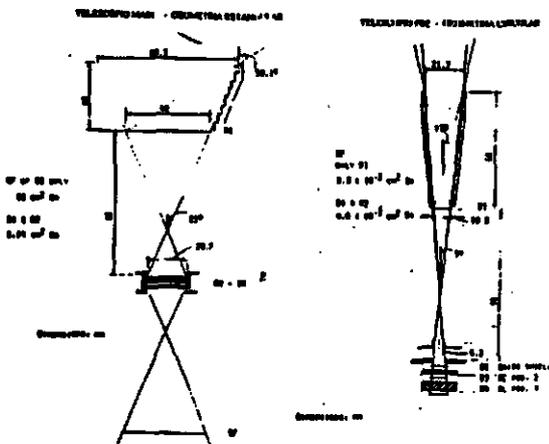
2. Fator Geométrico: O fluxo de qualquer espécie de partícula é expresso como:  $N^\circ$  de partículas/s.cm<sup>2</sup>.sr. MeV. Isso significa que podemos calcular a resposta do telescópio por meio do parâmetro GF (Fator Geométrica), expresso em cm<sup>2</sup>.sr. Através da técnica de Monte Carlo [Ref. 2] desenvolvemos um programa para esses cálculos de parâmetros GF. O telescópio PRE possui campo de visada (FOV) circular, enquanto o FOV do MAIN é quadrado. A resposta GF dos dois telescópios PRE e MAIN com energia para alguns espécies:

**MAIN:**

He :	2.48 - 5.60 MeV/nuc	36 cm <sup>2</sup> .sr.	7.2 - 32.0 MeV/nuc	1.14 cm <sup>2</sup> .sr
O :	5.64-12.39 MeV/nuc.		12.9 - 69.4 MeV/nuc	
Ne:	6.41 - 13.93 MeV/nuc		14.2 - 78.6 MeV/nuc	
Fe:	10.49- 22.86 MeV/nuc		23.2- 129.7 MeV/nuc	

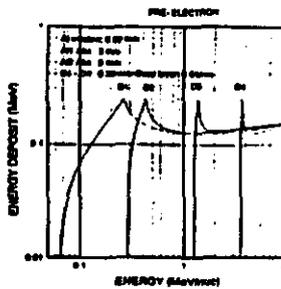
**PRE:**

e :	0.128 - 0.27 MeV	0.093 cm <sup>2</sup> .sr	0.322 - 3.597 MeV	0.0046 cm <sup>2</sup> .sr
p:	1.968 - 7.83 MeV		7.87 - 43.60 MeV	
α:	3.4 - 8.49 MeV/nuc		8.52 - 44.3 MeV/nuc	

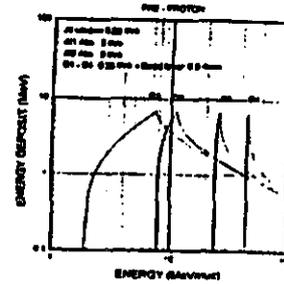


**Fig. 1a MAIN**

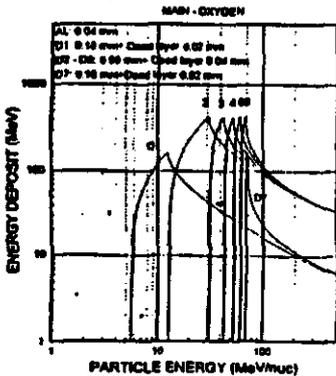
**Fig.1b PRE**



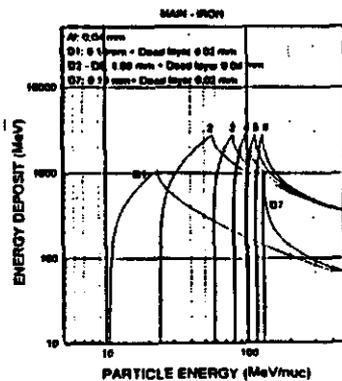
**Fig. 2a PRE - ELÉTRON**



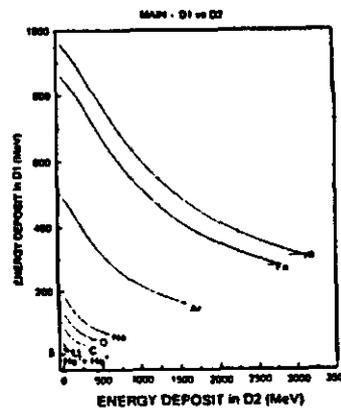
**Fig. 2b PRE - PRÓTON**



**Fig. 3a MAIN OXIGÊNIO**



**Fig. 3b MAIN FERRO**



**Fig. 3c MAIN D1 vs D2. Perdas**

**Referências Bibliográficas:**

1. Knoll, G.F. , Radiation Detection and Measurements, John Wiley & Sons, 1979.
2. Press, W. H. and Teukolsky, S.A., Numerical Recipes, Cambridge University Press, 1992.

## AVALIAÇÃO DE INTEGRADORES NUMÉRICOS PARA CÁLCULO DE TRAJETÓRIAS DE VEÍCULOS ESPACIAIS

Aurea Aparecida da Silva

Aluna da Universidade Estadual Paulista - UNESP - Bolsa  
PIBIC / CNPq

Orientador: Dr. Antonio Fernando Bertachini de A. Prado  
Divisão de Material e Controle do INPE

Co-orientador: Dr. Othon Cabo Winter  
Departamento de Matemática da FEG - UNESP

O presente trabalho tem por objetivo a avaliação do desempenho de vários integradores numéricos no cálculo de trajetórias de veículos espaciais, considerando diferentes modelos para a dinâmica. Para isso, foram utilizados os seguintes modelos para dinâmica:

- dinâmica baseada no problema restrito de três corpos usando regularização de Lamaitre com condições iniciais dadas no sistema fixo.
- dinâmica baseada no problema restrito de três corpos sem regularização com condições iniciais dadas no sistema rotacional.
- dinâmica baseada no problema restrito de três corpos elíptico, onde as equações de movimento estão escritas no sistema fixo e as condições iniciais também são dadas no sistema fixo.
- dinâmica baseada no problema restrito de três corpos elíptico, onde as equações de movimento estão escritas no sistema girante-pulsante e as condições iniciais são dadas no mesmo sistema.

Para estudar tais dinâmicas foram utilizados dois métodos de integradores de equações diferenciais ordinárias de 1ª ordem, são eles:

- 1)- método de Runge-Kutta de 4ª ordem;
- 2)- método de Runge-Kutta de 7ª e 8ª ordem, com controle automático de passo.

Os testes realizados para essas dinâmicas consistem em variar o valor da precisão requerida para integração (EPS). Esses valores variam de  $EPS=10^{-1}$  até  $EPS=10^{-15}$ ; verificando, para cada valor de EPS, o tempo de integração e a trajetória obtida.

A análise dos resultados desse trabalho é feita de forma a levar em consideração o custo benefício da missão, ou seja, a precisão obtida em comparação com o tempo gasto

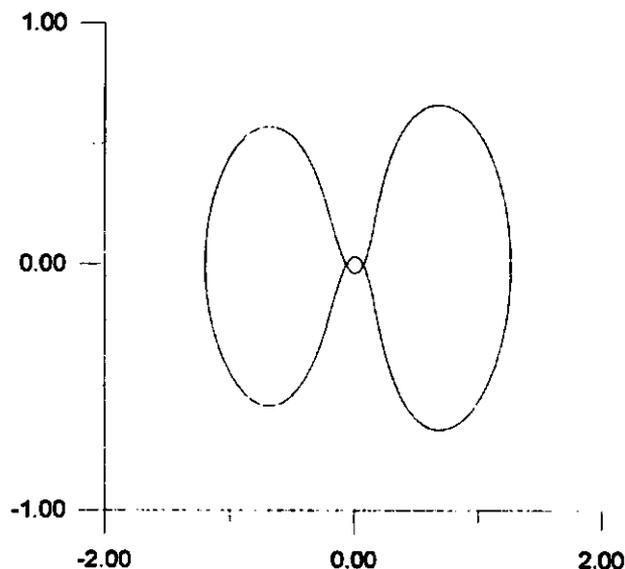
pelo computador. Nessa análise consideramos, também, que existe um acúmulo de erro devido ao tempo de integração que ainda não pode ser observado na 1ª órbita. Dessa forma, para obtermos um melhor estudo, fazemos com que a duração da integração seja aumentado para dez órbitas, ou seja, passamos a analisar a 10ª órbita, onde já foi acumulado o referido erro.

Todas as simulações aqui efetuadas utilizaram um microcomputador compatível como o IBM-486 e o software "Fortran Powerstation 1.0 for Windows".

Como exemplo dos resultados obtidos mostramos as trajetórias para o caso da primeira dinâmica citada anteriormente. As trajetórias apresentadas correspondem a 10ª órbita do veículo espacial, com os valores de EPS variando de  $10^{-1}$  até  $10^{-15}$ . A Figura 1 mostra os resultados obtidos com o método de Runge-Kutta de 7ª e 8ª ordem. As figuras mostram que na dinâmica estudada a precisão obtida é muito boa para todos os valores de EPS testados. Os tempos de integração são idênticos para esse integrador (84s), mas variam muito para outros integradores testados.

Senna, G.J. - "Cálculo Numérico e Computação" - DMT/FEG/UNESP - apostila;

Prado, A.F.B.A. - "Mecânica Celeste I: Uma Introdução as Trajetórias Espaciais" - DMC/INPE - notas de aula do curso de Mecânica Celeste I.



**Figura 1: 10ª Órbita da Dinâmica Regularizada  
(EPS =  $10^{-1}$  ATÉ  $10^{-15}$ )**

## Índice de Autores

Adriano Nicola Rios, LME/EPUSP.....	19
Alexandre Bizarro Fernandes, EEI.....	11
Alexandre Fonseca, UNITAU.....	39
Alexsander Costa, UNITAU.....	45
Ana Stela Furlan Salles, UNIVAP.....	5
André Rodrigo Boscolo de Moraes, EEI.....	3
Átila Madureira Bueno, UBC.....	67
Áurea Aparecida da Silva, UNESP.....	81
Caio Marcos Frank Pessotto, EEI.....	73
Caio Teruo Hideshima, ITA.....	55
Celso Ferreira Mastrella, ITA.....	29
Christiano dos Santos Mendes Pereira, ITA.....	9
Clênio Ricardo da Fonsêca Sobreira, ITA.....	59
Daniela Cristina Santana, UNIVAP.....	53
Elaine Cristina Goulart, EEI.....	21
Eliana Soares de Andrade, UNIVAP.....	77
Emanuella de Cássia Vicente, UNIVAP.....	7
Érika Trench Sestari.....	71
Fernando Pereira Fernandes, UNIVAP.....	35
Flávia Aparecida Corrêa, UNIVAP.....	75
Fredy Alexandre Sargaço, UNIVAP.....	63
Gislaine de Felipe, UNITAU.....	13
Gustavo Cilento Moreschi, UNIVAP.....	47
João Augusto Giacoia, ITA.....	61
Júlio Albuquerque Maranhão, ITA.....	79
Leandro Paulino Vieira, EEI.....	49
Leonardo Castro Ribeiro, ITA.....	25
Mary Christiane Pinto, EEI.....	17
Nanci Naomi Arai, UNITAU.....	23
Patrícia Almeida Silva, UNIVAP.....	51
Renata Silva Paula, UNIVAP.....	41
Roberto Rabelo Júnior, UNIVAP.....	65
Rovedy Aparecida Busquim e Silva, UNIVAP.....	33
Rudini Menezes Sampaio, ITA.....	37

