



**FENÔMENOS SOLARES ENERGÉTICOS INVESTIGADOS POR  
ESPECTROSCOPIA RÁDIO NA BANDA DECIMÉTRICA**

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

Müller Moreira Souza Lopes (UNESP, Bolsista PIBIC/CNPq)  
e-mail: [muller@das.inpe.br](mailto:muller@das.inpe.br)

Dr. José Roberto Cecatto (DAS/CEA/INPE, Orientador)  
e-mail: [jrc@das.inpe.br](mailto:jrc@das.inpe.br)

FÍSICA DO MEIO INTERPLANETÁRIO – FMI  
DIVISÃO DE ASTROFÍSICA – DAS  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE

12/2010 a 07/2010



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

**FENÔMENOS SOLARES ENERGÉTICOS INVESTIGADOS POR  
ESPECTROSCOPIA RÁDIO NA BANDA DECIMÉTRICA**

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS – 2011

Bolsista: Müller Moreira Souza Lopes

Licenciatura em Matemática  
UNESP – Universidade Estadual Paulista  
(Bolsista PIBIC/CNPq/ Dezembro 2010 – Julho 2011)

Orientador: Dr. José Roberto Cecatto

(Divisão de Astrofísica – DAS/CEA/INPE, Orientador)  
Linha de pesquisa: Física do Meio Interplanetário  
PROJETO: BSS – ESPECTRÓGRAFO SOLAR BRASILEIRO

Assinatura do orientador

---

Assinatura do bolsista

---

## Sumário

Lista de Figuras.....	iv
Lista de Tabelas.....	v
Resumo.....	vi
Introdução.....	1
Sol, Atividade Solar e Fenômenos Solares.....	2
Instrumentação Relacionada ao Projeto.....	9
O software de visualização dos espectros dinâmicos e tratamento de dados de explosões solares – BSSView .....	11
Descrição das atividades desenvolvidas, análise preliminar e resultados obtidos.....	12
Conclusões.....	15
Agradecimentos.....	15
Referências Bibliográficas.....	15
Anexo I: Resumo de trabalho apresentado na 63 <sup>a</sup> Reunião Anual da SBPC – ESPECTROS DINÂMICOS SOLARES OBSERVADOS PELO INSTRUMENTO BSS OPERANDO NO NOVO SÍTIO.....	17
Anexo II: Resumo de trabalho apresentado na 63 <sup>a</sup> Reunião Anual da SBPC – DINÂMICA DE EJEÇÕES DE MASSA CORONAL (CME) E ASSOCIAÇÃO COM O CICLO DE ATIVIDADE SOLAR.....	18
Anexo III: Certificado de apresentação da 63 <sup>a</sup> reunião anual da SBPC.....	20
Anexo IV: Certificado de apresentação da 63 <sup>a</sup> reunião anual da SBPC.....	21

## Lista de Figuras

Figura 1: Dinâmica do fluxo magnético que estimula os ciclos de atividades solares.....	3
Figura 2: Flare fotografado no dia 28 de outubro de 2003 .....	4
Figura 3: Ejeção de massa coronal ocorrida em 2 de dezembro de 2002.....	5
Figura 4: Emissões do Sol durante as fases do flare.....	7
Figura 5: Espectro das emissões de rádio.....	8
Figura 6: BSS, instalado em Cachoeira Paulista-SP.....	10
Figura 7: Distribuição do número total de CMEs por ano, comparando com a distribuição de eventos de baixa velocidade.....	12
Figura 8: Variações do valor médio do campo magnético solar (em Gauss) em função do tempo.....	13

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1: Dados sobre o BSS.....	10
----------------------------------	----

## Resumo

Atualmente, com o início do período de máximo do atual ciclo de atividade solar (ciclo 24), é importante a investigação das causas e conseqüências dos fenômenos energéticos - Fulgurações (“Flares”) e Ejeções de Massa Coronal (CME) Neste sentido, realizamos investigações de CMEs, usando tanto dados de observações solares do último ciclo de atividade solar (ciclo 23) quanto à infra-estrutura instalada do instrumento designado por “Brazilian Solar Spectroscope (BSS)”, bem como dados simultâneos provenientes de outros instrumentos instalados em solo ou em satélites artificiais - SOHO, RHESSI, Hinode e outros. Desde 1996, foram registrados pelo experimento LASCO, a bordo do satélite SOHO, mais de 8 mil CMEs com massa calculada, que representam 55% do total de CMEs registrados. A maior concentração destes (~ 31%) ocorre dentro do intervalo de 2000-2002 que corresponde aproximadamente ao máximo ciclo 23 de atividade solar. A distribuição de energias apresenta um pico em  $10^{29} - 10^{30}$  erg, enquanto as velocidades variam no intervalo 20-3300 km/s com um valor médio ~ 400 km/s. Por outro lado,  $10^{13} - 10^{14}$  g é o pico da distribuição de massas. O conjunto de CMEs mais lentos ( $v < 200$  km/s) – que corresponde a 17%, tem maior concentração (~35%) entre 2005-2007 – é potencialmente importante para se determinar o limiar e condições de ocorrência deste tipo de fenômeno. Este conjunto apresenta o pico de distribuição de energia uma ordem de grandeza mais baixa enquanto a distribuição de massas não difere muito da distribuição geral. Também foram analisadas CMEs de velocidade menor que 600 km/s, que correspondem à quase totalidade dos eventos registrados nos períodos de mínimo do ciclo de atividade solar. De todos os CMEs, alguns ocorreram próximos a um “flare”, foi feita uma busca por estas CMEs e suas características. No futuro pretende-se apresentar alguns resultados junto com aqueles das investigações de CMEs associados a “flare” cujo espectro na banda decimétrica de ondas de rádio foi registrado pelo BSS.

## **1. Introdução**

Desde abril de 1998 até 2009 esteve em operação na sede do INPE (São José dos Campos -SP), o rádio-espectrógrafo chamado de BSS (Brazilian Solar Spectroscope), que foi desenvolvido pela linha de pesquisa de Física de Meio Interplanetário (FMI). Em 2009, o BSS foi remanejado para a sede do INPE em Cachoeira Paulista-SP devido tanto a construção de um novo prédio onde a antena do instrumento estava instalada quanto aos sinais de interferência em rádio-frequências que perturbavam as observações.

Este instrumento foi concebido para fazer observações solares na faixa de frequência decimétricas (1000-2500 Mhz), operando em conjunto com uma antena parabólica de 9m de diâmetro de montagem polar, o instrumento apresenta um alta sensibilidade (~2 sfu), e altas resoluções temporal (10-1000 ms) e espectral (1-10MHz).

O objetivo deste trabalho é investigar as observações em ondas decimétricas (rádio) associada aos fenômenos de ejeção de massa coronal (CME), uma vez que regiões de aceleração de partículas dos fenômenos explosivos são associadas com as alturas de onde se originam as emissões rádio na banda decimétrica. Nestas investigações pesquisa-se as características do espectro de emissão em rádio associada aos fenômenos solares energéticos (Flares / CMEs), visando encontrar uma assinatura no espectro associada a sua ocorrência. A partir destas informações será possível determinar as condições físicas que são necessárias, ou suficientes, para que ocorram estes fenômenos na atmosfera solar (baixa coroa).

As atividades de iniciação científica têm o objetivo de me preparar para participar e atuar na análise de explosões solares observadas, determinando seus parâmetros observacionais e no desenvolvimento de rotinas computacionais para esta finalidade. Também realizei pesquisas sobre fenômenos de ejeção de massa coronal (CME), suas características, associando aos espectros das explosões solares registradas em ondas de rádio decimétricas obtidos pelo BSS.

Este relatório contém as atividades desenvolvidas e resultados obtidos no decorrer do período de dezembro de 2010 até julho de 2011, relacionadas ao projeto de iniciação científica.

O conteúdo deste relatório está dividido em 5 partes, respectivamente nesta ordem: introdução; Atividade Solar e Fenômenos Solares; instrumentação utilizada; software utilizado para visualização e tratamento de dados; atividades desenvolvidas e resultados. Após isso, uma discussão com perspectivas do trabalho, agradecimentos e referências bibliográficas.

## **2. Atividade Solar e Fenômenos Solares**

O Sol, que é a estrela mais próxima da Terra, é formado por plasma, estado da matéria no qual o gás se encontra em estado ionizado e com a propriedade de neutralidade elétrica, porém o plasma é altamente condutor, capaz de “carregar” linhas de campo magnético consigo, além de ser muito quente.

A velocidade de rotação não uniforme do Sol (mais rápida no equador e mais lenta nos polos) faz com que as linhas do campo magnético sofram distorções, que acabam produzindo as chamadas regiões ativas – regiões da atmosfera solar mais quentes e densas com intensos campos magnéticos, na ordem de centenas a milhares de Gauss, representados na formas de arcos (Figura 1).

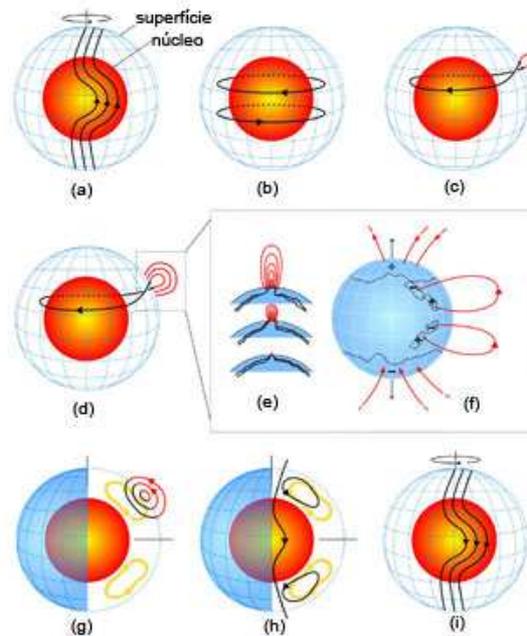


Figura 1: Dinâmica do fluxo que estimula e prediz os ciclos solares: (a) o Sol tem rotação diferencial – o campo magnético polar é desviado no equador. (b) campo toroidal produzido pela rotação diferencial. (c) quando o campo toroidal é suficientemente intenso gera arcos magnéticos que vêm à superfície – formando as manchas solares. (d), (e) e (f) um fluxo adicional emerge, espalhando-se em latitude e longitude a partir das manchas solares. (g) fluxo meridional (amarelo) leva para os pólos o fluxo magnético de superfície – inversão de campo polar. (h) parte deste fluxo é transportado para o interior, movendo-se depois para o equador. (i) o fluxo polar inverso é desviado gerando um campo toroidal oposto em sinal ao representado em (b). Crédito: NASA. (Fonte: Adaptado de <http://www.portaldoastronomo.org/noticia.php?id=627>)

Nestes arcos ocorrem as explosões solares, objeto de estudo deste trabalho. O período em que ocorrência de atividade solar alterna entre máxima e mínima se repete em média a cada 11 anos, este período é chamado de ciclo solar. Existem diversos fenômenos associados a este ciclo, como as manchas solares, granulações, fáculas, espículas, proeminência, entre outras. Dentre todos os fenômenos, os que mais interessam a este trabalho são os “Flares” e os CMEs, chamados de fenômenos energéticos.

“Flares” (Figura 2) são fenômenos de grande liberação de energia ( $10^{26} - 10^{32}$  erg) que ocorrem em regiões ativas existentes na atmosfera solar, podendo durar desde poucos segundos até algumas horas. O espectro destas explosões é amplo, variando desde ondas de rádio quilométricas até raios-X e raios-gama. Através de observações de satélites na banda dos raios-X, sabe-se que a liberação de energia para a produção destes fenômenos ocorre em alturas da atmosfera solar cujas densidades correspondem à emissão rádio na faixa decimétrica. Assim, a espectroscopia rádio na banda decimétrica permite identificar a região de liberação de energia e sua altura aproximada.

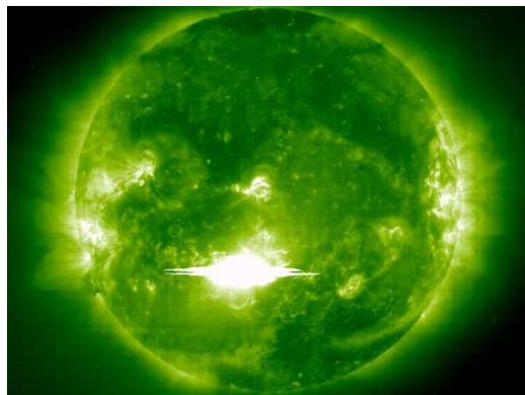


Fig. 2: Fotografia em Ultravioleta extremo de um “flare”, localizado um pouco abaixo do centro do Sol. Este flare ocorreu no dia 28 de outubro de 2003 e foi fotografado pelo experimento Extreme ultraviolet Imaging Telescope (EIT) à bordo da sonda SOHO, um projeto em conjunto entre a NASA e a ESA. (Fonte: <[http://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image\\_feature\\_92.html](http://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_92.html)> 24/01/2011)

Já as Ejeções de Massa Coronal (CME), são fenômenos de liberação de matéria ( $10^{13} - 10^{14}$  g) na forma de bolhas de gás gigantes, envoltas em linhas de campo magnético (Figura 3). As CMEs são levadas algumas horas para serem completamente expulsas do Sol, formando uma enorme erupção que se expande para o espaço exterior com velocidades que variam de 20 até 3300 de km/s, com velocidade média de aproximadamente 400 Km/s.

Assim como nos “Flares”, a frequência de ocorrência das CMEs varia de acordo com o ciclo solar, ocorrendo em média 2-3 CMEs por dia nos períodos de máxima atividade solar, até um evento por semana nos períodos de mínima atividade. A maioria das CMEs produz uma onda de choque que percorre a distância do Sol até a Terra em cerca de dois dias. Algumas vezes estes eventos são capazes de quebrar o ritmo do vento solar e causar perturbações na Terra que são nocivas às atividades humanas.

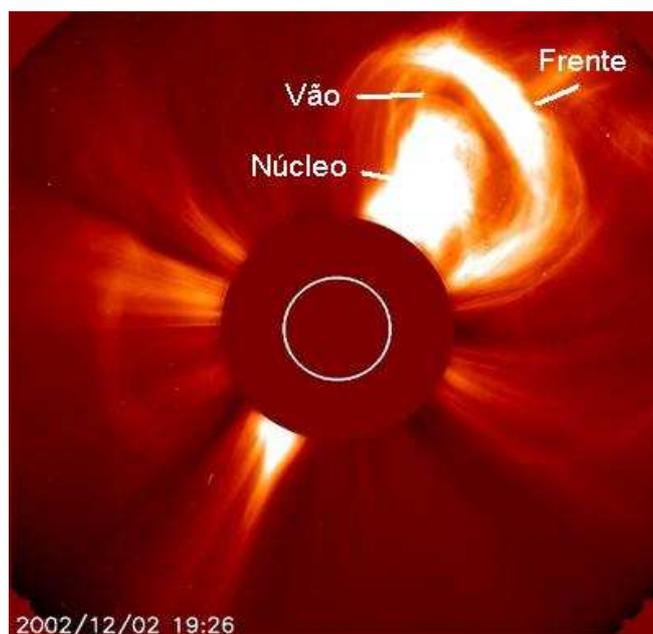


Fig. 3: Foto de uma CME, no círculo central está o Sol, que teve sua luz bloqueada para melhor visualização do fenômeno. Esta foto foi obtida através experimento Large Angle Spectroscopic Coronal Observatory (LASCO) à bordo da sonda SOHO da NASA no dia 2/12/2002. (Fonte: adaptado de <<http://sohowww.nascom.nasa.gov/pickoftheweek/old/06mar2003/index.html>> 2/3/2011)

As emissões de rádio do Sol são breves e energéticas, durante o “flare”, a emissão de rádio do Sol aumenta a emissão normal em um milhão de vezes em poucos segundos, porem, ainda assim é bem menos energético que a emissão de raios-x. Essas emissões de rádio fornecem importantes informações sobre o magnetismo, densidade do plasma ambiente e energia do flare, elas também dão evidencias da presença de elétrons relativísticos na região emissora.

O “flare” é dividido em três fases, “pré-flare”, impulsiva, e principal. A maioria dos “flares” tem essas três fases, mas alguns também podem passar por somente algumas dessas fases. A fase “pré-flare” é caracterizada por um aumento gradual no brilho da região, durando alguns minutos; a fase impulsiva dura menos de cinco minutos, porém a taxa de emissão de energia é muito alta; na fase principal, as emissões atingem a maior área e emissão de energia. A figura 4 descreve as emissões de acordo com o desenvolvimento do “flare”.

As ondas de rádio emitidas pelo Sol são classificadas de acordo com mecanismo de emissão, que pode ser determinado pelo espectro apresentado.

Como um exemplo, as emissões de tipo III (figuras 5.d, 5.e, 5.f) aparecem no espectro variando muito rápido, cerca de 100MHz/s das frequências mais altas em direção as mais baixas, estas emissões são as mais comuns quando ocorrem “flares”, também costumam aparecer em grupos de mais de 10 explosões, durando poucos minutos. Existe uma variação das emissões de tipo III em que depois que a frequência alcançou seu mínimo, ela volta a subir, formando as emissões em U-invertido (figura 5.g). As emissões de tipo III são associadas a elétrons que são ejetados das regiões ativas através de linhas abertas no campo magnético da região ativa, este campo acelera os elétrons até atingirem velocidades relativísticas.

Outro exemplo são as emissões de tipo II (figura 5.b) variam cerca de 1 MHz/s, cobrem apenas alguns MHz do espectro e frequentemente aparece repetida no segundo harmônico. Estas emissões também podem vir com estruturas “herringbone” (figura 5.c). As emissões de tipo II são associadas a ondas de choque.

As emissões de tipo I (figura 5.a) são as mais comuns quando se trata de ondas métricas, elas não são associadas aos “flares” e são causadas por elétrons acelerados pela energia térmica que viajam das regiões ativas até regiões mais distantes do Sol. Costumam durar de algumas horas até dias. As emissões de tipo I aparecem como várias emissões menores que ocupam uma banda de 50 até 100 MHz.

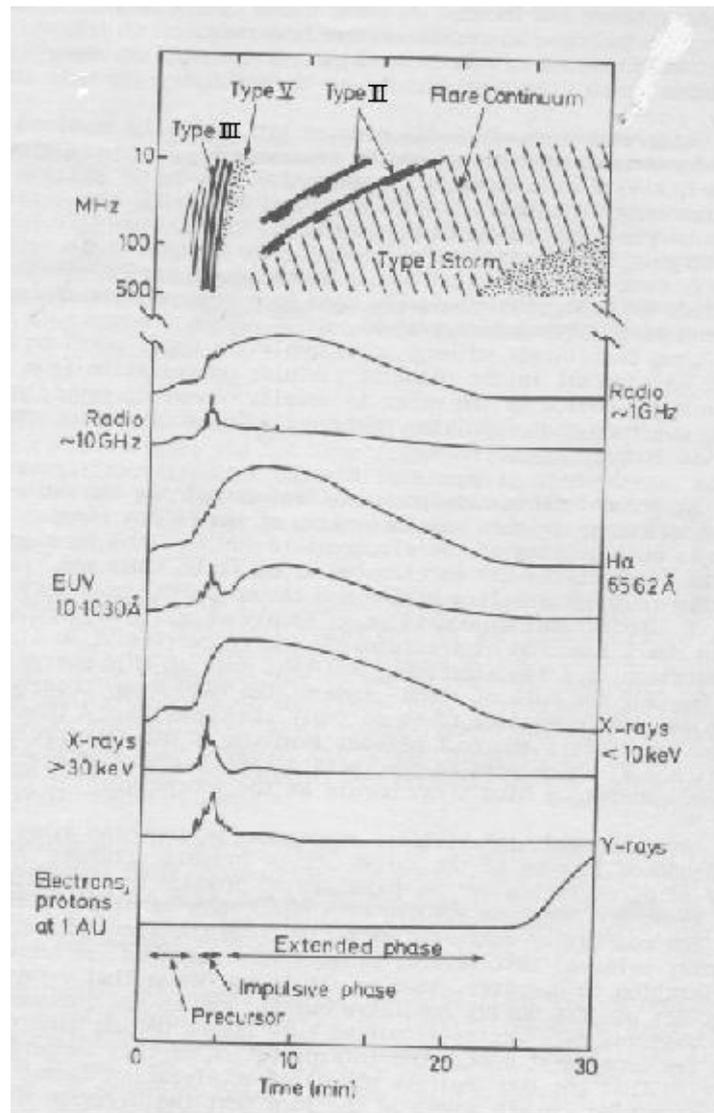


Fig. 4: Emissões do Sol durante as fases do “flare” (MCLEAN, 1985; adaptado de KANE, 1974)

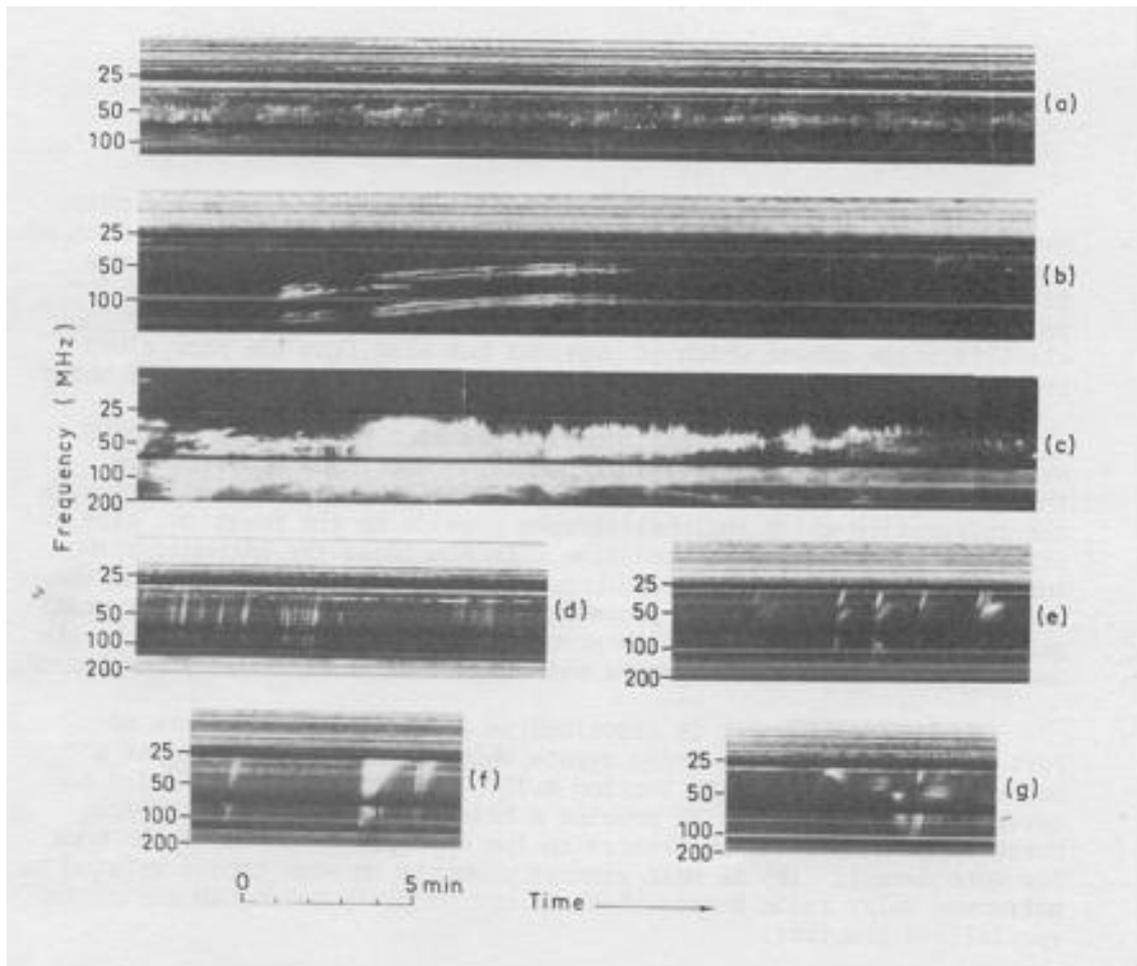


Fig. 5: Espectro das emissões em rádio. a) Emissão de tipo I; b) Emissão de tipo II; c) Estrutura de “herringbone”; d) Emissão de tipo III; e) Emissão de tipo III; f) Emissão de tipo III; g) Emissão em “U” invertido. (MCLEAN, 1985)

### **3. Instrumentação Relacionada ao Projeto**

#### **O espectrógrafo BSS**

O BSS (Figura 5) é um rádio-espectrógrafo solar que opera em conjunto com uma antena parabólica de 9m de diâmetro, até 2009 esteve instalado no campus do INPE em São José dos Campos. A partir de então, este instrumento foi transferido para o campus de Cachoeira Paulista devido a construção de um novo prédio onde a antena estava instalada e também por haver sinais de interferência na banda de operação do instrumento.

O BSS o único espectrógrafo da América Latina e do hemisfério Sul dedicado à investigação em tempo real de fenômenos solares e ao monitoramento diário (11-19 UT) da atividade solar dentro da banda de ondas de rádio decimétricas (1000-2500 MHz). Ele faz observações com altas resoluções em frequência (1000-2500MHz) e tempo (10-1000ms), com o intuito de investigar fenômenos da atividade solar. Outros dados são dados a seguir na tabela 1.

#### **Principais aspectos operacionais**

- Visualização dos dados em tempo quase-real na forma de espectro dinâmico;
- Flexibilidade na escolha das resoluções temporal, espectral e da banda de frequências de observação, dependendo do tipo de fenômeno observado;
- Precisão de tempo absoluta (dezenas de microssegundos)

Os dados provenientes do analisador de espectros – que faz uma varredura do sinal na faixa de frequência e com resolução selecionadas – são digitalizadas no microcomputador IBM-PC1. Um segundo microcomputador IBM-PC2 é responsável pela visualização e pelo armazenamento dos 200 Mbytes diários (aproximadamente) de dados gerados.



Principais características do BSS

Antena/Montagem	9 metros / polar
Alimentador	Log-periódico cruzado
Faixa de frequências	1000-2500 MHz
Resolução temporal	10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000 ms
Resolução Espectral	1-10 MHz
Precisão tempo absoluta - Relógio	< 0,1ms – GPS Garmin 18x LVC
Sensibilidade	~2-3sfu
Número de canais	10-200
Visualização	Tempo quase-real
Campo de visada	Todo o disco solar (1,5°)
Intervalo de observações	11:30-18:30 UT
Conversor A/D (bits)	PCI 6010 – NI (16)
Amostragem (kSamples/s)	200
Software de aquisição de dados	Independente do processador
Cartão digital – sinal tempo UT	PCI 1588 – NI

Figura 6 / Tabela 1: À esquerda, o BSS, instalado no novo sítio em Cachoeira Paulista-SP; e à direita as principais características do instrumento.

#### **4. O software de visualização dos espectros dinâmicos e tratamento de dados de explosões solares - BSSView**

Os dados gerados através do BSS são visualizados (e também tratados) através do software BSSView, desenvolvido para este propósito pelos membros da FMI.

Os espectros dinâmicos com altas resoluções temporal e espectral dos fenômenos registrados pelo BSS permitem determinar, entre outros, os seguintes parâmetros observacionais das estruturas individuais:

- duração total;
- largura da banda instantânea;
- separação em frequência entre duas estruturas adjacentes;
- taxa de deriva em frequência (variação em frequência pelo tempo);
- classificação do tipo espectral e determinação dos parâmetros espectrais.

O espectro dinâmico da radiação solar na banda de rádio fornece informações a respeito do tipo de fenômeno energético observado. Combinando estes dados com modelos de densidade da atmosfera solar, pode-se estimar a altura e a região de aceleração de partículas, o tipo de agente excitador, o comprimento de percurso e a velocidade do feixe de partículas na atmosfera solar, o que pode ser medido através da taxa de deriva.

## 5. Descrição das atividades desenvolvidas, análise preliminar e resultados obtidos

Para a realização deste trabalho, iniciado em dezembro de 2010, foi necessária uma leitura prévia de livros sobre a área para que eu adquirisse conhecimentos sobre os assuntos relacionados ao projeto. Ao final das leituras, foi feito uma monografia sobre os temas estudados relacionados ao Sol e fenômenos solares.

Após terminar esta fase, me foi apresentado o banco de dados CDAW, onde analisei dados sobre CMEs desde 1996 até 2010, buscou relações entre eventos de menor velocidade e períodos do ciclo solar. Também buscou no catálogo de CMEs por eventos que podem estar correlacionados com “Flares”, para isso, além dos dados do CDAW foram consultados dados sobre “Flares” no website da SWPC.

Construí uma tabela através do software Microsoft Excel de todos os CMEs, com dados sobre massa, energia, velocidade e data. Com estes dados foram criados histogramas visando analisar a distribuição dos parâmetros. Na figura 7 é apresentada a distribuição do número de eventos por ano.

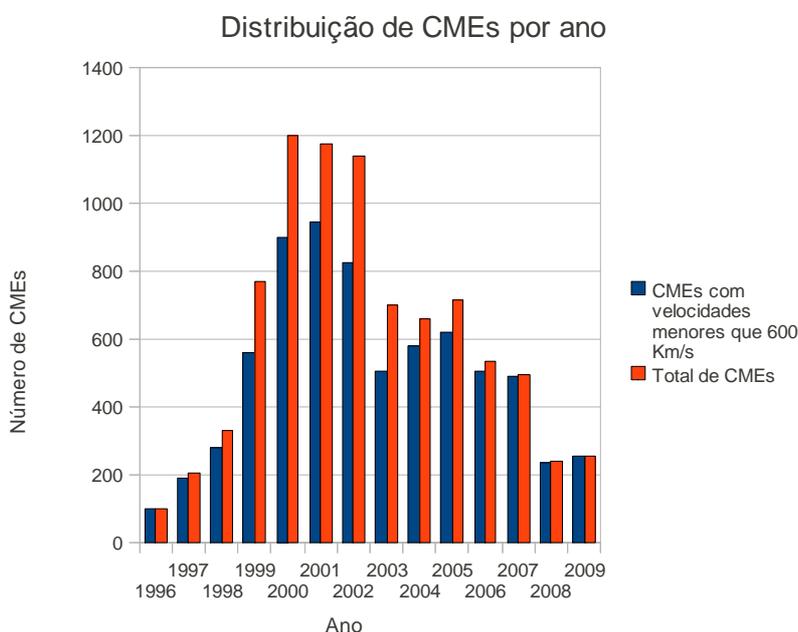


Figura 7: Distribuição do número total de CMEs por ano, comparando com a distribuição de eventos de baixa velocidade.

O histograma mostra que a distribuição de CMEs acompanha o ciclo solar, onde o período de máximo 2000-2002 corresponde a 31% de todas as CMEs de 1996 até 2010 e 35% das CMEs do ciclo solar 23 (outubro de 1996 – janeiro 2009). A distribuição de velocidades (Figura 8) mostra que nos períodos de mínimo do ciclo quase a totalidade dos eventos possuem baixas velocidades (600 Km/s).

Desde 1996, foram registrados pelo experimento LASCO, a bordo do satélite SOHO, mais de 8 mil CMEs, a maior parte (~73%) dentro do intervalo 2000-2005. A distribuição de energia apresenta um pico em  $10^{29} - 10^{30}$  ergs. Enquanto isso, as velocidades variam no intervalo 20-3300 Km/s com média em 470 Km/s.

Depois cataloguei dados sobre o campo magnético solar desde 1975 até 2010, foi feito um gráfico (Figura 8) através do software Gnuplot destes valores, mostrando que os períodos de mínima e máxima atividade solar coincidem com os períodos de mínimo e máximo de atividade magnética no Sol.

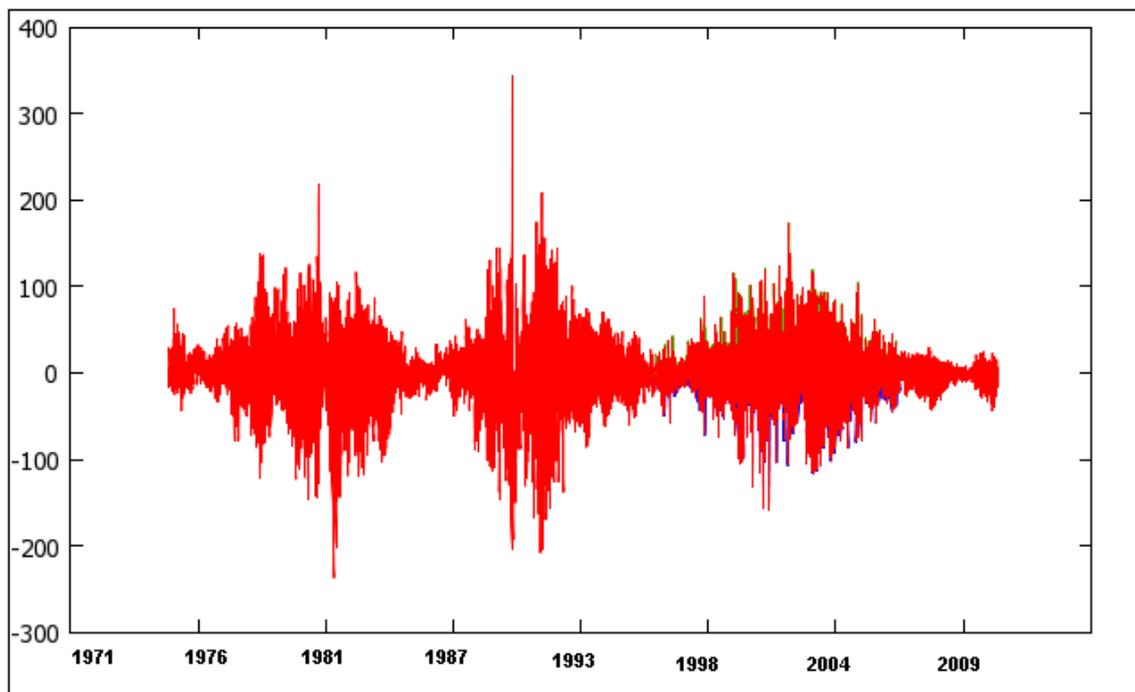


Figura 8: Variações do valor médio do campo magnético solar (em Gauss) em função do tempo.

Desde 1996 o dia com campo magnético mais intenso foi 08/01/2002 com 174 Gauss, e desde 1971 foi no dia 3/2/1990 com 344 Gauss.

Para trabalhar com os espectros dinâmicos dos fenômenos solares, também foi adquirido conhecimentos sobre a linguagem de programação IDL (Interactive Data Language), a qual o BSSView foi desenvolvido, com o objetivo de adquirir experiência em desenvolvimento / adaptação / implementação de ferramentas computacionais para manipulação de dados e / ou imagens.

## **Discussões**

Foi cumprida a etapa de levantamento de dados referentes a fenômenos CME com resultados plenamente satisfatórios que foram comprovados pela aceitação e apresentação dos trabalhos intitulados “DINÂMICA DE EJEÇÕES DE MASSA CORONAL (CME) E ASSOCIAÇÃO COM O CICLO DE ATIVIDADE SOLAR” e “ESPECTROS DINÂMICOS SOLARES OBSERVADOS PELO INSTRUMENTO BSS OPERANDO NO NOVO SÍTIO” de minha co-autoria na 63ª reunião anual da SBPC.

A etapa seguinte será trabalhar com dados de “flares” e explosões solares associados e não associados a fenômenos CME.

Durante o período de bolsa tive um aprendizado significativo na área de física solar e tomei meu primeiro contato com o ambiente de trabalho científico e me adaptei ao trabalho em equipe no grupo de pesquisa em que estou envolvido.

## **Agradecimentos**

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo período de bolsa de iniciação científica e ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pelas condições de infra-estrutura oferecidas para a realização deste trabalho que foi de grande importância para minha formação acadêmica. Agradeço ao orientador que se dispôs a orientar-me durante esses 8 meses e por sua atenção, paciência e dedicação no decorrer do projeto.

## **Referencias Bibliográficas**

KIPPENHAHN, R. Discovering the secrets of the Sun. Inglaterra: John Wiley & Sons, 1994. 280 páginas.

LANG, K. R. The Cambridge encyclopedia of the Sun. Inglaterra: Cambridge University Press, 2001. 268 páginas.

MCLEAN, D.J.; LABRUM N.R. Solar Radiophysics. Inglaterra: Cambridge University Press, 1985. 516 páginas

CDAW DATA CENTER, SOHO LASCO CME CATALOG. Disponível em  
< [http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME\\_list/index.html](http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/index.html)>

SPACE WEATHER PREDICTION CENTER, Online SWPC weekly publications in Adobe Acrobat ® format. Disponível em

< <http://www.swpc.noaa.gov/weekly/index.html>>

## **Anexo I: Resumo de trabalho apresentado na 63ª Reunião Anual da SBPC**

Espectros dinâmicos solares observados pelo instrumento BSS operando no novo sítio

J.R. Cecatto; C.H. Martins; M.R.G. Guedes; M.M.S. Lopes

DAS-INPE

### **RESUMO**

O instrumento Espectrógrafo Decimétrico Solar (BSS) diariamente observa fenômenos solares dentro da banda rádio, com grande flexibilidade, usando resoluções, em tempo selecionável entre 0,01 e 1 s e em frequência de 1-10 MHz, e com uma sensibilidade relativamente alta (2-3 U.F.S. – Unidade de Fluxo Solar =  $10^{-22}$  W/m<sup>2</sup>.Hz). A faixa de frequências de operação também pode ser ajustada em 100, 200, 500, 1000 MHz, com até 200 canais, sendo selecionada dentro da banda 1000-2500 MHz. Os espectros dinâmicos de rádio – curva de intensidade versus frequência versus tempo – de fenômenos solares são registrados, particularmente dos energéticos como os “flares” solares, com o intuito de determinar os parâmetros físicos da fonte de origem, na coroa solar, e o mecanismo responsável pela emissão da radiação eletromagnética observada. O instrumento permite a visualização dos espectros dinâmicos em tempo real e alimenta o banco de dados do Programa de Clima Espacial do INPE. Em 2010, o BSS foi transferido e instalado em um novo sítio radioastronômico, situado dentro da área do INPE, em Cachoeira Paulista (Lat. 22° 41’ 19” Sul, Long. 45° 0’ 36” Oeste). Recentemente, o instrumento entrou em operação no novo sítio e foram iniciadas as observações solares. Foram registrados espectros de vários tipos de emissão rádio associada a eventos energéticos, como por exemplo emissão tipo “dot”. Serão apresentados os resultados das observações do BSS no novo sítio. Particularmente, serão apresentados os espectros dinâmicos das emissões tipo “dot” e o mecanismo responsável por sua geração.

## **Anexo II: Resumo de trabalho apresentado na 63ª Reunião Anual da SBPC**

*Ciências Exatas e da Terra /Astronomia /Astrofísica do Meio Interestelar*

### **DINÂMICA DE EJEÇÕES DE MASSA CORONAL (CME) E ASSOCIAÇÃO COM O CICLO DE ATIVIDADE SOLAR**

Márcia R. G. Guedes

mrgguedes@das.inpe.br

Divisão de Astrofísica – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Muller S. Lopes

Divisão de Astrofísica – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

José Roberto Cecatto

Prof. Dr./ Orientador

Divisão de Astrofísica – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

### **INTRODUÇÃO**

Ejeções de Massa Coronal (CME) são fenômenos energéticos (até  $10^{34}$  erg) que ocorrem predominantemente durante o período de máximo de atividade do ciclo solar. Tipicamente, são grandes ( $10^{12-18}$  g) nuvens de gás quente e magnetizado (poucos G até uma centena de G) em forma de arco que se originam de regiões de campo magnético relativamente mais elevado (dezenas até poucas centenas de G) do que o campo magnético médio solar - associados com filamentos presentes na atmosfera solar – que são expulsos da atmosfera solar a altas velocidades (poucas dezenas a poucos milhares de quilômetros por segundo, com um valor médio de 470 km/s). Possuem morfologia variada, desde o formato de jatos relativamente colimados até halos parciais ou mesmo completos. A importância de sua investigação está no fato de se tratarem de fenômenos que potencialmente podem afetar o ambiente terrestre próximo e eventualmente causar prejuízos à algumas atividades humanas que fazem uso de modernas tecnologias.

### **METODOLOGIA**

Os instrumentos que observam regularmente os fenômenos CME são o satélite designado por Observatório solar e heliosférico (SOHO), utilizando o instrumento Espectroscópio coronal de grande abertura angular (LASCO), desde 1996, e mais recentemente (2007), o satélite Observatório de relações solares-terrestres (STEREO). Para as investigações da dinâmica e associação com o ciclo de atividade solar dos fenômenos CME, inicialmente, foi realizado um levantamento de todos os dados – data, velocidade, massa, energia, abertura angular, aceleração, horário e posição de início –

disponíveis no site dos experimentos LASCO e satélite STEREO. O intuito é determinar o patamar e condições mínimas de ocorrência do fenômeno e sua evolução dinâmica ao longo de um ciclo de atividade solar.

## RESULTADOS

Os resultados mostram o seguinte: (1) a grande maioria dos CME apresentou aceleração ou desaceleração; (2) durante o máximo do ciclo de atividade aumentou frequência de ocorrência de CME ; (3) a maior parte dos CME durante o máximo do ciclo são os mais energéticos (velozes); (4) os CME menos energéticos – mais lentos – predominam durante a descida do ciclo de atividade; (5) a grande maioria dos CME apresentou abertura angular  $\leq 120^\circ$  - CME em halo ou mesmo halo parcial são relativamente raros – havendo predomínio daqueles com energias de  $10^{27} - 10^{30}$  erg; (6) as massas estão no intervalo de  $10^{13} - 10^{16}$  g; (7) as energias variam de  $10^{28} - 10^{33}$  erg.

Também foi realizada uma estimativa da energia magnética total de um filamento associado a um CME cujo campo magnético pode ser determinado e o valor encontrado foi de  $10^{31}$  erg.

## CONCLUSÃO

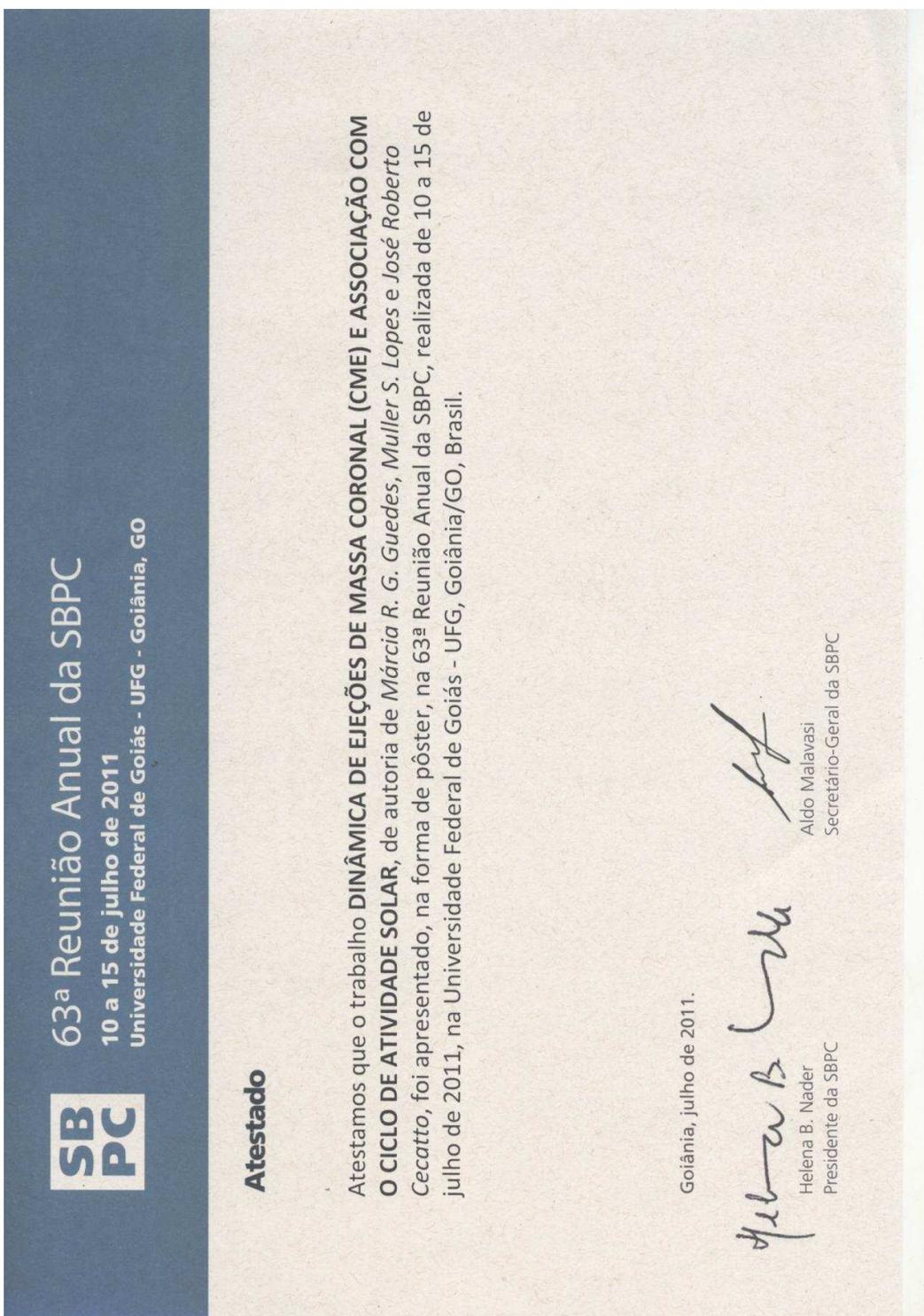
Durante ciclo (23; 1996-2008) de atividade solar, a frequência de ocorrência da maior parte dos CMEs cresce em bom acordo com a subida do ciclo em direção ao máximo. Porém, a fase de descida do ciclo foi mais rápida do que o decréscimo da frequência de ocorrência de CMEs, principalmente para os CMEs mais lentos, com velocidades menores ou iguais a velocidade média (da ordem de 500 km/s), que passam a predominar nessa fase acompanhando o decréscimo da energia dos CMEs. Isto significa que os CMEs de baixa velocidade continuam ocorrendo mesmo em períodos de baixa atividade solar. Também, obtivemos que o valor encontrado para a energia do CME ( $10^{31}$  erg) corresponde à ordem de grandeza de um CME de moderada energia. Neste caso, podemos dizer que a energia magnética do filamento de origem é suficiente para produzir o CME observado com a energia que foi medida. Porém, uma investigação estatística com uma base bem maior de casos é necessária.

**Instituição de fomento:** [Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -CAPES](#)

### Palavras-chave:

Sol, CME ,Ciclo Solar

**Anexo III: Certificado de apresentação da 63ª reunião anual da SBPC**



Anexo IV: Certificado de apresentação da 63ª reunião anual da SBPC



63ª Reunião Anual da SBPC

10 a 15 de julho de 2011

Universidade Federal de Goiás - UFG - Goiânia, GO

**Atestado**

Atestamos que o trabalho **ESPECTROS DINÂMICOS SOLARES OBSERVADOS PELO INSTRUMENTO BSS OPERANDO NO NOVO SÍTIO**, de autoria de *José Roberto Cecatto, Carlos Henrique Martins, Márcia Regina Guimarães Guedes e Müller Moreira de Souza Lopes*, foi apresentado, na forma de pôster, na 63ª Reunião Anual da SBPC, realizada de 10 a 15 de julho de 2011, na Universidade Federal de Goiás - UFG, Goiânia/GO, Brasil.

Goiânia, julho de 2011.

Helena B. Nader  
Presidente da SBPC

Aldo Malavasi  
Secretário-Geral da SBPC