



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

**PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
PIBIC/CNPq - INPE**

**RELATÓRIO DE BOLSA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**

**PROJETO:**

***DESENVOLVIMENTO/ADAPTAÇÃO DE SOFTWARE  
COM APLICAÇÃO NA ANÁLISE DE DADOS DO  
BRAZILIAN SOLAR SPECTROSCOPE (BSS)***

**BOLSISTA:**

**ANDRÉ RICARDO FAZANARO MARTINON**

**ORIENTADOR:**

**DR. FRANCISCO C. R. FERNANDES**

**PERÍODO:**

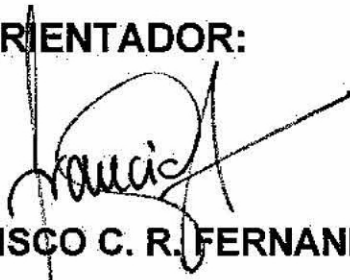
**09/1999 - 06/2000**

**DESENVOLVIMENTO/ADAPTAÇÃO DE SOFTWARE  
COM APLICAÇÃO NA ANÁLISE DE DADOS DO  
BRAZILIAN SOLAR SPECTROSCOPE (BSS)**

**BOLSISTA:**

  
**ANDRÉ RICARDO FAZANARO MARTINON**

**ORIENTADOR:**

  
**DR. FRANCISCO C. R. FERNANDES**

**São José dos Campos**

**16/06/2000**

## Resumo

---

Neste relatório é apresentada uma descrição das atividades realizadas durante o projeto de Iniciação Científica, no período de Setembro/1999 à Junho/2000, cujo principal objetivo foi a elaboração de rotinas computacionais com aplicação na análise de dados de explosões solares registrados pelo Brazilian Solar Spectroscope (BSS), em operação regular no INPE.

A visualização dos dados do BSS é feita por um programa desenvolvido em IDL (BSSView). No entanto, este programa não apresenta todas as ferramentas necessárias para o tratamento dos dados das explosões solares observadas. Por esta razão, foi proposto este projeto de Iniciação Científica.

Durante a vigência do projeto, entre as principais atividades realizadas, está o desenvolvimento de um programa base (BSSData) em linguagem C++, desenvolvido de modo a permitir fácil inclusão de novas rotinas de tratamento dos dados e que oferece ferramentas para:

- Filtragem dos dados:

Remoção do background: o background (fluxo do sol calmo) não é homogêneo em frequência. Filtrando e removendo esse sinal obtém-se um espectro dinâmico com um fundo mais homogêneo, realçando as explosões.

Filtro da diferença: sua principal finalidade é ajudar na identificação das fases de subida e descida do sinal, além de realçar as explosões dando um aspecto de relevo à imagem.

- Plotar perfis temporais e espectrais (profile): Plota dinamicamente os perfis temporais e espectrais do conjunto de dados, contido em uma área previamente selecionada, auxiliando na determinação visual dos parâmetros das explosões.
- Manipulação de cores: Exibe uma janela onde é possível escolher uma paleta de cores para exibir o espectro dinâmico.
- Gerenciar projetos: Permite agregar todas as informações referentes às explosões em arquivos de projeto separados.

Foi também realizado um acompanhamento da identificação das explosões solares registradas pelo BSS em 1999 e elaborado um catálogo com os espectros dinâmicos de cada explosão. Além de um levantamento da atividade solar associada em outros comprimentos de onda.

No relatório, são também apresentadas as atividades em andamento, que incluem o desenvolvimento de outras rotinas específicas para análise dos dados do BSS.

Finalmente são listados os trabalhos aceitos para apresentação em reuniões científicas nacionais e internacionais, elaborados com aplicação de rotinas desenvolvidas.

# Sumário

---

<b>Introdução.....</b>	<b>5</b>
<b>Seção 1. Resumo das Atividades Realizadas.....</b>	<b>6</b>
1.1 – Leituras.....	6
1.2 – Discussões.....	7
<b>Seção 2. Brazilian Solar Spectroscope (BSS).....</b>	<b>8</b>
2.1 – Descrição Geral do Instrumento.....	8
2.2 – Descrição Geral do Funcionamento.....	10
2.3 – Sistemas de Aquisição/Monitoramento de Dados.....	10
a) Registrador de papel.....	10
b) Sistema digital.....	10
2.4 – Programa de Visualização e Análise de Dados - BSSView.....	11
<b>Seção 3. O Programa BSSData.....</b>	<b>12</b>
3.1 – Introdução.....	12
3.2 – Filtragem dos Dados.....	13
3.2.1 – Rotina para subtrair o background.....	13
3.2.2 – Rotina para o filtro da diferença.....	13
3.3 – Manipulação das Cores.....	15
3.4 – Perfis Temporal e Espectral.....	16
3.5 – Gerenciamento de Projetos.....	17
<b>Seção 4. Catálogo das Explosões Solares.....</b>	<b>18</b>
<b>Conclusão.....</b>	<b>19</b>
<b>Atividades em Andamento e Programadas.....</b>	<b>20</b>
<b>Referências.....</b>	<b>21</b>
<b>Apêndice 1.....</b>	<b>22</b>
<b>Apêndice 2.....</b>	<b>22</b>



## Introdução

---

Em abril de 1998, entrou em operação regular, no INPE, em São José dos Campos, SP, um rádio espectrógrafo, batizado de Brazilian Solar Spectroscope (BSS), desenvolvido pela linha de pesquisa de Física do Meio Interplanetário (FMI). O BSS é dedicado às observações solares, na faixa de frequência (200-2500 MHz), com altas resoluções espectral e temporal (Sawant et al. 1996; Sawant et al. 2000; Fernandes, 1997).

O objetivo das observações solares realizadas é investigar fenômenos associados com a liberação da energia dos "flares" solares, através da análise das explosões solares decimétricas, observadas principalmente acima de 1000 MHz, com altas resoluções temporal e espectral, pois as explosões decimétricas têm origem próximo às regiões de aceleração de partículas durante os "flares".

Através do BSS dados de explosões solares são digitalizados em até 100 canais de frequência com resolução temporal de até 10 ms. Um programa desenvolvido em IDL (BSSView) (Faria, 1999) é utilizado para a visualização dos dados registrados. No entanto, este programa padrão não apresentava todas as ferramentas necessárias para determinação dos parâmetros das explosões solares observadas havendo a necessidade de adaptação/implementação de outras rotinas para esta finalidade. Desta forma, foi desenvolvido este projeto de Iniciação Científica.

Neste sentido, inicialmente foi realizada uma revisão da constituição e do funcionamento do BSS, feita através de leituras, discussões com membros do grupo de pesquisa e acompanhamento das observações, apresentada na Seção 1. Principalmente foi estudado o sistema de aquisição dos dados e o programa de visualização e tratamento dos dados (BSSView) (Seção 2). Na Seção 3 é apresentado o programa BSSData desenvolvido e suas principais ferramentas. Além disso foi realizado um acompanhamento da classificação preliminar destas explosões, e elaboração junto com o orientador de um catálogo das explosões solares observadas em 1999 (Seção 4).

## **Seção 1. Resumo das Atividades Realizadas**

---

Abaixo são relacionadas as principais atividades realizadas durante a vigência do projeto.

- Aprendizado da linguagem IDL e familiarização com o software padrão BSSView de visualização dos dados do BSS, desenvolvido em linguagem IDL.
- Desenvolvimento de um programa (BSSData) para análise dos dados, contendo ferramentas para destacar as explosões, determinar visualmente os parâmetros das explosões, manipular as cores do espectro dinâmico e organizar os dados em projetos distintos.
- Adaptações no software BSSView, como mudanças nas saídas gráficas e na escala de tempo.
- Acompanhamento da identificação das explosões solares decimétricas observadas pelo BSS em 1999 e elaboração de um catálogo de explosões.

### **1.1 – Leituras**

- Tese de doutorado, INPE, Francisco C. R. Fernandes, 1997 “Espectrógrafo Digital Decimétrico de Banda Larga e investigações de “Flares” solares em ondas decimétricas e raios - X”. Cap. 1 à 3.
- Proposta de dissertação de mestrado, INPE, Jorge L. M. Moreno, 1996 “Explosões decimétricas associadas com a fase impulsiva dos “Flares” solares”.
- Dissertação de Mestrado, INPE, Cláudio Faria, 1999 “Um sistema para tratamento e visualização de dados astronômicos espectrais”.
- Relatório Científico, Projeto: Desenvolvimento de software e integração de:
  1. Espectrógrafo decimétrico digital de alta sensibilidade e alta resolução
  2. Tradutor de tempo e GPS station clock
- Manuais do IDL, Research Systems, Inc.  
Building IDL Applications Version 5.2
  1. Chapter 9 - Writing IDL Programs
  2. Chapter 15 - WidgetsIDL Basics - version 4.0 – abr/95
- Páginas na Internet  
[www.rkling.com](http://www.rkling.com)  
[www.dfanning.com](http://www.dfanning.com)

[www.ivsoftware.com/pub/idl\\_faq.html](http://www.ivsoftware.com/pub/idl_faq.html)

- Eckel, Bruce, "Thinking in C++" 2ª Edição, Volumes 1 e 2, 2000  
<http://www.codecuts.com/mainpage.asp?WebPageID=315>  
<http://www.codecuts.com/codecuts/pdfs/bruceeckel/TIC2Vone.pdf>  
<http://www.codecuts.com/codecuts/pdfs/bruceeckel/TIC2Vtwo.pdf>
- Gonzalez, Rafael C.;Wintz, Paul, "Digital Image Processing" 2ª Edição, 1987

## **1.2 – Discussões**

Foram realizados encontros periódicos com o orientador e demais membros do grupo, através dos quais foram discutidos assuntos relacionados com as atividades em andamento, bem como sobre conceitos básicos ligados ao projeto e às pesquisas realizadas e abordados nos materiais bibliográficos utilizados nas leituras.

Os principais temas discutidos foram:

- A constituição e o funcionamento do BSS, com ênfase na aquisição dos dados digitais.
- Utilização do programa de visualização e tratamento de dados (BSSView).
- Os procedimentos necessários para a análise dos dados, como a obtenção de parâmetros de diferentes tipos de explosões que orientaram na elaboração do programa.
- Os procedimentos necessários para remover o sinal de background e como implementar o filtro da diferença.

## Seção 2. Brazilian Solar Spectroscope (BSS)

---

### 2.1 – Descrição Geral do Instrumento

O espectrógrafo decimétrico de banda larga do INPE, batizado de Brazilian Solar Spectroscope (BSS), está em operação regular desde abril de 1998. As principais características do BSS são apresentadas na Tabela 1. Um diagrama de blocos mostrando todo sistema do BSS é apresentado na Figura 1 e a antena parabólica de 9 m de diâmetro é mostrada na Figura 2.

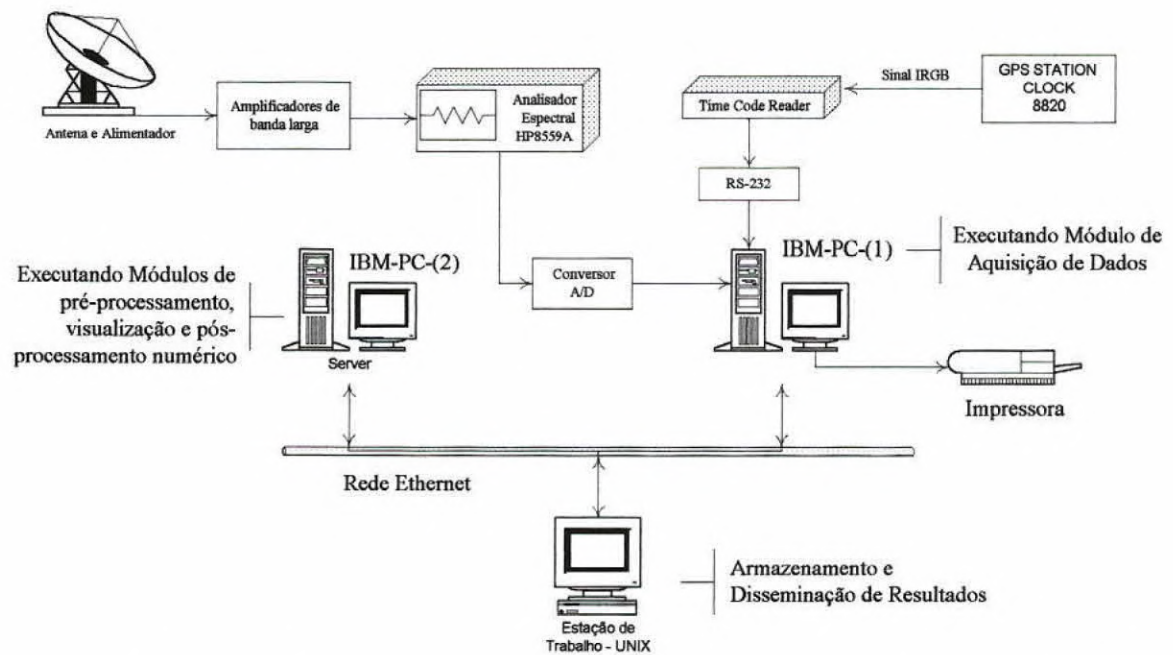
Antena Montagem	9 metros de diâmetro polar
Alimentador	log-periódico cruzado
Banda de Frequência	200-2500 MHz
Resolução temporal	0,01 - 1 s
Resolução espectral	1 - 3 MHz
Precisão tempo absoluta	0,003 s
Sensibilidade	~2-3 sfu
Número de canais	25 - 100
Visualização	tempo real
Observação	11:30-18:30 UT

Tabela 1 – Características do BSS

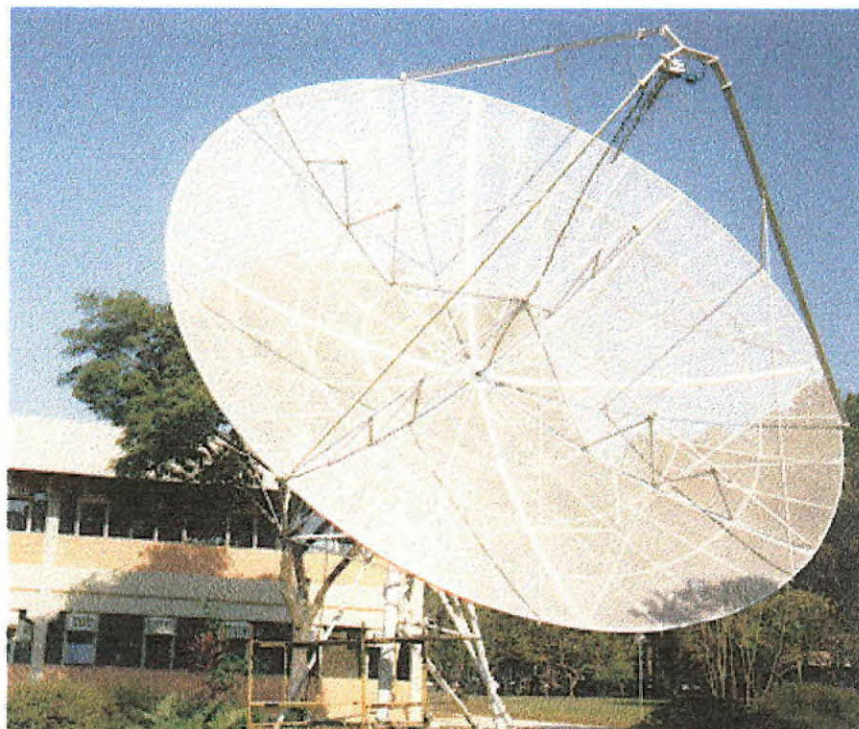
O BSS destaca-se por apresentar uma flexibilidade de escolha da banda de frequência em observação entre 200 e 2500 MHz e das resoluções temporal e espectral, permitindo com isso observar pela primeira vez no INPE, explosões solares decimétricas com resolução temporal de 10 ms e com aquisição entre 25 e 100 canais digitais de frequência.

Através das observações realizadas com BSS, a linha de pesquisa de FMI pretende investigar fenômenos associados com a liberação de energia dos “flares” solares, através da análise das explosões solares decimétricas acima de 1000 MHz, particularmente emissões tipo III, e estruturas finas, que apresentam uma banda estreita em frequência e curta duração ( $t \leq 1$  s).





**Fig. 1** – Diagrama de blocos representando o Brazilian Solar Spectroscop (BSS) de alta sensibilidade (~ 2 ufs), alta resolução espectral (3 MHz) e alta resolução temporal (10 - 1000 ms).



**Fig. 2** – Antena parabólica de 9 metros de diâmetro, construído em malha de alumínio, em cujo foco foi instalado um alimentador de banda larga (200 - 2500 MHz) composto por um par de antenas log - periódicas cruzadas.



## 2.2 – Descrição Geral do Funcionamento

Como mostrado na Figura 1, o sistema receptor é constituído por uma antena parabólica de 9 metros de diâmetro, construída em malha de alumínio, em cujo foco foi instalado um alimentador de banda larga (200 - 2500 MHz) composto por um par de antenas log-periódicas cruzadas, que permitem a recepção das componentes ortogonais (vertical e horizontal) do sinal recebido da fonte (Sol).

O sistema possui a saída do alimentador conectada a dois pré-amplificadores de baixo ruído, que por sua vez estão ligados a um circuito somador de banda larga. Depois de somado, o sinal é introduzido no analisador de espectros (HP8559A), depois os sinais de variação de tensão na saída do analisador seguem para os sistemas de aquisição e monitoramento.

## 2.3 – Sistemas de Aquisição/Monitoramento de Dados

A aquisição e o monitoramento dos dados registrados pelo BSS e enviados pelo analisador de espectros são feitos simultaneamente por dois sistemas:

### a) Registrador de papel

O sinal é integrado no tempo (~1 seg) e em frequência (banda de observação selecionada) e registrado em papel para monitoramento durante as observações.

### b) Sistema digital

O sistema de aquisição de dados do BSS é responsável por digitalizar o sinal proveniente do analisador espectral, através de uma placa digitalizadora ADDA de 12 bits conectada ao microcomputador IBM-PC-01 (ver Figura 1). O sinal correspondente às potências do espectro varrido é amostrado em até 100 canais de frequências, com resolução temporal selecionável variando de 10 a 1000 ms.

A interface gráfica permite o usuário escolher os seguintes parâmetros de aquisição (ver combinação dos parâmetros na Tabela 2):

- frequência central em torno da qual se fará a varredura, necessariamente entre 200 a 2500 MHz;
- largura da banda de frequência em MHz, 100, 200, 500 e 1000;
- resolução temporal (ou tempo de duração de uma varredura), podendo ser 10, 20, 50, 100, 200, 500 ou 1000 milissegundos;
- número de canais digitalizados para cada varredura da banda de observada, 25, 50 ou 100 canais.
- tempo de aquisição dos arquivos de dados digitalizados, podendo ser 1, 2.5, 5, 10, 15 ou 20 minutos.

Esse programa (Faria, 1999) é constituído por uma série de rotinas de digitalização dos dados desenvolvidas e inseridas em módulo específico em linguagem PASCAL, que também implementa todas as funções de controle da placa digitalizadora, as quais são chamadas pelas rotinas de digitalização. Cada rotina opera sobre uma resolução temporal específica digitalizando uma quantidade fixa de canais, ou seja, para cada resolução temporal e número de canais desejados há uma rotina específica de digitalização.

Os dados digitalizados são armazenados em arquivos binários e em diferentes períodos, previamente escolhidos, são enviados para o microcomputador IBM-PC-(2) para tratamento e visualização em tempo quase real.

O software armazena também o tempo absoluto no qual são feitas as observações através da aquisição do código de tempo gerado pela GPS "Station Clock", do Centro de Controle de Satélites (CCS) do INPE.

Resolução Temporal (ms)	Números de Canais	Banda de Frequência de Atuação (MHz)
500	100	1000
100	100	1000
100	100	500
50	100	500
20	50	200
10	25	100

**Tabela 2** – Números de canais de frequência para diferentes combinações de resoluções temporais e banda de frequência de observação escolhidas.

## 2.4 – Programa de Visualização e Análise de Dados - BSSView

Para visualização e tratamento dos dados digitais do BSS é utilizado um programa desenvolvido na linguagem IDL ("Interactive Data Language") batizado de BSSView (Faria, 1999).

Este programa permite visualizar em tempo real o espectro dinâmico das observações e obter representações gráficas dos dados digitalizados (plotagem de perfil temporal de múltiplos canais de frequência, visualização de imagens em escalas de cores e mapas de contorno).

## Seção 3. O Programa BSSData

---

### 3.1 – Introdução

O software padrão BSSView não apresenta todas as rotinas necessárias para a análise detalhada de explosões solares. Havendo a necessidade de desenvolvimento/modificação de rotinas específicas para aplicação na análise final detalhada das explosões solares observadas.

A necessidade de adaptação e modificação das rotinas de análise é constante, visto a complexidade dos fenômenos solares observados em banda larga e também das estruturas finas registradas tanto em tempo quanto em frequência. Na análise detalhada de cada grupo de explosões solares observado deve-se, portanto, considerar a variação do fluxo do "background" solar em função da frequência, e a variação temporal, além da complexidade das explosões e estruturas finas registradas superpostas ao background variável. Desta forma, seguindo o plano de trabalho original iniciamos alterações/adaptações nas rotinas de tratamento. Portanto, foi desenvolvido um programa base, batizado de BSSData que nos auxilia na análise dos dados, contendo ferramentas para destacar as explosões, para determinar visualmente os parâmetros das explosões, para manipular as cores do espectro dinâmico e para organizar os dados em projetos distintos.

O núcleo do programa principal foi todo desenvolvido em linguagem C++ padrão sendo, portanto, portátil à qualquer compilador C++. Para construir todas as janelas que fazem a interface com o usuário foi utilizada a ferramenta de programação Borland C++ Builder 4.0. Como características principais do BSSdata podemos destacar:

- O número de arquivos abertos simultaneamente é teoricamente ilimitada, sendo limitado apenas pela quantidade de memória total (Memória RAM mais swap file) disponível.
- Foi desenvolvida uma estrutura de classes de modo a permitir fácil inclusão de novas rotinas de tratamento dos dados
- Todas as rotinas gráficas foram otimizadas para conseguir maior velocidade na execução do programa.

Todas as ferramentas implementadas até o momento, através deste projeto de Iniciação Científica, são descritas a seguir.

## **3.2 – Filtragem dos Dados**

### **3.2.1 – Rotina para subtrair o background**

O objetivo dessa rotina é o de subtrair o sinal de background dos dados (fluxo do sol calmo). O sinal de background registrado pelo BSS não é homogêneo em frequência, decorrente da resposta do sistema ser diferente para cada frequência, como pode ser visto na Figura 3a. Aplicando essa rotina, temos como resultado um espectro dinâmico com um fundo mais homogêneo onde as explosões ficam mais realçadas, como mostra a Figura 3b.

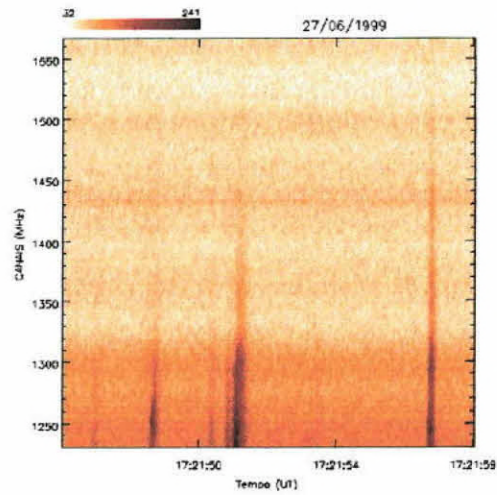
Essa rotina é importante na análise dos dados, pois com um fundo mais homogêneo podemos destacar explosões mais fracas que antes estavam misturadas ao próprio fundo.

### **3.2.2 – Rotina para o filtro da diferença**

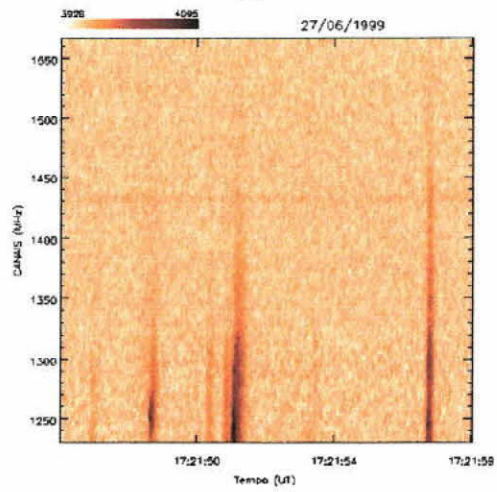
Esse filtro realça as explosões dando um aspecto de relevo à imagem (pseudo 3D). A principal finalidade desse filtro é ajudar na identificação das fases de subida e descida do sinal. Além de tornar também o fundo mais homogêneo (ver Figura 3c).

Uma observação importante é que não existe diferença visual no resultado obtido pelo filtro da diferença quando aplicado na imagem original ou na imagem com o background subtraído.

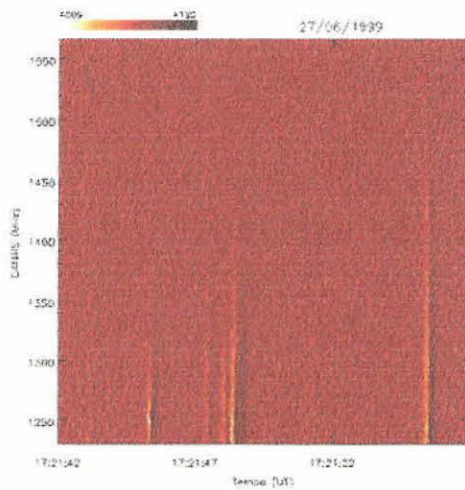




(a)



(b)



(c)

**Fig. 3** – Espectro dinâmico de explosão solar observada pelo BSS em 27/06/99: (a) espectro dinâmico original; (b) subtração do background; (c) aplicação de filtro da diferença.



### 3.3 – Manipulação das Cores

No Windows, dependendo do adaptador de vídeo em uso, podemos exibir as seguintes quantidades de cores:

Número de cores	Tamanho de cada pixels
16 cores	4 bits
256 cores	8 bits
High Color (65536 cores)	16 bits
True Color (16777216 cores)	24 bits

No programa BSSData adotamos como padrão uma imagem de 8 bits por pixel. Sendo representada por uma paleta de 236 cores, pois no modo de 256 cores, 20 cores são reservadas ao sistema. Desta forma, conseguimos executar o programa em todos os modos de vídeo maiores ou iguais a 8 bits por pixel.

As cores, em qualquer modo de vídeo, são formadas por uma combinação das cores vermelho, verde e azul. E cada combinação dessas três cores é representada por um índice entre 0 e 255 na paleta (sendo que de 0 à 9 e de 246 à 255 são reservados ao sistema).

Para criar o espectro dinâmico usamos a seguinte fórmula:

$$Indice = 235 \cdot \frac{Dado - Dado_{min}}{Dado_{max} - Dado_{min}} + 10 ,$$

sendo:

Dado - o valor a ser transformado;

Dado<sub>min</sub> – o menor valor do conjunto de dados;

Dado<sub>máx</sub> – o maior valor do conjunto de dados;

Índice – terá um valor entre 10 e 245.

A janela "Palette Manager" (Figura 4) nos oferece opções para gerar paletas com gradientes de cores (combinação das cores vermelha, verde e azul), esticar o início ou o fim da paleta, inverter a paleta ou escolher uma paleta já definida (41 no total).

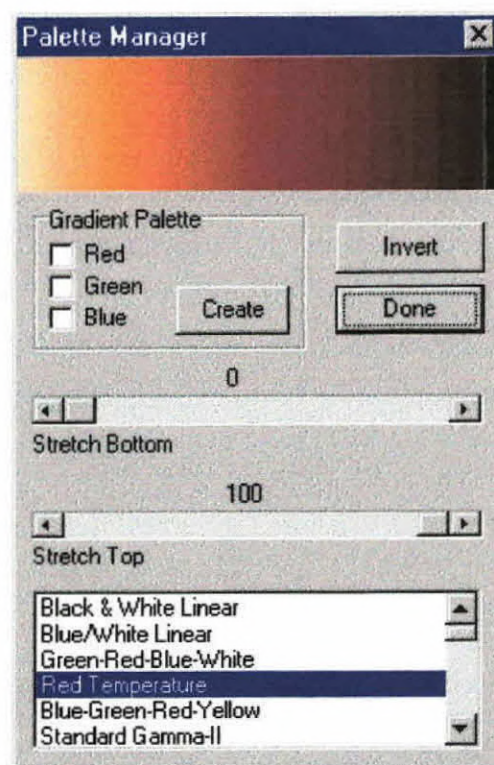


Fig. 4 – Janela para manipulação da paleta de cores

### 3.4 – Perfis Temporal e Espectral

Esta rotina, plota dinamicamente, através do movimento do mouse, os perfis temporais (ver Figura 5 – gráfico inferior direito) e espectrais (ver Figura 5 – gráfico inferior esquerdo) do conjunto de dados, contido em uma área previamente selecionada pelo usuário, auxiliando na determinação visual dos parâmetros das explosões (obtenção dos tempos de subida e descida, da duração total, da taxa de deriva em frequência).

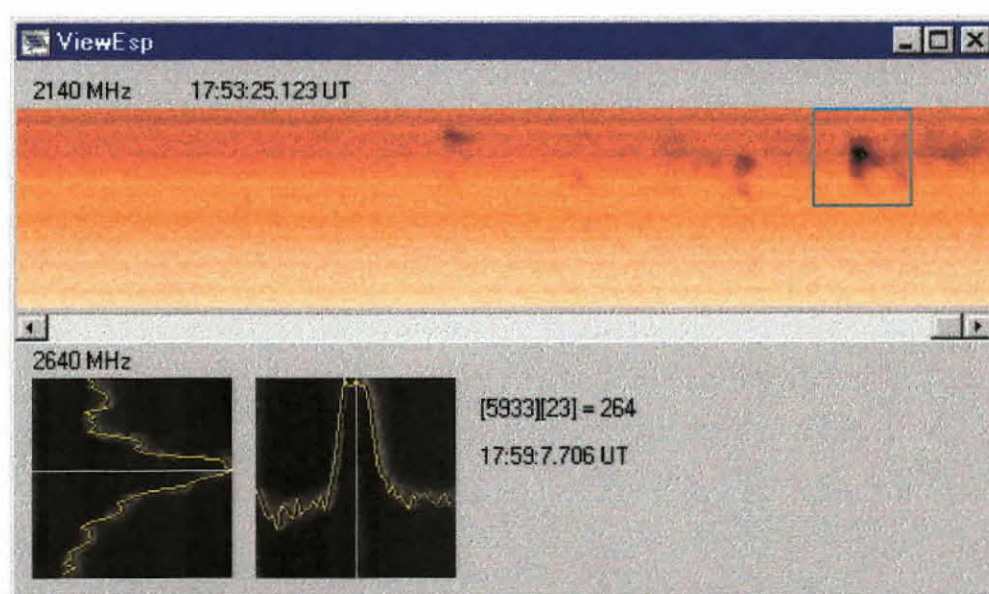


Fig. 5 – Janela para visualização do espectro dinâmico e seus perfis temporais e espectrais

### 3.5 – Gerenciamento de Projetos

O programa BSSData permite organizar conjuntos de dados em forma de projetos. Desta forma todas as informações referentes à uma explosão ficam agrupados. A janela “Project Manager” (Figura 6) possui uma lista com todos os arquivos pertencentes ao projeto, e ainda exibe as informações contidas nos cabeçalhos dos arquivos de dados.

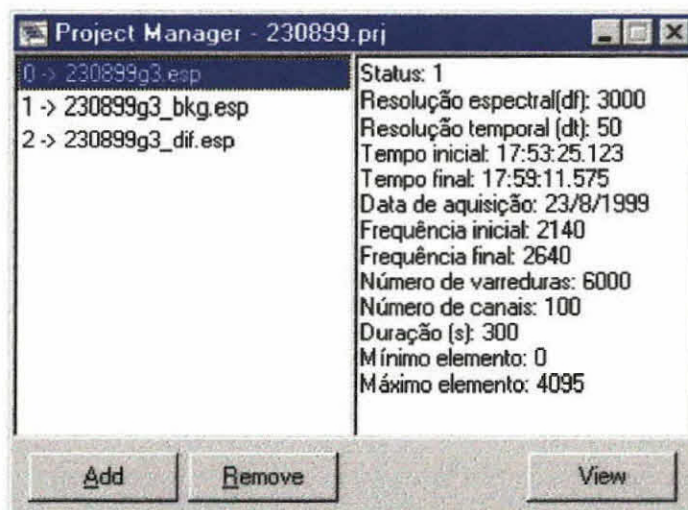


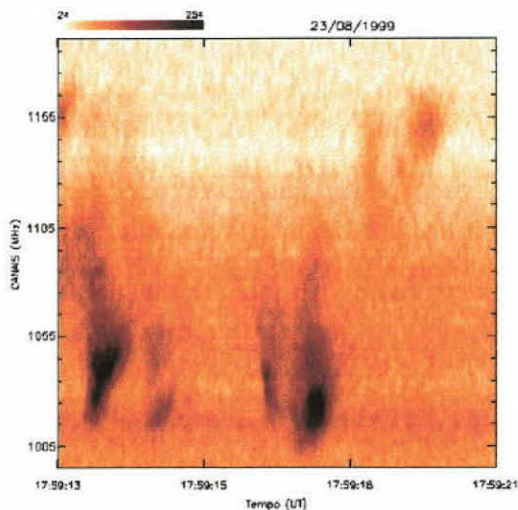
Fig. 6 – Janela para gerenciar projetos



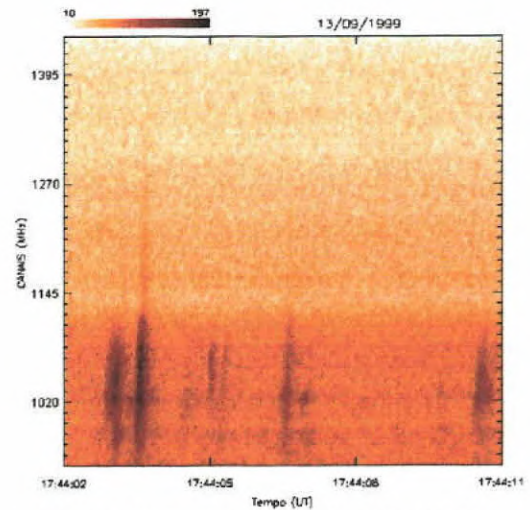
## Seção 4. Catálogo das Explosões Solares

Como parte das atividades realizadas, foi feito um acompanhamento da identificação das explosões solares registradas pelo Brazilian Solar Spectroscop (BSS), em 1999, selecionadas através da aplicação dos programas e rotinas de visualização dos dados. Para as explosões identificadas, foi elaborado um catálogo com os espectros dinâmicos de cada explosão. Além de um levantamento da atividade solar associada em outros comprimentos de onda. A lista das explosões catalogadas está no Apêndice 1.

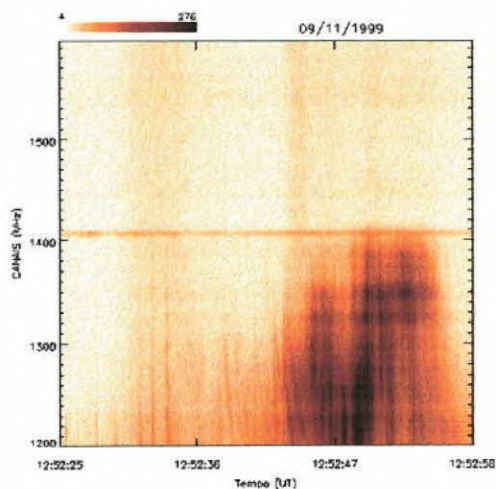
Procedimento semelhante está sendo realizado para as explosões que estão sendo registradas pelo BSS em 2000 (durante o período de máximo do ciclo solar de atividade). As Figuras 7, 8 e 9 apresentam exemplos de espectros dinâmicos de diversos tipos de explosões solares identificadas.



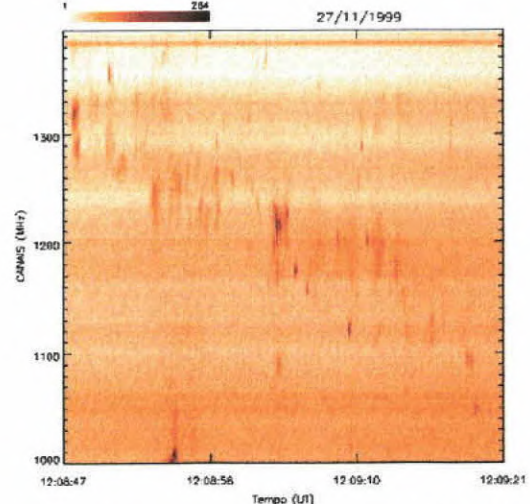
**Fig. 7** – Emissão tipo "patches", mostrando emissão central mais intensa e calda mais tênue.



**Fig. 8** – Grupo de explosões tipo III-like.



**Fig. 9** – Emissão apresentando estruturas finas ("chain of dots", "fibras")



**Fig. 10** – Estruturas finas em tempo e frequência mostrando corte em alta frequência decrescente com o tempo

## **Conclusão e Comentários**

---

De acordo com o apresentado neste relatório, através deste projeto de Iniciação Científica, realizado no período de Setembro/99 a Junho/00, foram obtidos resultados significativos contidos no plano de trabalho original. Entre estes objetivos alcançados podemos destacar:

- Conhecimento da aquisição dos dados digitais do BSS e formato dos arquivos digitais.
- Aprendizado da linguagem IDL e conhecimento do programa BSSView de visualização e tratamento dos dados do BSS.
- Acompanhamento da identificação das explosões solares observadas em 1999 e catalogação preliminar destas explosões, incluindo a obtenção dos espectros dinâmicos de cada explosão individual.
- Acompanhamento das discussões entre os membros do grupo sobre os procedimentos a serem seguidos para a análise dos dados e do levantamento das necessidades de rotinas específicas para esta finalidade.
- Desenvolvimento de um programa (BSSData) específico para tratamentos dos dados do BSS, que inclui rotinas para a subtração do sinal de background, para aplicação de filtro da diferença, para graficar os perfis temporais e espectrais das emissões solares.
- Acompanhamento na determinação de parâmetros observacionais, utilizando as rotinas desenvolvidas, de certos tipos de explosões solares apresentando estruturas finas, tais como, emissões tipo "dots", "zebra", "spikes".

As atividades descritas acima contribuíram para a elaboração de trabalhos científicos aceitos para apresentação em reuniões científicas nacionais e internacionais. Além disso, contribuíram efetivamente para minha iniciação em atividades de pesquisa e desenvolvimento científico e tecnológico.

Neste sentido, acreditamos que os resultados obtidos através deste projeto de Iniciação Científica têm contribuído com as atividades de pesquisa desenvolvidas pelo grupo da Linha de Pesquisa de Física do Meio para investigação de explosões solares. No entanto, existem várias atividades em andamento e outras programadas com o intuito de dar continuidade ao desenvolvimento e aperfeiçoamento de ferramentas computacionais para a análise de dados do BSS.



## **Atividades em Andamento e Programadas**

---

Dentre as atividades em andamento e as programadas para dar continuidade ao desenvolvimento/adaptação de programas e rotinas computacionais com aplicação na análise de dados do BSS, podemos citar:

- Elaborar a catalogação da atividade solar registrada pelo BSS, em 2000.
- Implementar uma rotina baseada na correlação cruzada entre os canais de frequência extremos das emissões registradas para determinação de taxa de deriva em frequência.
- Aperfeiçoamento e implementação de mais rotinas com a finalidade de filtrar os dados para intensificar o contraste das explosões mais fracas.
- Criar um banco de dados para armazenar o catálogo das explosões solares.
- Incorporar eixos graduados nos gráficos e fazer adaptações para melhorar a performance e precisão dos cálculos.
- Acompanhar a análise detalhada de emissões solares registradas, entre elas emissões tipo III-like, "spikes" e "patches".
- Acompanhar a finalização dos trabalhos científicos em preparação.

## Referências

---

- Faria, C., Um sistema para tratamento e visualização de dados astronômicos espectrais, Dissertação de Mestrado, INPE, 1999.
- Fernandes, F. C. R., Espectrógrafo Digital Decimétrico de Banda Larga e investigações de "flares" solares em ondas decimétricas e raios – X, Tese de doutorado, INPE, 1997.
- Sawant, H. S., Subramanian, K. R., Faria, C., Stephany, S., Fernandes, F. C. R., Cecatto, J. R., Rosa, R. R., Alonso, E. M. B., Mesquita, F. P. V., Portezani, V. A., Data acquisition and initial results of the Brazilian Solar Spectroscopy – BSS. HESSI Workshop, ASP Conference Series, aceito, 2000.
- Sawant, H. S.; Sobral, J. H. A.; Fernandes, F. C. R.; Cecatto, J. R.; Day, W. R. G.; Neri, J. A. C. F.; Alonso, E. M. B.; Moraes, A., High sensitivity wide band digital solar polarimetric spectroscopy, *Adv. Space Res.*, 17, 385, 1996.

## **Apêndice 1**

---

### **Lista com os dados das explosões solares registradas pelo BSS de 1999.**

A lista contém os seguintes dados sobre as explosões:

Dia e hora que ocorreu a explosão, classificação preliminar do tipo de atividade e a banda de frequência. Existe também informações de outros observatórios, que possuem registros da explosão. São eles ONDREJOV (O), YOHKOH (Y) e GOES.

**BRAZILIAN SOLAR SPECTROSCOPE – BSS  
DADOS DE EXPLOSÕES - 1999**

DIA	HORA (UT)	TIPO DE ATIVIDADE	FREQ (MHz)	O	Y	BSS FILE	GOES CLASSE	COMENTARIOS	O	B	D
<b>MARÇO/99</b>											
19	15:19:15-15:26:45	zebra	1330-1580			B5		< 15:32 EPL	X		X
<b>ABRIL/99</b>											
07	13:25:01	Fraco contínuo				B7			X	X	
<b>MAIO/99</b>											
07	14:26:47-14:27:06	Fraco ghost RS		3		D1	C7.4 14:23	1415-15400 RBR 14:26 FLA SF			
08	14:23-14:26	Gradual		345		C9	M4.6 14:22	245-15400 RBR RSP V			
18	18:06:05-18:06:14	TIII-like G	LBx			H3		245 RNS			X
30	16:05:50	Fraco patch G NB	~1350			F0		245 16:05 RBR RNS	X	X	
	16:06:02	Fraco patch G NB	~1350						X	X	X
<b>JUNHO/99</b>											
17	16:51	Contínuo BB (> 1 min)				F3	M3.6 16:47		X	X	
22	18:31	Gradual				G8,G9	M1.7 17:37				
22	18:34	Fracas EFs + BKG				H0	M1.7 17:37	1415 RBR 18:27			
24	16:44-17:17	Pulsations + EFs		5		F0-F3		245 RBR 17:14	X	X	
24	18:02	EFs	LBx			G3		245 RBR 18:01	X	X	
26	13:45-13:56	Gradual				C2-C3		RSP CTM/2			
26	15:40	Fraca EF G BB RS				E1			X	X	
27	17:21:46-17:21:58	TIII G IB	LBx			F7			X	X	X
28	12:21:02-12:21:11	TIII NB drift chain				A6	C1.6 12:13	12:19 RSP III/2 12:13 FLA SF	X	X	X
<b>JULHO/99</b>											
02	15:14:45-15:15:55	Ghost		35		D6	M1.6 15:12				
02	15:15:07	EF ISO		35		D6	M1.6 15:12	15:16 FLA	X	X	X
05	16:39:24-16:39:31	TIII NB	Central			E9		RSP	X	X	X
12	15:30:50	EF	LBx			D9		15:31 RBR RSP	X	X	X
16	15:45:51	EF ISO		35		E1	M3.1 15:42	FLA			X
19	15:08:42-15:09:15	TIII-like G	LBx			D4		15:08 FLA	X	X	X
23	12:45:02	Fracas EFs	LBx			B0	C5.9 12:37		X	X	X
24	12:02:56	Par EFs	LAT			A3		1415 RBR 12:03	X	X	X
24	12:03:20-12:03:40	Fracos ghosts	LAT			A3		1415 RBR 12:03			
24	12:03:47	Patch	~1660			A3		1415 RBR 12:03	X	X	X

24	12:03:48-12:03:51	Patch complexo	~1300		A3	1415 RBR 12:03	X	X
25	13:09	Gradual	3		B5	M2.4 13:08 1415 RBR 13:09		

**AGOSTO/99**

17	12:43-18:34	Noise + EFs	345		B0-H0	C2.6 12:32 C5.9 14:28	X	X
20	18:27-18:37	Gradual			G6-G7	M2 18:25 245-2695 RBR		
23	17:58-17:59	Patches			G3-G4		X	X
23	18:04	Zebra			G4	C6.7 18:01 18:03		
30	17:50-17:59	Gradual + ghost + puls			G0-G1	M3.8 17:23	X	X

**SETEMBRO/99**

02	17:39:40	Faixa clara-escura			D1			
03	18:04:38	Intermitente		Central	F2		X	X
09	14:22-17:14 ?	Gradual + EF lenta deriva			B0-B3	C3.3 16:13		
13	16:27:30-16:27:59	Fracas EFs + dots			E9	C2.6 16:30 < 16:02 DSF	X	X
13	16:57:17	TIII-like IB ISO			F4	C2.6 16:30	X	X
13	17:02:26	Drift dots			F4		X	X
13	17:43:50-17:44:11	TIII G			G2		X	X
14	13:57	Fracas TIII-like + EFs	5		A2-A3	C7.8 13:54		
22	13:30	Gradual + ghost	45		C0	C5.2 13:29 245-2695 RBR RSP V/3 III/1 FLA 1F		

**OUTUBRO/99**

01	14:58:47-14:59:08	3 picos fortes BB	345		D8	C6.0 14:49 245-880 RBR	X	X
07	15:52:31	Dots normal drift			E9		X	X
18	16:26:25	Dots + zebra NB			F5		X	X
19	17:02:19-17:04:44	Zebra BB			D3			
19	17:27:57-17:28:45	Zebra BB			D8			
19	17:56:44	Zebra BB + dots			E3	C1.0 17:54 FLA SF		
20	16:19	Fraca zebra/dots			E2			
21	11:53:39	Dots NT		Banda total	A6			
28	17:56:55	EF TIII-like NB ISO			H1		X	X
28	18:01:36	EF TIII-like ISO			H2		X	X
28	18:04:26	Line of Dots			H3		X	X
28	18:05:43	EF TIII-like NB ISO			H3		X	X

**NOVEMBRO/99**

09	11:53:47-11:54:17	Fraca EF + CONT			A7		X	X
09	12:06:25-12:06:37	EFs TIII-like G TCONT		LBx	A9	1415 RBR	X	X





## Apêndice 2

---

### Trabalhos Científicos

#### Trabalhos aceitos para apresentação em reuniões científicas

1. Catalogue of solar bursts observed by the Brazilian Solar Spectroscope – BSS, F. C. R. Fernandes, H. S. Sawant, H. O. Vats, J. R. Cecatto, V.A. Portezani, **A. R. F. Martinon**. Aceito para apresentação no 33<sup>rd</sup> COSPAR Scientific Assembly, Warsaw, Poland, 16-23 July 2000.
2. Chromospheric inhomogeneities and decemetric fine structures, H. S. Sawant, F. C. R. Fernandes, H. O. Vats, J. R. Cecatto, V. A. Portezani, **A. R. F. Martinon**. Aceito para apresentação no 33<sup>rd</sup> COSPAR Scientific Assembly, Warsaw, Poland, 16-23 July 2000.
3. BSSView: novas rotinas para visualização e análise de dados espectrais solares, **A. R. F. Martinon**, F. C. R. Fernandes, H. O. Vats, J. A. C. F. Neri, H. S. Sawant. Aceito para apresentação na XXVI Reunião Anual da SAB, 23-27 de julho de 2000.
4. Emissões solares decimétricas tipo "fibra" com taxa de deriva intermediária. F. C. R. Fernandes, H. O. Vats, **A. R. F. Martinon**, V. A. Portezani, H. S. Sawant. Aceito para apresentação na XXVI Reunião Anual da SAB, 23-27 de julho de 2000.
5. Spikes decimétricos apresentando padrão semi-harmônico de emissão F. C. R. Fernandes, H. O. Vats, **A. R. F. Martinon**, V. A. Portezani, H. S. Sawant. Aceito para apresentação na XXVI Reunião Anual da SAB, 23-27 de julho de 2000.
6. Inhomogeneidades cromosféricas e estruturas finas decimétricas. H. S. Sawant, F. C. R. Fernandes, H. O. Vats, J. R. Cecatto, V. A. Portezani, **A. R. F. Martinon**. Aceito para apresentação na XXVI Reunião Anual da SAB, 23-27 de julho de 2000.

#### Artigos submetidos para publicação

1. Sawant, H.S., Subramanian, K.R., Sobral, J.H.A., Faria, C., Fernandes, F.C.R., Cecatto, J.R., Rosa, R.R., H. O. Vats, J. A. C. F. Neri, Alonso, E.M.B., Mesquita, F.P.V., Portezani, V.A., **A. R. F. Martinon**. Brazilian Solar Spectroscope (BSS), Solar Physics, 2000.

#### Artigos em finalização para submissão para publicação

1. Catalogue of solar bursts observed by the Brazilian Solar Spectroscope – BSS, F. C. R. Fernandes, H. S. Sawant, H. O. Vats, J. R. Cecatto, V.A. Portezani, **A. R. F. Martinon**. ApJ. Supp. Series, 2000. Em preparação.
2. Chromospheric inhomogeneities and decemetric fine structures, H. S. Sawant, F. C. R. Fernandes, H. O. Vats, J. R. Cecatto, V. A. Portezani, **A. R. F. Martinon**. Adv. Space Research, 2000. Em preparação.

# COSPAR Abstract for Warsaw, Poland, 2000

## CATALOGUE OF SOLAR BURSTS OBSERVED BY THE BRAZILIAN SOLAR SPECTROSCOPE - BSS

F. C. R. Fernandes (1), H. S. Sawant (1), H. O. Vats (1,2), J. R. Cecatto (1),  
V. A. Portezani (1) and A. R. F. Martinon (1)

(1) Astrophysics Division, INPE, C.P. 515, São José dos Campos, Brazil,

(2) Physical Research Laboratory, Ahmedabad, 380009, India.

Decimetric emission is originating in the proximity of the acceleration region and/or energy release. Here, we present a catalogue of selected solar decimetric bursts that have been recorded by the Brazilian Solar Spectroscope - BSS, in the frequency range of 1000-1700 MHz, with high time (50 ms) and frequency (3 MHz) resolution, and with absolute timing accuracy of  $\sim 1$  ms. From April, 1998 to December 1999, about a hundred of events of various types were observed. The events show a variety of shapes and intensity variations with frequency. The bursts have been observed up to the limit of the BSS resolutions. The preliminary classification is based on morphological aspects: i) fine structures superimposed on the continuum; ii) groups of bursts showing intensity variation with frequency and/or time and their relation to the phase of the flare. Catalogue of these bursts and statistical analysis of their characteristics will be presented.

**Abstracts to be submitted on or before January 7, 2000 to Copernicus Office with copy to appropriate Main Scientific Organizer:**

Copernicus Gesellschaft  
Max-Planck-Str. 13  
37191 Katlenburg-Lindau  
Germany

Tel.: [+49] 5556-91376

Fax.: [+49] 5556-4709

Email: [COSPAR@Copernicus.org](mailto:COSPAR@Copernicus.org)

<http://www.copernicus.org/COSPAR/COSPAR.html>



# COSPAR Abstract for Warsaw, Poland, 2000

## CHROMOSPHERIC INHOMOGENITIES AND DECIMETRIC FINE STRUCTURES

H. S. Sawant (1), F. C. R. Fernandes (1), H. O Vats (1), J. R. Cecatto (1),  
V. A. Portezani (1) and A. R. F. Martinon (1)

(1) Astrophysics Division, INPE, C.P. 515, São José dos Campos, Brazil.

Various type of fine structures have been observed by BSS in the frequency the range of (1200-1700) MHz. Here, are investigated fine structures showing variations of intensity with frequency. The observed bursts look like type III bursts, however, they show intensity variation with frequency and some look like chains of dots, hardly covering entire frequency range of observations. Their total duration can be at least two times smaller than that of the type III bursts. The chains of dots have drift rate almost similar to type III bursts. Isolated dot-like emission has also been observed to the limit of the BSS resolutions (3 MHz, 50 ms). These fine structures are suggested to be originated by induced scattering of Langmuir waves to transverse waves by thermal ions and/or electron beam propagating through medium. In that case, the instantaneous bandwidth should be  $\Delta f \sim 10^{-3} \times f$ , where  $f$  is observing frequency and also intensity of the bursts is inversely proportional to the density gradient of the inhomogeneities where scattering takes place. Thus, observed bandwidth to limit of BSS frequency resolution favours the hypothesis that chains of dots and various fine structures exhibiting the intensity variation as function of frequency can be produced by above mechanism. This allows us to determine the source size and excess density of the irregularities and offers very powerful diagnostic tool to investigate the dimensions of the irregularities in the chromosphere.

**Abstracts to be submitted on or before January 7, 2000 to Copernicus Office with copy to appropriate Main Scientific Organizer:**

Copernicus Gesellschaft  
Max-Planck-Str. 13  
37191 Katlenburg-Lindau  
Germany

Tel.: [+49] 5556-91376

Fax.: [+49] 5556-4709

Email: [COSPAR@Copernicus.org](mailto:COSPAR@Copernicus.org)

<http://www.copernicus.org/COSPAR/COSPAR.html>



## BSSVIEW: NOVAS ROTINAS PARA VISUALIZAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS ESPECTRAIS SOLARES

**André R. F. Martinon (DAS/INPE), Francisco C. R. Fernandes (DAS/INPE),  
Hari O. Vats (PRL e DAS/INPE), José Ângelo C. F. Neri, (DAS/INPE),  
Hanumant S. Sawant (DAS/INPE)**

Neste trabalho são apresentadas novas rotinas computacionais incorporadas ao programa BSSView, desenvolvidas especificamente para visualização e análise dos dados de observações solares do Brazilian Solar Spectroscop. O programa BSSView, fornece um conjunto de procedimentos específicos para visualização e análise de dados espectrais solares. No entanto, a complexidade dos fenômenos solares registrados pelo BSS, em banda larga (1000-2500 MHz) e com altas resoluções temporal (10-1000 ms) e espectral (3 MHz), muitas vezes apresentando estruturas finas com variação em tempo e/ou frequência e a superposição ao sinal do fluxo do sol calmo que também varia, requer rotinas específicas para visualização/análise destes dados. Portanto, foram desenvolvidas as seguintes novas rotinas de visualização. (a) Subtração de "background", cujo objetivo é subtrair o sinal de fundo ("background") não homogêneo em frequência dos dados. O resultado da aplicação dessa rotina, é um espectro dinâmico com fundo homogêneo, onde as explosões ficam realçadas. (b) Filtro da diferença, o qual dá um aspecto de relevo à imagem (pseudo 3D), realçando particularmente estruturas finas, auxiliando ainda na identificação das fases (subida e descida) das emissões solares registradas. (c) Perfis, uma rotina que mostra os perfis temporal (intensidade x tempo) e espectral (intensidade x frequência). Dado um ponto qualquer no espectro dinâmico, mostra simultaneamente, um perfil temporal (com a frequência fixa no ponto escolhido e uma faixa de tempo escolhida pelo usuário) e um perfil espectral (com o tempo fixo no ponto escolhido e uma faixa de frequência escolhida pelo usuário). Resultados da aplicação destas rotinas na visualização de espectros dinâmicos e na determinação de parâmetros observacionais de diferentes tipos de explosões solares serão apresentados e discutidos.

## **EMISSÕES SOLARES DECIMÉTRICAS TIPO "FIBRA" COM TAXA DE DERIVA INTERMEDIÁRIA**

**F. C. R. Fernandes (DAS/INPE), H. O. Vats (DAS/INPE e PRL),  
A. R. F. Martinon (DAS/INPE), V. A. Portezani (DAS/INPE), H. S. Sawant (DAS/INPE)**

Neste trabalho, são investigadas emissões solares decimétricas apresentando sucessivas estruturas finas com taxa de deriva intermediária (IMD) em frequência, isto é, com taxa de variação da frequência de emissão em função do tempo, da ordem de dezenas de MHz/s, registradas pelo Brazilian Solar Spectrocope (BSS), no intervalo de frequência de (1200-1700) MHz. Tais emissões são também conhecidas como emissões tipo "fibra". Até o momento, foram analisadas preliminarmente estruturas finas tipo fibra apresentando taxa de deriva IMD associadas a dois flares solares: (a) um observado em 09/09/99 (~ 17:13 UT), no qual as fibras aparecem superpostas a emissão tipo contínuo de longa duração; (b) um observado em 09/11/99 (~ 12:52 UT), de classe C5.6. A partir dos espectros dinâmicos com altas resoluções temporal (50 ms) e espectral (< 5 MHz), das estruturas finas com IMD selecionadas, foram determinados os seguintes parâmetros observacionais das estruturas individuais: largura de banda instantânea (~ 10-25 MHz), separação em frequência entre duas estruturas consecutivas (~ 70-120 MHz) e taxa de deriva em frequência normal (de alta para baixa frequência) (~ 50-160 MHz/s). Através da determinação dos parâmetros observacionais destas estruturas finas é possível estimar valores limites para o campo magnético coronal na fonte emissora, de acordo com o modelo de emissão de plasma assumido. Resultados preliminares sugerem valores de campos magnéticos da ordem de 10-20 G, para alturas correspondentes às frequências das emissões observadas no intervalo de 1200-1700 MHz. Os valores de campo magnético determinados serão apresentados e discutidos.

## **SPIKES DECIMÉTRICOS APRESENTANDO PADRÃO SEMI-HARMÔNICO DE EMISSÃO**

**F. C. R. Fernandes (DAS/INPE), H. O. Vats (DAS/INPE e PRL),  
A. R. F. Martinon (DAS/INPE), V. A. Portezani (DAS/INPE), H. S. Sawant (DAS/INPE)**

Os spikes solares em rádio frequências são caracterizados como emissões de curta duração (da ordem de dezenas de milisegundos) e banda estreita em frequência (alguns MHz), e altas taxas de deriva em frequência, tendo sido observados em grupos de dezenas a milhares ao longo de segundos e em um vasto intervalo de comprimentos de onda, de 0,3 a 8 GHz. Emissões tipo spikes foram registradas, com altas resoluções temporal (50 ms) e espectral (< 5 MHz) em até 100 canais de frequência, pelo Brazilian Solar Spectroscope (BSS), em 24/06/99 (~16:54 UT), no intervalo de frequência de (1200-1700) MHz. Neste trabalho, investigamos as estruturas semi-harmônicas em frequência presentes nas emissões tipo spikes registradas. A alta resolução espectral e o registro dos dados em 100 canais permitiu determinar a razão entre as frequências de ocorrência das estruturas semi-harmônicas dos spikes. Resultados preliminares mostraram que a razão média entre as frequências dos spikes com estrutura harmônica é da ordem de 1:1,2, ou seja, um valor não inteiro. Além disso, os valores de razão são independentes da frequência, como sugere a presente e as anteriores determinações. A implicação da detecção de padrões semi-harmônicos nos modelos de emissão de spikes em rádio serão discutidos e os resultados comparados com resultados anteriores obtidos para diferentes frequências de observação.



## INOMOGENEIDADES CROMOSFÉRICAS E ESTRUTURAS FINAS DECIMÉTRICAS

H. S. Sawant (DAS/INPE), F. C. R. Fernandes (DAS/INPE),  
H. O. Vats (DAS/INPE e PRL), J. R. Cecatto (DAS/INPE),  
V. A. Portezani (DAS/INPE), A. R. F. Martinon (DAS/INPE)

Vários tipos de estruturas finas foram observadas pelo Brazilian Solar Spectroscopy (BSS) no intervalo de frequência de (1200-1700) MHz. Neste trabalho, investigamos estruturas finas em rádio emissão, apresentando variação de intensidade em função da frequência. No espectro dinâmico, tais estruturas finas se caracterizam por sequências de micro-emissões tipo "dot" (curta duração ~50-100 ms e banda estreita em frequência ~5-10 MHz) intensas formando uma espécie de corrente, e raramente cobrindo todo o intervalo de frequência das observações. As correntes de "dots" apresentam taxa de deriva em frequência da ordem de 300 MHz/s e a duração total pode ser até duas vezes menor que a das emissões tipo III, no mesmo intervalo de frequência. Emissões tipo "dot" isoladas foram observadas até o limite de resolução do BSS (3 MHz, 50 ms). Estas estruturas finas provavelmente são originadas por processo de espalhamento induzido de ondas de Langmuir por íons térmicos em ondas transversais. Neste caso, a largura de banda instantânea deve ser  $f \times 10^{-3}$ , sendo  $f$  a frequência de observação. Além disso, a intensidade das emissões é inversamente proporcional ao gradiente de densidade das inhomogeneidades onde o espalhamento ocorre. Portanto, a largura de banda instantânea no limite da resolução espectral do BSS ( $\leq 5$  MHz) favorece as hipóteses de que as correntes de "dots" e várias estruturas finas exibindo variação de intensidade com a frequência podem ser provocadas pelo mecanismo citado. Foram então determinados o tamanho da fonte ( $\geq 10^3$  km) e o excesso de densidade ( $\Delta N_e/N_e = 0,05$ ) das irregularidades presentes na cromosfera solar.



# BRAZILIAN SOLAR SPECTROSCOPE (BSS)

H. S. SAWANT, K. R. SUBRAMANIAN, C. FARIA,  
F. C. R. FERNANDES, J. H. A. SOBRAL, J. R. CECATTO,  
R. R. ROSA, H. O. VATS\*, J. A. C. F. NERI, E. M. B. ALONSO,  
F. P. V. MESQUITA, V. A. PORTEZANI and A. R. F. MARTINON  
*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE*  
*C.P. 515, 12201-970 São José dos Campos, SP, Brazil*  
*\* On sabbatical leave from Physical Research Laboratory, Ahmedabad, India*

(Received ..... ; Accepted in final form .....)

## Abstract.

Digital, decimetric (200 - 2500 MHz) high time (10 - 1000 ms) and frequency (1 - 10 MHz) resolution Brazilian Solar Spectroscope (BSS) is in regular operation since April, 1998, at National Space Research Institute (INPE) at São José dos Campos in Brazil, in conjunction with a 9 meter diameter polar mounted antenna. It allows to select suitable observing frequency range, frequency and time resolutions and data can be digitized up to 100 channels. BSS has capabilities of quasi-real time display of the ongoing dynamic spectra of the solar activity that enables observer to modify observational parameters so as to suit specific type of activity such as spikes and improve the quality of data acquisition and storage. Sensitivity of the spectroscope is  $\sim 3$  s.f.u. for different combinations of the observational parameters. Observations are carried out routinely from 11 UT to 19 UT. Necessary software for data acquisition and reductions has been developed in IDL 5.2 environment. Data are available in FITS and ASCII formats. Absolute timing accuracy of the station is less than 3 ms. Here, we present examples of the bursts those have been recorded bu BSS and available display facilities.

## 1. Introduction

SKYLAB observations of soft X-rays suggested that particles acceleration and/or heating is taking place in the region where electron densities are around  $10^9 - 10^{11} \text{ cm}^{-3}$  (Moore et al., 1980), corresponding to decimetric frequency range. Realising the importance of the high time and frequency resolution, Benz, Bernold, and Dennis (1983) initiated such observations for the first time in the frequency range of 100 - 1000 MHz and subsequently, frequency range was increased to 4000 MHz (Messmer, Benz, and Monstein, 1999). Recently, Krüger, and Voight (1995) have reviewed solar spectroscopes in Europe and Bastian, Gary and White (1999) have listed all telescopes operating for solar observations. These reviews indicate that there is lack of high sensitivity and high resolutions digital solar spectroscope in the decimeter wavelengths in the southern hemisphere. BSS fills this gap. Table I shows digital solar spectroscopes operating at present.

Table I. Solar digital spectrosopes in operation at present

Station	Frequency Range (MHz)	Time Resolution (ms)	Reference
Bern, CH	100-4000	0.5-1000	Benz et al., 1991
Ondrejov, CZ	800-2000	100	Jiricka et al., 1993
Ondrejov, CZ	2000-4500	100	Tlamicha, 1990
INPE, BR	200-2500	10-1000	This work

BSS is having higher sensitivity ( $\sim 2-3$  sfu) as compared to other spectrosopes in the same frequency range and considering same resolutions and antenna efficiency. In addition to this it has another advantage of quasi-real time (delay of 1-5 minutes) display of the observed dynamic spectra which enables to modify the parameters of observations so as to suit planned observations of fine structures such as spikes, type III bursts, with improved quality of data acquisition. Normally, BSS operates with 50 ms time resolution. We believe this will enable to investigate in detail the time evolution of the decimetric type III-like bursts and bursts observed with fine structures in frequency and time above 1000 MHz, since the duration of the type III-like bursts observed above 1000 MHz is  $< 300$  ms (Meléndez et al., 1999).

Signals sent by GPS system are used to record timings of the events, with absolute accuracy  $\leq 3$  ms. The high absolute timing accuracy and high time resolution observations will permit us to carry out simultaneous investigations of the short duration bursts observed in the other wavelengths more accurately. The analogue and digital system, including calibration are discussed below.

## 2. Instrumentation

The first phase of the development of INPE's Solar Spectrograph started in 1990, with the installation of the 9-m diameter antenna, with narrow band ( $1600 \pm 100$  MHz) observations (Sawant et al., 1993). That operated till 1994, and recorded about 350 groups of solar bursts (Sawant, Fernandes, and Neri, 1994). The second phase started in 1995, with the installation of a broadband log-periodic feed, to permit observations in the frequency range of (200-2500 MHz). This new instrument, including the digital data acquisition and GPS time code systems was put into operation in 1996 (Sawant et al., 1996). The new system was named as Brazilian Solar Spectroscope (BSS) (Figure 1), and is in regular operation for daily solar observations since April, 1998.

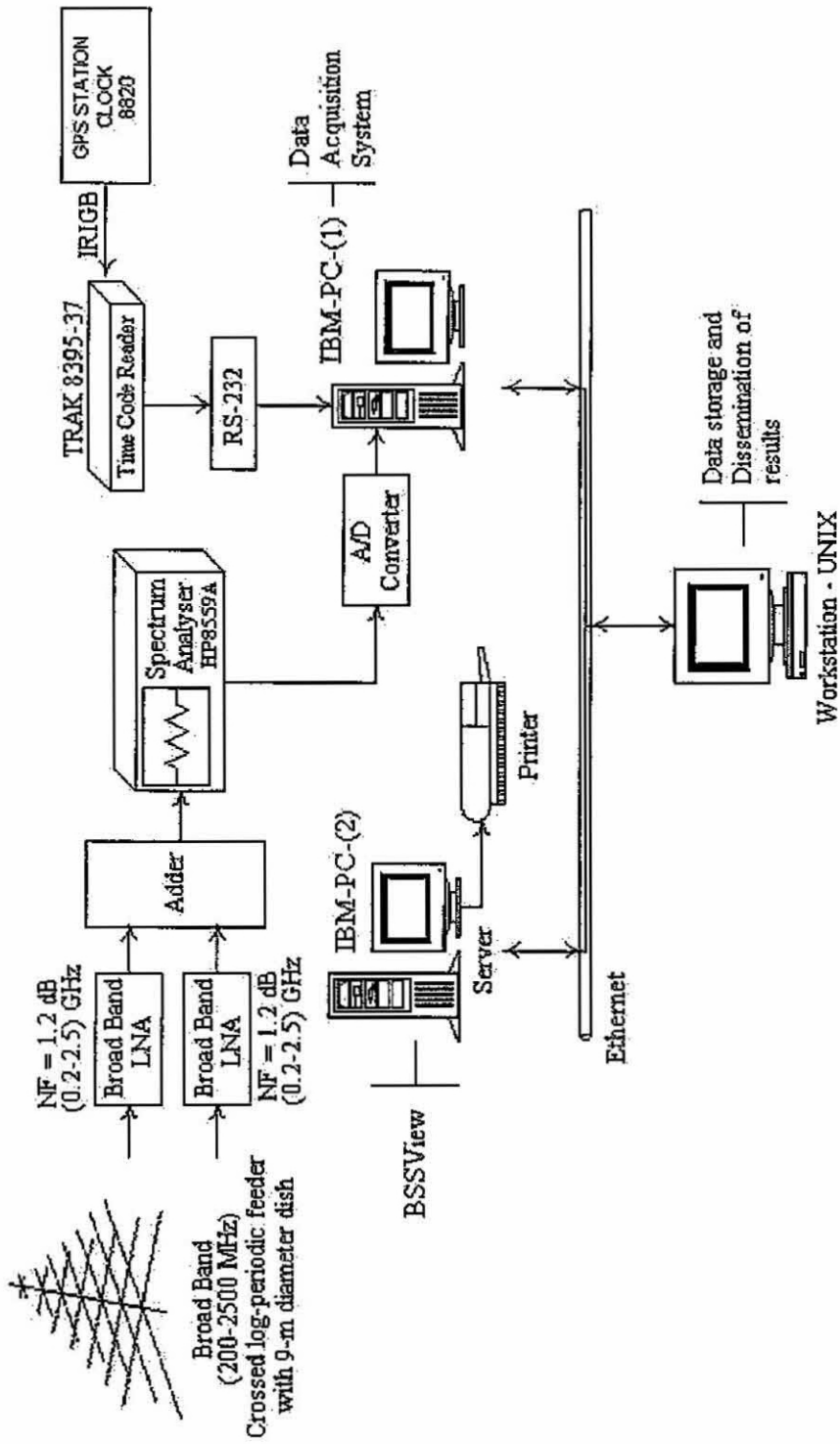


Figure 1. Block diagram of the architecture of Brazilian Solar Spectroscopy (BSS).

## 2.1. ANALOGUE PART

As shown in Figure 1, signal is received by broad band crossed log-periodic feeder (Watkins & Johnson AR274-10) kept at the focus of 9 meter diameter parabolic antenna, in two linear polarisations (horizontal and vertical). Signal of each polarisation is amplified by the broad band MITEQ (Serial no. 208593) low noise amplifiers kept at the base of the feeder having gain  $\sim 25$  dB. These two signals are combined in phase by broad band combiner and send to the observatory 30 meter away, via a helical cable. Signal is directly fed to a spectrum analyser (HP 8559A) operating in the frequency range of 200 - 2500 MHz, which enables to choose the desired observing parameters such as observing frequency range, frequency and time resolutions. Table II lists the parameters of the BSS (Sawant et al., 1996).

Table II. Parameters of BSS

PARAMETERS	SPECIFICATIONS
Frequency Range	200-2500 MHz
Frequency Resolution	1/3 MHz
Number of digital channels	25/50/100
Time Resolution	10/20/50/100/1000 ms
Observing Time	11 - 19 UT
Absolute Timing Accuracy	$\leq 3$ ms
Antenna	9 m diameter parabolic, mesh-type, polar mount

## 2.2. SENSITIVITY

Solar background fluxes at various frequencies are estimated by using the calibration method suggested by Gudice and Castelli (1971) taking into account the dimension of the sun. Following equations are used to determine the flux,  $S(f)$ , at desired frequency,  $f$ .

$$S(f) = \left[ \frac{S(f_a)}{S(f_b)} \right]^{\Phi(f)} \times S(f_a), \quad (1)$$

with

$$\Phi(f) = \frac{\log(f/f_a)}{\log(f_a/f_b)}; \quad (2)$$

where  $f$  is the observing central frequency in between  $f_a$  and  $f_b$  and corresponding flux densities at these frequencies are  $S(f_a)$  and  $S(f_b)$ ,



respectively. The values of solar flux are obtained from Solar Geophysical Data or Cracow Radio Observatory via Internet.

Calibration is made in dB above the solar background. Hence direct comparison of the burst intensity with this calibration gives the flux of the solar bursts. Occasionally, at the input of the pre-amplifiers we use a noise generator HP (346B) which enables us to estimate the antenna temperatures.

Sensitivity,  $S_{min}$ , is estimated by the following equation (Kraus, 1966).

$$S_{min} = \frac{2 k (T_{sy} + T_{bg})}{A_{ef} (\Delta f \times \mathcal{T})^{1/2}}, \quad (3)$$

where  $k$  is the Boltzman's constant,  $T_{sy}$  is the system temperature ( $\sim 300$  K),  $T_{bg}$  is the background temperature, including the temperature of quiet sun ( $\sim 1.3 \times 10^4$  K),  $A_{ef}$  ( $\sim 40$  m<sup>2</sup>) is the effective area of the antenna for an efficiency of 60 %,  $\Delta f$  is the IF bandwidth and  $\mathcal{T}$  is the integration time, given by  $\mathcal{T} = \Delta t / N_{ch}$ , where  $\Delta t$  is the time resolution, in ms, and  $N_{ch}$  is the number of channels. Since IF bandwidth is variable from 1 to 3 MHz, depending upon the observed frequency range and the number of channels in use, frequency resolution will vary from 1 to 10 MHz.

Sensitivity of BSS, obtained for different combinations of the observing frequency range, time resolution and number of channels is of order of  $\sim 3$  s.f.u.. Efforts are made to choose such combinations so that sensitivity will remain almost same for different combinations.

### 2.3. DIGITAL PART, DATA ACQUISITION AND SOFTWARE

As shown in Figure 1, vertical output of the spectrum analyser HP 8559A is fed to ADDA 12 bit digital board along with the synchronisation and blanking pulses. The digitized signal is recorded in the IBM-PC(1) files.

From the beginning of the sweep time,  $t = t_0$ , digitization starts and digitized signal averaged over the 1/100th time interval is stored locally in to the RAM memory of IBM-PC(1). Depending upon the combination of time and frequency range one can digitize 25, 50 or 100 channels. The duration of each file can be chosen from 1 to 20 minutes. Each file is sent to another computer IBM-PC(2) for quasi-real time visualisation and preliminary analysis, which enables to choose proper parameters of the observations such as time/frequency resolutions and frequency range, if needed (Sawant et al., 2000).

In order to have better absolute timing accuracy, signal of "GPS station Clock Model 8820", situated 300 meters away is used. GPS

clock sends signal into IRIG-B format of the date, hour, minute, second, milisecond. Signal modulated at 1 kHz is received via telephone line from the above GPS system at Observatory and it is demodulated and decoded by a TRAK - 839537 decoder. Decoded output is also recorded into RAM memory along with each file. Necessary software is developed to use RS232 as a interface between decoder and IBM-PC(1).

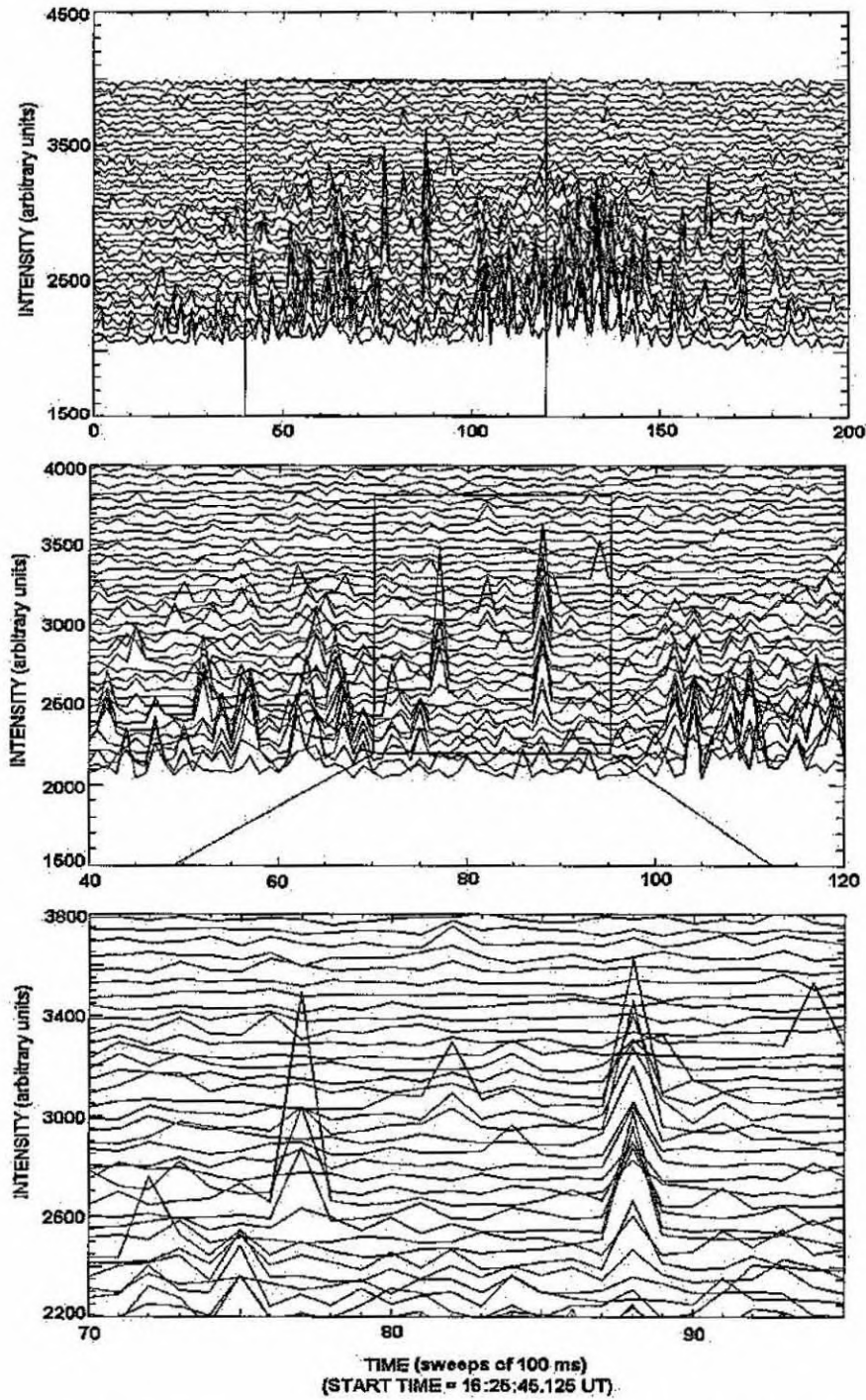
The visualization of the data is done by BSSView software. BSSView is written in IDL version 5.2, in which a number of procedures are available for visualisation and preliminary analysis of the solar bursts recorded digitally with high time and frequency resolutions. Graphic interface to call specific functions and procedures is available for users. Presently, the system is working with Windows 98, while another version using UNIX system is being tested.

Main characteristics of the BSSView are the following:

- (1) 2D Visualisation of the spectra in quasi-real time, with colour table and facility to change colour table.
- (2) Procedure for preliminary analysis in quasi-real time.
- (3) Reading and writing of the data in the formats FITS, ASCII and internal format "ESP".
- (4) Visualisation of time profiles of various channels independently and zooming of them, as shown in Figure 2.
- (5) Availability of 2D dynamic spectrum, 3D surface and contours, and multiple plots of selected data set.
- (6) Availability of various procedures and functions such as calibration, integration in time and frequency, subtraction of the background, derivative filtering, and smoothing. Examples are shown in Figure 3.

### 3. Initial Results

Since April, 1998, more than 70 flares were observed using BSS. Examples of the observed bursts are shown in Figures 2, 3, 4 and 5. A catalogue of bursts observed will be published elsewhere (Fernandes et al., 2000).



*Figure 2.* Time profiles and zoom of solar bursts observed by BSS in 29<sup>th</sup> April, 1998 (16:25:45 UT), in the frequency range of 1200-1700 MHz. Frequency increases upward. These bursts are associated with a M6.8 X-ray flare peaked at 16:37 UT (SEC-NOAA, 1999). The bursts show fine structures in time ( $\geq 100$  ms) and frequency ( $\sim 5$  MHz), in the order of BSS limit resolutions.

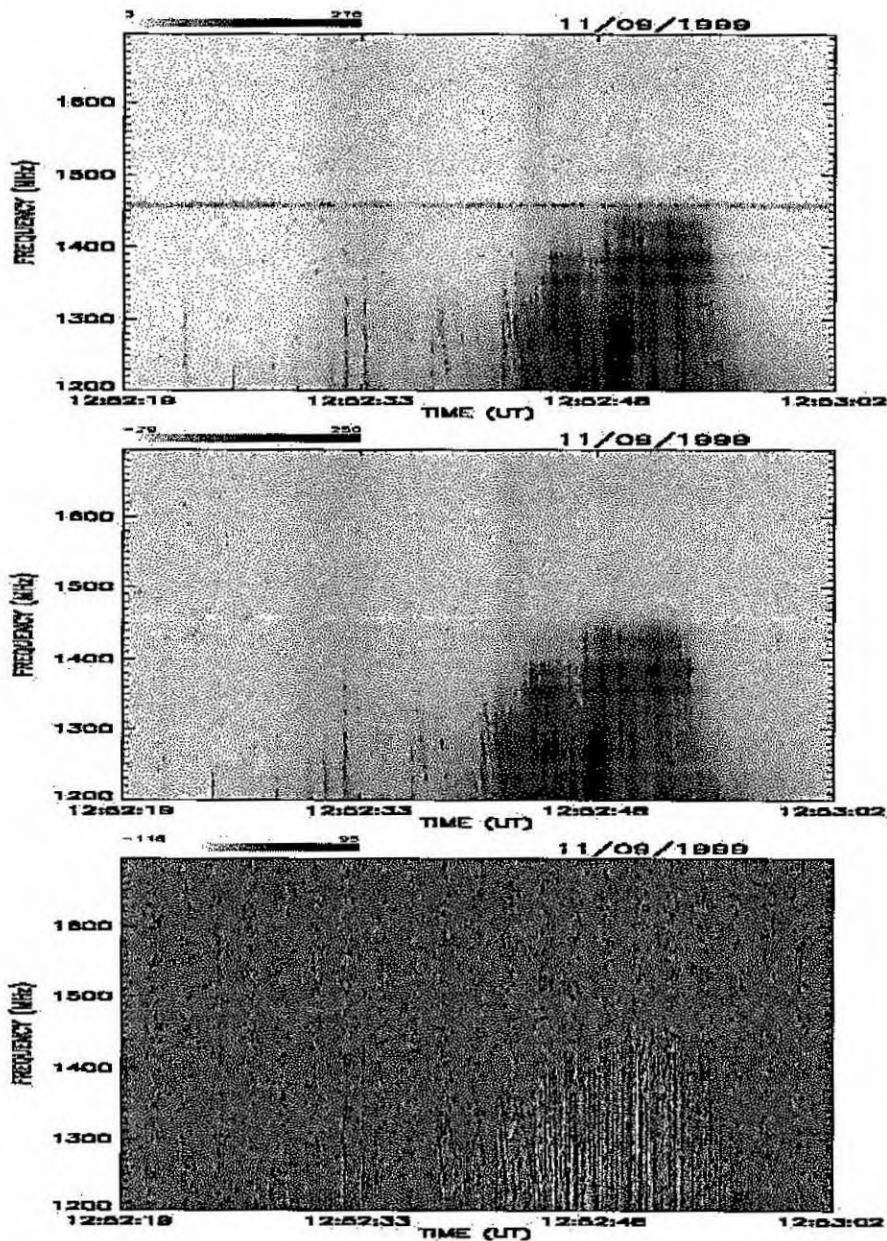


Figure 3. Dynamic spectra of solar bursts observed in 9<sup>th</sup> Nov., 1999 ( $\sim$  12:52:25 UT), in the frequency range of 1200-1400 MHz. These events are associated with a C5.6 X-ray flare peaked at 12:58 UT. Emissions in radio wavelengths from 245 MHz up to 8800 MHz were also reported (SEC-NOAA, 1999). The three different graphics represent: (top) original data; (middle) background subtracted data and (bottom) derivative filtered data.



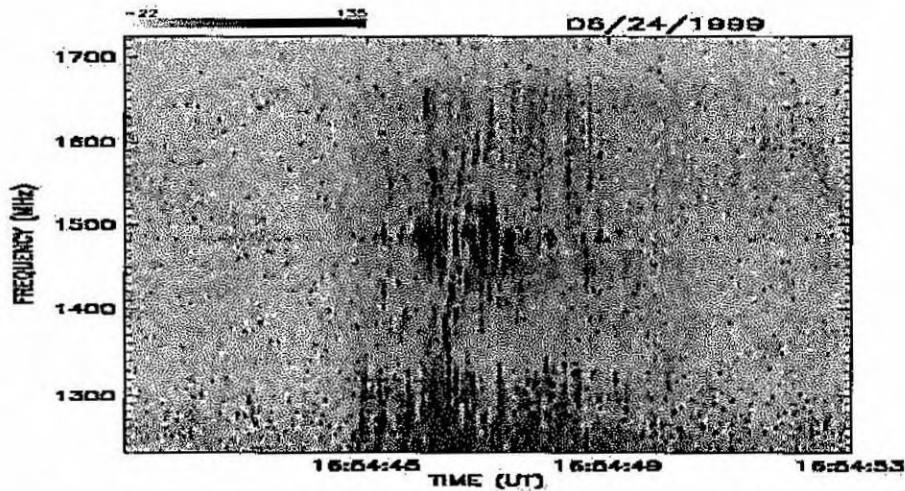


Figure 4. Dynamic spectra of spikes observed by BSS in 24<sup>th</sup> June, 1999 (16:54:43 UT), in the frequency range of 1200-1600 MHz. Emissions in 245 MHz were also reported (SEC-NOAA, 1999).

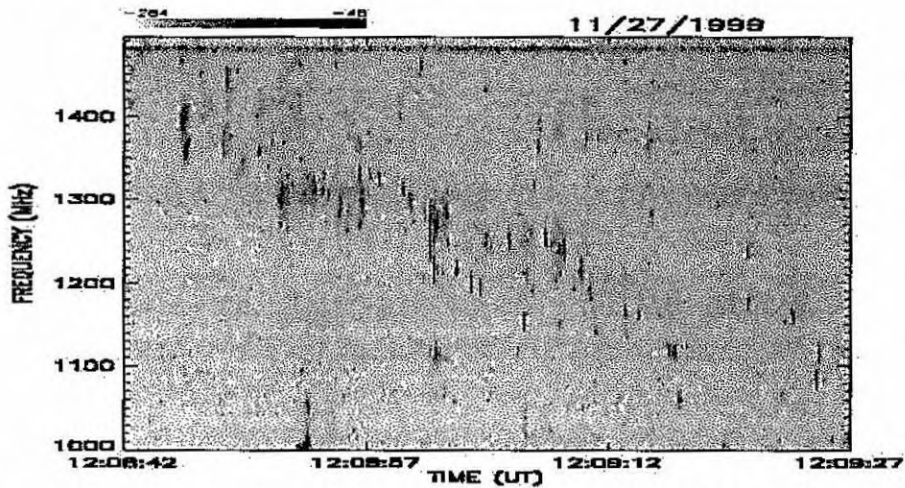


Figure 5. Dynamic spectra of narrow-band bursts observed by BSS in 27<sup>th</sup> Nov., 1999 (12:08:47 UT) in the frequency range of 1000-1400 MHz. These events are associated with a X1.4 X-ray flare started at 12:05 UT. Emissions in radio wavelengths up to 15400 MHz were also reported (SEC-NOAA, 1999).

#### 4. Conclusions

Since 1990, efforts have been made to develop a digital spectroscope operating over wide band with high resolutions. Around 1995, the spectroscope was operating over narrow band. Since 1998, with modified antenna tracking system, and with broad band feeder, the spectro-

scope is operating over wide band, with high resolutions. Digitized data are transferred every 1 to 5 minutes and is displayed on another PC, thus permitting quasi-real time visualisation. It enables us to change desired observing parameters such as time resolution, observing bandwidth, frequency range and number of frequency channels. Data are in FITS format and efforts are made to link it with Solar SoftWare (SSW). Absolute timing accuracy and high resolutions permit comparative studies with other wavelengths as well as one can carry out investigations independently. BSS is the only digital solar spectroscope in regular operation in the southern sky giving good coverage to VLA and OVRO observations. Efforts are made to calibrate it using radio sources. BSS will be operated through the ongoing solar cycle. Data are available on request for collaborative programmes.

### 5. Acknowledgements

This project is supported by INPE, FAPESP, CNPq, and Capes. F. C. R. Fernandes and H. O. Vats would like to acknowledge the scholarships from CNPq (381647/97-8) and FAPESP (99/10529-0) and from CNPq (301049/98-0), respectively.

### References

- Bastian, T. S., Gary, D. E., and White, S. M.: 1999, *Report to the Astronomy and Astrophysics Survey Committee*, <http://solar.njit.edu/fasrt/Panel99r.html>.
- Benz, A. O., Bernold, T. E. X., and Dennis, B. R.: 1983, *Astron. Journal*, **271**, 355.
- Benz, A. O., Güdel, M., Isliker, H., Miszkowicz, S., and Stehling, W.: 1991, *Solar Phys.*, **133**, 385.
- Fernandes, F. C. R., Sawant, H. S., Vats, H. O., Cecatto, J. R., Portezani, V. A., Martinon, A. R. F.: 2000, *Astrophys. J. Supp. Ser.*. In preparation.
- Guidice, D. A. and Castelli, J. P.: 1971, *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic System*, **7**, 226.
- Jiricka, K., Karlicky, M., Kepka, O., Tlamicha, A.: 1993, *Solar Phys.*, **147**, 203.
- Kraus, J. D.: 1966, *Radio Astronomy*, McGraw Hill, New York.
- Krüger, A. and Voigt, W.: 1995, *Solar Phys.*, **161**, 393.
- Meléndez, J. L., Sawant, H. S., Fernandes, F. C. R., and Benz, A. O.: 1999 *Solar Phys.*, **187**, 77.
- Messner, P., Benz, A. O., and Monstein, C.: 1999 *Solar Phys.* (submitted).
- Moore, R. et al.: 1980, in P.A. Sturrock (ed.) *Solar flares: a monograph from Skylab Solar Workshop II*. Boulder, Colorado University Press, Cap. 8, p.341-409.
- Sawant, H. S., Fernandes, F. C. R. and Neri, J. A. C. F.: 1994, *Astrophys. J. Supp. Ser.*, **90**, 689.
- Sawant, H. S., Sobral, J. H. A., Neri, J. A. C. F., Fernandes, F. C. R., Rosa, R. R., Cecatto, J. R.: 1993, *Adv. Space Res.*, **13**, 199.
- Sawant, H. S., Sobral, J. H. A., Fernandes, F. C. R., Cecatto, J. R., Day, W. R. G., Neri, J. A. C. F., Alonso, E. M. B., Moraes, A.: 1996, *Adv. Space Res.*, **17**, 385.

- Sawant, H. S., Subramanian, K. R., Faria, C., Stephany, S., Fernandes, F. C. R., Cecatto, J. R., Rosa, R. R., Portezani, V. A., Mesquita, F. P. V., Alonso, E. M. B.: 2000, *ASP Conference Series*, submitted.
- Space Environment Center / National Oceanic and Atmospheric Administration - SEC NOAA, <http://www.sec.noaa.gov>, 1999.
- Tlamicha, A: 1990, Report on Prague: Astronomical Institute of the Czechoslovak Academy of Science.

# CATALOGUE OF SOLAR BURSTS OBSERVED BY THE BRAZILIAN SOLAR SPECTROSCOPE (BSS)

F. C. R. Fernandes<sup>1</sup>, H. S. Sawant<sup>1</sup>, H. O. Vats<sup>1,2</sup>, J. R. Cecatto<sup>1</sup>, V. A. Portezani<sup>1</sup>, A. R. F. Martinon<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Divisão de Astrofísica - INPE, C.P. 515 12201-970 São José dos Campos, SP, Brazil*

<sup>2</sup>*Physical Research Laboratory, Ahmedabad, 380009, India*

## ABSTRACT

Here, we present a catalogue of selected solar decimetric bursts that have been recorded by the Brazilian Solar Spectroscope (BSS), in the frequency range of 1000-2500 MHz, with high time (50 ms) and high frequency (3 MHz) resolution, and with absolute timing accuracy of  $< 3$  ms. From March to December 1999, about 70 groups of events of various types were observed. The events show a variety of shapes and intensity variation with frequency. Some bursts have been observed up to the limit of the BSS resolutions. Based on morphological aspects, the bursts were classified as: a) continuum emission; b) type III-like bursts and variants; c) spikes; d) fast frequency oscillation; e) zebra patterns; f) patches and diffuse emissions; g) dots and fine structures showing intensity variation with frequency.

## INTRODUCTION

In decimetric wavelengths basically two types of solar emissions are observed: plasma emission (coherent emission) showing fine structures in frequency and/or time and gyrosynchrotron emission broad band featureless continuum. Thus, high resolutions observations of solar decimetric bursts associated with flares, such as type III bursts and variants, can provide the location of acceleration regions, the parameters of chromospheric evaporation and the processes of acceleration leading to energetics of electron beams. Also, the precise determination of observational parameters of fine structures (as zebra, dot and patch emissions) can lead to improve the plasma emission mechanisms of those fine structures.

Few catalogues of solar bursts and fine structures observed in decimetric wavelengths (above 1000 MHz) have been reported (Table 1). However, most of the them were based on observations carried out using spectroscopes with time resolutions  $\simeq 100$  ms.

Table 1: Catalogues of decimetric solar bursts.

Reference	Instrument	Frequency Range (MHz)	Time Resolution (ms)	Frequency Resolution (MHz)
Dröge (1977)	Kiel Radiotelescope	200-1400		
Güdel & Benz (1988)	Ikarus	300-1000	100	3
Allart et al. (1990)	Dwingeloo	4000-8000		
Bruggmann et al. (1990)	Bern	6000-8000	100	10
Islaker & Benz (1994)	Phoenix	1000-3000	40/50/100	15
<b>This work</b>	<b>BSS</b>	<b>1000-2500</b>	<b>50</b>	<b>3</b>

Here, we present a catalogue of solar emissions observed with high resolution by the Brazilian Solar Spectroscope (BSS), from March to December, 1999, in the frequency range of 1000-2500 MHz. The catalogation includes particularly emissions showing fine structures in time and/or frequency. The broad band long duration emissions attributed to gyrosynchrotron emission were classified generically as continuum emission.



## INSTRUMENTATION AND OBSERVATIONS

The high resolution Brazilian Solar Spectroscop (BSS) (Sawant et al., 2000a, Sawant et al., 2000b) is in regular operation at INPE, in São José dos Campos, Brazil, in conjunction with a 9 meters polar mount antenna, since 1998. BSS operates in the frequency range of 1000-2500 MHz. Data can be digitized up to 100 frequency channels. The frequency and time resolution can be 1, 3 or 10 MHz and 10, 20, 50, 100, 200, 500 or 1000 ms, respectively. The absolute timing accuracy is  $< 3$  ms.

The systematic solar observations are carried out daily from approximately 11:30 to 18:30 UT. More than 1000 hours of observations were carried out by BSS in 1999. The catalogued events were selected from about 70 groups of solar bursts recorded during the period of March to December, 1999. Most of the bursts were recorded with time resolution of 50 ms, spectral resolution of 3 MHz and in 100 frequency channels. BSS high time and frequency resolution permits to have more details of many types of bursts recorded earlier.

The visualisation of the digitized data is done using BSSView software (Faria et al., 2000). BSSView was written in IDL environment, in which a number of procedures are available for visualisation and preliminary analysis of the solar bursts recorded. It also permits visualisation of data in quasi-real time with delay of 1 to 5 minutes. The dynamic spectra of selected bursts were generated using display facilities of BSSView. To improve the visualisation of the images, the intensity of background level was subtracted from the original data.

## CLASSIFICATION OF DECIMETRIC BURSTS

The selected bursts were classified based on the morphological aspects such as duration, frequency band, drift rate. Thus, the classification does not have implication about the physical processes involved. Narrow band emissions were recorded up to the limit of the BSS resolutions ( $\Delta f = 3$  MHz and  $\Delta t = 50$  ms).

The bursts were classified as: (a) continuum emission; (b) type III-like bursts and variants; (c) spikes; (d) fast frequency oscillations; (e) zebra patterns; (f) patches and diffuse emissions; (g) dots and fine structures with intensity variation. The bursts that showed complex structures and did not fit to any category were named "unclassified" bursts. Each category of bursts is briefly described below.

### (a) Continuum emission

Long duration of the order of minutes, broad band (covering entire observing frequency range) events consisting in gradual intensity rise and decay. Occasionally, fine structures showing a intermediate drift rate were observed to be superposed on this continuum emission (Figure 1).

### (b) Type III bursts

Recently, Meléndez et al. (1999), have reported a statistical investigation of type III bursts above 1000 MHz. They determined the individual type III-like emissions have typical duration of the order of 200-500 ms and most of them ( $\sim 70\%$ ) have reverse slope (low to high) frequency drift rates of the order of 500-2500 MHz/s (Melendez et al., 1999).

The main characteristics of type III bursts (Figure 2) recorded by BSS are:

- a) duration: varying from about 100 to 300 ms;
- b) frequency band:  $\sim 50 - 400$  MHz;
- c) frequency drift rate:  $> 1000$  MHz/s.

Narrow band type III bursts have been also recorded. The typical parameters of these emissions are:

- a) duration of individual bursts:  $\sim 100-150$  ms;
- b) frequency band:  $\sim 50-170$  MHz.

Chains of narrow band type III emissions were also recorded (Figure 3). The chains present low normal (high to low) frequency drift of order of 10-15 MHz/s.

### (c) Spikes

Spikes are characterized by very short (few tens of ms) and narrow band (few MHz) radio emissions. Harmonic structures within groups of spikes have been also recorded (Figure 4). Harmonic ratio of these spikes is of the order of 1:1.2 and it is not a integer (Krüger and Benz, 1994).

### (d) Fast frequency oscillation

Long duration (hours) emissions presenting intensity oscillating with frequency (Figure 5). These events are associated with radio noise storms. To our knowledge this is the first time a such kind of emission was recorded above 1000 MHz.

### (e) Zebra patterns

This kind of events presents sequences of quasi-parallel narrow band emissions, with slow drift rates varying over few minutes (Figure 6). Their main characteristics are given below, which enable to determine source parameters accurately:

- a) instantaneous frequency band:  $\sim 10$  MHz;
- b) typical separations between two consecutive emissions:  $\sim 70-90$  MHz;
- c) drift rates:  $\sim 90-150$  MHz/s;
- d) duration:  $\sim 2-4$  minutes.

These parameters are compared to "fiber" burst parameters reported by Aurass et al. (1987).

### (f) Patches and diffuse emissions

"Patch"-like narrow band and non-drifting emissions have been previously reported by Bruggmann et al. (1990) and by Smith and Benz (1991). Fernandes et al. (1996) have reported a slow drifting ( $\sim 5$  MHz/s), narrow band ( $\sim 30$  MHz), split-frequency decimetric emission. Patch like emissions also were recorded by BSS (Figure 7). These events show narrow band. For the first time we are reporting patches with intense core and diffuse drifting tails. Also, events showing a cut-off in frequency were observed. The duration of individual patches varies approximately from 1 to 5 s and the frequency band is 50-250 MHz.

### (g) Dots and fine structures with intensity variation

The dot emissions are characterized by short duration and very narrow frequency band, most of them have life times at the limit of the resolutions of the instrument. The dots can appear isolated or in chains, showing intensity variations as a function of frequency and well-determined frequency drift. The characteristics of dots recorded by BSS are the following (Figure 8):

- a) dot duration:  $\sim 50-100$  ms;
- b) dot bandwidth:  $\sim 5-25$  MHz;
- c) chain bandwidth:  $\sim 100-200$  MHz;
- d) chain life time:  $\sim 150-500$  ms;
- e) chain drift rate:  $\sim 300$  MHz/s.

The parameters determined for dot emissions, reported here for the first time in decimetric range, are compared to those obtained for decametric (34-35.5 MHz) (Sawant et al., 1976) and millimetric (4000-8000 MHz) (Allaart et al., 1990) frequency wavelengths.

## CONCLUSIONS

More than 70 groups of solar bursts observed by the BSS in 1999, have been preliminary classified according to their morphological characteristics. To our knowledge, we have added three new types of bursts (fast frequency oscillations, patches with diffuse tails and chains of dots) observed in decimetric range. Also, many types of bursts previously observed in other frequency range have been observed in decimetric range by BSS, with higher resolutions, which enable us to carry out more accurately determinations of the emitting source parameters and/or plasma emission mechanisms. Detailed analysis of selected bursts is being carried out and will be published elsewhere. Data of bursts are available on request for collaborative programmes.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The BSS project is supported by INPE, FAPESP and CNPq. F. C. R. Fernandes acknowledges receiving scholarship from FAPESP (99/10529-0).

## REFERENCES

- Allaart, M. A. F.; van Nieuwkoop, J.; Slottje, C.; Sondaar, L. H., *Solar Phys.*, 130, 183, (1990).
- Aurass, H.; Kurths, J.; Mann, G.; Chernov, G. P.; Karlický, M., *Solar Phys.*, 108, 131, (1987).
- Bruggmann, G.; Benz, A. O.; Magun, A.; Stehling, W., *Astron. and Astrophys.*, 240, 506 (1990).
- Dröge, F., *Astron. and Astrophys.*, 57, 285 (1977).
- Faria, C.; Stephany, S.; Sawant, H. S.; Fernandes, F. C. R., (2000). In preparation.
- Fernandes, F. C. R.; Sawant, H. S.; Zheleznyakov, V. V., *Solar Phys.*, 168, 159 (1996).
- Güdel, M.; Benz, A. O., *Astron. and Astrophys. Supp. Series*, 75, 243 (1988).
- Isliger, H.; Benz, A. O., *Astron. and Astrophys. Supp. Series*, 104, 145 (1994).
- Krüger, S.; Benz, A. O., *Astron. and Astrophys.*, (1994).
- Meléndez, J. L.; Sawant, H. S.; Fernandes, F. C. R.; Benz, A. O., *Solar Phys.*, 187, 77 (1999).
- Sawant, H. S.; Bhonsle, R. V.; Alurkar, S. K., *Solar Phys.*, 50, 481 (1976).
- Sawant, H. S.; Subramanian, K. R.; Faria, C.; Stephany, S.; Fernandes, F. C. R.; Cecatto, J. R.; Rosa, R. R.; Portezani, V. A.; Mesquita, F. P. V.; Alonso, E. M. B.; *ASP Conference Series*, (2000a). In press.
- Sawant, H. S.; Subramanian, K. R.; Faria, C.; Fernandes, F. C. R.; Sobral, J. H. A.; Cecatto, J. R.; Rosa, R. R.; Vats, H. O.; Neri, J. A. C. F.; Alonso, E. M. B.; Mesquita, F. P. V.; Portezani, V. A.; Martinon, A. R. F. *Solar Phys.*, (2000b). Submitted.
- Smith, D. F.; Benz, A. O., *Solar Physics*, 131, 351 (1991).



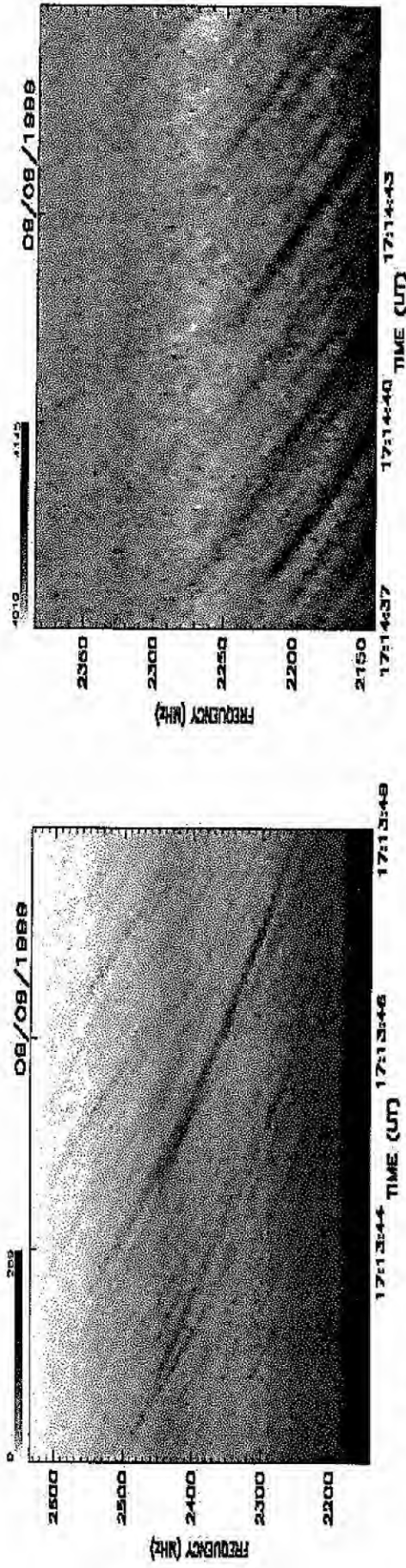


Figure 1: Dynamic spectra of fine structures superposed to a continuum emission, observed by BSS in 9<sup>th</sup> September, 1999. The emissions show intermediate frequency drift rates. These events are associated to a C3.3 flare.

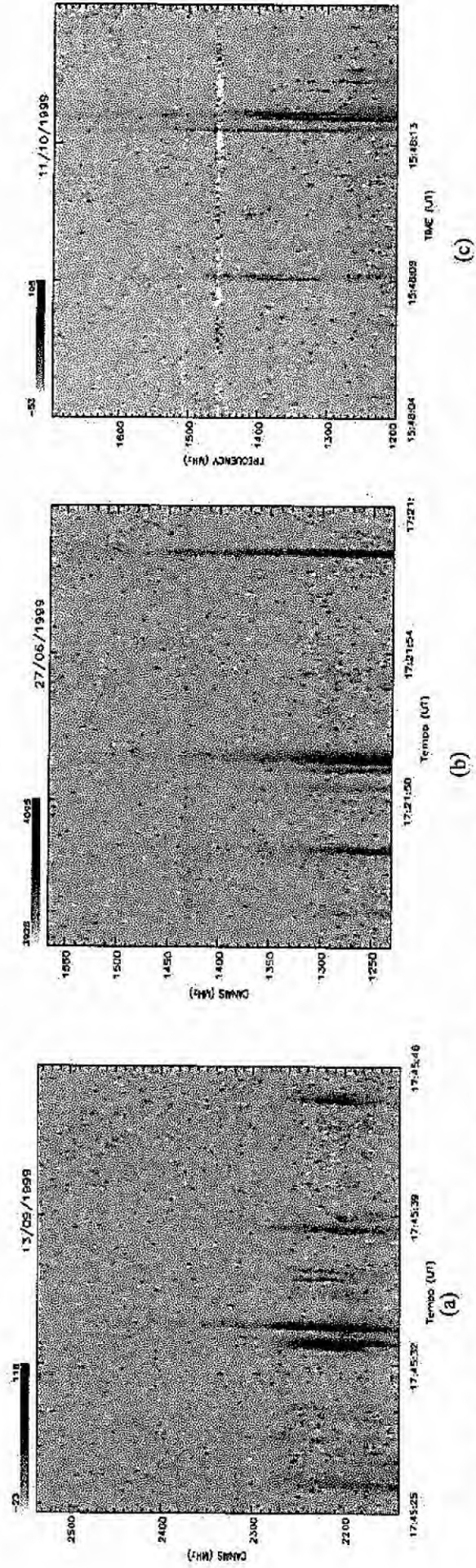


Figure 2: Groups of narrow band and intermediate band type III-like bursts observed by BSS: (a) in 13<sup>th</sup> September, 1999 (~17:45:25 UT); (b) in 27<sup>th</sup> June, 1999 (17:21 UT~) and (c) in 10<sup>th</sup> November, 1999 (~15:48 UT), associated to a M1.5 flare.



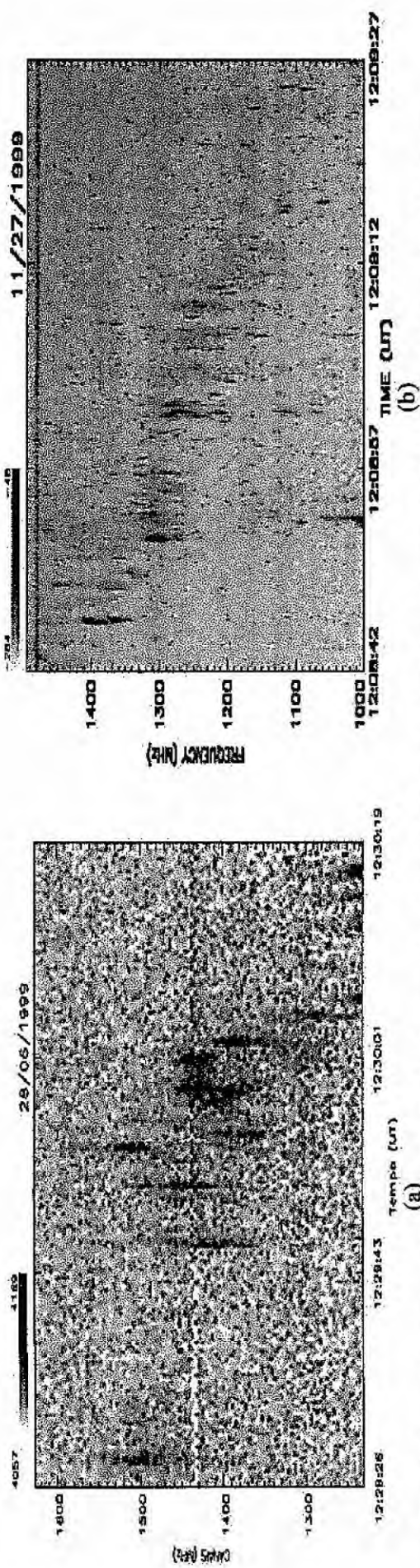


Figure 3: Dynamic spectra of groups ("chains") of narrow band type III-like emissions showing normal (high to low frequency) drift: (a) group observed in 28<sup>th</sup> June, 1999 (~12:29 UT), associated to a C1.6 flare; (b) emissions observed in 27<sup>th</sup> November, 1999 (~12:08 UT); these events are associated to an X1.4 flare and they have been recorded before the gradual phase.

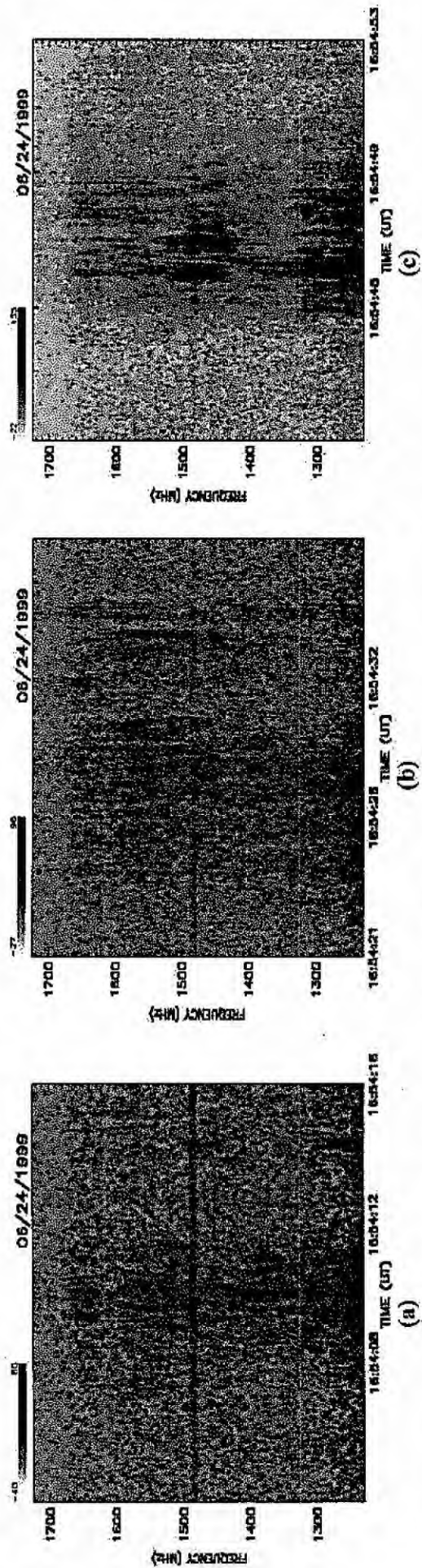


Figure 4: Spikes observed by BSS in 24<sup>th</sup> June, 1999 (~16:54 UT), showing harmonic patterns, very clear in the Figure 4c..

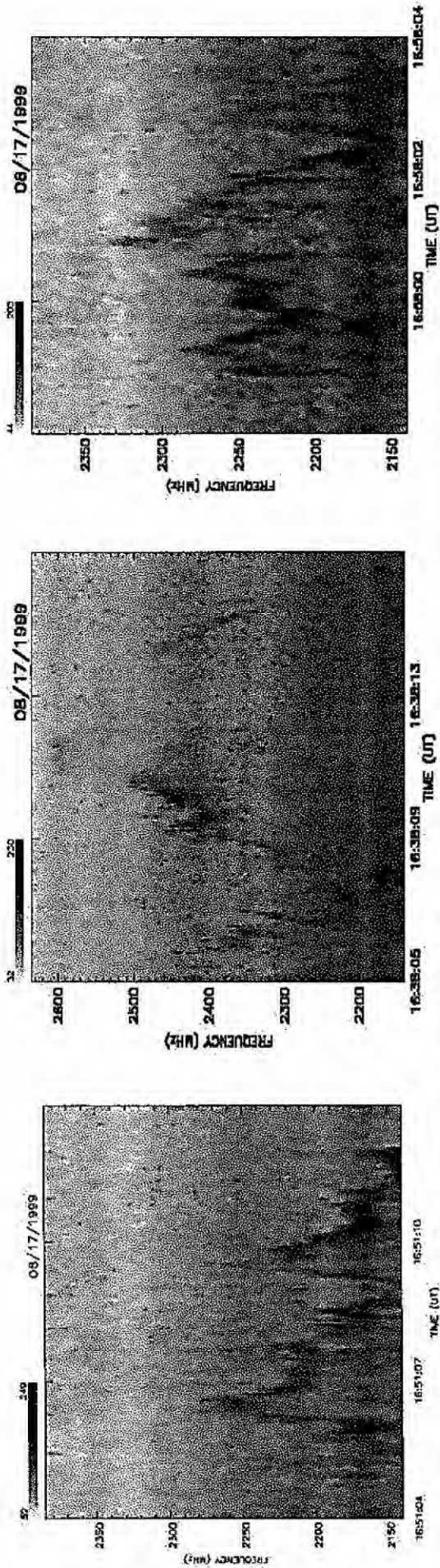


Figure 5: Fast intensity x frequency oscillation recorded by BSS in 17 th August, 1999. These events are associated to a radio noise storm observed in low frequency (< 500 MHz).

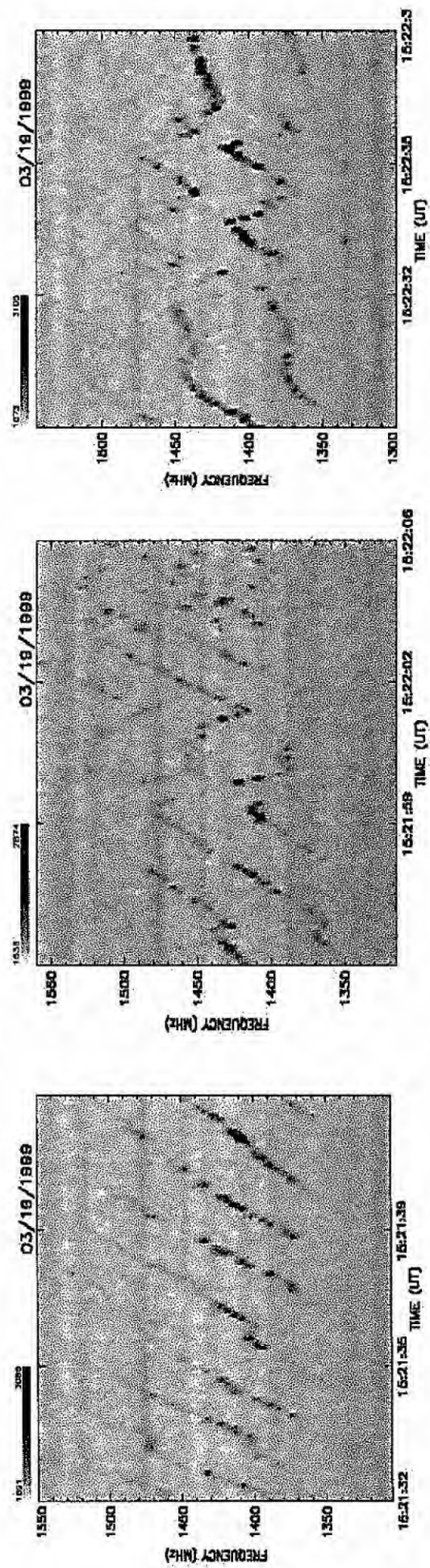


Figure 6: Dynamic spectra of Zebra pattern emissions recorded by BSS in 19<sup>th</sup> March, 1999 (~15:20 -15:22 UT).



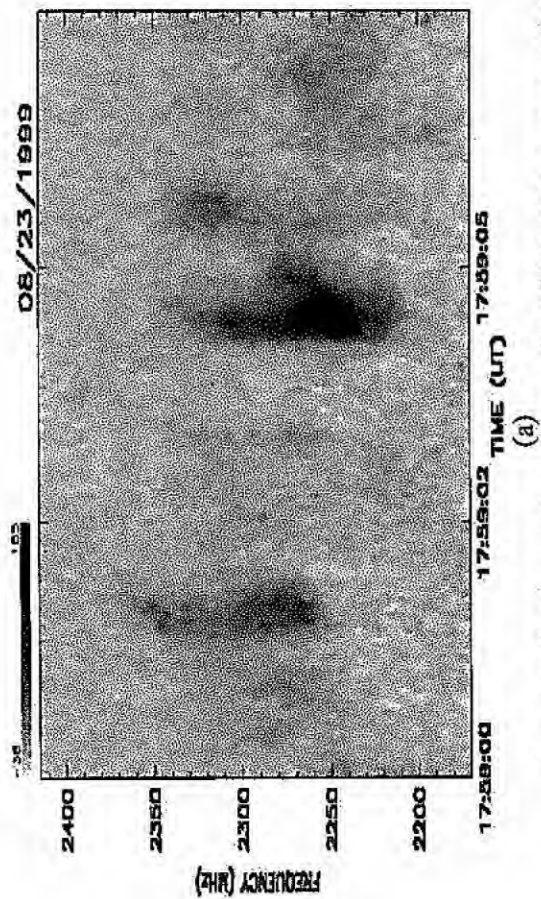


Figure 7: Patch emissions recorded by BSS in 23th August, 1999 (~17:59 UT), showing intense core and diffuse tails.

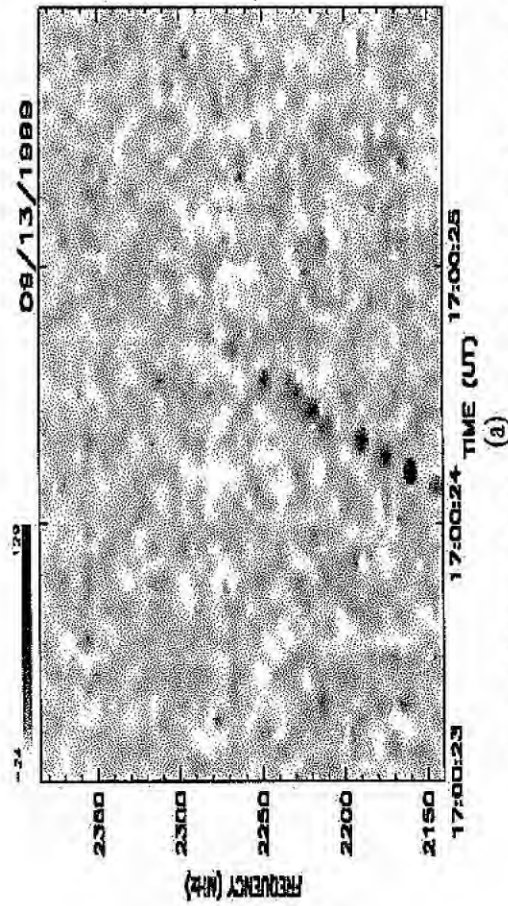
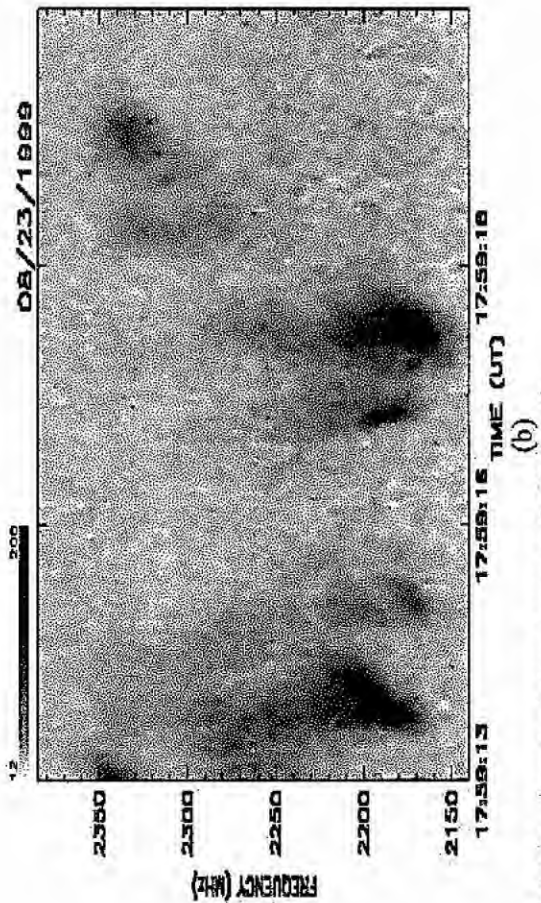
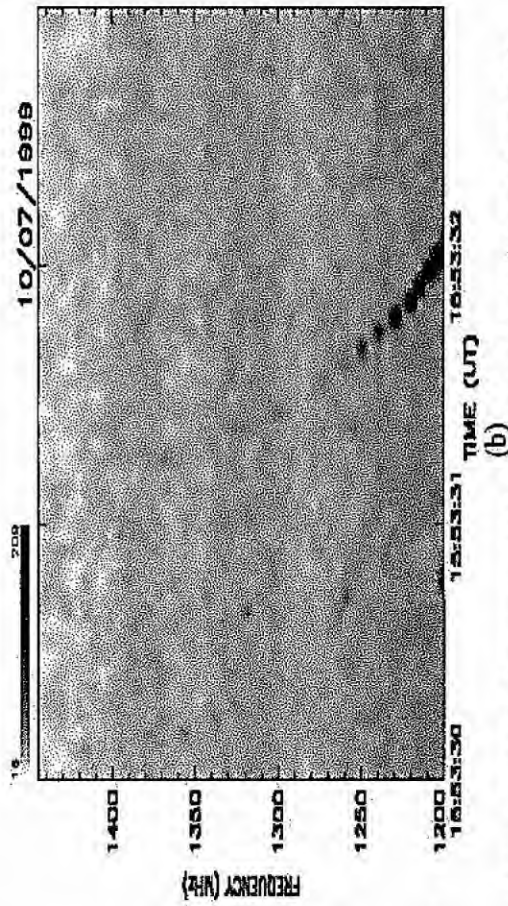


Figure 8: Chains of dot-like emissions recorded by BSS, showing intensity variation with frequency: (a) chain observed in 13<sup>th</sup> September, 1999 (~17:00 UT), showing RS drift rate; (b) chain observed in 7<sup>th</sup> October, 1999 (~15:53 UT) showing normal drift rate.



# CHROMOSPHERIC INHOMOGENITIES AND DECIMETRIC FINE STRUCTURES

H. S. Sawant<sup>1</sup>, F. C. R. Fernandes<sup>1</sup>, H. O. Vats<sup>1, 2\*</sup>, J. R. Cecatto<sup>1</sup>, J. A. C. F. Neri ;V. A. Portezani<sup>1</sup>, A. R. F. Martinon<sup>1</sup>

*1 Astrophysics Division, INPE, C.P. 515, São José dos Campos, Brazil*

*2 Physical Research Laboratory, Ahmedababd, 380009, India.*

## ABSTRACT

Various types of fine structures have been observed by Brazilian Solar Spectroscop (BSS) in the frequency range of (1200-1700) MHz. Here, are investigated fine structures showing variations of intensity with frequency. like microscopic "U" and inverted "U" chains of dots, hardly covering entire frequency range of observations. Their total duration can be at least two times smaller than that of the type III bursts in the same frequency range. The chains of dots have drift rate almost similar to type III bursts. Isolated dot-like emission has also been observed to the limit of the BSS resolutions (3 MHz, 50 ms). These fine structures are suggested to be originated by induced scattering of Langmuir waves to transverse waves by thermal ions. In that case, the instantaneous bandwidth should be  $(f \times 10^{-3})$ , where  $f$  is observing frequency and also intensity of the bursts is inversely proportional to the density gradient of the inhomogenities where scattering takes place. Thus, observed instantaneous bandwidth to limit of BSS frequency resolution, favours the hypothesis that chains of dots and various fine structures exhibiting the intensity variation as function of frequency can be produced by above mechanism. This allows us to determine the source size and excess density of the irregularities. Thus high-resolution observations of the solar bursts offers very powerful diagnostic tool to investigate the dimensions of the irregularities in the chromosphere.

## INTRODUCTION

Last two decades it is well known that decimetric emission is occurring near the region of acceleration/ejection of the particles (Meléndez et al., 1999; Bastian et al., 1998). On the authorised it is well known that decimetric emission is a full of fine structures in frequency and time and offers challenges to plasma physicists. Various high-resolution digital decimetric spectroscopes have been put into operations (Krüger and Voigt, 1995). Various authors have published catalogues of the decimetric – metric observations (Bernold, 1980; Slottje, 1981; Wiehl et al., 1985 and Güdel and Benz, 1988.). However, there are few catalogues reporting high-resolution observations above 1000 MHz (Allaart et al., 1990; Isliker and Benz, 1994 and Fernandes et al., 2000). Careful look at the above mentioned catalogues and our own observations in the frequency range of 1000-2500 MHz, suggests that, typically short duration narrow bandwidth bursts exhibiting intensity variation with frequencies are observed right from 30 MHz to ~10 GHz. All spectroscopes have observed bursts to the limits of their resolutions. Some of these observations have been classified as "dot" like emissions. We will be concentrating on these type emissions and their possible emission mechanisms.

## INSTRUMENTATION

Brazilian Solar Spectroscop – BSS (Sawant et al., 2000<sup>a</sup>; Sawant et al., 2000b) is operating regularly with time resolution of 50 ms over frequency range of 500 MHz above 1000 MHz, so as to have high sensitivity and high time and frequency (3 MHz) resolution observations. Our earlier investigations show that the total duration of the fine structures including that of type III-like bursts above 100 MHz is about 300 ms. It should be noted that most of the digital spectroscopes are operating with typical time resolution of 100 ms unabling to obtain correct time profiles of these fine structures.

\* On sabbatical leave from PRL, India.



## OBSERVATIONS

Various narrow band short duration bursts exhibiting intensity variation with frequency have been reported in the catalogues mentioned above. Here, we will concentrate on microscopic "U" type of bursts, "dot" and their variants, similar to reported in decameter - meter range (Bhonsle et al., 1979). We have observed variants of the "U" bursts like inverted "U", "partial J", inverted "J" bursts. Total frequency coverage is of about 300-400 MHz. Total duration of the microscopic "U" bursts and their variants varies from (300-1500) ms. However, the duration of each element varies from 50 ms to 200 ms. The minimum duration is due to limit of our time resolution. Inverted microscopic "U" burst showing intensity variation with frequency have been recently reported around 1750 MHz by Messmer and Benz (2000).

Dot like emissions. Table 1 shows that dot like emission have been observed over a wide band. In our frequency range of observations (500 MHz) (Figures 1 and 2) chain of dot were never found to cover entire frequency range. Chains of dots were not found to be associated with decimetric type III like bursts covering large bandwidths. However, type III<sub>b</sub> bursts are associated with type III bursts in the same frequency range. Thus smaller duration, (50-100) ms, narrow instantaneous bandwidth (5-25) MHz, narrow frequency range of about (100-200) MHz. Their occurrence independent of type III bursts suggests that chains of dots are separate phenomenon than type III<sub>b</sub> bursts. Drift rate of chains is of about 300 MHz/s.

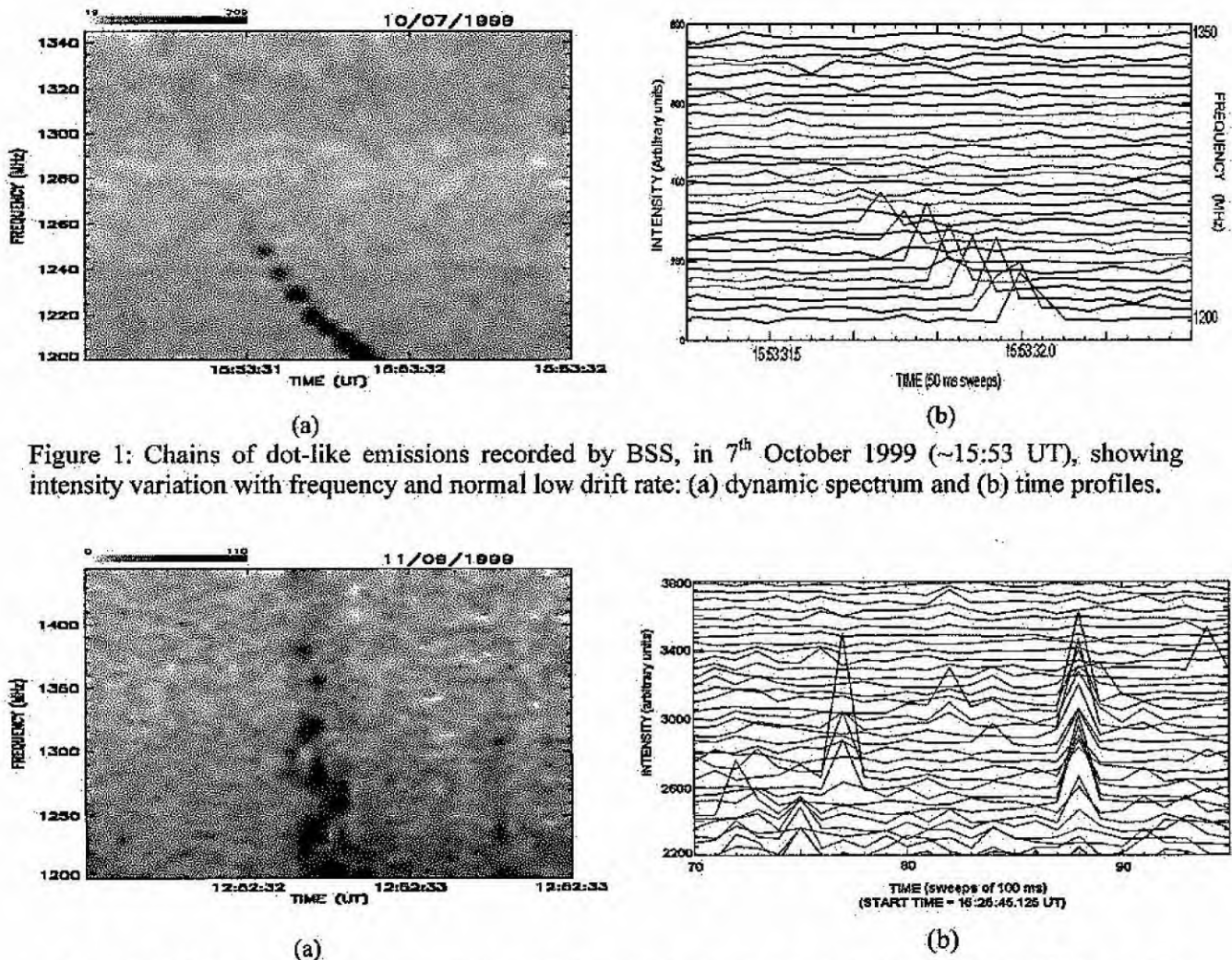


Figure 1: Chains of dot-like emissions recorded by BSS, in 7<sup>th</sup> October 1999 (~15:53 UT), showing intensity variation with frequency and normal low drift rate: (a) dynamic spectrum and (b) time profiles.

Figure 2: (a) Dynamic spectrum of chains of dot-like emissions recorded by BSS, in 9<sup>th</sup> November 1999 (~12:52 UT), showing intensity variation with frequency. (b) Time profiles of fine structures recorded by BSS, on 29<sup>th</sup> April 1998 (~16:25 UT), showing the intensity variation and isolated dot emissions occurring only in one to two channels.

Table 1. Properties of dots.

Observational frequency range (MHz)	34-35.5	1200-1700	4000-8000
Life Time (ms)	300	50-100	1-50
Bandwidth (kHz)	40	≤ 5000	100-500
Intensity (sfu)			1-20
Chain Bandwidth (kHz)		90-190 × 10 <sup>3</sup>	2000 × 10 <sup>3</sup>
Chain Life time (ms)	300-400	150-300	Few seconds
Drift Rate (MHz/s)		~300	
Polarisation	Strong	-	
Δf / f	~10 <sup>-3</sup>	5 × 10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>
Reference	Sawant et al., 1976	This work	Allaart et al., 1990

## DISCUSSIONS

In general, bursts with short duration (< 500 ms), exhibiting intensity variation with frequency occurring with different forms such as dot, "U", "J", inverted "U", inverted "J" and many other types of in the meter – decametre bands were explained by Sawant et al. (1976) and reviewed by Bhonsle et al. (1982), assuming the process of emission to be induced scattering (Melrose, 1974) of Langmuir waves by thermal ions being responsible for their conversion into electromagnetic waves at fundamental.

Effective interaction length over which the induced scattering of the plasma waves takes place is inversely proportional to density gradient. This interaction length is of order of 10<sup>-3</sup> km (Melrose, 1974). This means for higher density gradients there will be no emission and for near zero density gradients there will be strong emission.

Frequency drift rates are due to sign of the local electron density gradient that beams passes through. We feel same process is operating in the chromosphere and various types of the observed bursts showing the intensity variation with frequency and short duration can be explained by the same process. For example, the "U" type of the bursts observed in the frequency range of (1200 – 1400) MHz showing intensity variation with frequency (Figure 3a). This burst can be explained as a beam of electron travelling towards the photosphere with velocity of 0.3 c, where c is the velocity of light, that encounters the irregularities as shown in the Figure (3b). Thus, depending upon the density gradient ( $\Delta n/n \gg 0$ ,  $\Delta n/n \approx 0$ ), there will not be emission or strong emission. Frequency drift rate will be following the sign of the density gradient. Thus, depending upon the combinations of the density irregularities, various types of bursts will be observed. For the same combination of the irregularities, if beam were travelling outwards, i.e., into corona, the inverted "U" burst with intensity would have been observed.

Interaction length where induce scattering takes place can be used to estimate the dimensions and excess electron densities in the chromosphere. The average duration of the each elements of these types of bursts varies in between 100 – 500 ms. Thus, for the velocity of the beam of the order of 0.3 c, the interaction length,  $L = 0.03 c \times (100-500) \text{ ms}$ , will be  $2.7 - 4.4 \times 10^3 \text{ km}$ , of the same order of magnitude as estimated theoretically by Melrose (1974).

Moreover, this length can be used to determine the excess density in the irregularities as suggested by Takakura and Shahinaz (1974) using following relationship:

$$\frac{\Delta n}{n} = 2.4 \frac{\Delta \delta}{\delta} , \quad (1)$$

where  $\delta = h/R$ , where  $h$  and  $R$  being the height above the photosphere and solar radius, respectively.  $\Delta\delta = L/R$ , thus

$$\frac{\Delta n}{n} = 2.4 \frac{\Delta\delta}{\delta} = \frac{h}{R}. \quad (2)$$

Thus, for "U" as shown in Figure 2 and assuming  $h = 3 \times 10^3$  km from Figure 2,  $\Delta n/n = 0.05$ .

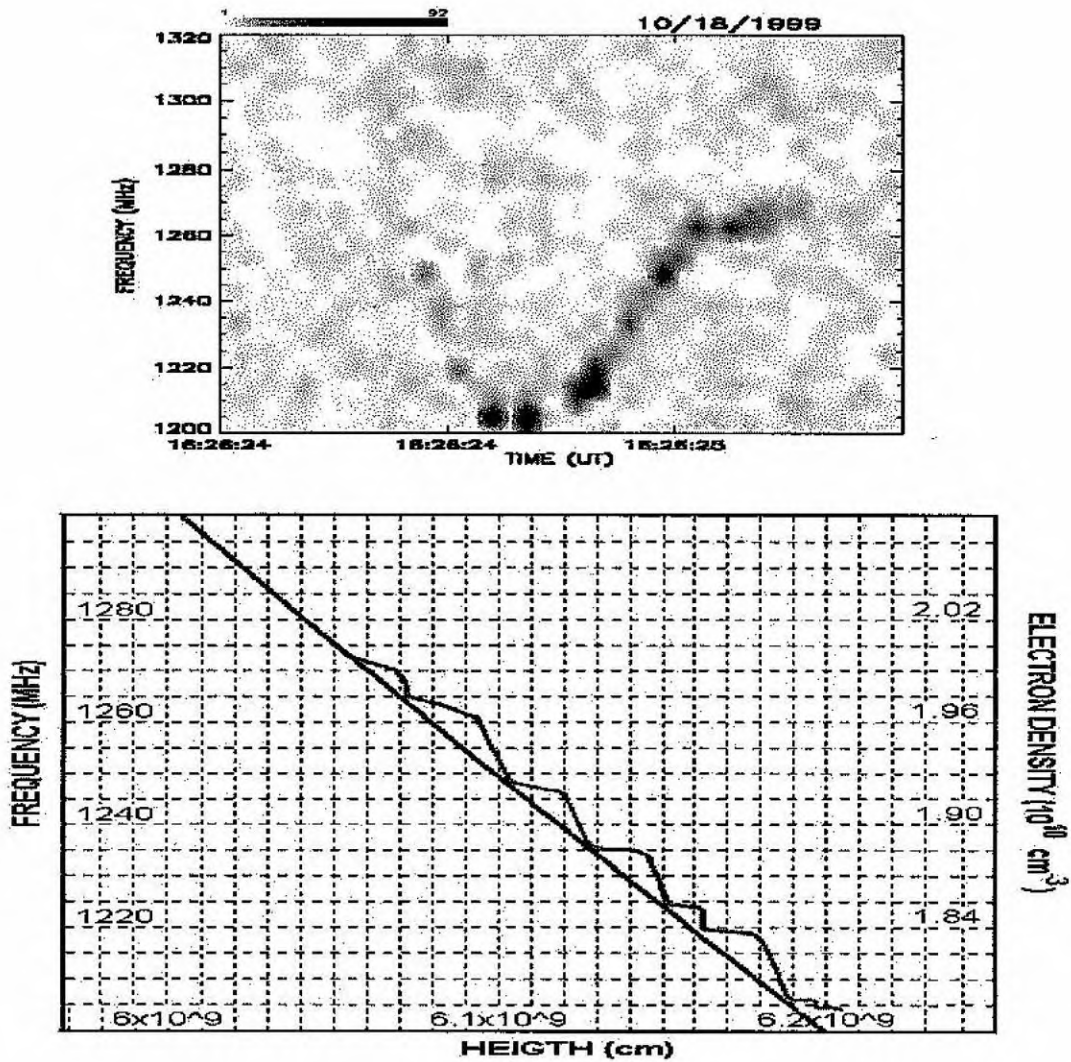


Figure 3: (Top) Dynamic spectrum of "U" like chain of dots emission recorded by BSS in 18<sup>th</sup> October, 1999 (~16:26 UT). (Bottom) Electron density versus height model, suggested by Meléndez et al. (1999). Superimposed on it are irregularities with different density gradients. As the beam of electron moving towards photosphere will encounter these small scale irregularities with different density gradients hence different interaction lengths and will produce narrow-band emissions by the process of induced scattering giving rise to "U" like emission.

Dot emission, as shown in Table 1, presents  $df/f = 5 \times 10^{-3}$  at least up to the 2500 MHz. Such narrow instantaneous bandwidth provides the further evidence of Langmuir waves scattering by thermal ions, and favours the process of induced scattering, since theoretically estimated instantaneous bandwidth is  $f \times 10^{-3}$ ,  $f$  being center frequency. Observed bandwidth (5 MHz) is little larger due to our frequency resolution. Observations are carried out with frequency resolution of 1 MHz so as to detect smaller bandwidths.



## CONCLUSIONS

- 1 In the decimeter band the short duration bursts exhibiting intensity variation with frequency are observed.
- 2 Observed narrow bandwidths favours the emission mechanism of the induced scattering.
- 3 Thus, this interpretation provides powerful tool to detect the details of the small-scale irregularities such as scale lengths, and excess of densities in the chromosphere.

## REFERENCES

- Allaart, M.A.F.; van Nieuwkoop, J.; Slottje, C.; Sondaar, L.H., *Solar Phys.*, 130, 183, 1990.
- Bastian, T.S.; Benz, A.O.; Gary, D.E. *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, 36, 131, 1998.
- Bernold, T.; *Astron. Astrophys. Suppl. Series*, 42, 43, 1980.
- Bhonsle, R. V.; Sawant, H.S.; Deogankar, S.S.; *Space Science Reviews*, vol. 24, no.3, 259-346, November 1979.
- Fernandes, F.C.R., Sawant, H.S., Vats, H.O., Cecatto, J.R., Portezani, V.A., Martinon, A.R.F. *Astron. Astrophys. Suppl. Series*, 2000. In preparation.
- Güdel, M.; Benz, A.O., *Astron. Astrophys. Suppl. Series*, 75, 243, 1988.
- Islaker, H.; Benz, A.O., *Astron. Astrophys. Suppl. Series*, 104, 145, 1994.
- Krüger, A.; Voight, W., *Solar Phys.*, 161, 393, 1995.
- Meléndez, J.L., Sawant H.S.; Fernandes, F.C.R.; Benz, A.O., *Solar Phys.*, 187, 77, 1999.
- Messmer, P. and Benz A.; *Sol. Phys.* In press 2000.
- Melrose, D.B., *Solar Phys.*, 35, 441, 1974.
- Sawant H.s.; Bhonsle, R.V.; and Alurkar, S.K. *Nature*, 253, 329, 1979.
- Sawant, H.S., Bhonsle, R.V., Alurkar, S.K., *Solar Phys.*, 50, 481, 1976.
- Sawant, H.S., Subramanian, K.R., Faria, C. Stephany, S., Fernandes, F.C.R., Cecatto, J.R., Rosa, R.R., Portezani, V.A., Mesquita, F.P.V., Alonso, E.M.B., *ASP Conference Series*, 2000a.
- Sawant, H.S., Subramanian, K.R., Faria, C., Fernandes, F.C.R., Cecatto, J.R., Rosa, R.R., Alonso, E.M.B., Portezani, V.A., Mesquita, F.P.V., Martinon, A.R.F., *Solar Physics*, 2000b. Submetido.
- Slottje, C. *Publication of Netherland Foundation of Astronomy*, 1981.
- Takakura, T and Shahinaz. Y., *Solar Phys.* 40, 421, 1974.
- Wiehl, H.J.; Benz, A.O.; Aschwanden, M.J., *Solar Phys.* 95, 167, 1985.