



**PARTICIPAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO DE ROTINAS DE
CALIBRAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS DIGITAIS DO
BRAZILIAN SOLAR SPECTROSCOSPE (BSS)**

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

Vanessa de Fátima Nascimento (UNIP)
E-mail: vanessa@das.inpe.br

Dr. Hanumant Shankar Sawant (DAS/INPE, Orientador)
E-mail: sawant@das.inpe.br

COLABORADOR
Dr. Francisco Carlos Rocha Fernandes (DAS/INPE)

JUNHO - 2002

SUMARIO

	Pág.
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DOS CONCEITOS E INSTRUMENTAÇÃO	2
2.1. BRAZILIAN SOLAR SPECTROSCOPE.....	2
2.2. SISTEMA DE AQUISIÇÃO DIGITAL E PROGRAMAS PARA VISUALIZAÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS DO BSS	4
2.3. LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO IDL.....	9
2.4. CALIBRAÇÃO EM FLUXO	10
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	12
3.1. MATERIAIS.....	12
3.2. MÉTODOS.....	12
4. RESULTADOS.....	16
4.1. CONHECIMENTO DO FUNCIONAMENTO DO BSS.....	16
4.2. CONHECIMENTO DO BSSVIEW.....	16
4.3. APRENDIZADO DA LINGUAGEM IDL.....	16
4.4. ROTINA DE CALIBRAÇÃO	16
5. CONCLUSÃO.....	20
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

1. INTRODUÇÃO

Desde abril de 1998, está em operação regular, na sede do INPE, em São José dos Campos, SP, um Rádio-espectrógrafo, batizado de "Brazilian Solar Spectroscope – BSS", desenvolvido pela linha de P&D de Física do Meio Interplanetário - FMI, para observações solares na faixa de frequências decimétricas (200-2500 MHz), em conjunto com uma antena parabólica de 9 m de diâmetro. O principal objetivo das observações realizadas diariamente entre 11:30 UT e 18:30 UT é investigar fenômenos associados com a liberação da energia dos "flares" solares, através da análise das explosões solares, principalmente acima de 1000 MHz (Sawant et al., 1994; Fernandes e Sawant, 1996; Fernandes, 1997; Fernandes e Sawant, 1998; Meléndez et al., 1998; Fernandes et al., 1996; Fernandes et al., 1998).

Apenas em 2001, o BSS já registrou mais de uma centena de explosões solares, observadas com alta resolução temporal de até 10 ms. A Linha de FMI vêm provendo a análise de diversos tipos de explosões solares identificadas. **Portanto, foi iniciado este programa de Iniciação Científica com o objetivo de treinar um estudante para desenvolver rotinas de calibração para os dados obtidos através do BSS, visto que estes não possuem uma unidade de medida em fluxo e através da calibração poderá estimar qual é a intensidade da explosão, a serem incorporadas aos programas de computador utilizados atualmente.** Através dos procedimentos e rotinas de calibração a intensidade do sinal registrado será convertida em unidade de fluxo solar (sfu, sendo $1\text{sfu} = 10^{-22}\text{W/Hz/m}^2$).

Desta forma, o projeto foi iniciado com uma revisão do instrumento BSS e do programa usado para a visualização e análise dos dados. Com o aprendizado da utilização do mesmo, familiarização com a estrutura (rotinas) em que o BSSView foi desenvolvido e conhecimento da linguagem IDL, pode dar início ao desenvolvimento das rotinas de calibração em fluxo.

Neste relatório estão descritos os principais resultados obtidos e as atividades em andamento. E finalmente são apresentadas as atividades programadas para dar continuidade ao projeto.

2. REVISÃO DOS CONCEITOS E INSTRUMENTAÇÃO

Para iniciar o projeto de elaboração das rotinas de calibração foi necessário um estudo sobre todas as partes envolvidas no processo de aquisição, visualização e tratamento dos dados de explosões solares. Conhecer desde a parte de instrumentação até a parte de software, sendo a última a principal para a elaboração do projeto. Abaixo são citadas as referências desses estudos.

Foi feita uma revisão da instrumentação do Brazilian Solar Spectroscop (BSS), com a finalidade de entender qualitativamente o seu funcionamento, mas principalmente, conhecer o formato dos dados que são digitalizados e armazenados.

2.1. BRAZILIAN SOLAR SPECTROSCOPE

O BSS está em operação regular, no INPE, em São José dos Campos, desde abril de 1998, sendo o único instrumento deste tipo na América Latina (Sawant et al., 1996; Fernandes, 1997; Fernandes et al., 2000; Sawant et al., 2001). Ele é composto por uma antena parabólica de 9 m de diâmetro (figura 1), um amplificador, um receptor e um sistema de aquisição de dados. Sua função é receber os sinais transmitidos pelo Sol, captados pela antena na faixa de ondas decimétricas (1000-2500 MHz). Como esse sinais são fracos, há a necessidade de um amplificador, localizado no foco da antena. O sinal amplificado é enviado ao receptor e depois para o sistema de aquisição de dados, que é feita através de um computador, onde são armazenados todos esses dados.

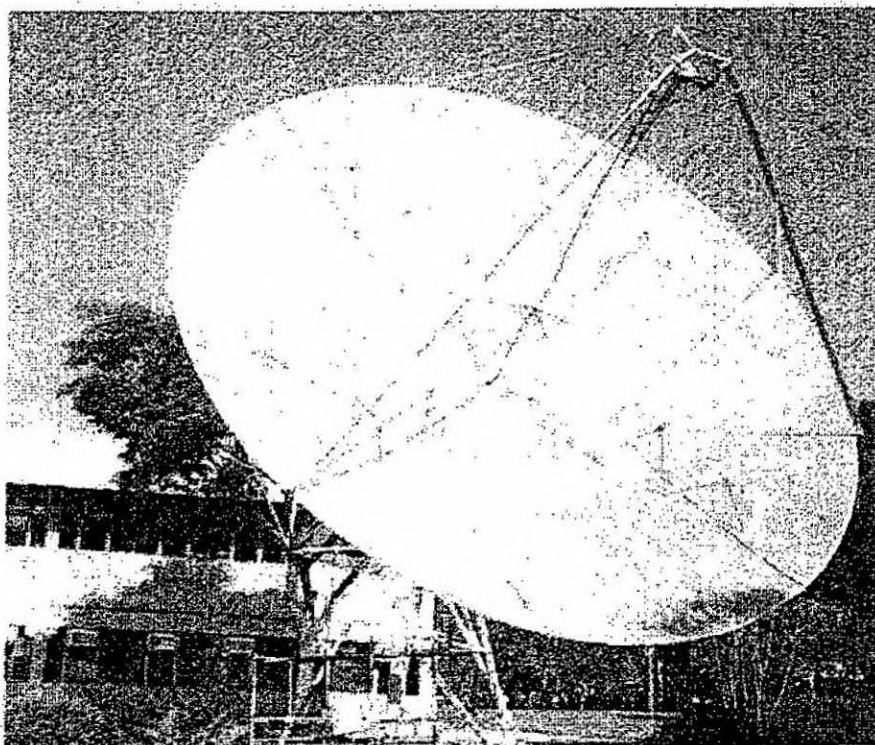


Fig. 1 - Antena parabólica de 9 metros de diâmetro do BSS.

As principais características do BSS são mostradas na tabela1, a seguir:

Antena	9 metros de diâmetro
Montagem	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

Tab. 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.

Existe uma certa escassez de observações solares com alta sensibilidade e alta resolução temporal no mundo. Daí a importância do BSS que opera na faixa de frequências decimétricas (1000 - 2500 MHz), com alta sensibilidade (~ 2 sfu) e altas resoluções em frequência (3 MHz) e em tempo (10-1000 ms).

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).

2.2. SISTEMA DE AQUISIÇÃO DIGITAL E PROGRAMAS PARA VISUALIZAÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS DO BSS

Os dados das observações feitas pelo BSS são digitalizados em até 100 canais de frequência e com várias resoluções temporais à escolha do observador. As resoluções disponíveis no sistema são: 10 ms, 20 ms, 50 ms, 100 ms, 200 ms, 500 ms e 1000 ms.

Para visualização e tratamento dos dados digitais do BSS são utilizados dois programas de computador, um desenvolvido na linguagem IDL ("Interactive Data Language") e um em C++, batizados, respectivamente, de BSSView (Faria, 1996; Faria, 1999, Sawant et al., 2000) e BSSData (Martinon, 2000). Foram realizadas leituras sobre estes programas e foi realizado um breve treinamento para o aprendizado de sua utilização, dando mais ênfase ao estudo do BSSView.

2.2.1. Programa BSSView

Este programa foi desenvolvido em IDL, por um aluno de mestrado (C. Faria). Ele permite visualizar em tempo real o espectro dinâmico das observações e obter representações gráficas dos dados digitalizados (espectros dinâmicos, gráficos de perfil temporal de múltiplos canais de

frequência, visualização de imagens em escalas de cores e mapas de contorno).

A figura 2 mostra um exemplo da tela do BSSView, onde pode ser identificado o menu principal, que apresenta opções para importar e exportar arquivos de dados, visualizar conjunto de dados e acionar a visualização em tempo real.

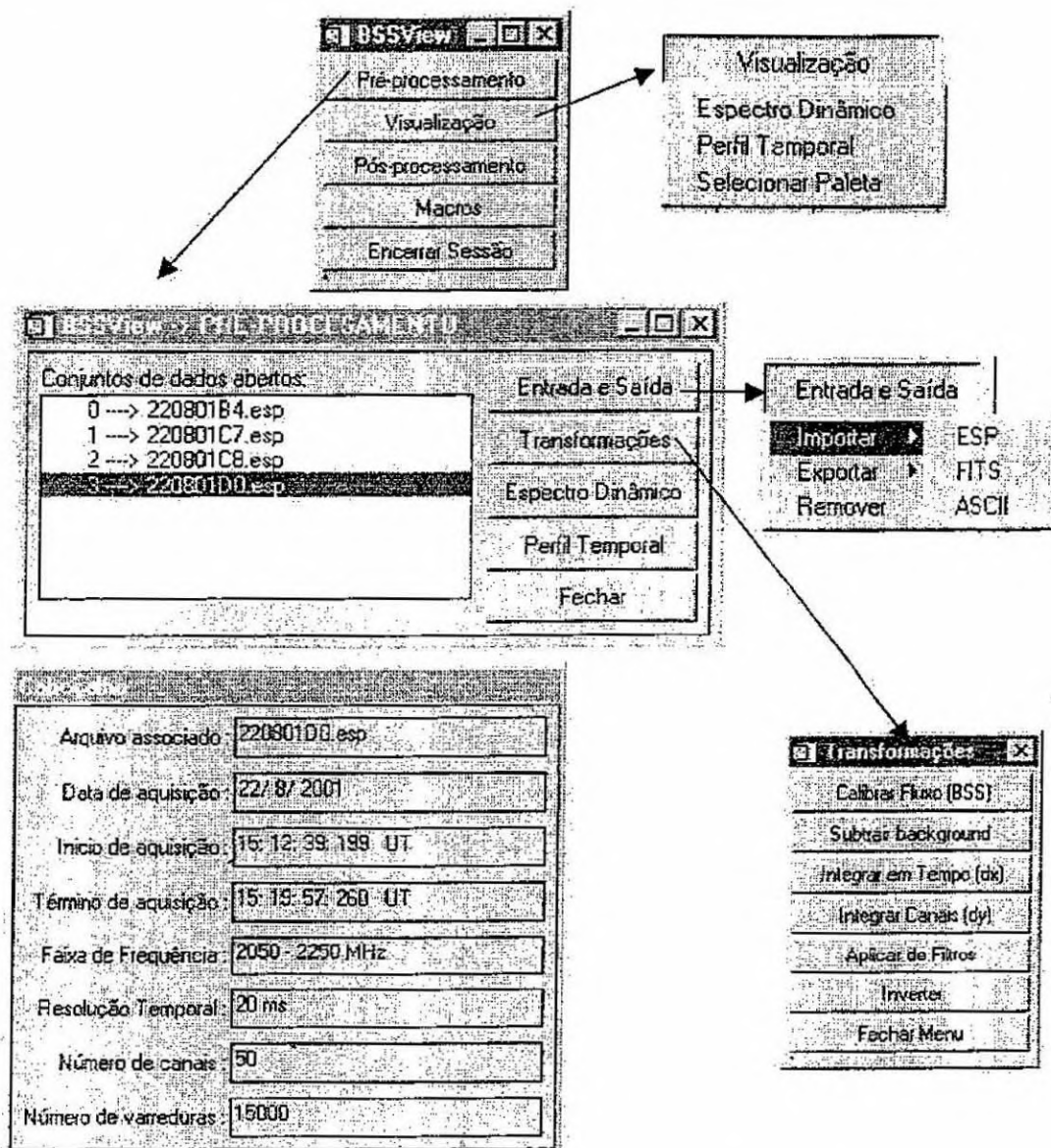


Fig.2 - Tela do BSSView, mostrando a janela do menu principal e outras para manipulação dos dados captados pelo BSS.

Os dados digitais captados pelo BSS podem ser visualizados de duas formas no BSSView.

A seguir, nas figuras 3 e 4, podemos visualizar o conjunto de dados de uma explosão solar na forma de espectro dinâmico e na forma de perfil temporal, utilizando as opções do menu apresentado na figura 2.

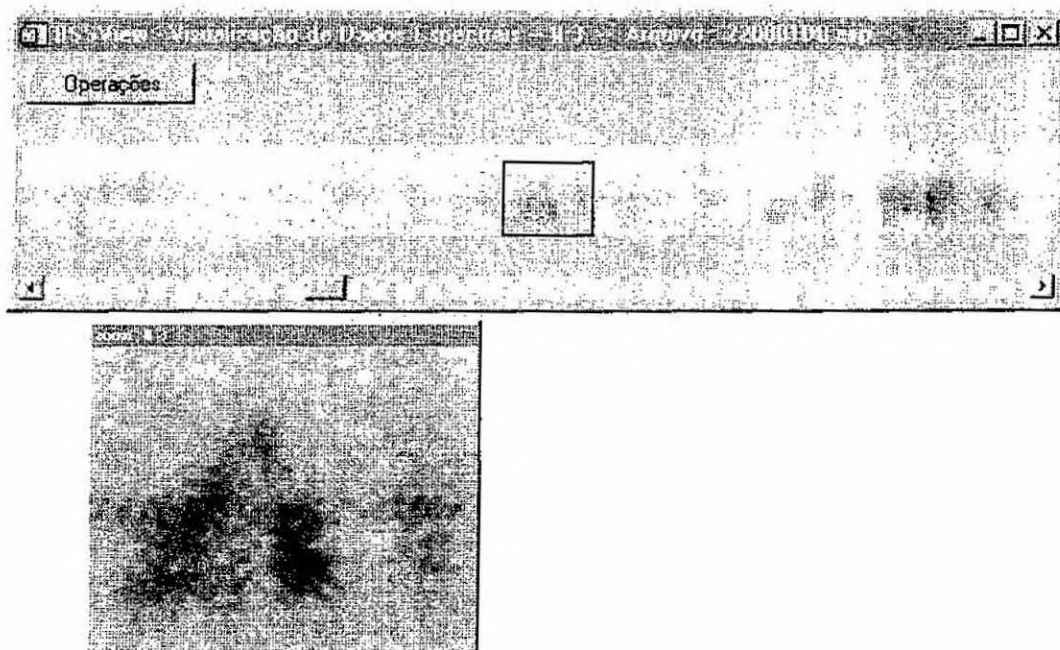


Fig. 3 - Janela de visualização do espectro dinâmico e janela de zoom (abaixo) do retângulo superposto (acima) de uma explosão solar ocorrida dia 22/08/2001.

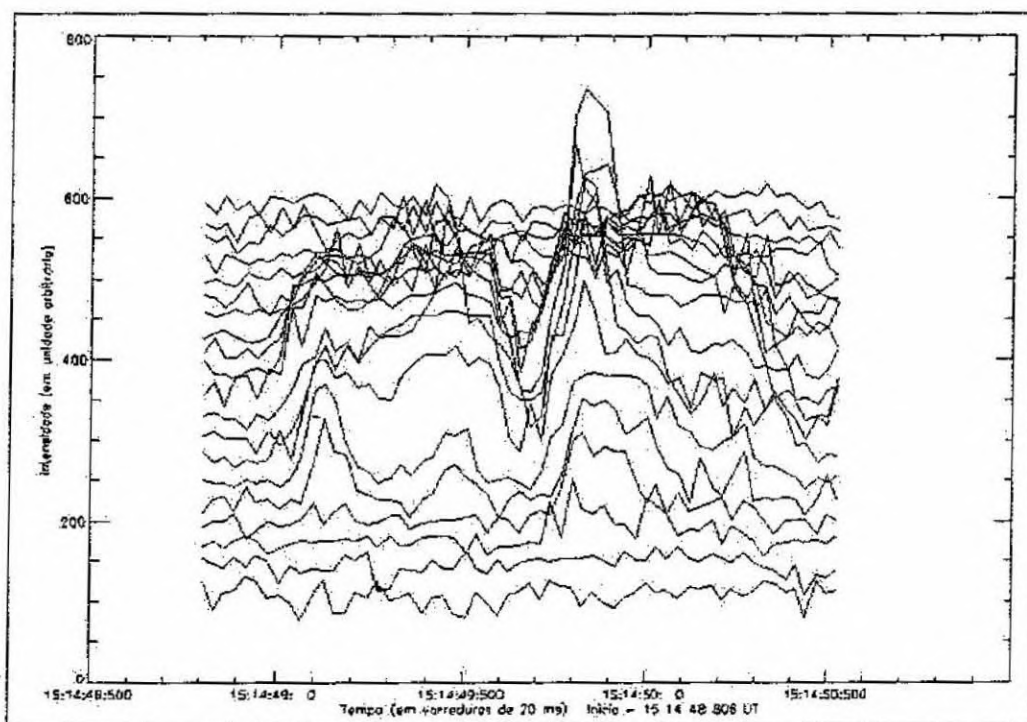


Fig. 4 - Zoom da fig.3 visualizado na forma de perfil temporal, também utilizando o recurso de zoom.

2.2.2. Programa BSSData

Este programa foi desenvolvido por um aluno de Iniciação Científica (A.R.F. Martinon, 2000, PIBIC). O núcleo do programa principal foi desenvolvido em linguagem C++ padrão, sendo portátil a qualquer compilador C++. As principais ferramentas do programa são:

- Plotar perfis temporais e espectrais (figura 6);
- Manipulação de cores;
- Gerenciar projetos que permite organizar conjuntos de dados em forma de projetos através da janela "Project Manager" (figura 7);
- Filtragem dos dados para remoção do background e Filtro da diferença (figura 5)

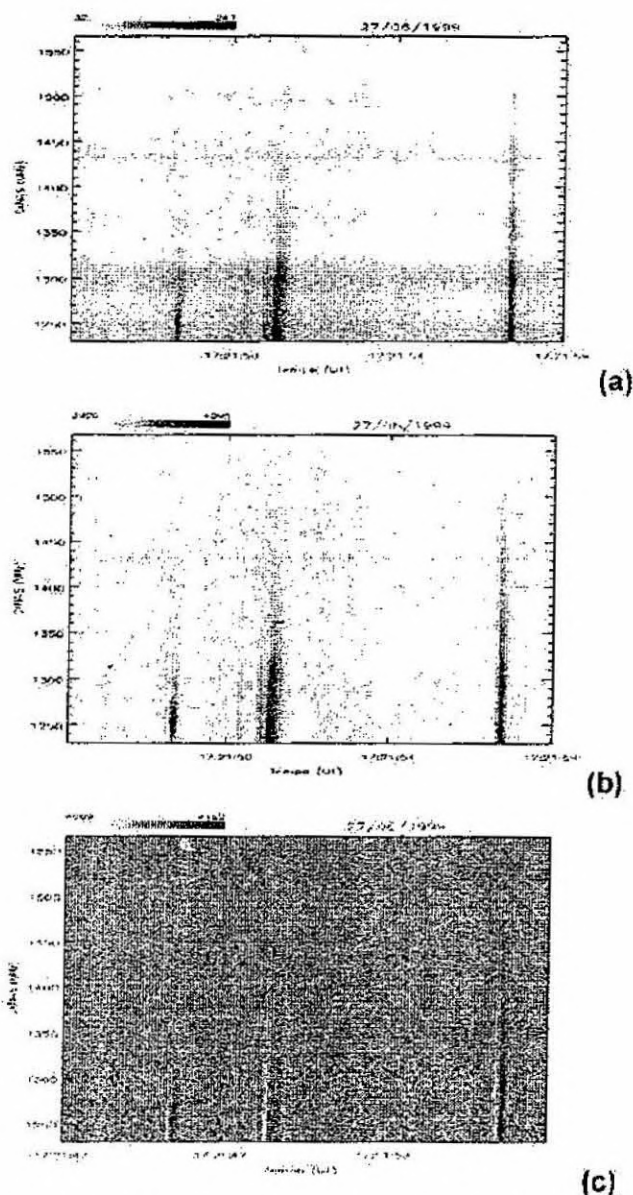


Fig. 5 - Espectro dinâmico de explosão solar observada pelo BSS em 27/06/99: (a) espectro dinâmico original; (b) subtração do background; (c) aplicação de filtro da diferença.

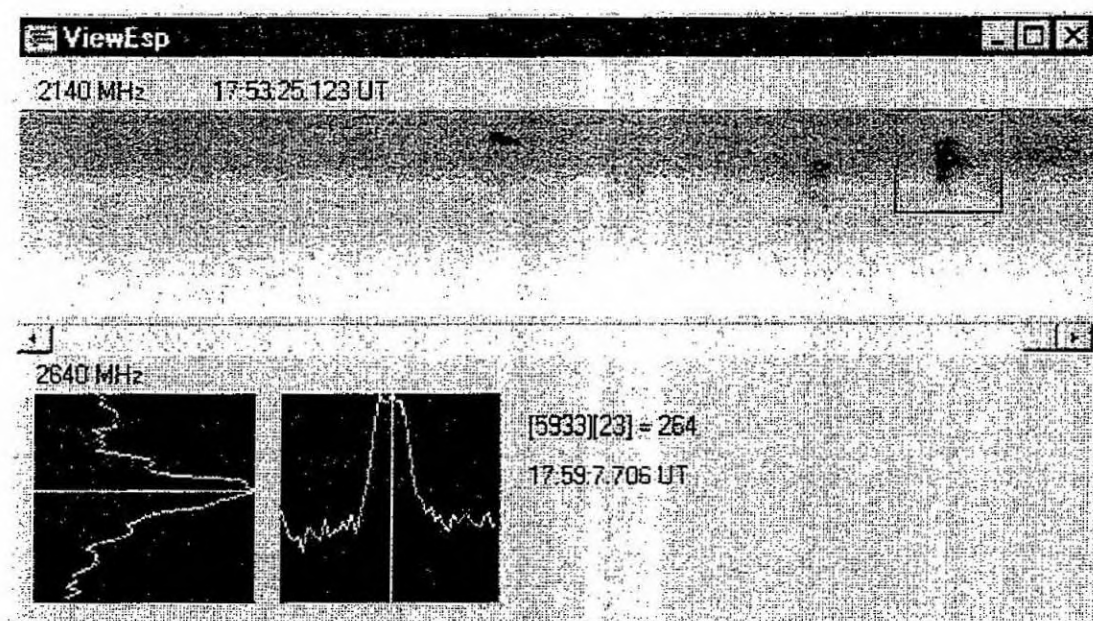


Fig. 6 - Janela para visualização do espectro dinâmico (ViewEsp) e seus perfis temporais e espectrais. A partir da região selecionada pelo retângulo superposto ao espectro dinâmico, são visualizados os perfis: espectral (esquerda) e temporal (direita).

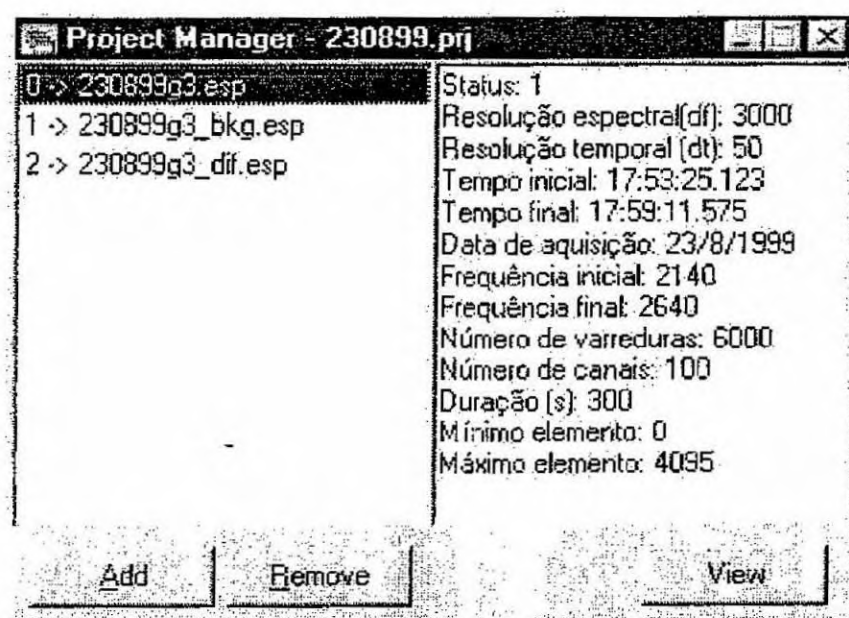


Fig. 7 - Janela para gerenciar projetos (Project Manager). À esquerda da janela são listados todos os arquivos relacionados (como por exemplo, o arquivo de dados brutos, e os obtidos após a aplicação de filtros). À direita são listadas todas as informações relevantes sobre o arquivo dos dados.

2.3. LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO IDL

O IDL ("Interactive Data Language") é um software que funciona em ambiente Windows, sendo simples sua manipulação (figura 8). É uma linguagem de fácil assimilação e pode se dizer, que ele é uma mesclagem das linguagens C e Clipper.

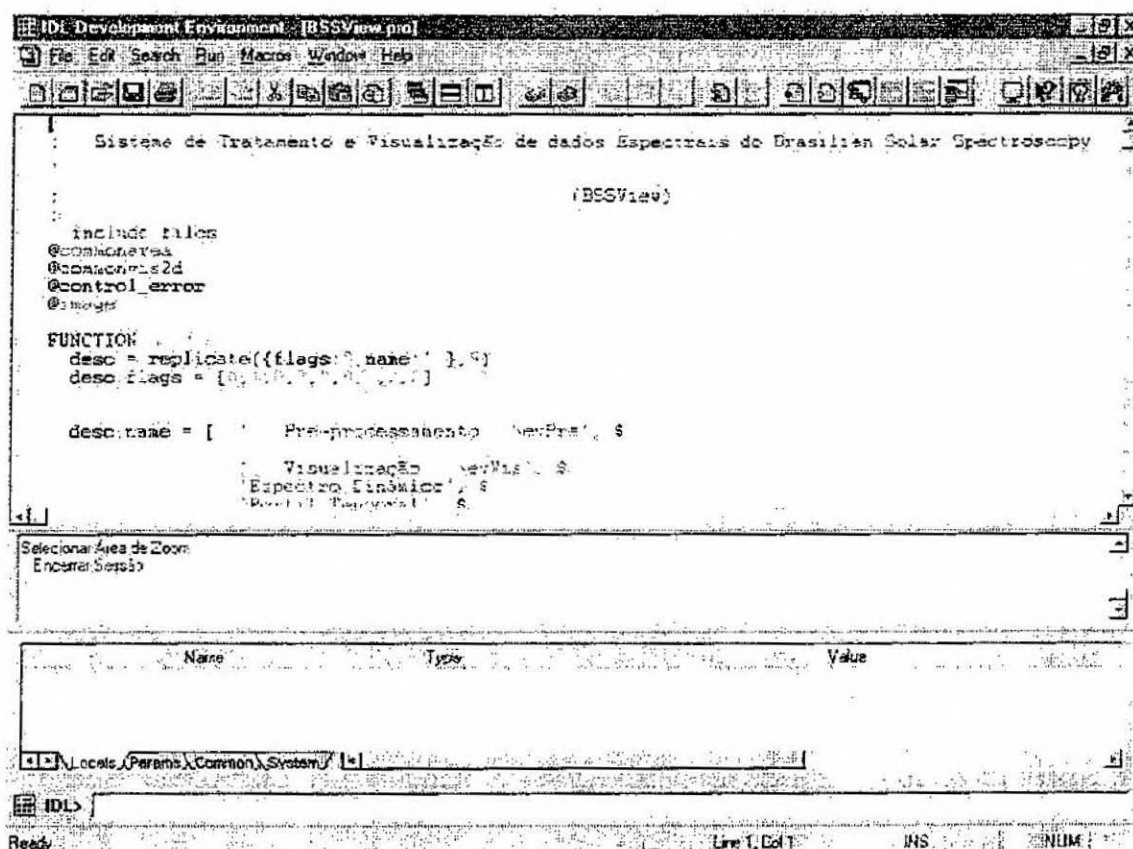


Fig. 8 - Janela do ambiente de trabalho do IDL

A linguagem IDL foi escolhida para desenvolvimento dos programas de visualização e tratamento dos dados do BSS, devido ao fato de ser uma linguagem amplamente utilizada no meio científico, particularmente em astronomia.

Particularmente todos os observatórios que tratam de observações solares, sejam radiotelescópios, espectrógrafos ou satélites de raios-X e raios- γ , atualmente utiliza o IDL como linguagem, já havendo no momento uma tendência de unificação destes programas em pacotes integrados para tratamento de dados solares como é o caso do Solar Softwares (SSW) (<http://www.lmsal.com/solarsoft/sswdoc/index-menu.html>).

Neste sentido, um motivo para o uso do IDL no BSS é o fato de que há uma intenção do grupo em futuramente integrarem seus programas (BSSView e outros) nestes pacotes.

2.4. CALIBRAÇÃO EM FLUXO

Para dar início ao desenvolvimento da rotina de calibração foram necessárias além da análise na estrutura do programa BSSView e do estudo da linguagem IDL, algumas discussões com o orientador do projeto para um melhor esclarecimento da estratégia de execução do mesmo.

Em resumo, o procedimento de calibração em intensidade envolve os seguintes passos, que no momento é feito manualmente:

- Utilizando o próprio analisador de espectros, que faz a varredura do sinal proveniente da antena, é feito um registro com diferentes níveis de atenuação, digitalizado em um dos arquivos de dados. Por exemplo, faz-se variar o nível de referência do sinal de 1 a 9 dBm (de 1 em 1 dB), conforme mostra a Figura 9.
- Cria-se uma escala de valores de intensidade em unidades arbitrárias, baseada nestes níveis de referência.
- Faz-se uma calibração desta escala através de dados de densidade de fluxo do Sol calmo, interpolados a partir de dados de fluxo em outras frequências obtidos via Internet, utilizando o método proposto por Guidice e Castelli, 1971.

A densidade de fluxo do solar calmo ("background"), S_0 , numa dada frequência f , de cada um dos canais de observação do BSS, pode ser calculada através da expressão (Guidice e Castelli, 1971):

$$S_0(f) \left[\frac{S(f_a)}{S(f_b)} \right]^{\phi(f)} \times S(f_a), \quad (1)$$

onde,

$$\phi(f) = \frac{\log\left(\frac{f}{f_a}\right)}{\log\left(\frac{f_a}{f_b}\right)}$$

sendo a frequência f , intermediária às frequências f_a e f_b , cujas densidades de fluxo são expressas por $S(f_a)$ e $S(f_b)$, respectivamente. Os valores de f_a , f_b

e suas respectivas densidades de fluxo médias em sfu (unidades de fluxo solar) para um dado dia de observação, são extraídos de sites na Internet.

Um dos objetivos do projeto é sistematizar estes cálculos, através do desenvolvimento de uma rotina para interpolação das densidades de fluxo e de calibração dos dados.

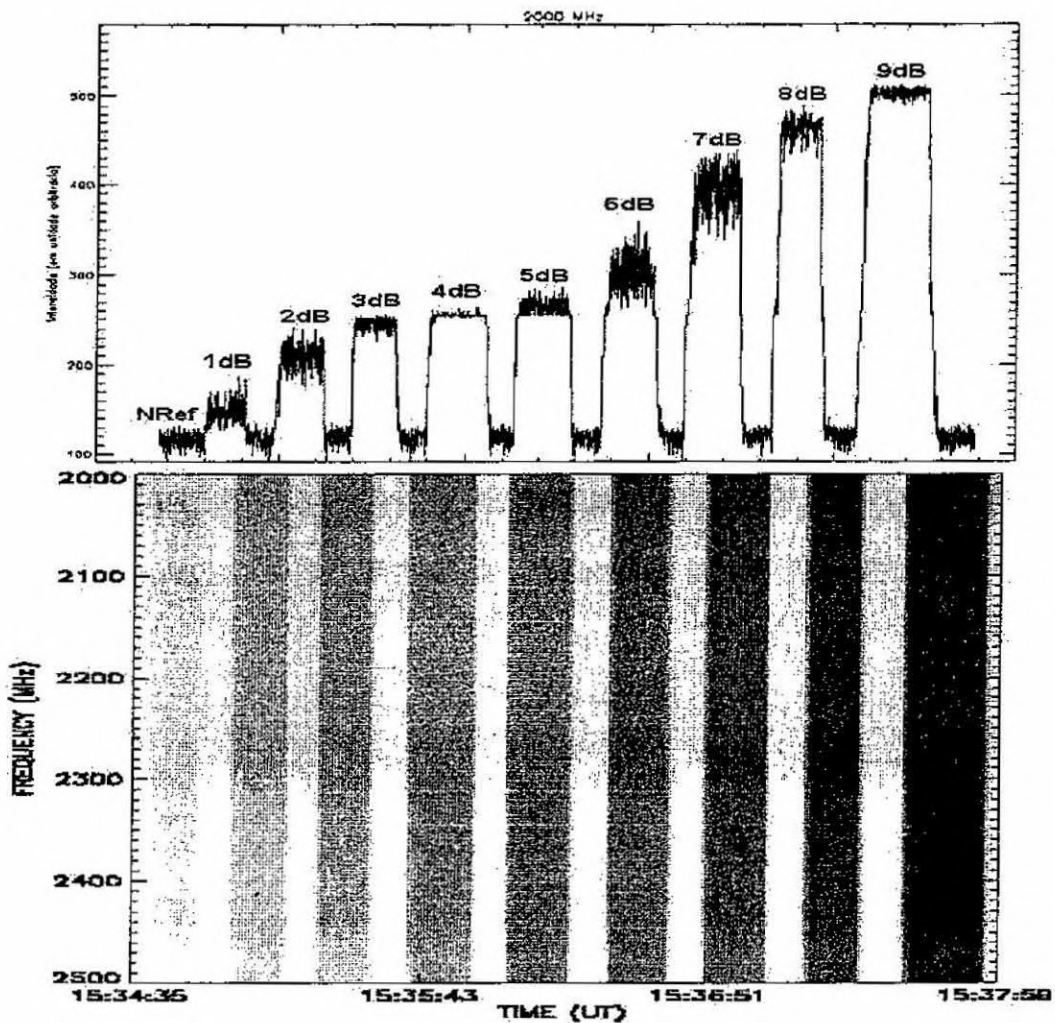


Fig. 9 - Registros da calibração em intensidade feita pela variação do nível de referência de 1 a 9 dB: perfil temporal (acima) e espectro dinâmico (abaixo).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Através dos estudos realizados e das referências obtidas através de leituras, foi possível conhecer e obter materiais (dados) que foram aplicados aos métodos (etapas do projeto), resultando na implementação do projeto.

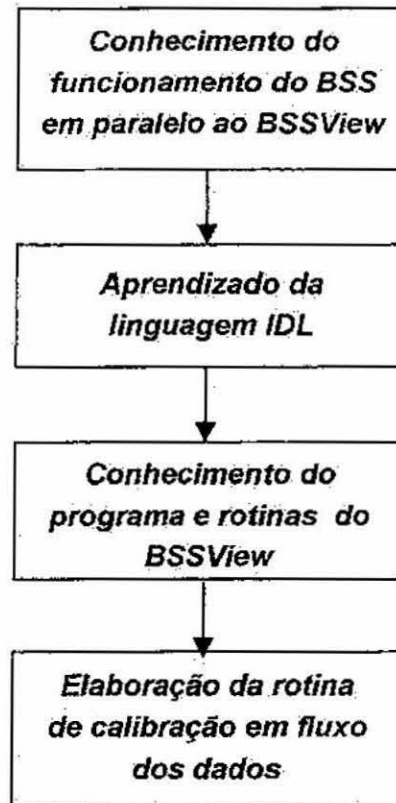
3.1. MATERIAIS

Segue abaixo os materiais utilizados e que foram imprescindíveis na execução do projeto:

- BSS;
- Programa BSSView;
- Ambiente de Programação IDL;
- Dados obtidos através da Internet (frequência e seu respectivo fluxo em um determinado dia de observação) para interpolação;
- Dados obtidos através do BSS (dados de calibração e eventos associados ocorridos no mesmo dia) para interpolação com os dados obtidos da Internet para obtenção dos fluxos estimados em cada frequência;
- Escala de decibéis para conversão dos dados de unidade arbitrária para dB's;

3.2. MÉTODOS

Os métodos ou procedimentos utilizados na execução do projeto foram transcritos na forma de um fluxograma onde estão relacionadas as principais atividades desenvolvidas no decorrer do projeto.



A fase de elaboração do projeto pode ser dividida em três etapas. Cada etapa está encontra-se explanada separadamente logo abaixo:

Etapa 1 – Interpolação dos dados captados pelo BSSView a partir de dados de fluxo em outras frequências obtidos via Internet

Esta etapa foi simples. Não tive muita dificuldade no desenvolvimento de uma rotina em IDL que executasse a interpolação dos dados.

Para a realização desta etapa foram necessários dados obtidos de sites da Internet (frequência e fluxo solar). Esses dados, foram interpolados através do método proposto por Guidice e Castelli (ver em 2.4) com os dados registrados pelo BSSView, resultando num fluxo solar estimado para cada frequência.

Etapa 2 – Conversão da calibração feita manualmente através do BSSView em dB's, através de uma escala de dB's obtida através da Internet

No BSSView é realizada uma calibração de intensidade diária, manualmente, variando as escalas de dB's do aparelho analisador de espectros. Isso é salvo em um arquivo denominado arquivo de calibração. Neste arquivo estão as escalas em dB's, mas não em unidades de dB's, e sim arbitrárias (figura 10). Por isso, a necessidade da conversão desses valores em dB's.

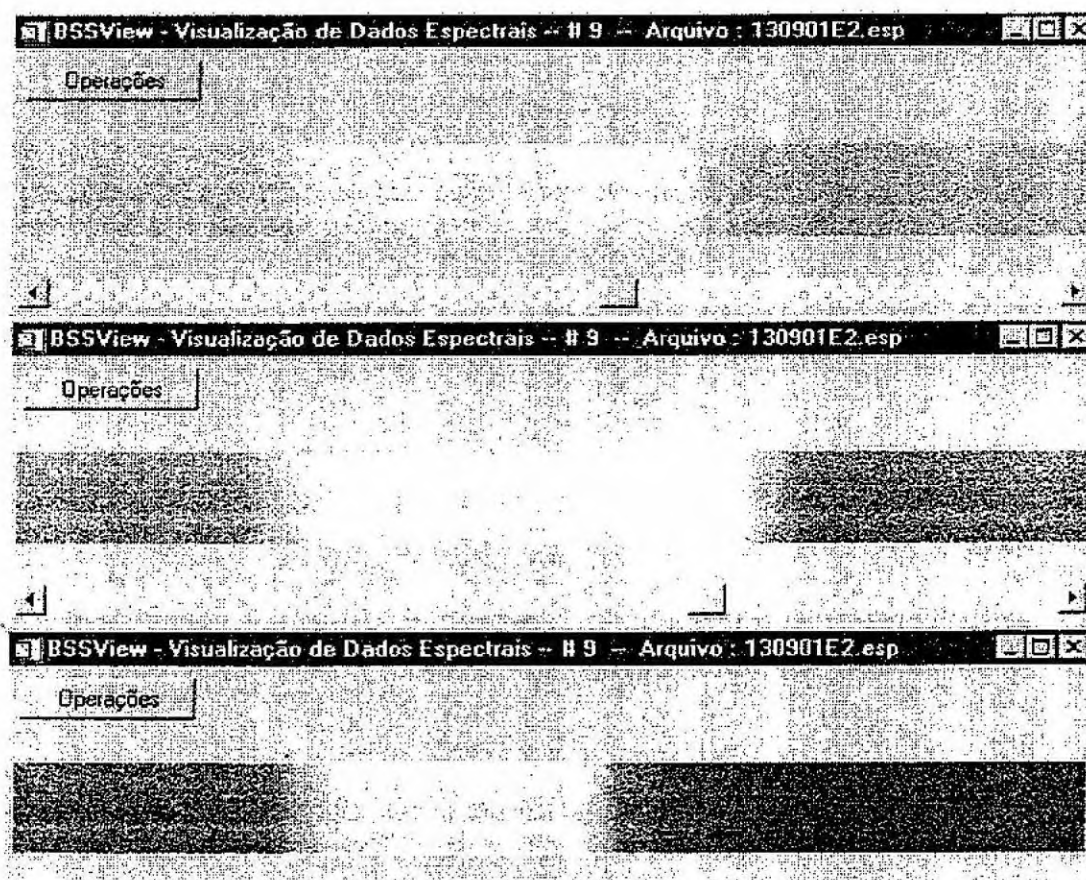


Fig. 10 - Arquivo de calibração em intensidade, dividida em partes para melhor visualização, feita pela variação do nível de referência de 1 a 7 dB.

Para isso, esta etapa a dificuldade já foi um pouco maior, por isso não foi desenvolvida uma rotina, sendo todo o processo de conversão feito em um editor de planilhas, mais precisamente o Excel.

Nesta etapa foram gerados gráficos com esses dados para uma análise de como seria a curva do mesmo. Esses gráficos encontram-se no capítulo de resultados.

Etapa 3 – Interpolação em um gráfico: Fluxos estimados através do método proposto por Guidice e Castelli X Interpolação absoluta obtidas através da interpolação em dB's

Esta etapa ainda não foi concluída. Estão sendo discutidos, com o orientador e coordenador, o formalismo matemático e a metodologia para dar continuidade na sistematização de calibração dos dados a partir de material já existente.

4. RESULTADOS

Neste capítulo serão mostrados os resultados alcançados após a realização de cada método adotado desde o início do projeto, e das etapas utilizadas para o desenvolvimento do projeto.

4.1. CONHECIMENTO DO FUNCIONAMENTO DO BSS

Através de leituras e conhecimentos de pessoas do grupo que trabalham diretamente com o BSS e que são responsáveis pela manutenção do mesmo, pude saber perfeitamente como é o seu funcionamento, assim como conhecer as partes que o compõem.

4.2. CONHECIMENTO DO BSSVIEW

Utilizando o conhecimento adquirido do BSSView foi possível paralelamente ao projeto, participar na análise de dados de explosões solares, através da obtenção de espectros dinâmicos e perfis temporais.

4.3. APRENDIZADO DA LINGUAGEM IDL

Após o aprendizado do ambiente de programação IDL, através da leitura dos manuais (Manuais do IDL, Research Systems, Inc. Building IDL Applications Version 5.2) e execução de seus tutoriais e "demo", pude conhecer os comandos e suas respectivas funções, e começar a desenvolver simples fragmentos de códigos para familiarização e melhor assimilação do aprendizado. Desta forma pude aprender os principais comandos que seriam necessários para o desenvolvimento do projeto.

4.4. ROTINA DE CALIBRAÇÃO

Como já foi dito, a fase de desenvolvimento da rotina foi efetuada em etapas. Desta forma, a cada etapa alcançada obteve um resultado. A seguir serão apresentadas os resultados obtidos em cada etapa de desenvolvimento.

Após a conclusão da etapa 1, foram feitos cálculos manualmente da expressão (1) a fim de comparar com o cálculo da rotina para a comprovação de que a mesma estava correta. E, através dessa rotina, foram geradas algumas tabelas para eventos específicos, onde há ocorrência de explosões solares.

A seguir é apresentada uma destas tabelas:

Frequência	Fluxo Calibrado	Frequência	Fluxo Calibrado
2050	132.432	2150	136.110
2054	132.581	2154	136.256
2058	132.729	2158	136.401
2062	132.877	2162	136.547
2066	133.026	2166	136.692
2070	133.174	2170	136.837
2074	133.322	2174	136.982
2078	133.469	2178	137.127
2082	133.617	2182	137.272
2086	133.765	2186	137.417
2090	133.912	2190	137.561
2094	134.06	2194	137.706
2098	134.207	2198	137.85
2102	134.354	2202	137.994
2106	134.501	2206	138.138
2110	134.648	2210	138.282
2114	134.795	2214	138.426
2118	134.941	2218	138.57
2122	135.088	2222	138.714
2126	135.234	2226	138.857
2130	135.381	2230	139.001
2134	135.527	2234	139.144
2138	135.673	2238	139.288
2142	135.819	2242	139.431
2146	135.965	2246	139.574

Tab. 2 - Tabela de Fluxo Calibrado obtida através da rotina que efetua o cálculo da expressão (1), aplicada no evento ocorrido dia 22/08/2001.

Conforme já foi dito, após a conclusão da etapa 2, foram gerados alguns gráficos em determinadas frequências, para analisar qual a tendência da curva: conversão em dB X dados em unidade arbitrária.

Foram gerados especificamente 3 gráficos, correspondentes a 3 determinadas frequências (inicial, intermediária e final). Na figura 11 são apresentados dois desses gráficos.

Grafico da frequência 2050
Evento: 130901d8.esp

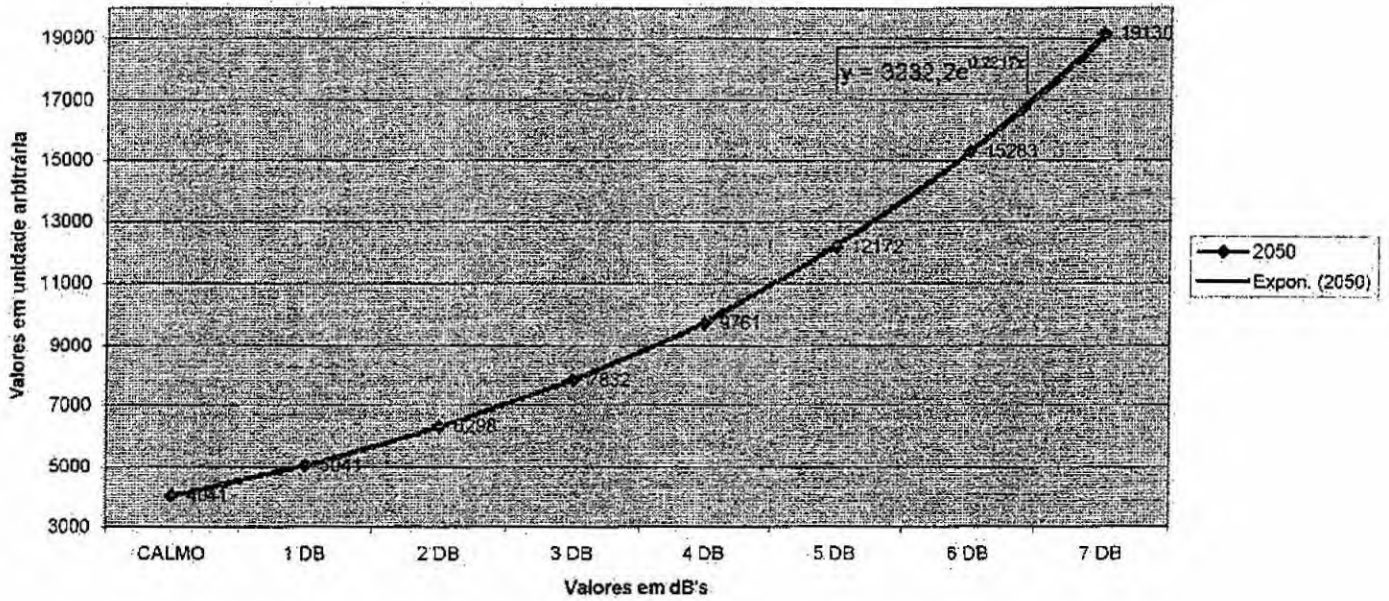


Grafico de DB's na frequência 2150
Evento: 130901d8.esp

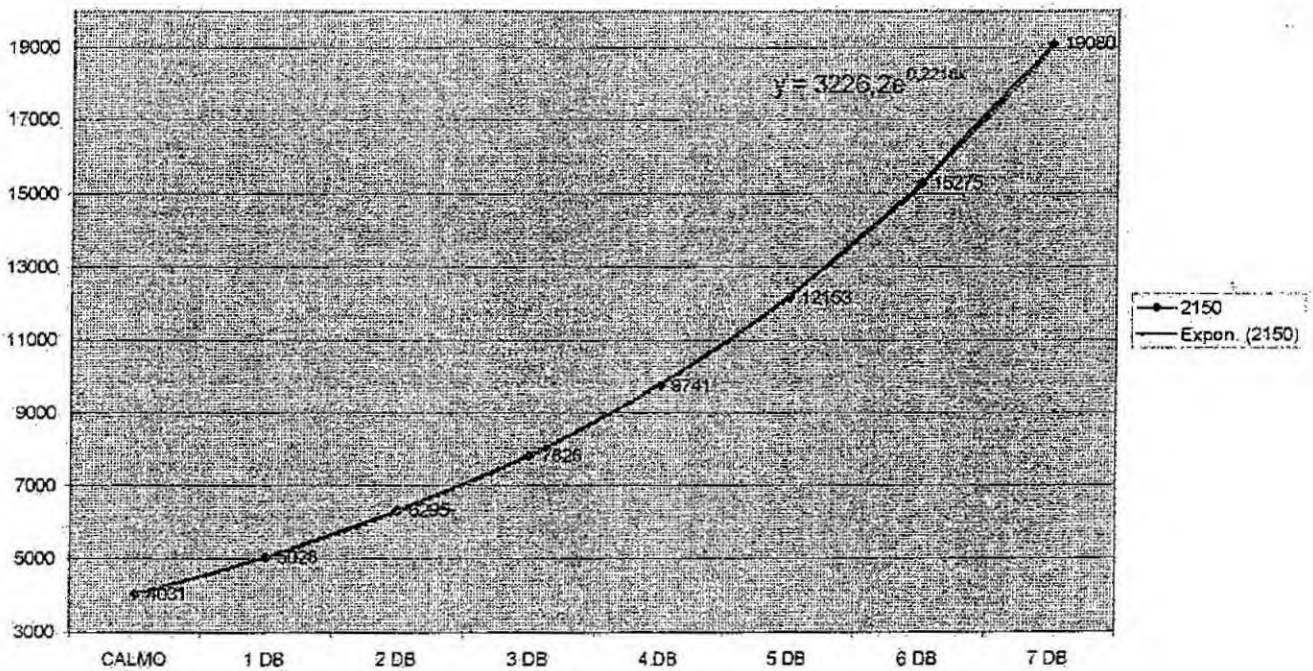


Fig. 11 - Gráficos gerados a partir dos dados do evento ocorrido dia 13/09/2001.
Frequências inicial (acima) e final (abaixo).

Paralelamente a estes métodos e testes realizados, está sendo elaborada a interface com o usuário, para que depois de todas as etapas

concluídas, possa enfim inserir esta nova rotina ao código do programa BSSView.

Até o momento foi inserido um botão, "Calibrar Fluxo (Teste)", em um dos menus do BSSView (figura 12), servindo de interface para a execução das rotinas que estão em teste.

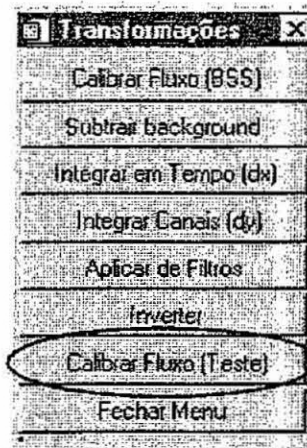


Fig. 12 - Menu de opções contendo o botão de interface para teste das rotinas que estão sendo desenvolvidas.

5. CONCLUSÃO

Conforme apresentado no presente relatório, pelo período de execução do projeto até o momento, foram realizadas inicialmente atividades sobre o funcionamento global do BSS, em particular do sistema de aquisição e do formato dos dados digitais e dos programas de visualização e tratamento de dados em utilização. Para em seguida da início ao desenvolvimento do projeto, após um estudo sobre o IDL e sobre a estrutura de programação do BSSview.

Apesar de não estar totalmente concluído, já foram obtidos avanços e resultados significativos dentro do projeto, que refletem a minha boa integração com o grupo de pesquisa e com as atividades em andamento. Entre os principais resultados já obtidos podem citar:

- a) Aprendizado do ambiente de programação IDL (*Interactive Data Language from Research Systems*), no qual os programas para o tratamento dos dados do BSS são desenvolvidos;
- b) Aprendizado na manipulação do programa BSSView usado pelo grupo para a visualização e o tratamentos dos dados digitais das observações solares realizadas pelo BSS;
- c) Aprendizado na manipulação do programa BSSData, também utilizado para visualização dos dados digitais da observações solares;
- d) Familiarização com a estrutura de programação do BSSView, que facilitará alguma modificação no mesmo futuramente;
- e) Desenvolvimento de parte das rotinas para calibração dos dados digitais obtidos através do BSS;

Sendo assim, existem ainda atividades a serem realizadas para dar continuidade a este projeto. Dentre elas podemos citar:

- a) Aperfeiçoamento do conhecimento da linguagem IDL e da estrutura do programa do BSSView;
- b) Finalização do projeto proposto, que é o desenvolvimento de rotinas de calibração para os dados digitais obtidos através das observações realizadas através do BSS, incluindo uma interface com o usuário.
- c) Levantamento das necessidades de adaptação e/ou desenvolvimento de rotinas específicas para aplicação na análise das explosões solares selecionadas.
- d) Participação no desenvolvimento e/ou modificação e implementação de rotinas específicas para a análise das explosões observadas

Portanto, através desse trabalho, pude começar a aprender e ainda a trabalhar em um novo ambiente de programação, uma nova linguagem, o IDL, uma linguagem que é bastante utilizada na área científica, em particular em pesquisas espaciais. Este aprendizado será de grande motivação e interesse, pois me permitirá adaptar rotinas do programa já utilizado pelo grupo no projeto BSS, para a análise dos dados das explosões solares, que é o principal objetivo deste projeto, de forma a proporcionar uma excelente oportunidade de aprofundar meus estudos e interesses pela área de computação científica.

Aproveito para agradecer especialmente ao CNPq, pela concessão da bolsa de Iniciação Científica, juntamente com o INPE, pela oportunidade dada, a nós estudantes universitários, de estarmos aperfeiçoando e vivenciando os conhecimentos visto em sala de aula na prática e agradecer a todos que me auxiliaram e me ajudaram neste período de projeto, principalmente ao meu orientador Dr. Hanumant S. Sawant e ao Dr. Francisco C. R. Fernandes, pelas nossas discussões com relação ao projeto.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fernandes, F.C.R., Tese de Mestrado, INPE, 1992.
- Fernandes, F.C.R., Tese de Doutorado, INPE, 1997.
- Faria, C., Trabalho de Graduação - Ciência da Computação, UFSCar, 1996.
- Faria, C., Dissertação de Mestrado, INPE, 1999.
- Fernandes, F.C.R., Sawant, H.S. Proc. 6th Brazilian Plasma Astrophysics Workshop, 125, 1996
- Fernandes, F.C.R., Meléndez, J.L., Sawant, H.S Proc. 7th Brazilian Plasma Astrophysics Workshop, 357, 1998
- Fernandes, F.C.R.; Sawant, H.S.; Zheleznyakov, V.V. Advances in Space Research, 17(4/5), 143, 1996a.
- Fernandes, F.C.R.; Sawant, H.S.; Zheleznyakov, V.V. Solar Physics, 168(1): 159, 1996b.
- Fernandes, F.C.R., J.R. Cecatto, J.A.C.F. Neri, C. Faria, A.R.F. Martinon, R.R. Rosa, F.P.V. Mesquita, V.A. Portezani, M.C. Andrade, E.M.B. Alonso, H.O. Vats e H.S. Sawant, Boletim da SAB, Vol. 20, No. 2, 33, 2000.
- Guidice, D.A., Castelli, J.P., IEEE Trans. On Aerospace and Electronic Systems, 7(2). 226, 1971
- Hudson, 1971
- Martinon, A.R.F., Relatório de Iniciação Científica - PIBIC-CNPq/INPE, 2000.
- Meléndez, J.L., Sawant H.S.; Fernandes, F.C.R.; Benz, A.O., Solar Phys., 187, 77, 1998.
- Sawant, H.S.; Fernandes, F.C.R. and Neri J.A.C.F., Astrophysical Journal Supplement Series, 90, 689-691, 1994.
- 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, 2000.
- Sawant et. Al., 1996
- Sawant et. Al., 2001
- Targa, P.E.A. Relatório Final de Iniciação Científica - PIBIC/CNPq - INPE, 1998.