

## DESENVOLVIMENTO DE CHAVE DE POLARIZAÇÃO PARA O ESPECTRÓGRAFO DECIMÉTRICO

Flávia Aparecida Corrêa

Universidade do Vale do Paraíba - Univap

Oreintador: Dr. H.S. Sawant

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

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

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

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

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

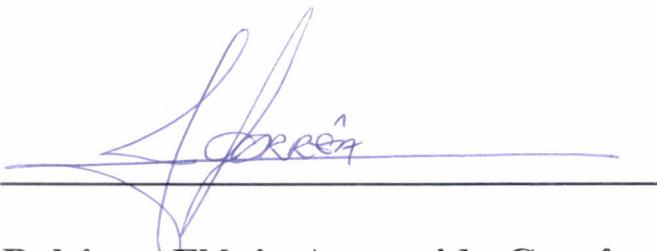
Entre as atividades realizadas até o momento, participamos do desenvolvimento de um sistema eletrônico que gera, a partir da varredura do Analisador Espectral (receptor), os dois sinais referentes às polarizações circulares R e L para os diodos de chaveamento e os envia para os sistemas de aquisição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

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**PIBIC/CNPq - INPE**

**RELATÓRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**

**08/96 - 06/97**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Flávia Corrêa', is written over a horizontal line.

**Bolsista: Flávia Aparecida Corrêa**

---

**Orientador: Dr. Hanumant Shankar Sawant**

**DESENVOLVIMENTO DE CHAVE DE  
POLARIZAÇÃO PARA O ESPECTRÓGRAFO  
DECIMÉTRICO**

## RESUMO

O Espectrógrafo Decimétrico de Banda Larga (200-2500 MHz), de alta resolução temporal (10-1000 ms) e alta resolução espectral (3-10 MHz) (WDDHRS), está em operação regular para observações solares, na sede do INPE, em São José dos Campos, desde maio de 1996.

Durante o trabalho de Iniciação Científica realizado, tomamos conhecimento do completo funcionamento e operação do WDDHRS e participamos nas observações solares sistemáticas.

Está em andamento a modificação deste instrumento para operar como POLARÍMETRO decimétrico, através do qual pretende-se observar explosões solares decimétricas acima de 1000 MHz, em particular “blips”, tipo III, “spikes” e “patches” e registrar os graus de polarização destas explosões.

Entre as atividades realizadas, participamos do desenvolvimento de um sistema eletrônico que controla o chaveamento dos diodos que gera os dois sinais referentes às polarizações circulares R e L e os envia para os sistemas de aquisição de dados. Também foi desenvolvido um sistema para gerar o sincronismo entre os dois sinais de polarização, que será aplicado à entrada do Osciloscópio, possibilitando a aquisição do espectro dinâmico separadamente nas duas polarizações.

Foi também feita uma revisão das principais propriedades dos flares solares e das explosões solares tipo III observadas na faixa decimétrica. Foi também realizada a análise de explosões solares tipo III decimétricas (100-3000 MHz) observadas pelo Rádio Espectrômetro PHOENIX, para definir os procedimentos de análise que serão utilizados nos dados de explosões observadas pelo WDDHRS.

**ÍNDICE**

1 - CAPÍTULO 1	05
1.1 - Introdução	05
1.2 - Explosões Solares Tipo III	06
1.3 - Polarização	06
1.4 - Instrumentação	07
2 - CAPÍTULO 2	08
2.1 - Sistema de Aquisição de Dados de Polarização	08
2.2 - Observações Solares	10
3 - CAPÍTULO 3 -	14
3.1 - Análise de Dados de Explosões Solares	14

**BIBLIOGRAFIA**

## CAPÍTULO 1

### 1.1 INTRODUÇÃO

Os flares solares são fenômenos explosivos, que ocorrem na atmosfera do Sol, que liberam grandes quantidades de energia, na forma de radiação eletromagnética, partículas carregadas e ejeção de matéria, e produzem desde emissões em raios- $\gamma$  e raios-X a emissões em ondas de rádio.

De uma maneira geral, durante os flares, ocorre a liberação de energia que causa o aquecimento e aceleração de elétrons do plasma ambiente, nas chamadas regiões de aceleração. Os feixes de elétrons energéticos acelerados durante os flares, viajam ao longo das linhas de campo magnético, associado às regiões ativas e geram as explosões tipo III e suas variantes pela interação com o plasma e emissões em raios-X duros, nos pés dos loops magnéticos (Figura 1).

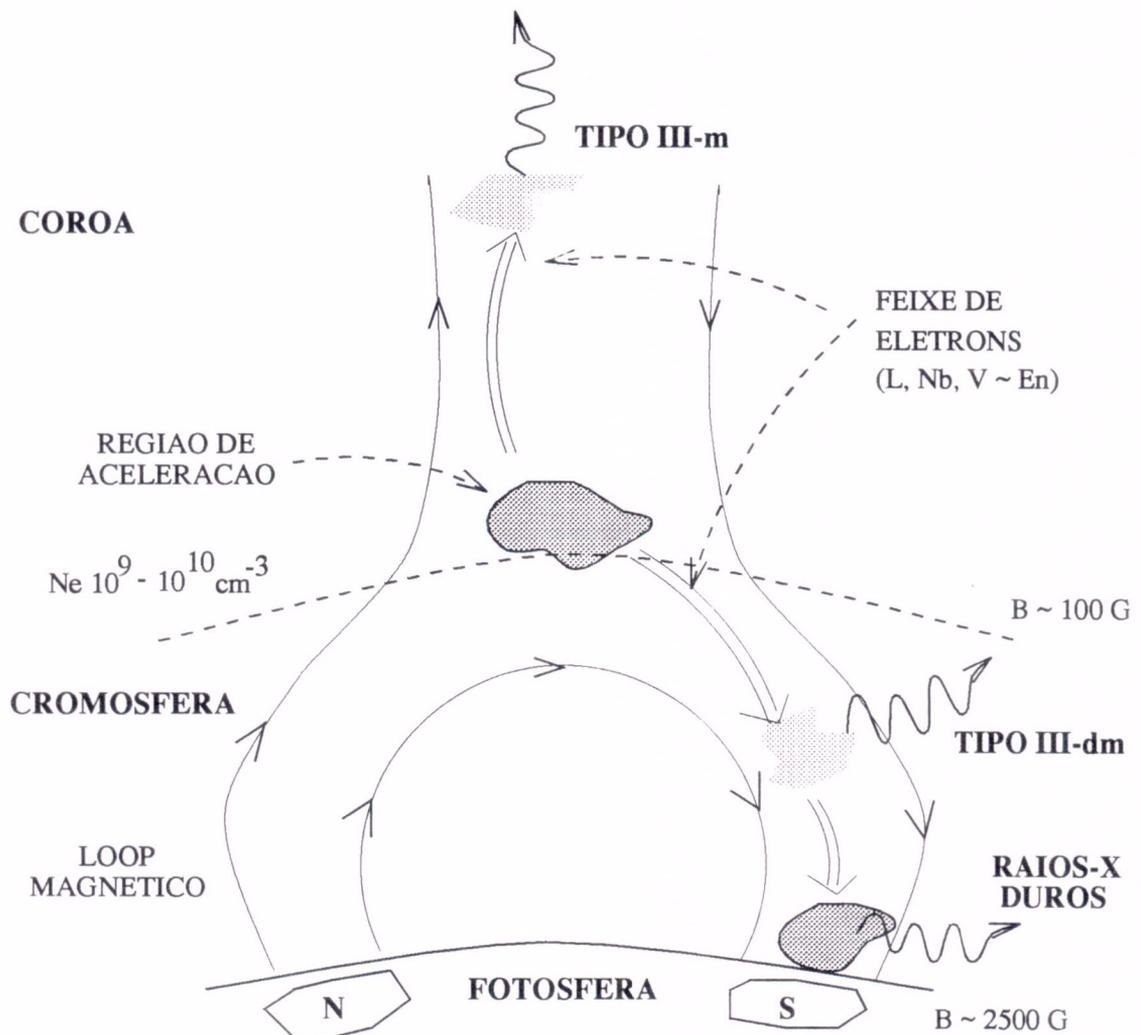


Fig. 1 - Representação simplificada de uma região ativa solar mostrando uma região de aceleração de elétrons e as fontes de emissões tipo III e emissões em raios-X duros, que ocorrem durante os flares solares.

## 1.2 EXPLOSÕES SOLARES TIPO III

É bem aceito atualmente que as explosões solares tipo III são produzidas por elétrons energéticos acelerados durante a fase impulsiva dos flares solares (Benz et al., 1992), portanto o estudo destas emissões é muito importante nas investigações dos processos de liberação de energia dos flares solares. O mecanismo mais aceito considera que estas emissões é resultado da interação do feixe de elétrons com o plasma da atmosfera solar.

As principais características das emissões tipo III decimétricas são as seguintes:

1. São observadas em um intervalo de frequências desde cerca de 500 MHz até 2500 MHz;
2. Raramente ocorrem isoladamente, e sim preferencialmente em grupos de 10 ou mais explosões;
3. Para frequências acima de 1000 MHz, a duração é inferior a 500 ms;
4. A velocidade do feixe de elétrons é da ordem de 15 % a 30 % da velocidade da luz;
5. A polarização circular varia aproximadamente de 20 % a 40 %;

## 1.3 POLARIZAÇÃO

As explosões solares tipo III decimétricas e variantes são parcialmente polarizadas e a polarização é função da frequência e do tempo (Simnett e Benz, 1986).

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

Justamente pela grande importância das observações com polarização, nas investigações dos mecanismos de emissão de explosões solares, o grupo ligado à Linha de Pesquisa de Física do Meio Interplanetário (FMI) está promovendo modificações no Espectrógrafo Decimétrico de Banda Larga (WDDHRS) (Fernandes, 1997), para operar como POLARÍMETRO decimétrico (Sawant et al., 1996).

Através do polarímetro pretende-se observar explosões solares decimétricas acima de 1000 MHz, particularmente emissões tipo III, e estruturas finas (Sawant et al., 1994; Fernandes et al., 1996) e obter registros dos graus de polarização destas explosões, aplicadas na investigação dos mecanismos de emissão destas explosões e na determinação do campo magnético na fonte.

## 1.4 INSTRUMENTAÇÃO

O Espectrógrafo Decimétrico de Banda Larga (WDDHRS), de alta resolução temporal (10-1000 ms) e alta resolução espectral (3-10 MHz), em operação regular na sede do INPE, desde maio de 1996 em conjunto com uma antena parabólica de 9 metros de diâmetro, utiliza um alimentador de banda larga (200-2000) MHz, composto de um par de antenas log-periódicas cruzadas, instalado no foco da antena parabólica, que permitem a recepção de sinais nas polarizações horizontal e vertical (Fernandes, 1997).

Na saída do alimentador, os sinais recebidos passam por dois pré-amplificadores casados, de ganho aproximadamente igual, na faixa de frequência de (1000-2000) MHz e depois de somados, são introduzidos no sistema receptor (Analisador de Espectros HP) que faz a varredura do sinal na banda de frequências selecionada, em seguida, é enviado para os sistemas de aquisição e monitoramento dos dados de observações solares.

### **Registrador em Papel:**

Este sistema é empregado para monitoramento visual das observações. O sinal é integrado em toda a banda de frequência de observação e em tempo (1 segundo) e as variações são registradas continuamente em papel.

### **Sistema digital:**

O sinal é digitalizado através de uma placa digitalizadora ADDA-12 bits conectada a um micro-computador PC Pentium, com velocidade de processamento de 133 MHz e com 16 Mbytes de memória de acesso aleatório (RAM). O programa permite a aquisição de até 100 canais de frequência com resolução temporal de 10, 100, 200 500 ou 1000 ms. Os dados armazenados na memória RAM são transferidos automaticamente para o disco rígido. Após a observação de um dia, os dados contendo explosões solares são transferidos para uma fita magnética para posterior tratamento em estações de trabalho SUN.

### **Sistema analógico (ótico):**

O sinal é introduzido em um osciloscópio sincronizado com o analisador de espectro e com modulação de intensidade no eixo Z, de forma que, na tela do osciloscópio o eixo horizontal representa a banda de frequência da observação, e o eixo perpendicular à tela representa a intensidade do sinal. Uma câmera fotográfica, acoplada ao osciloscópio através de um guia de luz, registra, em um filme preto e branco 35 mm, as variações de intensidade de brilho da tela do osciloscópio, sendo que a velocidade do filme dependerá da resolução temporal escolhida para as observações solares. Um circuito temporizador produz no filme uma marcação de tempo, a cada um minuto.

## CAPÍTULO 2

### 2.1 SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS DE POLARIZAÇÃO:

O Espectrógrafo Decimétrico está atualmente sendo modificado para operar como Polarímetro Decimétrico, no qual os sinais de polarização passarão por um circuito híbrido de polarização de banda larga. Na saída deste híbrido, serão obtidos os sinais correspondentes às polarizações circulares à direita (R) e à esquerda (L) (Figura 2). Durante este programa de Iniciação Científica foram desenvolvidos os sistemas eletrônicos para este instrumento.

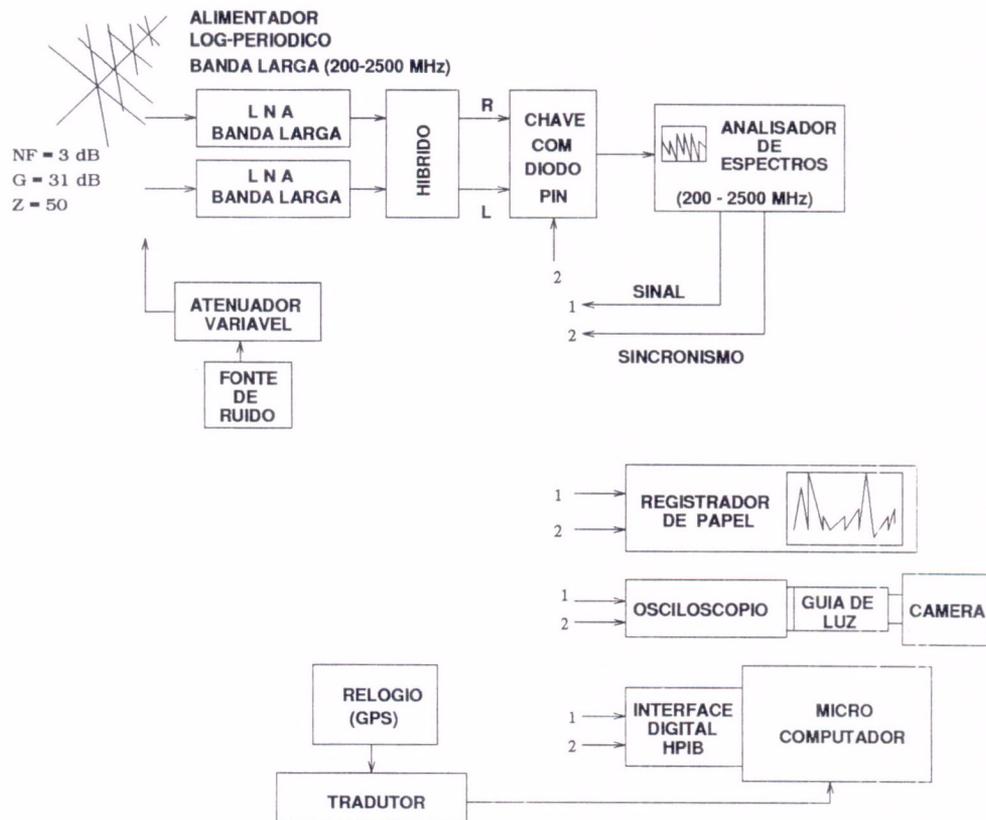


Fig. 2 - Diagrama de Blocos do Polarímetro Decimétrico.

Participamos, juntamente com técnicos e engenheiros do grupo, do desenvolvimento de um sistema eletrônico que, a partir da varredura do Analisador Espectral, gera os dois sinais

empregados no chaveamento para a aquisição quais-simultânea dos sinais referentes às polarizações circulares à direita (R) e à esquerda (L).

Assim, nos 100 ms iniciais teremos um sinal indicando um dos sentidos de polarização circular (à direita (R) ou à esquerda (L)), na varredura seguinte, ou seja, nos próximos 100 ms, teremos o sinal indicando a outra polarização circular, e assim sucessivamente, sempre alternando a cada varredura de 100 ms uma das polarizações (a Figura 3 ilustra este sistema, em funcionamento atualmente). Estes sinais serão enviados para os diodos PIN.

Numa segunda etapa, foi desenvolvido um sistema para gerar um pulso de frequência que seja a metade da frequência de varredura do Analisador Espectral, para ser o sincronismo do sistema que será aplicado à entrada (EXT TRIG) do Osciloscópio (sistema ótico). Assim, teremos a varredura atendendo aos dois canais R e L em posições distintas na tela do osciloscópio, possibilitando a aquisição do espectro dinâmico separadamente nas duas polarizações.

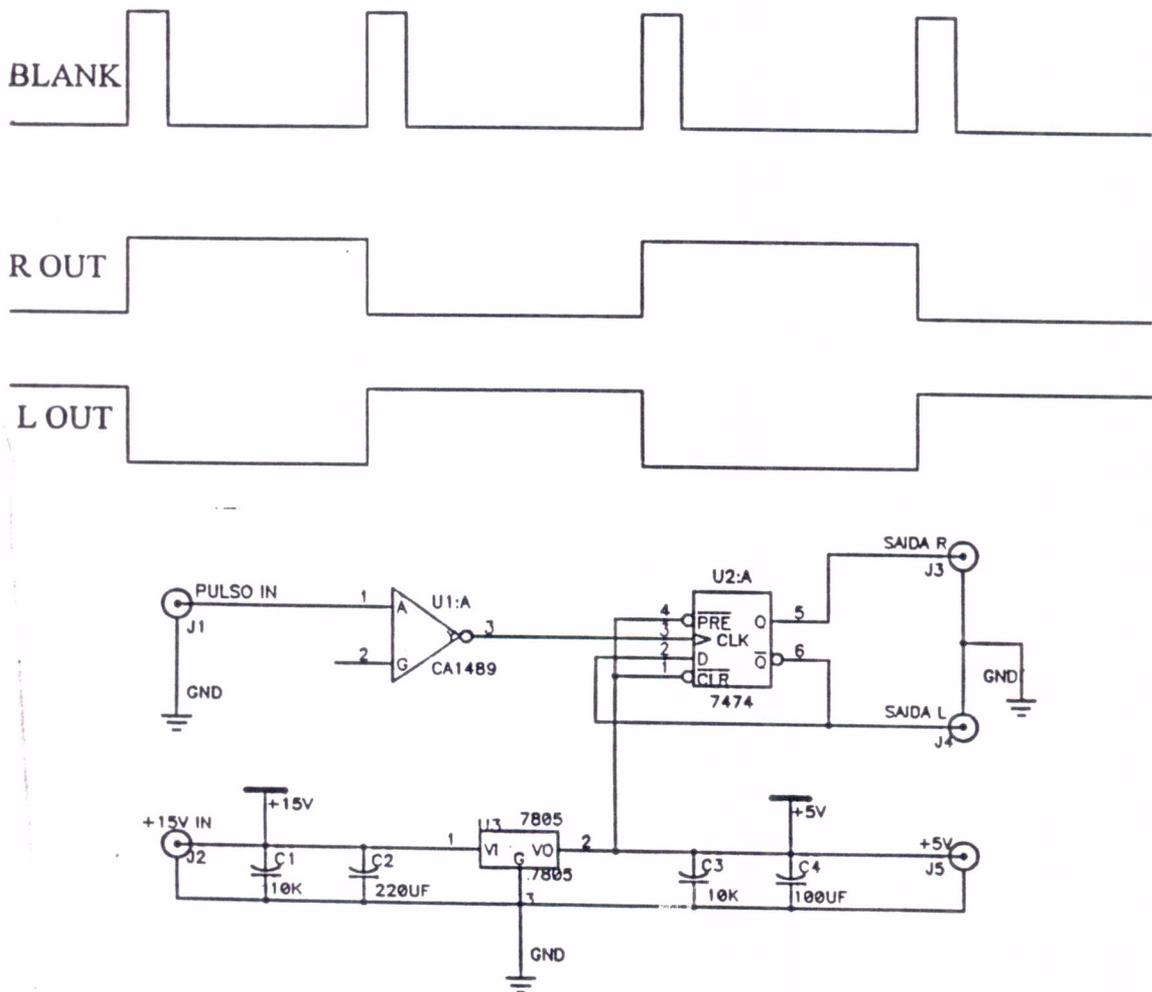


Fig. 3 - Diagrama dos sinais para chavear os diodos PIN (acima) e do circuito gerador do chaveamento (abaixo).

## 2.2 OBSERVAÇÕES SOLARES

Durante este projeto de Iniciação Científica desenvolvido tivemos a oportunidade de fazer uma revisão detalhada da instrumentação e de aprender os procedimentos para a operação do WDDHRS, e participamos das observações solares sistemáticas, somando mais de 250 horas de observações.

Os principais procedimentos seguidos durante as observações são:

1. Ligar os aparelhos (alimentador, analisador de espectros, registrador de papel e osciloscópio) pelo menos uma hora antes do início das observações, para estabilização;
2. Após a estabilização, esperar um trânsito solar e, em seguida, apontar a antena na direção do Sol, e iniciar o rastreamento contínuo ajustando a velocidade através da fonte regulada;
3. Ajustar, no analisador espectral, a banda de frequência de observação, as resoluções temporal e espectral e o nível de referência (intensidade do sinal);
4. Ligar o micro-computador e iniciar a aquisição digital dos dados, através da execução do programa "ESPECT", escolhendo o tempo de aquisição e a resolução temporal desejados;
5. Ligar a câmera filmadora, ajustar a velocidade do filme através da fonte de tensão e a intensidade do osciloscópio;
6. Ligar o circuito temporizador;
7. Em intervalos regulares, geralmente de uma em uma hora, fazer uma marcação de tempo usando o nível de referência do analisador espectral;
8. Checar regularmente o apontamento da antena e corrigi-lo, quando necessário, através do ajuste na frequência do motor;
9. Realizar, ao final da observação, calibrações em intensidade (Figura 4a) e em frequência, (Figura 4b), utilizando os controles do analisador espectral;
10. Finalizar a observação, após um período de cerca de 6 a 8 horas, interrompendo o rastreamento e colocando a antena para voltar à posição inicial;
11. Desligar todos os aparelhos;
12. Finalmente, realizar o processamento (revelação, fixação, lavagem e secagem) do filme, e obtenção do espectro dinâmico;

Todos os procedimentos e acontecimentos realizados durante as observações são devidamente registrados em um livro de observação ("logbook").

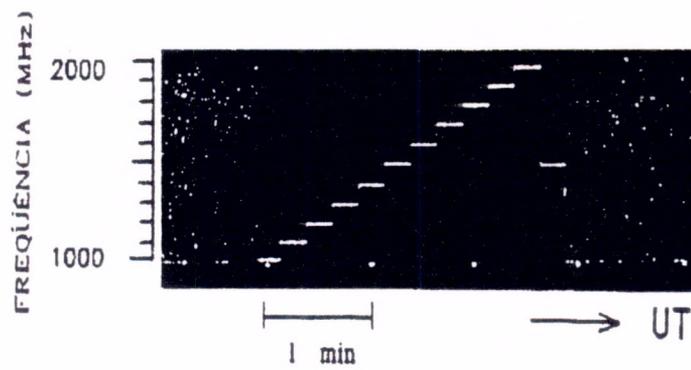
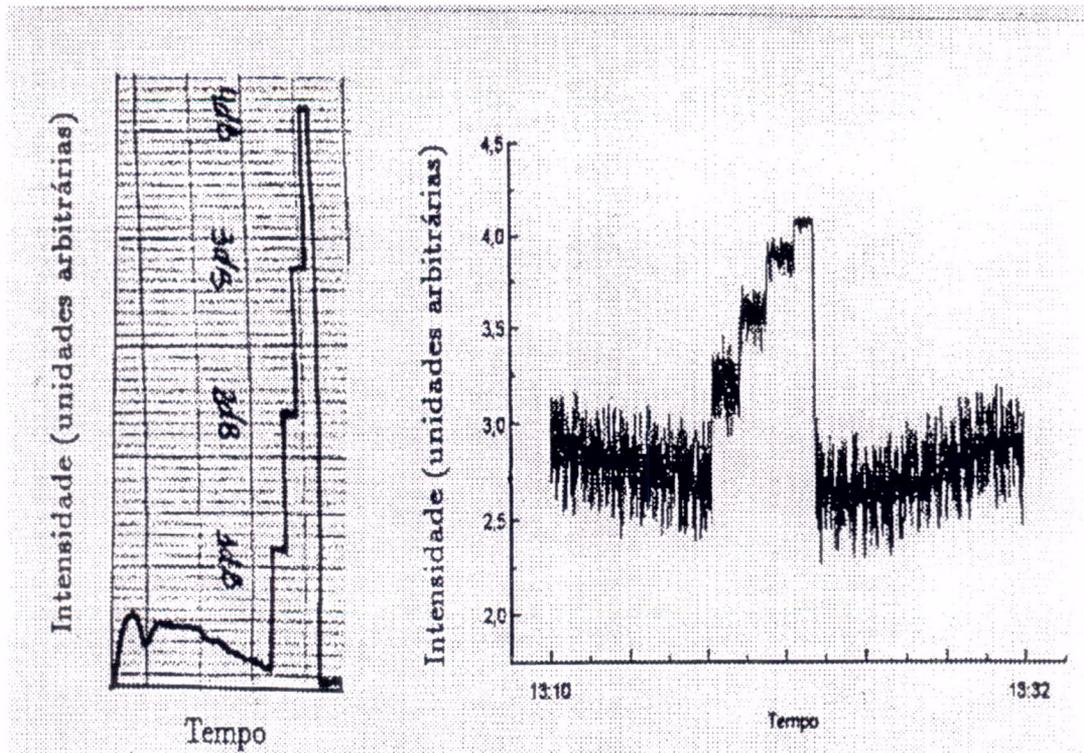


Fig. 4 - acima Registros em papel e digital da calibração em intensidade (1, 2, 3 e 4 dB acima do nível do Sol). Abaixo Espectro dinâmico (filme) mostrando um registro de calibração em frequência (100 MHz/div).

A Figura 5 mostra o exemplo de um trânsito solar observado.

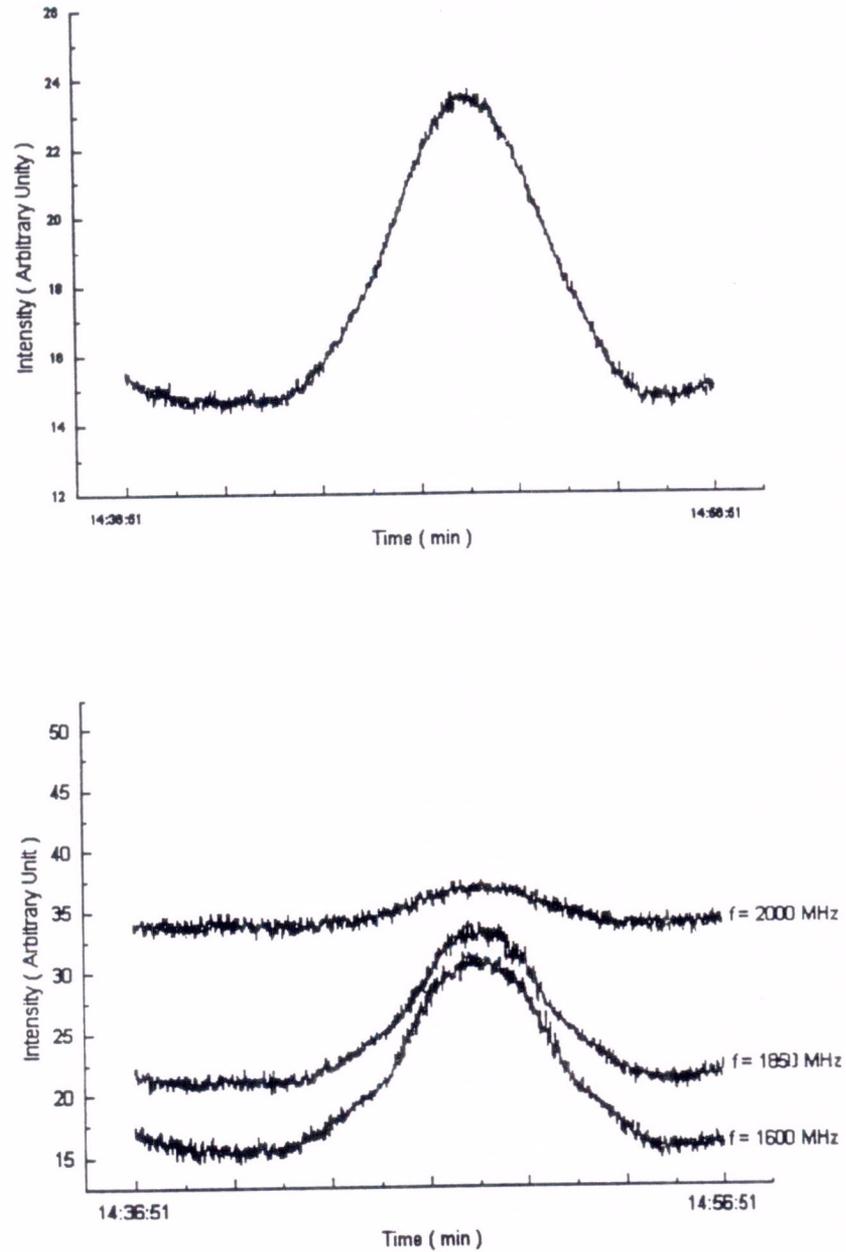


Fig. 5 - Registro digitais de um trânsito solar observado com o WDDHRS: (acima) perfil temporal integrado em todos os canais de frequência; (abaixo) Perfis temporais em três canais de frequência, 1600 MHz, 1850 MHz e 2000 MHz.

Devido à baixa atividade solar durante o último ano, não foram registradas explosões solares utilizando o WDDHRS, neste período.

## CAPÍTULO 3

### 3.1 ANÁLISE DE DADOS DE EXPLOSÕES SOLARES

Apesar do WDDHRS estar atualmente em operação regular, não foram registradas explosões solares desde que entrou em operação, em maio de 1996, pois é sabido que o Sol se encontra num período de baixa atividade (NOAA-USAF Space Weather Operations, 1996) e a probabilidade de ocorrência e observação de explosões solares é baixa.

No entanto, com o objetivo analisar dados de explosões solares semelhantes aos que serão registrados pelo WDDHRS, para definir os procedimentos de análise que serão utilizados nos dados de explosões solares observadas por este instrumento, foi iniciada a análise de explosões solares tipo III decimétricas observadas pelo Rádio Espectrômetro PHOENIX, do Instituto de Astronomia de Zurique (Suíça) (ETH), que é o único instrumento semelhante ao WDDHRS, em operação atualmente, dedicado às observações solares na faixa decimétrica (100-3000 MHz), com registro digital dos dados.

Dentro de um acordo de colaboração com a Linha de Pesquisa de Física do Meio Interplanetário (FMI), do INPE, o Grupo de Radioastronomia do ETH, forneceu dados de explosões solares decimétricas observadas pelo PHOENIX, para serem analisados no INPE.

Os dados digitais das explosões decimétricas, apresentando resolução temporal de 100 ms e em frequência de 14 MHz ou 15 MHz (dependendo da data de observação), foram fornecidos no formato FITS (“Flexible Image Transport System”), contendo no início de cada arquivo um cabeçalho (“header”), com informações de observação e aquisição e a seguir os dados propriamente ditos.

Foi utilizado para a análise dos dados, o pacote gráfico IRAF V2.10.4, nas estações de trabalho SUN, da Divisão de Astrofísica (DAS). Os dados foram visualizados como imagens (espectros dinâmicos) através do programa SAOimage e permitiu classificar as explosões basicamente em explosões tipo III, “spikes” e “patches” (Melendez-Moreno, 1997).

Na Figura 6 é mostrado um exemplo de um grupo de explosões tipo III. O eixo X representa o eixo do tempo em segundos (após o horário UT indicado no topo do espectro dinâmico) e o eixo Y representa a banda de frequência dada em MHz.