



INPE-13051-RPQ/252

**“BRAZILIAN DECIMETRIC ARRAY” – BDA:
O PRIMEIRO INTERFERÔMETRO DECIMÉTRICO DA AMÉRICA LATINA**

H. S. Sawant¹, J. R. Cecatto¹, F. C. R. Fernandes¹, E. M. B. Alonso¹, M. C. Andrade¹, L. F. S. Cicconello¹, A. B. Cassiano¹, F. R. H. Madsen¹, M. J. B. Silva¹, J. W. S. Vilas Boas¹, K. L. R. Souza², C. A. A. Costa², A. O. Souza², R. R. Rosa³, C. Faria^{3,4}, S. Stephany³, N. K. Bethi³, J. D. S. Silva³, L. B. T. Cividanes⁵, C. A. I. Miranda⁵, I. O. G. Vila⁵, B. S. M. C. Galvão⁶, J. V. Vilas Boas⁷, M. S. Ribeiro⁷, N. Sato⁷, L. C. L. Botti⁸, C. M. Silva⁹, J. H. Saito¹⁰, C. E. Moron¹⁰, N. D. Mascarenhas¹⁰, I. C. Abrão⁴, K. R. Subramanian¹¹, R. Ramesh¹¹, M. S. I. SundaraRajan¹¹, E. Ebenezer¹¹, G. Swarup¹², S. Ananthakrishnan¹², M. R. Sankararaman¹², N. V. Nagarathnam¹², A. V. Sondur¹³, D. E. Gary¹⁴ e W. J. Welch¹⁵

1. *Divisão de Astrofísica - DAS/INPE*
2. *BDA – INPE/Cachoeira Paulista*
3. *Laboratório de Computação e Matemática Aplicada – LAC/INPE*
4. *Departamento de Computação – DC/PUCMinas*
5. *Divisão de Eletrônica Aeroespacial - DEA/INPE*
6. *Laboratório de Integração e Testes – LIT/INPE*
7. *Setor de Mecânica e Desenho - SMD/INPE*
8. *Centro de Rádio-Astronomia e Astrofísica Mackenzie – CRAAM/INPE*
9. *Neuron Eletrônica*
10. *Departamento de Computação – DC/UFSCar*
11. *Indian Institute of Astrophysics – IIA, Índia*
12. *National Center of Radio Astronomy – NCRA/TIFR/GMRT, Índia*
13. *Inteltek Automation Ltd., Índia*
14. *New Jersey Institute of Technology – NJIT, U.S.A.*
15. *University of California, Berkeley – UCB, U.S.A.*

RESUMO

Uma equipe de cientistas brasileiros está envidando esforços para desenvolver o Arranjo Decimétrico Brasileiro (BDA – “Brazilian Decimetric Array”). O BDA é um rádio telescópio de 38 elementos, que emprega técnicas de rádio interferometria moderna para operar na faixa de frequências de 1,2-6,0 GHz com linhas de base finais de 2,50 km por 1,25 km nas direções Leste-Oeste e Sul, respectivamente. Este instrumento obterá imagens de fontes de rádio, incluindo o Sol, com uma resolução espacial de 4×6 segundos de arco no modo “snap shot”, e resolução temporal de 100 ms. O protótipo do interferômetro BDA, consistindo de 5 antenas, com uma linha de base de até 220 m na direção Leste-Oeste, operando em (1,2 - 1,7) GHz, com resoluções espacial de 2,4 minutos de arco e temporal de 100 ms, foi colocado em operação de forma bem sucedida, no INPE de Cachoeira Paulista Paulista (Latitude $45^{\circ} 00' 20''$ Oeste e Longitude $22^{\circ} 41' 19''$ Sul), nos meses de Novembro-Dezembro de 2004, para observações solares e não-solares. O hardware e software foram testados com sucesso por quase um ano para operação em ambiente e condições adversos tais como chuvas torrenciais com tempestade de relâmpagos e altas temperaturas. Isto nos permitiu desenvolver e especificar o projeto BDA no sentido de otimização dos custos de integração com um melhor desempenho. Algumas rádio fontes, tais como Cygnus-A e Crab Nebula, além do Sol foram observadas. Além disso, foi obtido um mapa unidimensional da distribuição de brilho no Sol. Neste trabalho estão descritos detalhes do instrumento: procedimento de calibração em amplitude e fase, fluxo mínimo detectável/feixe, dependência da resolução espacial com o comprimento das linhas de base, breve descrição do hardware e suas especificações. A sensibilidade estimada é de cerca de 3,5 Jy/feixe e 2,5 Jy/feixe, para um tempo de integração de minuto de observações galáticas e extragaláticas, em 1,4 GHz, usando 5 antenas de 4 m de diâmetro e 6 antenas, sendo 1 de 5 m de diâmetro, respectivamente. Para o Sol, temos uma sensibilidade estimada de cerca de 200 Jy/feixe e 140 Jy/feixe, para 100 ms de observações solares, em 1,4 GHz, usando as mesmas 5 antenas de 4 m de diâmetro e 6 antenas, sendo 1 de 5 m de diâmetro, respectivamente. Em breve a sexta antena será instalada no sítio do projeto. Este interferômetro está aberto para toda a comunidade científica para observações solares e não-solares.

**BRAZILIAN DECIMETRIC ARRAY – BDA:
THE FIRST LATIN AMERICAN DECIMETRIC INTERFEROMETER**

ABSTRACT

A team of Brazilian scientists is co-ordinating efforts to develop the Brazilian Decimetric Array (BDA). The BDA is a 38-element radio telescope, which employs modern radio interferometry techniques to work in the frequency range of 1.2-6.0 GHz with final baselines of 2.50 km and 1.25 km in East-West and South directions, respectively. This instrument will obtain radio images from the sun with a spatial resolution $\sim 4 \times 6$ arcseconds. The Prototype of the BDA interferometer consisting of five antennas having baselines up to 220 meters in the east west direction, operating at (1.2 – 1.7) GHz has been successfully put in to operation for solar and non solar observations at Cachoeira Paulista - CP – INPE (Latitude $45^{\circ} 00' 20''$ West and Longitude $22^{\circ} 41' 19''$ South) in the months of November – December 2004. Hardware and software were successfully tested for almost one year for rough operating environment such as down pouring rains associated with thunderstorms and high temperatures. This is enabling us to develop BDA project as per specifications with optimisation of the assembly cost with better performance. Radio sources such as Cygnus-A and Crab Nebula have been observed. Also has been obtained one dimensional brightness temperature map of the sun at 1.6 GHz. In this paper are described details, of the procedure for calibrations in amplitude and phase, minimum flux detectable/beam, dependence of spatial resolutions on length of base lines, brief description of hardware and their specifications. Estimated sensitivity is of about 3,5 Jy/beam and 2,5 Jy/beam for 1 minute of integration time for galactic and extragalactic observations at 1.4 GHz, with 5 antennas of 4 m diameter and 6 antennas one of them being 5 m of diameter, respectively. In case of the Sun, the estimated sensitivities/beam for time resolution of 100 ms are around 200 Jy/beam and 140 Jy/beam at same frequency of observation and same configuration of the antennas as mentioned above. Soon will be installed the 6th antenna. This interferometer is open to all scientific community for solar non solar observations.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento da primeira fase do projeto BDA chega ao fim. Nos últimos três anos tivemos muito trabalho e muita dedicação de todos os membros e colaboradores da equipe da linha de Pesquisas de Física do Meio Interplanetário (FMI) do INPE e das demais instituições participantes. Novamente, os esforços não foram em vão e atingimos nosso principal objetivo nesta etapa: **a conclusão do Protótipo do 1º. Arranjo Interferométrico da América Latina e a obtenção do 1º. mapa solar com o BDA.**

Neste sentido, o grupo da linha de P&D FMI da Divisão de Astrofísica do INPE, junto com todos os seus colaboradores no Brasil e exterior manifestam seus mais profundos agradecimentos àqueles que permitiram avançar, apesar de grandes dificuldades, em busca deste sonho do desenvolvimento do primeiro rádio-interferômetro brasileiro e que agora já é uma realidade. Em especial, nossos agradecimentos às seguintes pessoas:

- **Dr. José Fernando Perez** – Diretor Científico, **Dr. Francisco Antonio Bezerra Coutinho** – Assessor, **Sra. Virgínia G. C. Betim** – Secretária, **Sr. Joaquim José de Camargo Engler** - Diretor Administrativo, **da FAPESP**. Também agradecemos, *aos assessores do projeto BDA e demais autoridades da FAPESP.*
- **Dr. Luiz Carlos de Moura Miranda** – Diretor do INPE, **Dr. Leonel Fernando Perondi**, Coordenador Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial, **Dr. João Braga** – Coordenador de Ciências Espaciais e Atmosféricas, e **Dra. Cláudia Vilega Rodrigues**, Chefe da Divisão de Astrofísica e demais membros do Conselho da DAS. Além disso, em particular ao **Dr. J.H.A. Sobral**, ex-coordenador da CEA-INPE e membro do grupo fundador do projeto BDA, por todo o apoio ao projeto.
- **Dr. R. Nityanand** Diretor do National Center for Radio Astronomy - Tata Institute of Fundamental Research (NCRA- GMRT -TIFR, Pune, Índia),
- **Sr. A. V. Soundar** – Presidente e **Sr. Sunil Raibagi** – Diretor executivo da INTELTEK AUTOMATION Co. Ltd., Índia.
- **Dr. R. Cowsik / Prof. Hanumath Sastry** – Diretor do Indian Institute of Astrophysics, Índia, pelo apoio ao desenvolvimento do sistema digital do projeto BDA, no valor de US\$ 50,000.00 doado ao Projeto.
- A Equipe do Depto. de Computação da PUC-MINAS pela definição da configuração do PBDA em CP.
- Ao Excelentíssimo **Sr. José Rui Hummel Mendonça**, Prefeito do Município de Cachoeira Paulista e a **Sra. Maria da Graça Theodoro Diogo**, Presidente da Câmara Municipal, pelo apoio ao projeto.
- Aos **funcionários do Campus do INPE de Cachoeira Paulista** por todo apoio à implementação de infra-estrutura para instalação do arranjo, em particular ao **Sr. Aluisio A. Silva - Chefe Administrativo**, **Sr. Pedro P. Mota** - Engenheiro eletricista, **Sr. Ismar C. Filho** e **Sr. Carlos A. B. Lopes** - Assistentes administrativos e também aos responsáveis pela instalação da rede computacional, **Sr. Armando Camara Jr.** – gerente de rede CPTEC, **Sr. L. Francisco C. Marin** - administrador de rede CPTEC e **Sr. Sergio S. Rodrigues** - Tecnologista CPTEC. E finalmente ao **Sr. Claudio Bressan** - Chefe do Centro Espacial (INPE-CP) e **Sr. Rubens Rocha** – Prestador de Serviço.
- À nossa querida secretária **Sra. Elaine C. P. Souza** pelo valioso apoio ao trabalho administrativo do projeto BDA.

A todos os colaboradores do Projeto, nacionais ou estrangeiros, pelo apoio, participação e contribuição.

SUMÁRIO

	Pág.
1 - INTRODUÇÃO	8
1.1 - Fases do BDA	8
1.2 - Ciência com o BDA	10
1.2.1 - Física Solar	10
1.2.2 - Observação de radiogaláxias, Quasares, Objetos BL Lacertae e Centaurus A	10
2 - SISTEMA ELETRÔNICO	11
2.1 - “Front -end”	11
2.1.1 - Amplificadores de baixo ruído	11
2.1.2 - Alimentador log-periódico (1,2 – 1,7 GHz)	11
2.2 - Testes funcionais	12
3 - MONTAGEM ALT–AZIMUTAL DAS ANTENA DE 4/5 M DE DIÂMETRO	17
3.1 - As especificações técnicas para montagem alt-azimutal	17
3.2 - Especificações dos motores	19
3.3 - Sistema de rastreamento das antenas	19
4 - RECEPTOR	21
4.1 - Sistema de envio de sinal para programação dos sintetizadores à distância	26
4.2 - Sensibilidade estimada do PBDA - em densidade de fluxo	27
5 - SISTEMA DIGITAL	30
5.1 - Introdução	30
5.2 - Medida da potência total	32
5.3 - Chaveamento Walsh	33
5.4 - Sistema de Atraso Digital	35
6 - CONFIGURAÇÃO DO PBDA	37
6.1 - Escolha da Configuração	37
6.2 - Cobertura do plano uv e feixe do PBDA	38
6.3 - Resolução Espacial	40
6.3.1 - Determinação experimental da resolução espacial	41
6.4 - Esquema de calibração do BDA	41
6.4.1 - Calibração da Amplitude	42
6.4.2 - Calibração em Fase	42
6.4.3 - Aplicação aos dados do BDA	43
7 - OBSERVAÇÕES SOLARES E NÃO-SOLARES	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
APÊNDICE A	53
APÊNDICE B	69

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1.1 – Protótipo de 5 antenas do BDA no INPE-SJC. Ao fundo, a sala de controle (container).....	9
1.2 – As 5 antenas após sua montagem no Sítio do BDA no INPE-CP.	9
2.1 – Medidas de ganho (inferior) e perda de retorno (VSWR) (superior) do amplificador.....	11
2.2 – Desenho de montagem da antena Log-Periódica de duas polarizações operando na faixa de frequência de (1.2 – 1.7 GHz).....	13
2.3 – Alimentadores fabricados e respectivas redomas.....	14
2.4 – Alimentador alocado dentro da redoma, conectados aos pré-amplificadores (LNA) e filtros passa- banda.....	14
2.5 – Diagrama de radiação no Plano H de 4 antenas na frequência de 1,2 GHz.	15
2.6 – Diagrama de radiação no Plano E de 4 antenas na frequência de 1,2 GHz.....	16
3.1 – Ilustração da antena parabólica de 4 metros de diâmetro montada sobre uma base computadorizada em azimute e elevação, constituindo o sistema de rastreamento do BDA.	18
3.2 – Diagrama do sistema de controle para as antenas.	20
4.1 – Diagrama de blocos do receptor.....	22
4.2 – Esquema detalhado do receptor.....	23
4.3 – Foto do receptor (entrada 1,6 GHz e saída 70 MHz) instalado na torre da antena.....	24
4.4 – Foto dos 5 receptores, entrada de 70 MHz e saída banda base de 2,5 MHz (seno e co-seno), instalados no rack dentro do container operacional.	24
4.5 – Configuração do chip MAX3491 do sistema para controle remoto dos sintetizadores de frequência dos receptores.	26
4.6 – Sistema para controle remoto dos sintetizadores de frequência dos receptores.	27
4.7 – Sensibilidade (mJy/beam) do PBDA versus tempo de observação solar, para 1,2-1,7 GHz.....	28
4.8 – Sensibilidade (mJy/beam) do PBDA versus tempo de observação solar, para 1,2-1,7 GHz, considerando a 6ª antena de 5 metros de diâmetro.	28
4.9 – Sensibilidade (mJy/beam) do PBDA versus tempo de observação, para observações galáctica e extra-galáctica em 1,4 GHz.	29
4.10 – Sensibilidade (mJy/beam) do PBDA com 6 antenas versus tempo de observação, para observações galáctica e extra-galáctica em 1,4 GHz.....	29
5.1 – Diagrama de blocos do circuito digitalizador.....	30
5.2 – Circuito do chip correlacionador.....	31
5.3 – Diagrama funcional do chip correlacionador.	31
5.4 – Saída do correlacionador de 1 bit.....	32
5.5 – Medida da potência total usando o correlacionador de 1-bit.....	33
5.6 – Potência total do Sol medido com a antena 1 do BDA em 9 de dezembro de 2004.	33
5.7 – “Crosstalk” em um interferômetro de dois elementos.....	34
5.8 – “DC offset” no conversor A/D do BDA.....	34
5.9 – Esquema do chaveamento usado no BDA.....	34
5.10 – Unidade de atraso digital.....	35
5.11 – Observação do Sol realizada com as antenas 1 e 3 do BDA no modo rastreamento, em 4 de Dezembro de 2004.....	36
6.1 – Plano da localização das antenas para o PBDA, em Cachoeira Paulista, SP.	38
6.2 – Cobertura UV e Feixe Sintetizado (FEP) obtido a partir da configuração do PBDA.	40
6.3 – Conjunto de correlações (pares interferométricos) para as 5 antenas do PBDA.....	40
6.4 – Distribuição de brilho unidimensional do Sol obtida com o PBDA em 11 de Dezembro de 2004 às 15:00 UT.....	45
6.5 – Distribuição de brilho unidimensional do Sol obtida com o PBDA em 11 de Dezembro de 2004 às 17:00 UT.....	45
6.6 – Imagem em ultravioleta da coroa Solar obtida com o satélite SOHO (câmara EIT, canal 195 Å) obtida em 11 de Dezembro de 2004 às 15:00 UT.....	46
6.7 – Distribuição de brilho unidimensional do Sol obtida com o Satélite SOHO. A imagem da Figura 6.6 foi integrada na linha Norte-Sul do Sol e suavizada com um feixe limpo semelhante ao do PBDA.....	46

LISTA DE TABELAS

	Pág.
3.1 – Velocidades, Motores, Variações de Velocidades, Torques.	17
4.1 – Componentes do Receptor do PBDA conforme diagrama de blocos.	24
4.2 – Nível de potência e frequência dos osciladores locais e de referência.	26
6.1 – Comprimentos das linhas de base para o PBDA.	38
6.2 – Parâmetros de entrada da simulação do plano uv.	39
6.3 – Linhas de base e resolução esperada para o PBDA a 1.6 GHz.	41
6.4 – Linhas de base e resolução medida para o PBDA a 1.6 GHz.	41
7.1 – Campanha de observações realizada com o BDA em Cachoeira Paulista.	47

1 - INTRODUÇÃO

O grupo de cientistas e engenheiros da Linha de Pesquisa de Física do Meio Interplanetário do INPE já desenvolveu instrumentos de nível internacional com tecnologia genuinamente brasileira tais como: o Radiômetro Milimétrico de Frequência Variável (RMFV) em operação desde 1988 (Sawant et al., 1992a; Sawant et al., 1994; Cecatto 1996) e o Brazilian Solar Spectroscope (BSS) (Sawant et al., 1990; Sawant et al., 1991; Fernandes, 1992; Sawant et al., 1992b; Sawant et al., 1993; Sawant et al., 1996; Fernandes, 1997; Sawant et al., 2000a; Sawant et al., 2001; Fernandes et al., 2000a) em operação desde 1990. Estes dois instrumentos dedicados a observações solares. O grupo vem trabalhando em um programa para previsão do clima espacial deste 1997 (Rosa et al., 1997; Rosa et al., 2000a, 2000b) e para tornar o Brasil auto-suficiente neste campo vem elaborando nos últimos 6 anos o projeto do “Brazilian Decimetric Array” (BDA) (Sawant et al., 2000b, 2000c; Sawant et al., 2002; Sawant et al., 2003; Cecatto et al., 2004; Sawant et al., 2004; Faria et al.; 2004).

O BDA é um rádio telescópio de custo otimizado que emprega modernas técnicas em rádio interferometria. Em seu formato final este instrumento terá 38 antenas de 5 metros de diâmetro dispostas em forma “T”. O telescópio vai operar em Cachoeira Paulista (Latitude 45° 00’ 20” Oeste e Longitude 22° 41’ 19” Sul) nas faixas protegidas de frequência 1,2-1,7 GHz, 2,8 GHz e 5,6 GHz e uma linha de base final de 2,50 km por 1,25 km. A sensibilidade estimada é de 3mJy a 21 cm para uma temperatura de sistema de 50 K. Isto permitirá a obtenção de imagens das rádio fontes com uma resolução espacial de 4×6 segundos de arco a 5,6 GHz. O BDA é, em suma, um instrumento inédito com suas características, e de nível internacional para investigações de rádio fontes solares e não-solares.

O BDA deverá produzir imagens de fontes de rádio com altas resoluções espacial e temporal e numa grande faixa dinâmica. As imagens solares em rádio obtidas deverão ser utilizadas pela técnica de tomografia espectral que está sendo desenvolvida para aplicações em previsão do clima espacial, e também para melhorar a compreensão a respeito das questões fundamentais da Física Solar. Além disso, o BDA também servirá para efetuar investigações das emissões de rádio galáticas e extra-galáticas do céu do hemisfério Sul, o qual não é acessível para investigações do VLA.

A seguir, é dada uma descrição das fases do BDA, da ciência com o Protótipo de 5 antenas (PBDA) e de vários aspectos, desde o desenvolvimento do sistema eletrônico - parte analógica e digital – até as partes mecânica e elétrica, o software e a configuração do arranjo. Também estão descritas tanto as resoluções espaciais esperada e observada, como a sensibilidade esperada, o procedimento de calibração, e as primeiras observações solares e não-solares, incluindo o primeiro mapa unidimensional do Sol em 1,6 GHz, observado com o PBDA.

1.1 - Fases do BDA

O desenvolvimento do PBDA teve início em dezembro de 2001. O principal objetivo do desenvolvimento deste protótipo de 5 elementos, montado inicialmente no campus do INPE, em São José dos Campos, foi otimizar todos os extensivos testes de engenharia a serem feitos para cada subsistema (Figura 1.1). Em 2004, o sítio do BDA, no campus do INPE em Cachoeira Paulista, foi instalado e toda a infra-estrutura foi providenciada: energia elétrica, água, rede computacional e o sistema de proteção contra descargas elétricas. Assim, o arranjo foi transferido para o campus do INPE em Cachoeira Paulista (INPE-CP), conforme programado no plano de trabalho original (Figura 1.2). O PBDA foi então colocado em operação, sendo implementados o sistema do correlacionador digital e os programas de calibração e para obtenção de mapas unidimensionais. A próxima etapa do projeto terá início em 2005, com a ampliação do número de antenas e das linhas de base do arranjo em forma de “T” até distâncias de 2,50 km na direção Leste-Oeste e 1,25 km na direção Sul. A área do sítio do BDA para esta etapa já foi demarcada e limpa e já foi executado o levantamento topográfico. Atualmente estão sendo feitos estudos do número mínimo de antenas necessárias para obtenção das imagens com alta resolução espacial, que serão instaladas. A expectativa é concluir o arranjo em 2007. A filosofia a ser adotada para dar

continuidade ao desenvolvimento do Projeto é tentar envolver as mesmas empresas e pessoal, que tenham participado no desenvolvimento do protótipo do BDA em São José dos Campos e no aumento das linhas de base em Cachoeira Paulista, de forma que já estejam familiarizados com o projeto. Estas parcerias serão responsáveis pelo desenvolvimento das próximas etapas do projeto BDA e sua manutenção regular posterior. Apenas a manutenção regular necessária para operação de rotina será realizada pelos operadores.



FIGURA 1.1 – Protótipo de 5 antenas do BDA no INPE-SJC. Ao fundo, a sala de controle (container).



FIGURA 1.2 – As 5 antenas após sua montagem no Sítio do BDA no INPE-CP.

1.2 - Ciência com o BDA

1.2.1 - Física Solar

No intervalo de frequências correspondentes às ondas decimétricas dois tipos de emissões solares são observados: radiação girossíncrotron de banda larga e várias estruturas finas devido a mecanismos de emissão de plasma. Diversas estruturas finas que ocorrem ao longo de poucos minutos estão associadas com a fase pré-flare ou com a fase impulsiva dos “flares” solares.

Atualmente, usando rádio observações em ondas decimétricas através do BSS, simultâneas a observações em raios-X e outros comprimentos de onda, estão sendo investigados, no INPE, os seguintes problemas fundamentais da Física Solar: determinação da localização de regiões de aceleração de partículas onde a energia é liberada, dos parâmetros da evaporação cromosférica, do transporte de partículas energéticas, e dos mecanismos de emissão de plasma. Durante o período de desenvolvimento (2005-2007), deverão ser efetuadas investigações simultâneas das imagens em rádio, na faixa de frequências decimétrica, produzidas pelo PBDA, com imagens de raios-X com altas resoluções espacial e temporal do satélite RHESSI ao longo de uma ampla faixa de energias. Essas investigações deverão permitir melhor compreensão a respeito dos problemas fundamentais da Física Solar (Fernandes et al., 2000a, 2000b; Cecatto et al., 2003; Rosa et al., 1997, Rosa et al., 2002). Sobre estes problemas, a ciência realizada com imagens de rádio e raios-X está discutida em 2 conferências internacionais (Bastian et al., 1999; Ramaty e Mandzhavidze, 2000).

1.2.2 - Observação de radiogaláxias, Quasares, Objetos BL Lacertae e Centaurus A

A observação de radio-fontes extragaláticas extensas e de grande potência é de suma importância para se tentar compreender a fonte de energia desses objetos, que emitem em toda a faixa rádio do espectro (em frequências que vão desde 10 MHz a mais de 100 GHz) e também em outras faixas do espectro eletromagnético (óptico, raios-X). Outra questão a ser solucionada é como explicar a presença de lóbulos rádio a várias centenas de kpc da fonte nuclear e a presença de colimação nos jatos de pequena escala (pc) e lóbulos em grande escala (kpc). O conhecimento da morfologia dos rádio-lóbulos e sua interação com o meio intergalático que os envolve é de grande importância para se tentar compreender a física envolvida neste processo. A interação do jato com o meio circundante serve como um traçador e pode-se estimar alguns parâmetros tais como a velocidade e densidade dos jatos. Existem algumas fontes extragaláticas com densidade de fluxo acima de 1 Jy que podem ser observadas na frequência de 1,4 GHz utilizando-se um feixe de $3' \times 4'$. Dentre estas, pode-se destacar a radiogaláxia Centaurus A. Com a sensibilidade de cerca de 1 Jy, proporcionada pelo PBDA, esta é a radiofonte ideal para a obtenção dos primeiros mapas em 1,4 GHz (Gopal-Krishna e L. Saripalli, 1984) e polarização (Burns et al., 1983; Wade et al., 1971; Cooper et al., 1965; Botti e Abraham, 1993).

2 - SISTEMA ELETRÔNICO

2.1 - "Front-end"

O "front-end" consiste de amplificadores do tipo LNA, filtros e o alimentador colocado no foco primário do parabolóide vazado de 4 metros de diâmetro.

2.1.1 – Amplificadores de baixo ruído

Cinco amplificadores de baixo ruído (NF = 1,6 dB) usando um chip de circuito integrado T01217N (MiniCircuits Lab) operando na faixa de 1,2 – 1,7 GHz foram desenvolvidos tendo um ganho de ~22 dB, VSWR de 1,2 e intermodulação de -30 dB. Foi desenvolvida uma técnica para remover a condensação de vapor d'água na caixa do amplificador devido às rápidas variações de temperatura. As medidas do amplificador são mostradas na Figura 2.1.

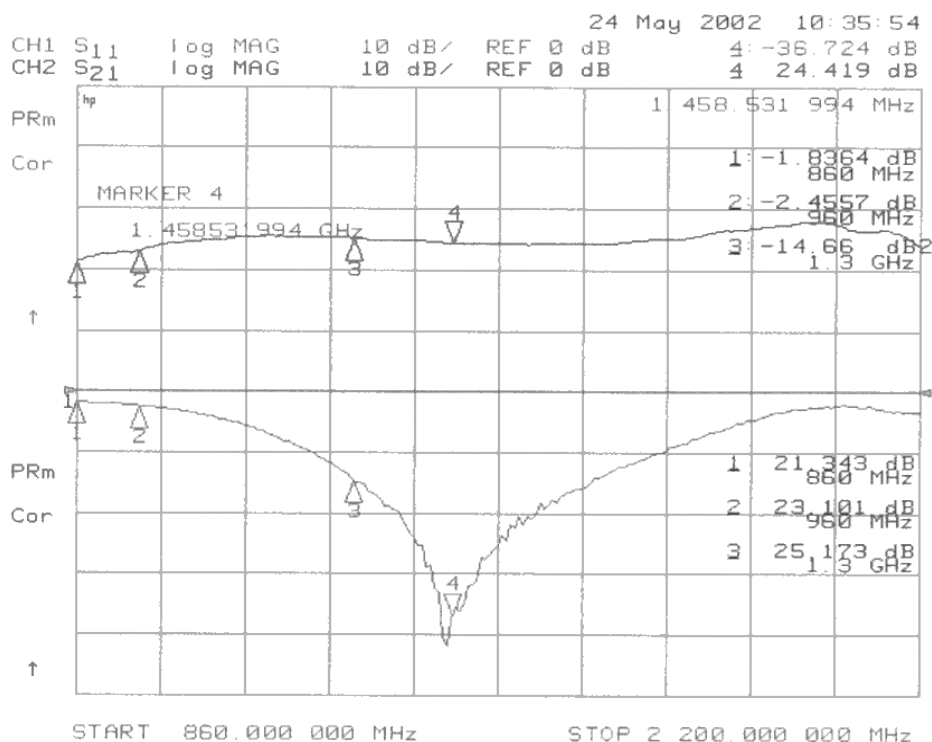


FIGURA 2.1 – Medidas de ganho (inferior) e perda de retorno (VSWR) (superior) do amplificador.

O filtro HP-1000 de passa alta, acima de 1000 MHz, foi testado juntamente com o amplificador, mostrando-se apropriado para a operação em campo, mesmo com variações de temperatura (10° – 40° C), alta umidade (100%) e chuvas pesadas.

2.1.2 - Alimentador log-periódico (1,2 – 1,7 GHz)

A seguir é apresentado o projeto e resultados do teste de um alimentador tipo log-periódico de dupla polarização para uma antena parabólica alimentada pelo foco, empregada como elemento no projeto BDA.

Cada elemento do arranjo do Protótipo é um refletor parabólico de 4 metros de diâmetro (D) e razão de distância focal de $f/D = 0,38$ operando na faixa de frequências de 1,2 a 1,7 GHz. O ângulo de iluminação da borda é dado por:

$$f = \frac{D}{4} \cot\left(\frac{\Psi}{2}\right) \quad \text{ou} \quad \Psi = 66,7^\circ. \quad (2.1)$$

Para diagramas do alimentador tipo co-seno ao quadrado o valor ótimo de Ψ corresponde ao ângulo do diagrama do alimentador para o qual a potência está 8 dB abaixo do pico de potência. O relacionamento do diagrama de radiação do alimentador em espaço livre com o diagrama secundário devido ao conjunto refletor está bem discutido em Silver (1965).

A antena log-periódica na faixa de frequências do projeto possui larguras de feixe diferentes nos planos E e H.

Tendo em vista a necessidade de eliminação de sinais interferentes, optou-se pela redução dos lóbulos laterais, procurando obter um alimentador com iluminação de borda no plano H de aproximadamente 5 dB, sabendo-se que a atenuação de espaço livre na direção das bordas é de 3,1 dB. A antena log-periódica escolhida tem diretividade de 7,3 dBi com os seguintes parâmetros principais de projeto:

Fator de escala $\tau = 0,90$

Espaço relativo $\sigma = 0,06$

Para se obter a faixa de operação desejada, foi utilizada uma rede de oito elementos. Em razão da dificuldade em se conseguir tubos de diâmetros diferentes e para facilidade de fabricação, um mesmo diâmetro de tubo foi utilizado, para todos os elementos. Isto afeta pouco o desempenho geral da antena. A alimentação é feita na extremidade do menor elemento, obtendo-se um Balun faixa larga e os elementos adjacentes fixados de maneira que uma diferença de fase de 180° seja introduzida entre eles. Esta inversão de fase produz uma progressão de fase de modo que o feixe é direcionado para os dipolos menores. Desta maneira duas redes constituídas de oito dipolos são montadas ortogonalmente e alimentadas como descrito acima e mostrado na Figura 2.2. Foram construídos e testados no INPE 5 alimentadores log-periódicos em duas polarizações a partir dos dados de projeto. Para proteção do alimentador na montagem final da antena, uma redoma em fibra de vidro foi manufaturada para impedir a entrada de água no alimentador, não afetando o desempenho da antena. A Figura 2.3 mostra os alimentadores fabricados e as redomas protetoras. A Figura 2.4 mostra um dos alimentadores desenvolvidos já montado na redoma.

2.2 - Testes funcionais

As medidas de diagrama e ganho dos alimentadores foram realizadas no campo de antenas do Laboratório de Integração e Testes (LIT). Os diagramas de radiação nos planos H e E, na frequência 1,2 GHz para a porta 1, obtidos, são apresentados nas Figuras 2.5 e 2.6, respectivamente. Pode-se estimar que para $\theta = 66,7^\circ$, as atenuações dos diagramas nos planos E e H apresentam valores típicos de 15 dB e 5 dB, respectivamente. Estes valores são os esperados do projeto.

A taxa de onda estacionária para as portas 1 e 2 é menor que 1,8 em toda a faixa, valor típico para este tipo de antena. O ganho medido na faixa de frequências de operação apresentou valores de $7,0 \pm 0,8$ dBi, valor próximo do projeto. A polarização cruzada medida apresentou valores melhores que 25 dB, típico para esta antena.

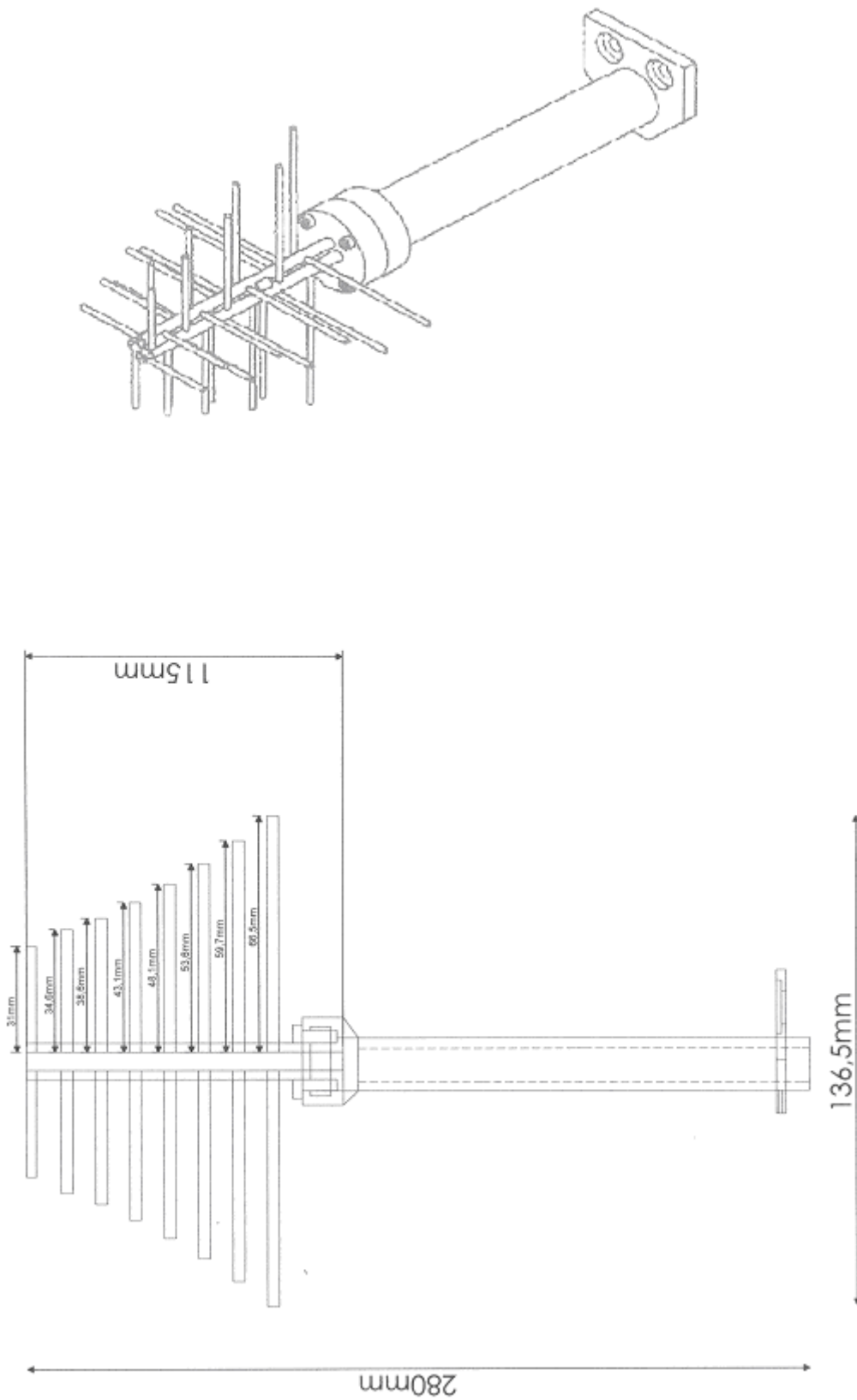


FIGURA 2.2 – Desenho de montagem da antena Log-Periódica de duas polarizações operando na faixa de frequência de (1.2 – 1.7 GHz).



FIGURA 2.3 – Alimentadores fabricados e respectivas redomas.

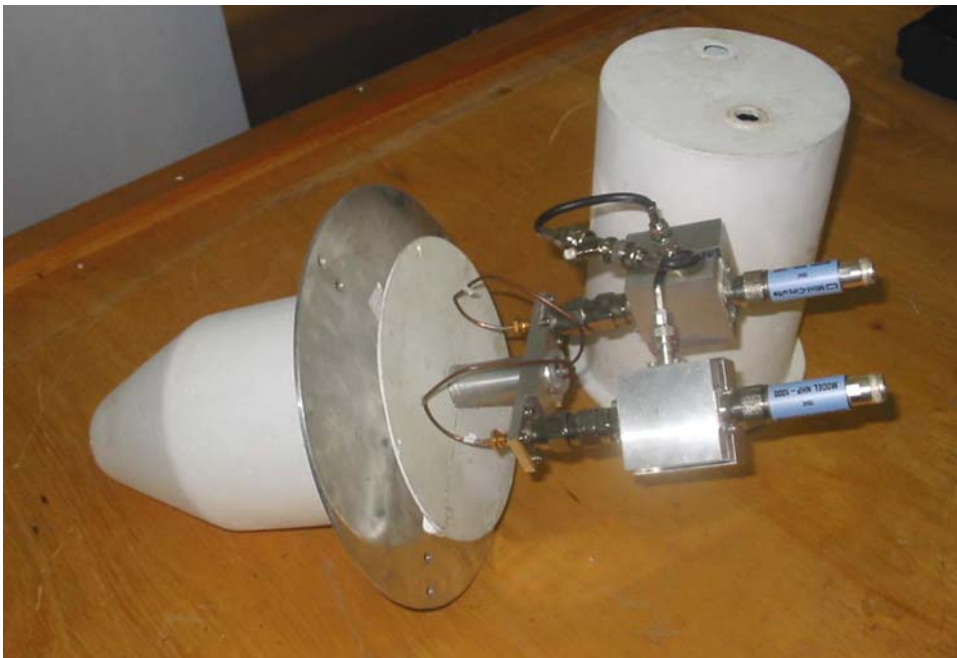


FIGURA 2.4 – Alimentador alocado dentro da redoma, conectados aos pré-amplificadores (LNA) e filtros passa-banda.

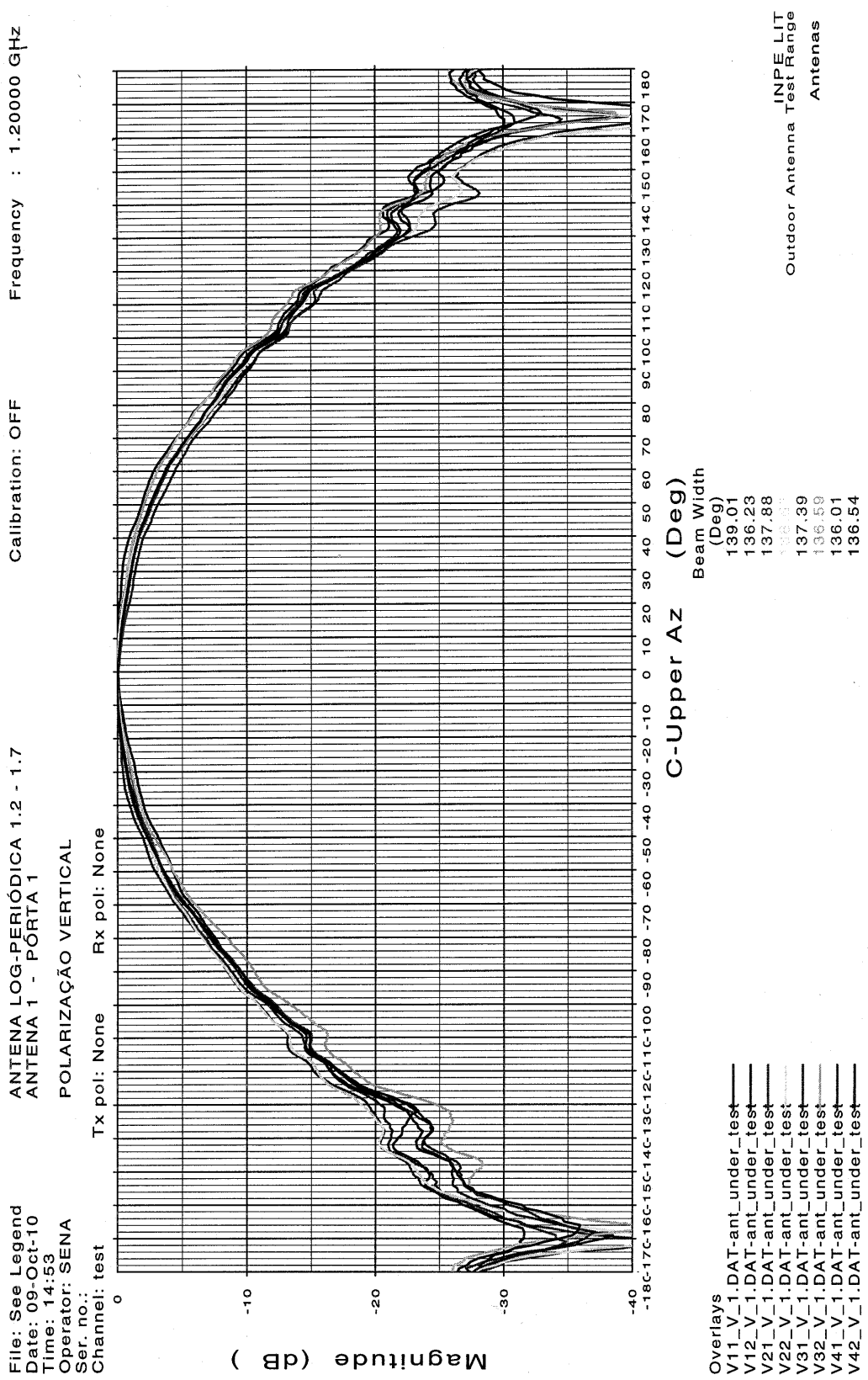
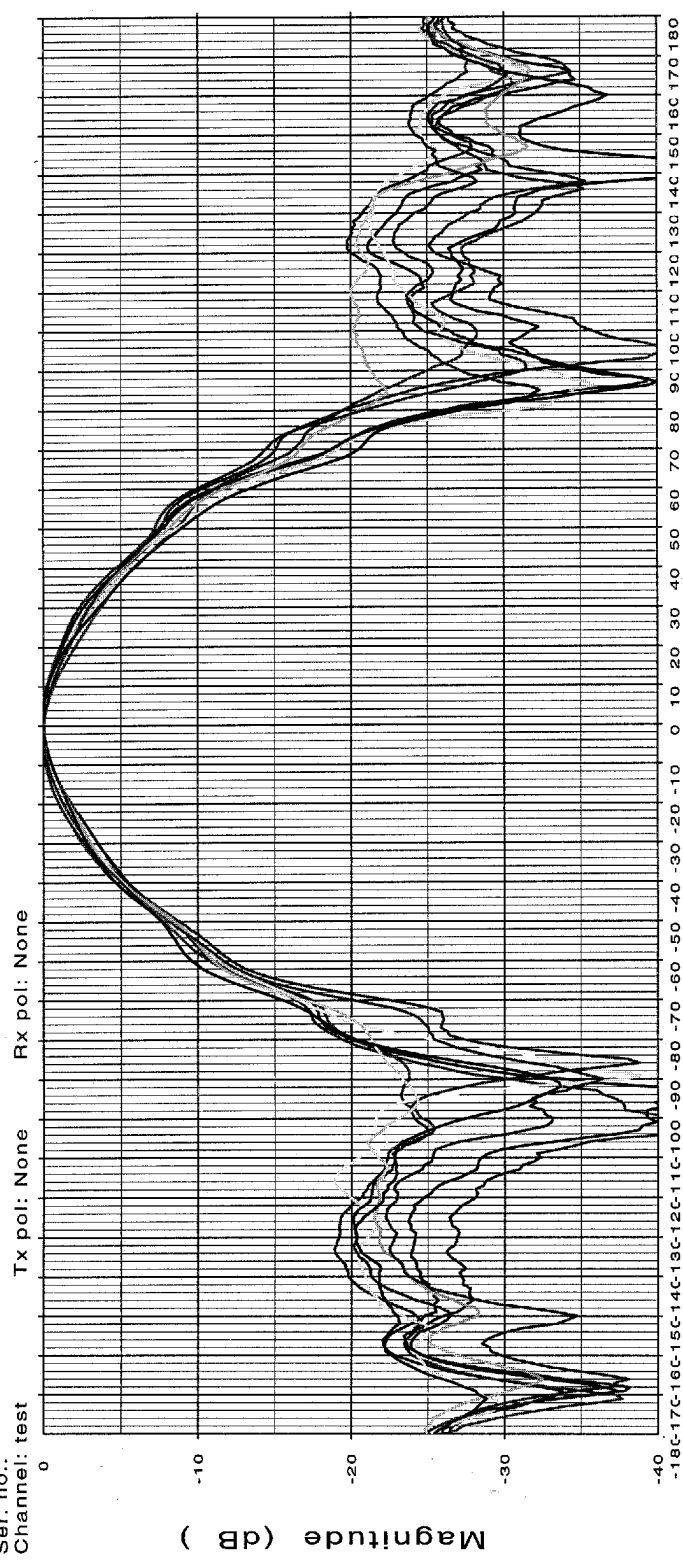


FIGURA 2.5 – Diagrama de radiação no Plano H de 4 antenas na frequência de 1,2 GHz.

File: See Legend Date: 09-Oct-10 Time: 15:04 Operator: SENA Ser. no.: Channel: test Tx pol: None Rx pol: None

ANTENA LOG-PERÍODICA 1.2 - 1.7
 ANTENA 1 - PÓRTA 1
 POLARIZAÇÃO HORIZONTAL

Calibration: OFF Frequency : 1.20000 GHz



C-Upper Az (Deg)

Beam Width (Deg)
 77.85
 78.64
 77.75
 78.47
 78.96
 79.91
 77.72

- Overlays
- H11_H_1.DAT-ant_under_test
 - H12_H_1.DAT-ant_under_test
 - H21_H_1.DAT-ant_under_test
 - H22_H_1.DAT-ant_under_test
 - H31_H_1.DAT-ant_under_test
 - H32_H_1.DAT-ant_under_test
 - H41_H_1.DAT-ant_under_test
 - H42_H_1.DAT-ant_under_test

INPE LIT
 Outdoor Antenna Test Range
 Antenas

FIGURA 2.6 – Diagrama de radiação no Plano E de 4 antenas na frequência de 1,2 GHz.

3 - MONTAGEM ALT-AZIMUTAL DAS ANTENA DE 4/5 M DE DIÂMETRO

As antenas do Protótipo são contituídas de refletores parabólicos de 4 metros de diâmetro, como exemplo tem-se o modelo AST-400, da TECSAT, que oferece o melhor custo para refletor parabólico, montado sobre uma base mecânica de montagem alt-azimutal, projetada pela S&K Engineering de Mumbai, Índia. Este sistema de rastreo, desenvolvido por Swarup (1990; 1991), é mostrado na Figura 3.1.

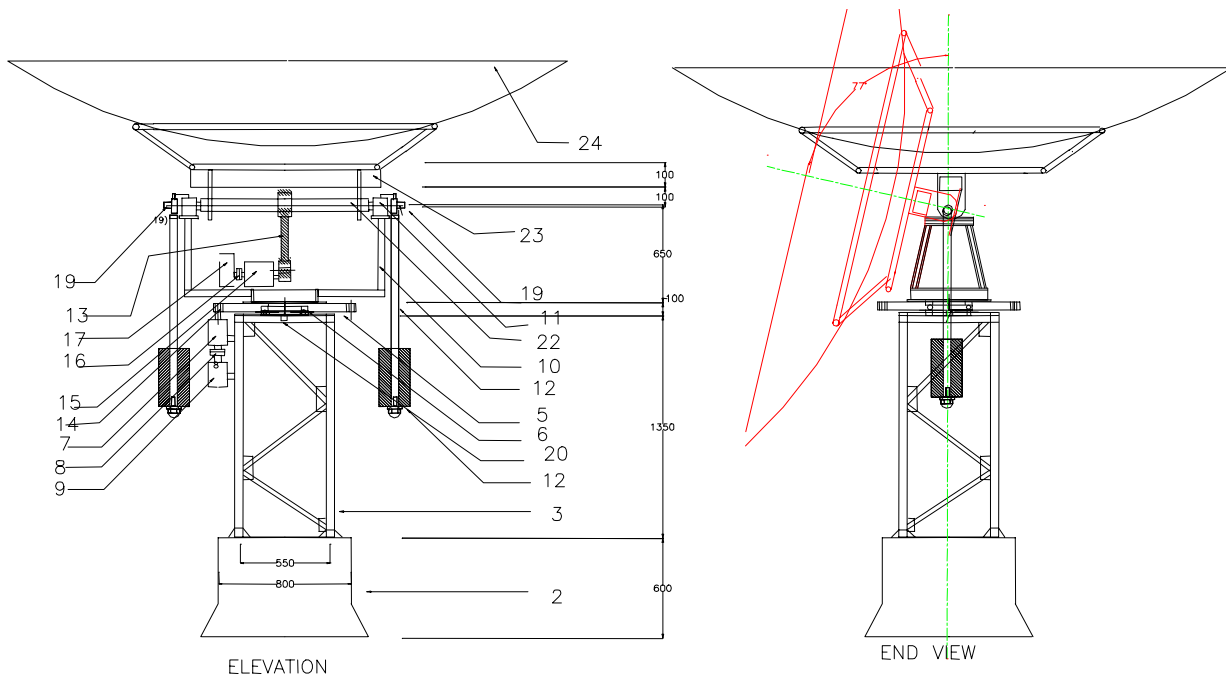
Todos os sub-sistemas foram calculados levando-se em consideração a pressão do vento sobre a antena para as diferentes posições, bem como para as diversas velocidades e direções de operação. Foram também identificados, na parte elétrica, os motores e os respectivos “drivers” codificadores e decodificadores de posição. Foi ainda sugerido o sistema para redução do ruído dos próprios motores, importante para a efetivação da sensibilidade do Radioheliógrafo e para a qualidade das imagens obtidas.

3.1 - As especificações técnicas para montagem alt-azimutal

1. Diâmetro do refletor 4000 / 5000 mm
2. Razão f/d 0,38 / 0,50
3. Razão h/dtio 0,147
4. Velocidade máxima de vento 120 km/h
5. Velocidade oper. de vento 60 km/h
6. Peso do refletor 148 kg
7. Peso da estrutura de apoio 60 kg
8. Porosidade da malha do refletor 0,33
9. Erro de apontamento máx. < 1 min arco
10. Chaves limitadoras Não contato
11. Codificadores de posição 12 / 16 bit
12. Velocidades, motores, capacidades, razão de redução de velocidades, torques (Tabela 3.1).

TABELA 3.1 – Velocidades, Motores, Variações de Velocidades, Torques.

Item	H.A.slew	H.A.Track	Declinação	Azimute	Elevação
Veloc. antena	20°/min	15°/h.	20°/min	30°/min	20°/min
Torque	300 kg m		200 kg m	200 kg m	200 kg m
Previsto					
Razão	10:1	10:1	10:1	10:1	10:1
engrena- gem/pino					
Redução	100:1	100:1	100:1	100:1	100:1
Caixa					
Torque de Saída	36 kg m		24 kg m	24 kg m	24 kg m
Veloc. Motor	60 RPM	0.7 RPM	60 RPM	60 RPM	90 RPM
Torque motor	45 kg.cm (630 oz in)		30 kg cm (420 oz in)	30 kg cm (420 oz in)	30 kg cm (420 oz in) -2 Nos.
Contra-peso	300 kg @ 1200 mm		150 kg @ 550 mm	Nil	70 kg-2 Nos.@ 850mm
Encoder	12 / 16bit		12 /16 bit	12/16 bit	12 /16 bit
Chaves-limit.	2 Nos.	2 Nos.	2 Nos.	2 Nos.	2 Nos.



24	DISH	1	208Kg	024
23	BACK UP STRUCTURE	1	78.5Kg	023
22	EL.SHAFT	1	23.5Kg	022
21	AZ. ENCODER	1		021
20	EL. POTENSOMETER	1		020
19	EL. ENCODER	1		019
18	CWT. BLOCK	2	140.0kg	018
17	EL. MOTOR	1	4.0kg	017
16	EL.COUPLING	1	4.0kg	016
15	EL. GEAR BOX.	1	25.0kg	015
14	EL.PINNION	1	1.5kg	014
13	EL.BULL GEAR	1	60.0kg	013
12	CWT.ARM	2	22.0kg	012
11	EL.BEARING HOUSING&BEARING	2	40.0kg	011
10	YOKE	1	58.0kg	010
9	AZ. MOTOR	1	4.0kg	009
8	AZ. COUPLING	1	4.0kg	008
7	GEAR BOX	1	25.0kg	007
6	AZ.BEARING	1	11.5kg	006
5	AZ.BULL GEAR	1	100.0kg	005
4	BEARING BOTTOM PLATE	1	70.0kg	004
3	TOWER	1	100.0kg	003
2	FOUNDATION	1		002
1	ALT.AZ.MOUNT	1		001
SR.NO.	TITLE	QTY.	WT.	DRG.NO.

TITLE	ALT.AZ.MOUNT:-ASSEMBLY
DRG. NO.	SK/TIFR/INPE-001
DATE	8.11.1999
SR.NO.	1/24

FIGURA 3.1 – Ilustração da antena parabólica de 4 metros de diâmetro montada sobre uma base computadorizada em azimute e elevação, constituindo o sistema de rastreamento do BDA.

3.2 – Especificações dos motores

- Os motores de Azimute AC síncronos, com o devido cuidado para a redução do ruído elétrico do motor.
- Taxa de rotação do motor está entre 1 a 600 rpm.
- Serão operados motores ao ar livre no campo com umidade que varia de 60 a 100%, e temperaturas que variam de 6^o C a 40^o C e com chuvas pesadas.
- Os motores estão acoplados a redutores com um fator 1/100. A carga na saída do redutor é de 300 Nm.
- Velocidade de vento operacional é 60 km/h que provoca um torque equivalente de 600 Nm o qual deve ser absorvido sem desgastes para o sistema.

3.3 - Sistema de rastreo das antenas

Este sistema foi desenvolvido, em 2000, pela firma Inteltek Automation Ltd – Índia em colaboração com cientistas e engenheiros do GMRT. A seguir tem-se uma breve descrição do hardware desenvolvido, mostrado na Figura 3.2.

Dois servos-motores são usados para controlar cada movimento de rastreo dos parabolóides nos eixos de azimute e elevação. Os projetistas do sistema de posicionamento deste projeto, da Inteltek Automation, da Índia, escolheram um controlador Baldor NextMove-BX para esta tarefa, junto com uma combinação de guias Baldor com servos-motores AC sem escova. O NextMove-BX é um controlador apropriado para esta tarefa de controle, devido a uma combinação de facilidades, incluindo a capacidade para 2 eixos e sua linguagem Mint própria para movimentação das antenas. Operando a apenas 0,6 RPM, o motor comanda a carga através de uma combinação de engrenagens dentadas e reduções para fornecer a resolução de posicionamento de apenas 2,5 segundos de arco, para velocidades de vento operacionais de até 60 km/h.

Cada uma das 5 unidades NextMove-BX está conectada a um microcomputador, padrão IBM de controle usando uma rede RS-485 multi-conexão. Utilizando um software de controle do posicionamento desejado, o PC transmite novos comandos de posicionamento aos controladores remotos de movimento em intervalos regulares de 60 segundos. Os programas de aplicação Mint dos controladores de movimento fornecem então independentemente os comandos de movimento interpolado, para comandar os servos-motores de azimute e elevação, os quais por sua vez movem os eixos à aproximadamente 1 milésimo de volta por minuto de acordo com a razão de redução das engrenagens de 800:1.

O primeiro protótipo com montagem alt-azimutal para este projeto foi testado nos meses de Maio e Junho de 2001 no NCRA-TIFR, Índia, com apoio técnico dos especialistas do NCRA, os quais possuíam ampla experiência neste campo. A precisão medida do posicionamento e rastreo foi de menos de 3 minutos de arco. Durante o desenvolvimento do protótipo de 5 elementos do interferômetro a razão engrenagem-engrenagem foi aumentada e a folga foi reduzida. Estas modificações no sistema mecânico melhoraram as precisões de apontamento e rastreo mesmo para a primeira fase do BDA.

O software consiste das seguintes características principais para as 5 antenas: interface principal de máquina, rede (RS-485), software de controle de movimento, modo automático, modo de edição, modo de diagnóstico, modo manual, controles remoto e comum e alarmes.

Este software será baseado no “Motion Control Software” (MCS-48) para controlar o movimento necessário de ambos os eixos seguindo os comandos da câmara de controle principal. Ao mesmo tempo responderá aos comandos do computador do prédio central de controle através da rede RS-485 de comunicação.

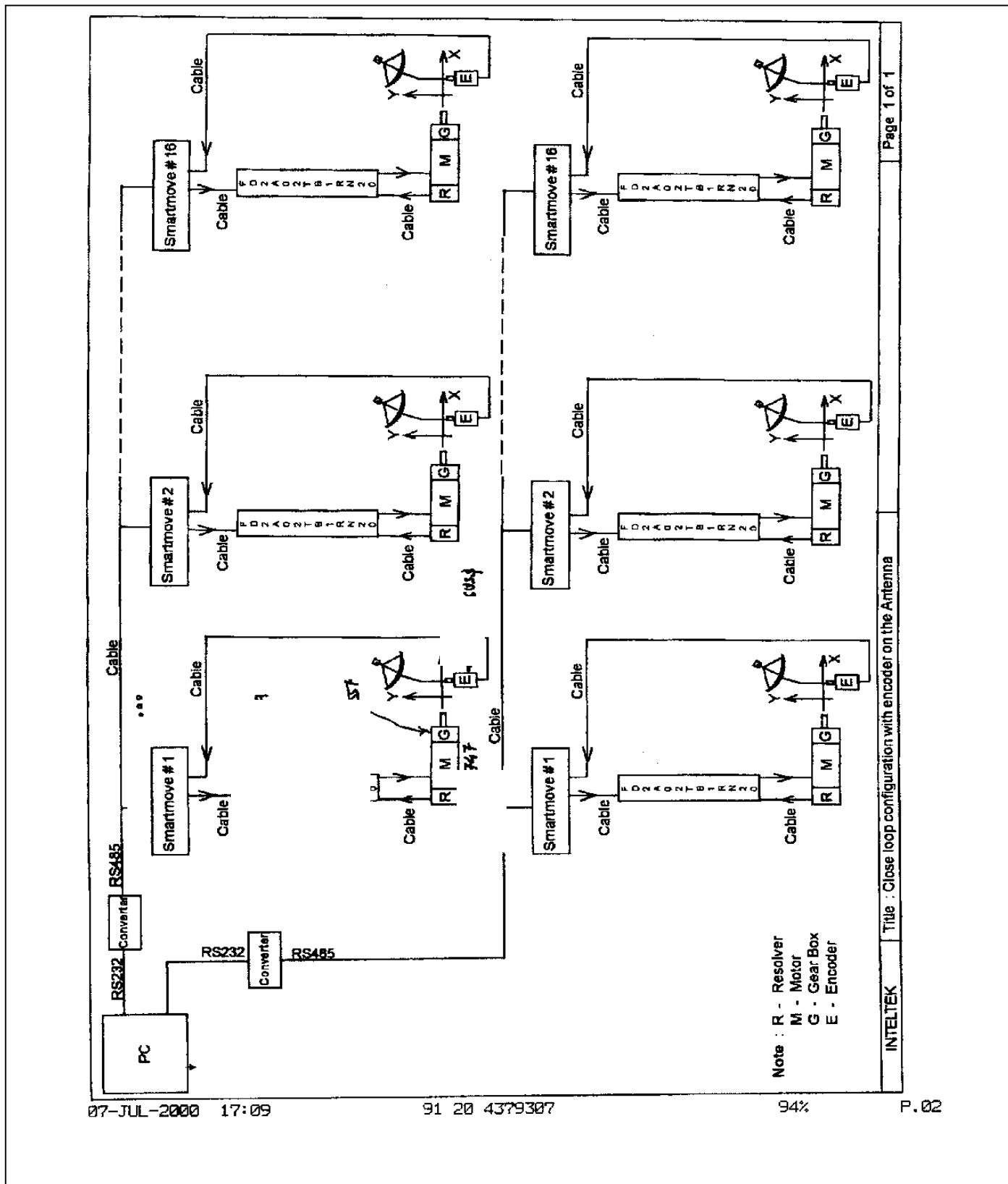


FIGURA 3.2 – Diagrama do sistema de controle para as antenas.

4 - RECEPTOR

A seguir é dada uma descrição simplificada do receptor. O PBDA instalado em Cachoeira Paulista é composto por cinco antenas parabólicas. Cada antena possui um amplificador de baixo ruído (LNA) conectado diretamente à saída de seu alimentador. A saída do LNA é conectada através de um cabo coaxial à entrada do bloco de radiofrequência (RF) que efetua as duas primeiras conversões de frequência, localizado na base da antena. O sinal da segunda FI (Frequência Intermediária) em 70 MHz presente na saída deste bloco é conduzido por um cabo coaxial com comprimento aproximado de 125 m até a instalação na qual é realizada a terceira conversão de frequências obtendo-se assim o sinal da banda base. Os osciladores locais para a tripla conversão de frequência são sincronizados em fase por um único oscilador de referência de Rubídio na frequência de 10 MHz.

Portanto, a cada antena está associada uma unidade receptora composta pelos blocos de RF que realizam a amplificação de baixo ruído do sinal de RF de entrada e sua tripla conversão de frequência para um sinal de banda base. O Receptor do PBDA é composto pelas cinco unidades receptoras e pelo oscilador de referência de Rubídio comum às cinco unidades. O sinal de saída do receptor consiste nos sinais de banda base oriundos das unidades receptoras.

O diagrama de blocos do receptor e o esquema detalhado do receptor, mostrados respectivamente nas Figuras 4.1 e 4.2, resumem o descrito acima e identificam alguns blocos que serão referenciados nas próximas seções. As Figuras 4.3 e 4.4 mostram fotos do receptor. O diagrama além de indicar as funções dos diversos blocos (amplificação, batimento de frequências, filtragem etc.) indica também os blocos que estão alojados em uma mesma caixa e sua localização, isto é, foco do refletor parabólico, base da antena ou “2º. Container - Sala de Controle”.

No presente documento denominou-se de “componente” do Receptor qualquer caixa de alumínio abrigando um ou mais blocos do diagrama e os cabos coaxiais de interconexão de rádiofrequência (RF). Para maior simplicidade, no diagrama de blocos estão identificados apenas os cabos de RF principais (10 MHz, 70 MHz e o cabo na saída do LNA). A Tabela 4.1 lista os principais componentes do Receptor do PBDA e suas funções. Não estão incluídos nesta Tabela apenas os cabos de interconexão dos componentes (caixas) de mesma localização (foco do refletor, base da antena ou “container”). A Tabela 4.2 mostra os níveis de potência e frequência dos osciladores locais e de referência.

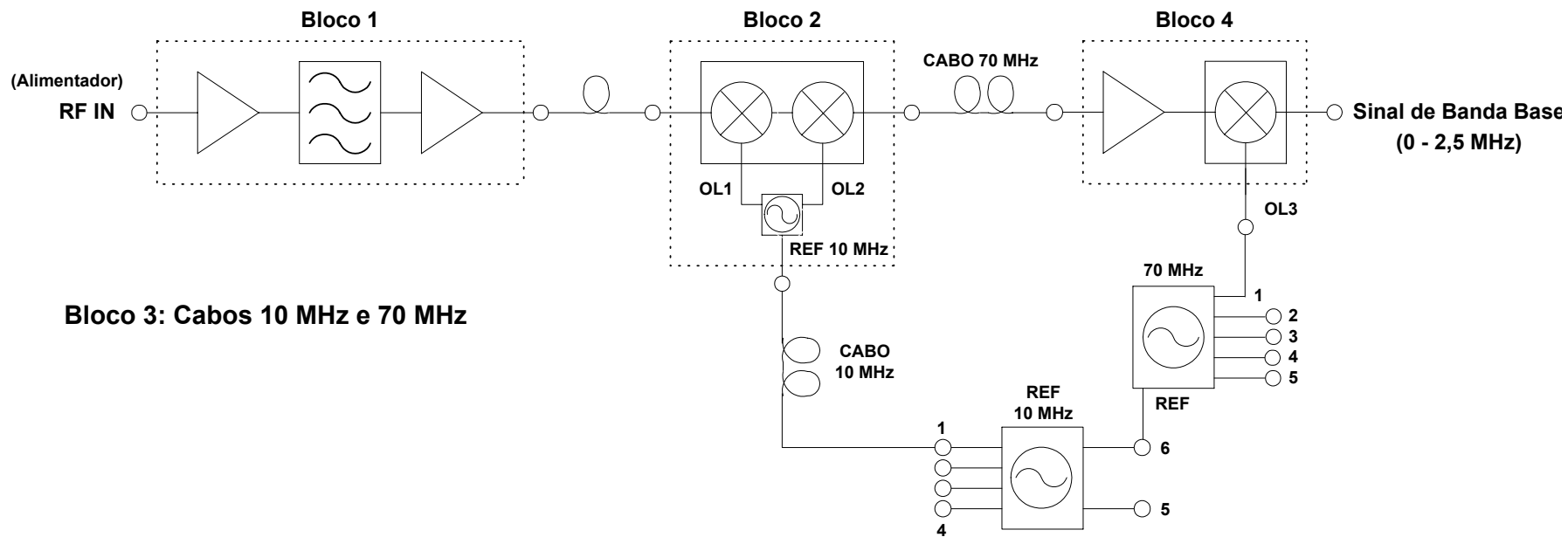


FIGURA 4.1 – Diagrama de blocos do receptor.

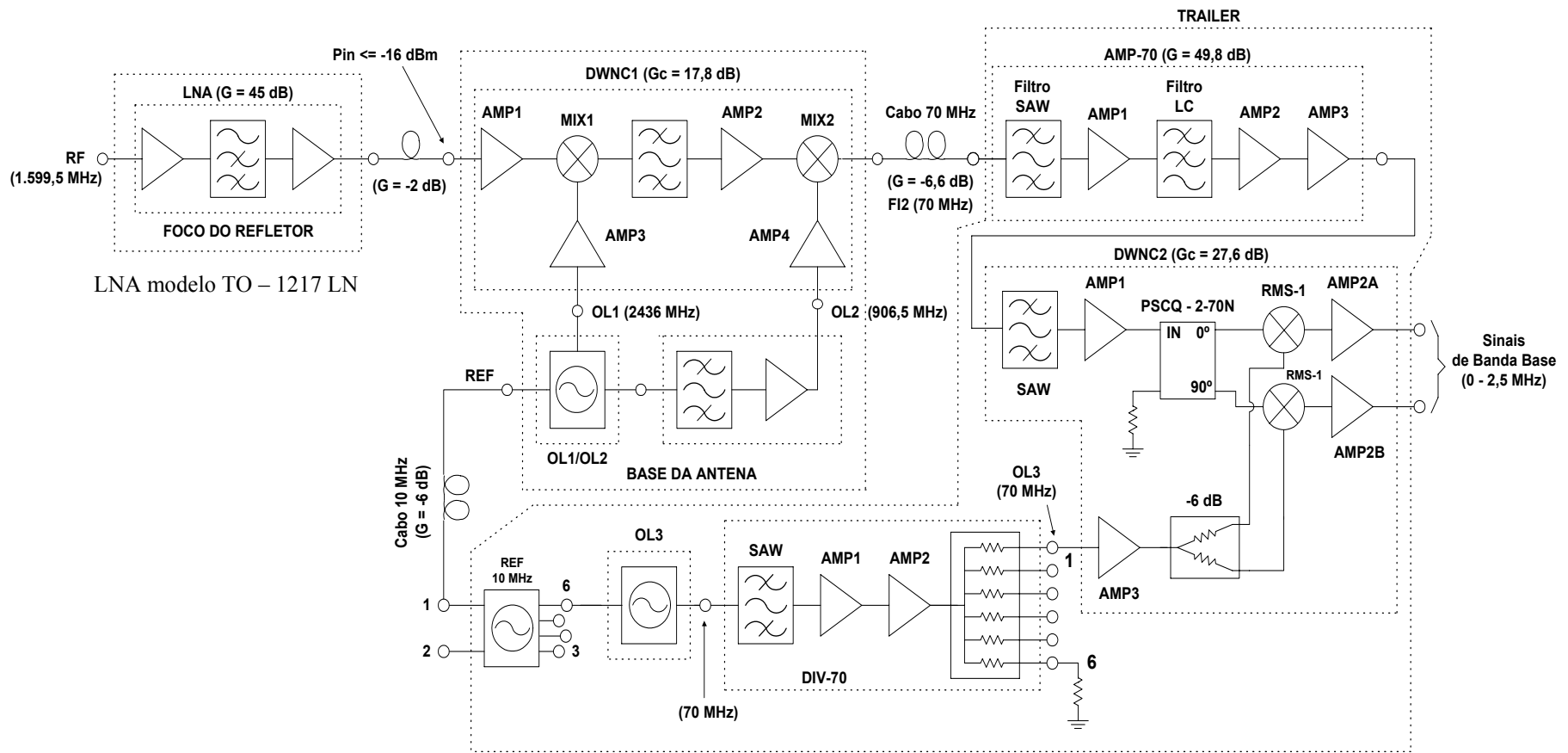


FIGURA 4.2 – Esquema detalhado do receptor.



FIGURA 4.3 – Foto do receptor (entrada 1,6 GHz e saída 70 MHz) instalado na torre da antena.



FIGURA 4.4 – Foto dos 5 receptores, entrada de 70 MHz e saída banda base de 2,5 MHz (seno e co-seno), instalados no rack dentro do container operacional.

TABELA 4.1 – Componentes do Receptor do PBDA conforme diagrama de blocos.

Sigla	Significado	Localização	Função
LNA	Low Noise Amplifier	Refletor parabólico	Amplificar o sinal de RF de entrada em $(1599,5 \pm 2,5)$ MHz
DWNC1	DoWN Converter #1	Base da antena	Realizar a conversão do sinal de RF de entrada para a segunda FI em $(70 \pm 2,5)$ MHz através de batimento duplo de frequências
AMP-70	AMPlificador em 70 MHz	Container	Amplificar o sinal da segunda FI em $(70 \pm 2,5)$ MHz
DWNC2	DoWN Conversor #2	Container	Realizar a conversão do sinal da segunda FI para o sinal em banda base $(0 - 2,5)$ MHz
OL1/OL2	Oscilador Local #1/ Oscilador Local #2	Base da antena	Gerar os sinais do primeiro e segundo osciladores locais (OL1 e OL2) para o componente DWNC1
OL3	Oscilador Local #3	Container	Gerar o sinal do terceiro oscilador local (OL3) para o componente DWNC2
AMP-906	AMPlificador em 906,5 MHz	Base da antena	Amplificar o sinal do segundo oscilador local gerado pelo componente OL1/OL2 até o nível de potência requerido pelo componente DWNC1
DIVP-70	DIVisor de Potência em 70 MHz	Container	Amplificar o sinal do oscilador local em 70 MHz e gerar cinco saídas através da divisão de potência do sinal amplificado
REF 10 MHz	REFerência de 10 MHz	Container	Prover um sinal de referência de 10 MHz altamente estável para utilização pelos geradores sintetizados OL1/OL2 e OL3
Cabo 10 MHz	-	Campo de antenas	Conduzir o sinal de referência de 10 MHz do Container até a Base da Antena onde se localiza o gerador OL1/OL2
Cabo 70 MHz	-	Campo de antenas	Conduzir o sinal da segunda FI em 70 MHz da Base da Antena até o Container
Cabo do LNA	-	Antena	Conduzir o sinal de saída do LNA montado no foco do Refletor até a entrada do DWNC1 localizado na Base da Antena

Algumas características dos componentes tais como ganho de conversão, perda, por inserção etc. foram incluídas no diagrama de blocos para referência. O ganho do componente LNA é o valor de ganho medido para o LNA da unidade #4 e assumido como representativo

para as demais unidades.

Os níveis dos sinais de oscilador local OL1, OL2 e OL3 requeridos pelos componentes DWNC1 e DWNC2 do diagrama de blocos assumindo-se que as partes que os compõem (misturadores, amplificadores etc.) têm parâmetros típicos são apresentados na Tabela 4.2. O nível do sinal de referência requerido pelos componentes OL1/OL2 e OL3 não pode ser confirmado e aparece como ASD-A definido na Tabela 4.2.

TABELA 4.2 – Nível de potência e frequência dos osciladores locais e de referência.

Sinal	Componente	Frequência	Potência requerida
OL1	DWNC1	2436,0 MHz	-5,8 dBm
OL2	DWNC1	906,5 MHz	-10,5 dBm
OL3	DWNC2	70,0 MHz	0 dBm*
REF 10 MHz	OL1/OL2, OL3	10,0 MHz	ASD

4.1 - Sistema de envio de sinal para programação dos sintetizadores à distância

Desenvolvemos um sistema eletrônico para comunicar com o sintetizador de frequência, e vice-versa, até distâncias de 400 m, utilizando três chip's MAX 3491 e cabo furukawa cat.5e, geralmente utilizado para conexões internet mostrada na Figura 4.5. Este sistema está conectado na porta paralela do PC, enviando a programação para sintetizador de frequência localizado na parte superior da torre da antena. Lá está localizado outro sistema eletrônico parecido, conectado à porta paralela do sintetizador de frequência, gerando a frequência do oscilador local desejada (Figura 4.6).

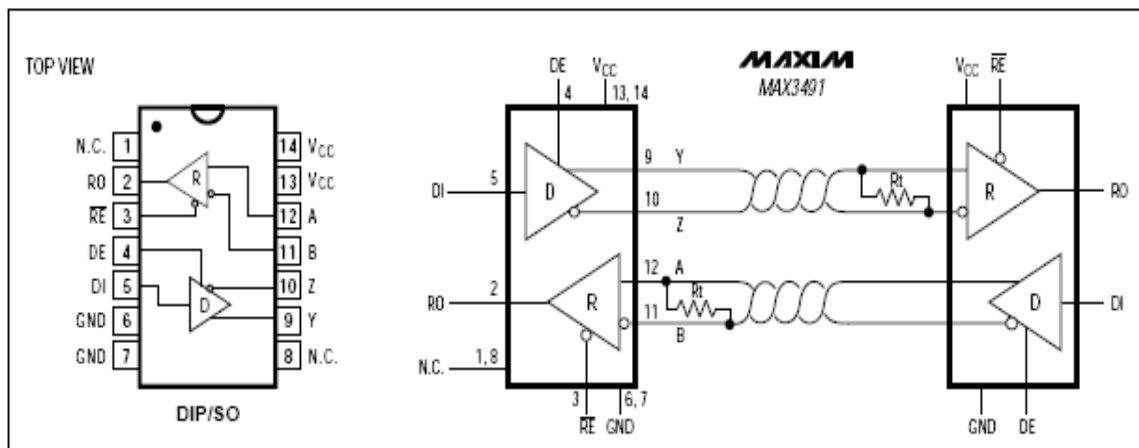


FIGURA 4.5 – Configuração do chip MAX3491 do sistema para controle remoto dos sintetizadores de frequência dos receptores.

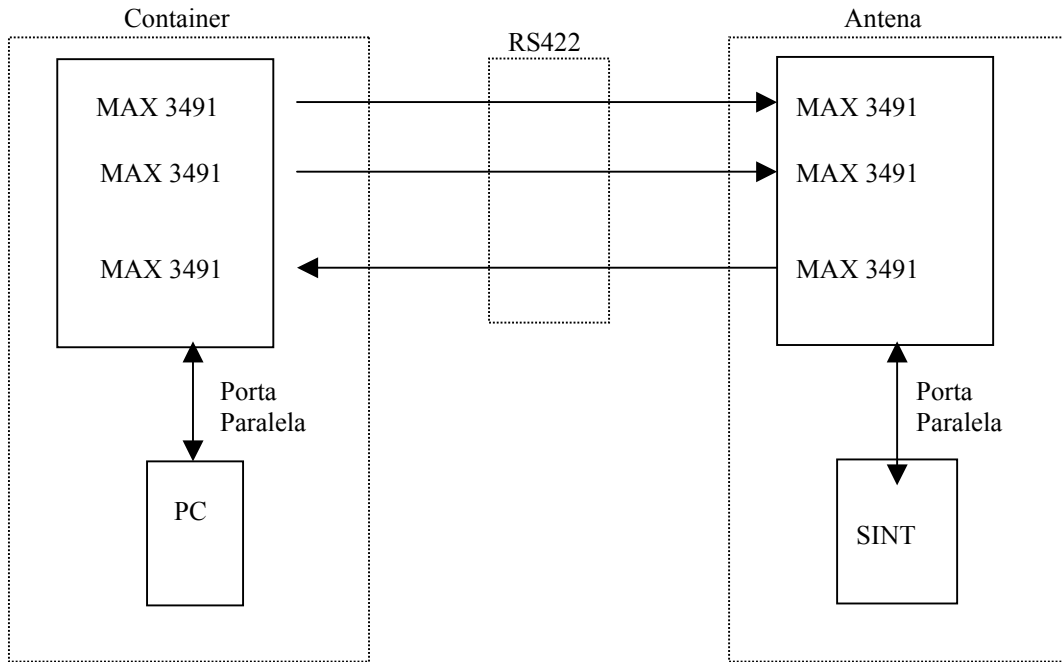


FIGURA 4.6 – Sistema para controle remoto dos sintetizadores de frequência dos receptores.

4.2 - Sensibilidade estimada do PBDA - em densidade de fluxo

A densidade de fluxo por feixe ΔI_m (mJy / feixe) - é dada por (Thompson et al., 1990):

$$\Delta I_m = \frac{\sqrt{2} k_B T_{sys}}{\eta_a \eta_c A \sqrt{N_b N_{FI}} \tau \Delta \nu} \quad (4.1)$$

onde: k_B constante de Boltzmann, T_{sys} , temperatura de sistema, η_a , eficiência de antena, η_c , eficiência do correlacionador, A , é a área física da antena, N_b , número de linhas de base ($= N_a \times (N_a - 1) / 2$, onde N_a é o número de antenas do arranjo), N_{FI} , é o número de FI, τ é o tempo de observação e $\Delta \nu$ é a largura de banda.

Para calcular a temperatura mínima detectável por feixe - ΔT (K / feixe) - pela Equação 4.1, usamos a expressão:

$$\Delta T = \frac{\lambda^2 \Delta I_m}{2 k_B \Omega_b} \quad (4.2)$$

onde: λ , é o comprimento de onda e $\Omega_b = \pi (\lambda / D)^2$ é o ângulo sólido do feixe.

Para o Sol estimamos a temperatura de antena de acordo com a expressão:

$$T_A = T_{SUN} (\Omega_{SUN} / \Omega_A), \quad (4.3)$$

onde o raio solar $R_{SUN} \approx 15,5$ min arco, $\Omega_{SUN} = \pi (15,5/3438)^2$, $d = 4-5$ m e $\Omega_A = \pi/4 (1,2 \lambda/d)^2$.

Os valores de ΔI_m e ΔT foram calculados para 1,2-1,7, 2,8 e 5,6 GHz, para observações do Sol, assumindo um correlacionador com 2,5 MHz, e observações galática e extra-galática

assumindo um correlacionador com 2,5 MHz. As temperaturas do Sol (T_{SUN}) nestas frequências são dadas por Zirin et al. (1991).

Os altos níveis do fluxo do Sol permitem amostragens rápidas com boa razão sinal-ruído. Entretanto, deve ser ressaltado que os cálculos acima são apenas estimativas teóricas, considerando os níveis de emissão do Sol “calmo” nestas frequências. Na prática, quando da observação de “flares” fracos, moderados e até intensos estas estimativas podem estar subdimensionadas por até um fator 1000. As Figuras 4.7 e 4.8 mostram a sensibilidade estimada para observações solares com o PBDA e incluindo a 6ª antena 5 metros de diâmetro, respectivamente. As Figuras 4.9 e 4.10 mostram o mesmo porém para observações galácticas.

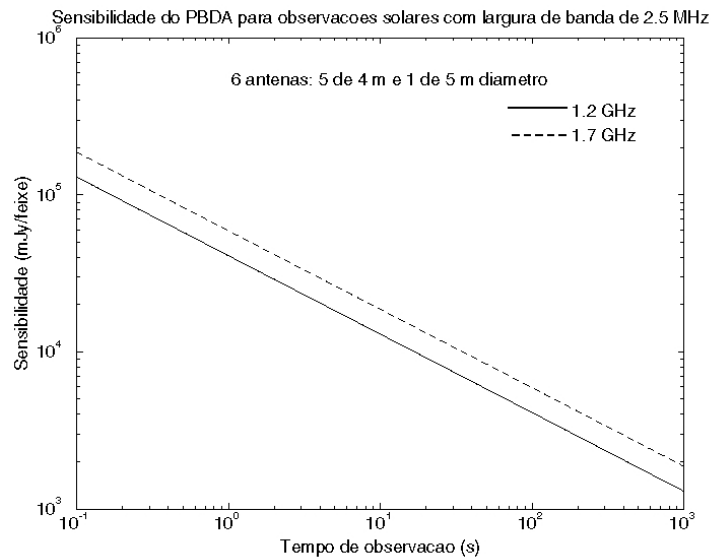


FIGURA 4.7 – Sensibilidade (mJy/beam) do PBDA versus tempo de observação solar, para 1,2-1,7 GHz.

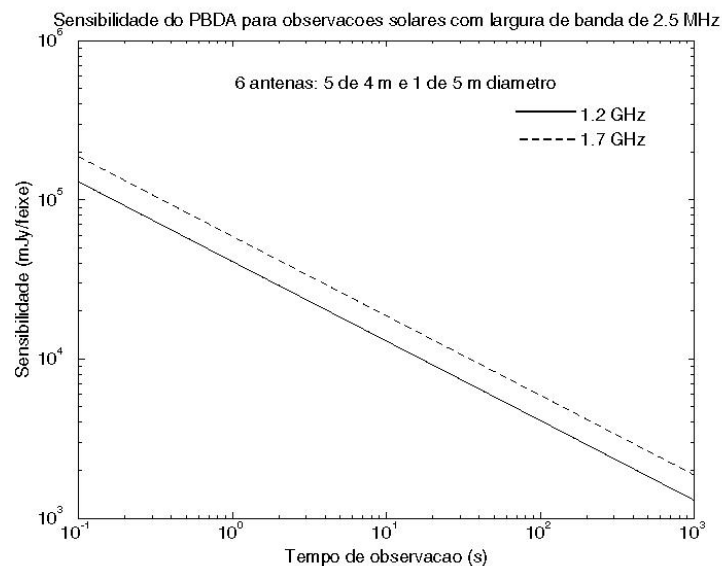


FIGURA 4.8 – Sensibilidade (mJy/beam) do PBDA versus tempo de observação solar, para 1,2-1,7 GHz, considerando a 6ª antena de 5 metros de diâmetro.

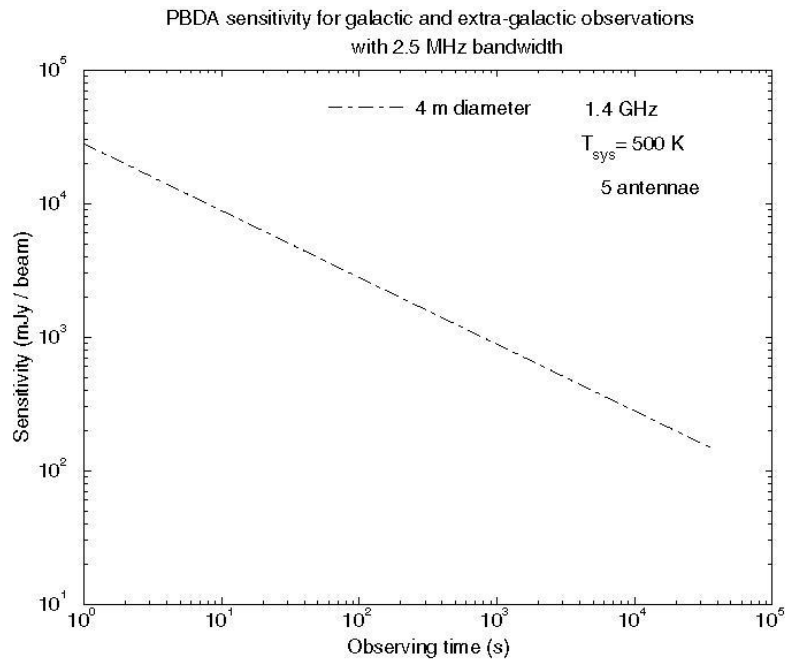


FIGURA 4.9 – Sensibilidade (mJy/beam) do PBDA versus tempo de observação, para observações galática e extra-galática em 1,4 GHz.

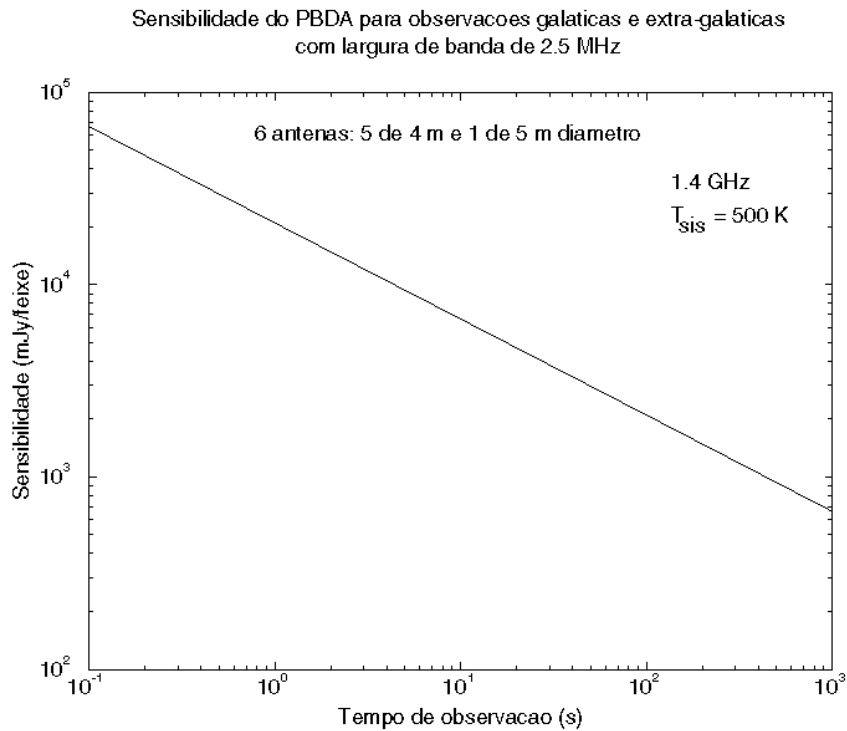


FIGURA 4.10 – Sensibilidade (mJy/beam) do PBDA com 6 antenas versus tempo de observação, para observações galática e extra-galática em 1,4 GHz.

5 - SISTEMA DIGITAL

5.1 - Introdução

Nesta primeira fase de desenvolvimento, o “Brazilian Decimetric Array” - BDA (Sawant et al., 2002) é constituído 5 elementos - cinco antenas com sistema completo de posicionamento, apontamento e rastreamento e “*front-end*” e receptor - dispostos em uma única linha de base na direção Leste-Oeste, operando em modo unidimensional. As correlações dos sinais provenientes das antenas são realizadas para todos os pares interferométricos do BDA, totalizando 20 saídas correspondente às componentes co-seno (parte real) e seno (imaginária) de cada interferômetro. Uma vez que cada interferômetro fornece uma medida da função visibilidade complexa da fonte observada (parte real e imaginária), as 20 saídas acima correspondem às 10 amostras da função visibilidade complexa para as 10 diferentes linhas de base do arranjo. As amostras da função visibilidade são obtidas usando correlacionadores de 1 bit de quantização (circuitos correlacionadores de 2 níveis, Weinreb, 1963). Tais correlacionadores podem ser implementados por meio de circuitos digitais o que possibilita maior estabilidade ao sistema receptor do que um correlacionador analógico.

As seguintes operações são executadas no “*back-end*” do sistema receptor do BDA. O sinal proveniente dos amplificadores de Frequência Intermediária (FI), no último estágio do receptor analógico, é passado através de uma unidade de chaveamento de fase (PAS-1 da Mini-Circuits Inc., USA) na entrada do prédio de controle (chaveamento Walsh, Beauchamp, 1975). Os sinais são então quantizados em dois níveis de quantização por um comparador de alta velocidade AD790. A saída do comparador é um sinal TTL, correspondente à entrada do Sinal de FI, sendo que um nível lógico baixo ou alto é produzido quando o sinal de FI está abaixo ou acima do nível de referência (terra). O sinal quantizado é então amostrado por um flip-flop tipo D (74LS74) com uma frequência de amostragem de 5 MHz, segundo o critério de Nyquist para uma FI de 2,5 MHz, mostrado na Figura 5.1. Uma porta ou-exclusiva é utilizada para realizar a demodulação do chaveamento Walsh. Após a remoção da inversão de fase, o sinal então segue para uma linha de atraso digital implementada por meio de registradores de deslocamento (74LS151). O atraso necessário é implementado sob o controle de um computador em passos de 0,2 μ s até um máximo de 3 μ s. Isto permite a realização de observações de fontes localizadas distantes do zênite através da aplicação de correções apropriadas do atraso geométrico sofrido pelas diferentes antenas.

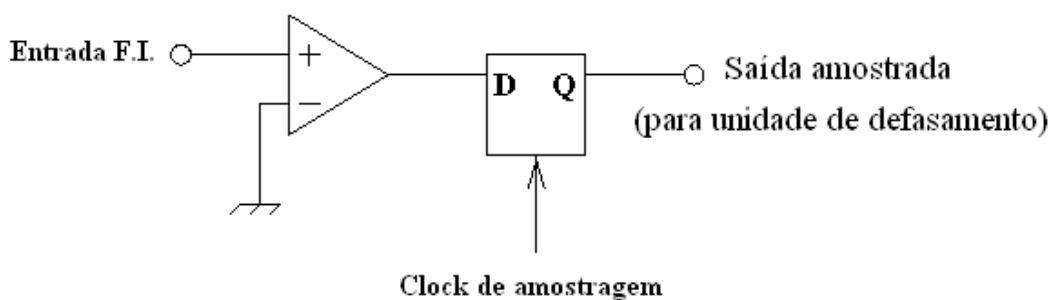


FIGURA 5.1 – Diagrama de blocos do circuito digitalizador.

O sistema correlacionador foi construído usando chips correlacionadores projetados para o Radio Heliógrafo Nobeyama (Nakajima et al., 1995) e para o Gauribidanur Radioheliograph (Ramesh et al., 1998). A arquitetura dos chips é mostrada nas Figuras 5.2 e 5.3. cada chip pode acomodar até 4 antenas. Por exemplo, se o sinal das antenas 1, 2, 3 e 4 são conectados a entrada do correlacionador, então as saídas serão as correlações entre os seguintes pares: 1×2, 1×3, 1×4, 2×3, 2×4 e 3×4. Se C_1 , S_1 e C_2 , S_2 correspondem às componentes co-seno e seno do sinal de FI

das antenas 1 e 2 respectivamente, então cada correlação co-seno e seno produzirão uma saída igual a $C_1 \oplus C_1 + S_1 \oplus S_2$ e $C_1 \oplus C_1 - S_1 \oplus S_2$, respectivamente.

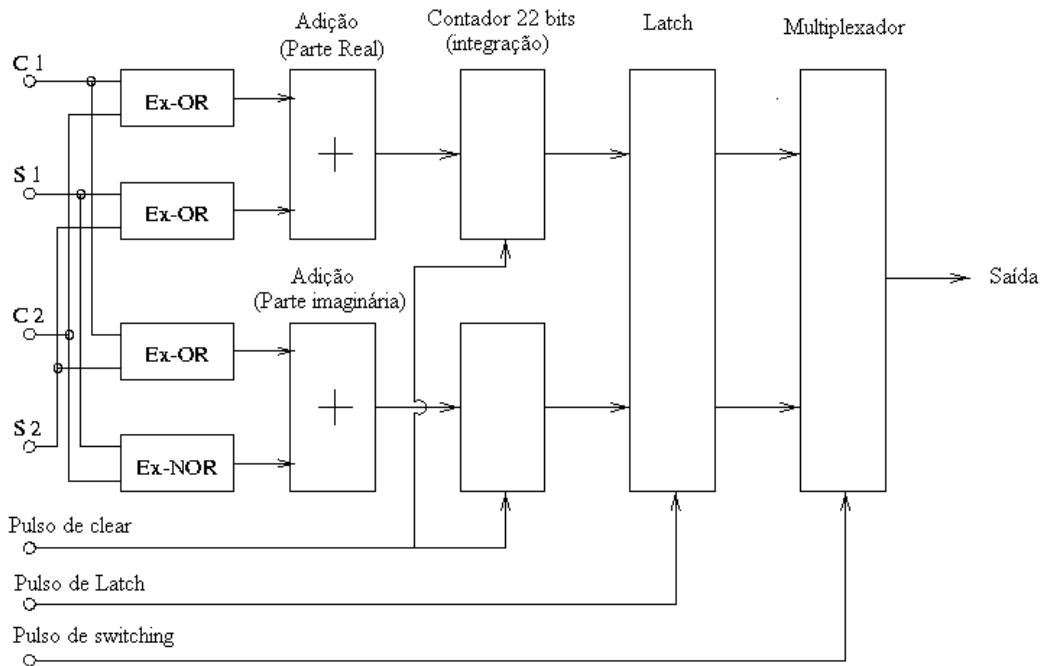


FIGURA 5.2 – Circuito do chip correlacionador.

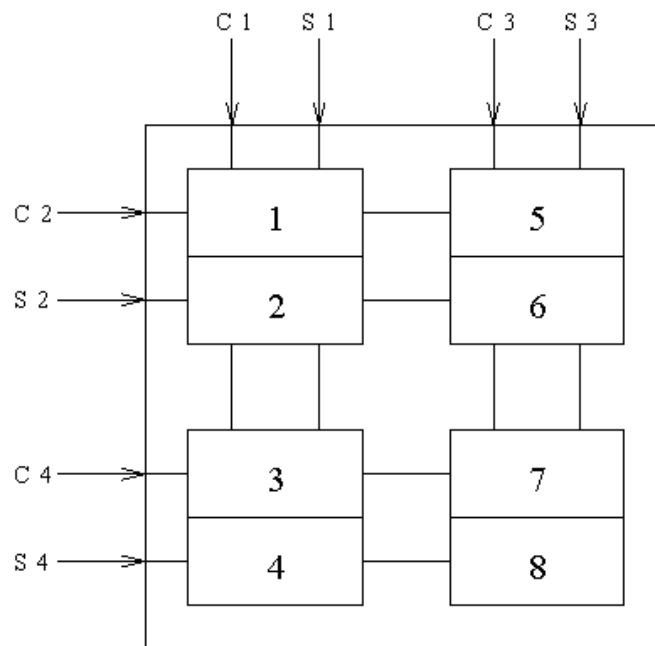


FIGURA 5.3 – Diagrama funcional do chip correlacionador.

Ao fim de cada período de integração de aproximadamente 100 ms, os dados provenientes dos diferentes correlacionadores são armazenados em um das duas unidades de memória existentes no sistema correlacionador do BDA. O processo de leitura e gravação dos dados correlacionados em uma determinada unidade de memória leva um tempo de até 256

ciclos de integração. Neste período, os dados previamente armazenados na outra unidade de memória são lidos por um computador conectado ao sistema correlacionador. Ao fim de um período de 256 ciclos o processo de leitura e gravação inverte-se em relação às unidades de memória do correlacionador (Ramesh et al., 1998; Ramesh et al., 1999).

5.2 - Medida da potência total

O uso de um correlacionador de 1-bit resulta na perda da informação sobre a amplitude do sinal de entrada, uma vez que, este é digitalizado como +1 ou 0 (zero) dependendo de quando o mesmo estiver acima ou abaixo do nível de referência. Assim sendo, a informação sobre a intensidade absoluta do sinal será perdida, uma vez que somente o sinal (positivo ou negativo) da forma de onda de entrada é obtido. A saída de um correlacionador de 1-bit é proporcional à razão entre a potência (intensidade) do sinal correlacionado e a soma do sinal correlacionado e o não-correlacionado, ou seja, do correlacionador provém uma medida do coeficiente de correlação normalizado, diferentemente de um correlacionador analógico onde a saída é proporcional somente ao sinal correlacionado da fonte (Figura 5.4).

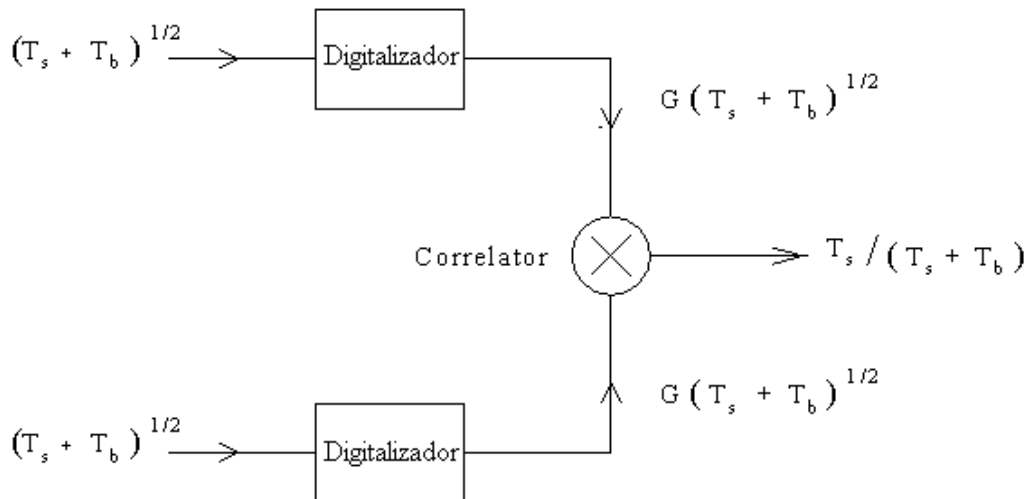


FIGURA 5.4 – Saída do correlacionador de 1 bit.

Se T_s é a temperatura de brilho da fonte e T_b é a temperatura de brilho de fundo do céu na direção da fonte, então o coeficiente de correlação medido pelo correlacionador de 1-bit é dado por:

$$\rho_m \propto \frac{T_s}{T_s + T_b} \quad (5.1)$$

Assim para se obter o verdadeiro coeficiente de correlação ($\propto T_s$), a potência total recebida pela antena (ou seja $T_s + T_b$) tem que ser medido separadamente e multiplicado com o coeficiente de correlação medido na Equação 5.1. As técnicas convencionais para medir a intensidade do sinal de entrada requerem o uso de detectores quadráticos, conversores analógicos, etc. Também há a dificuldade de sincronização entre a aquisição de dados e o sistema correlacionador. Pode-se configurar o chip correlacionador de 1-bit para medir a intensidade do sinal de entrada e deste modo o set-up pode ser incluído como uma parte do “back end” do receptor mostrado na Figura 5.5 (ver UdayaShankar, 1986; Ramesh 1998 para detalhes deste tópico). Em adição, a perda da informação sobre a amplitude, a sensibilidade de um correlacionador de 1-bit é de 64% comparado a um correlacionador analógico (Van Vleck e

Middleton, 1966). Entretanto, esta perda da sensibilidade não é preocupante no caso de observações solares devido à alta intensidade do sinal recebido. A Figura 5.6 mostra a potência total obtida pela antena 1 na observação do trânsito Solar.

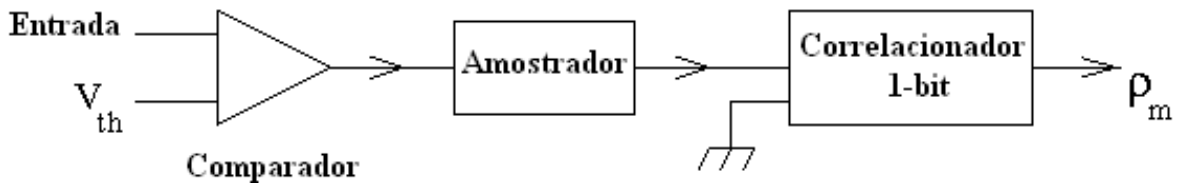


FIGURA 5.5 – Medida da potência total usando o correlacionador de 1-bit.

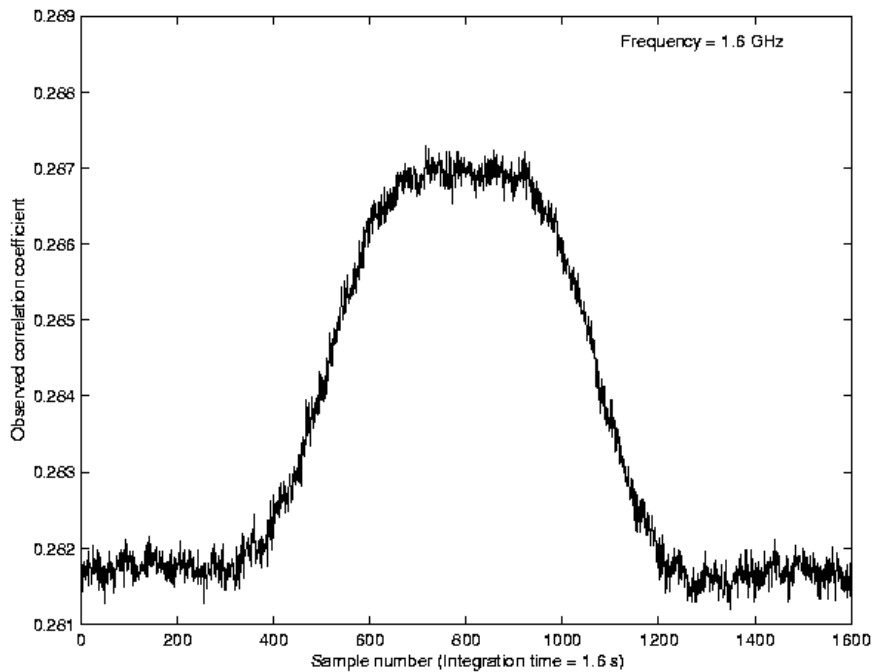


FIGURA 5.6 – Potência total do Sol medido com a antena 1 do BDA em 9 de dezembro de 2004.

5.3 - Chaveamento Walsh

Embora todas as precauções sejam tomadas para proteger os cabos de FI e o conversor A/D haverá sempre a possibilidade de uma certa quantidade de “crosstalk” entre os sinais individuais dos canais que causam baixo nível de correlações espúrias (Figura 5.7). Um chaveamento Walsh é utilizado para minimizar o “crosstalk” entre os sinais. Assumindo que a maioria do “crosstalk” ocorre dentro do prédio de controle, devido à proximidade dos cabos e ao “offset DC” ocorrido nos conversores A/D, o sinal de saída de cada antena é modulado imediatamente na entrada no prédio de controle por um chaveamento de fase, o qual é periodicamente invertido usando uma seqüência binária ortogonal. Desde que o período de chaveamento seja uma fração inteira do período de integração, o sinal afetado do “crosstalk” torna-se nulo (zero), uma vez que é correlacionado positiva e negativamente durante as duas metades do período de integração. Este esquema de inversão de fase é subsequentemente demodulado na saída do digitalizador (Figuras 5.8 e 5.9) (ver Ramesh, 1998 para maiores detalhes deste esquema).

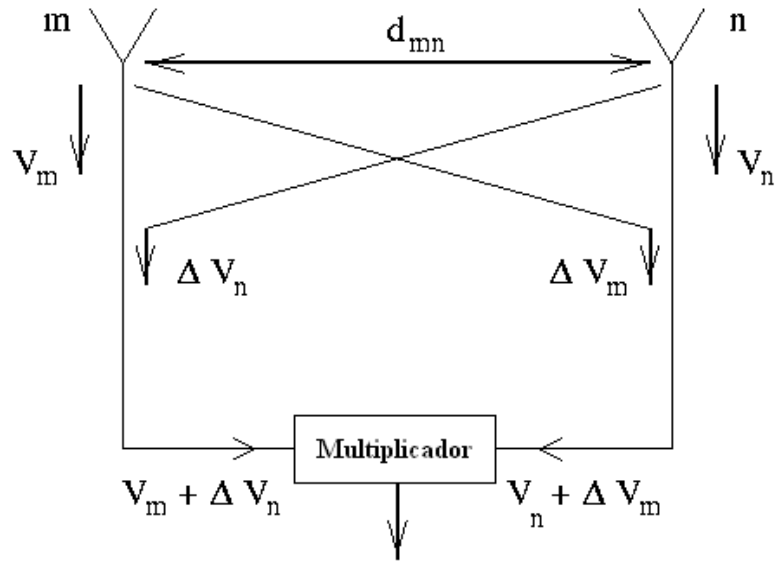


FIGURA 5.7 – “Crosstalk” em um interferômetro de dois elementos.

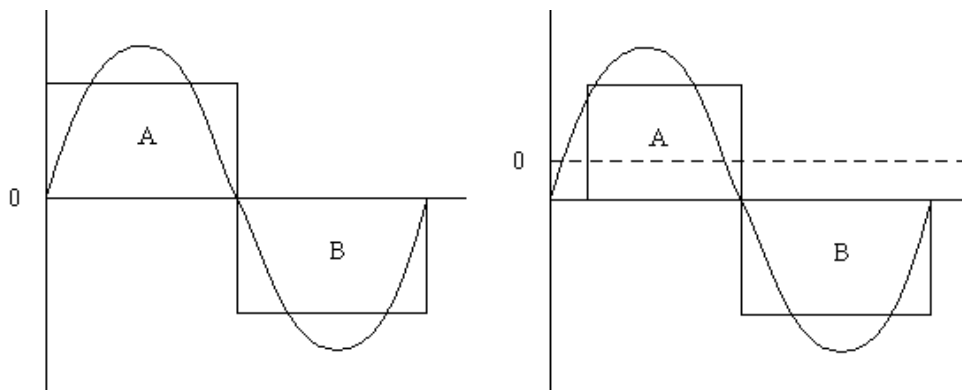


FIGURA 5.8 – “DC offset” no conversor A/D do BDA.

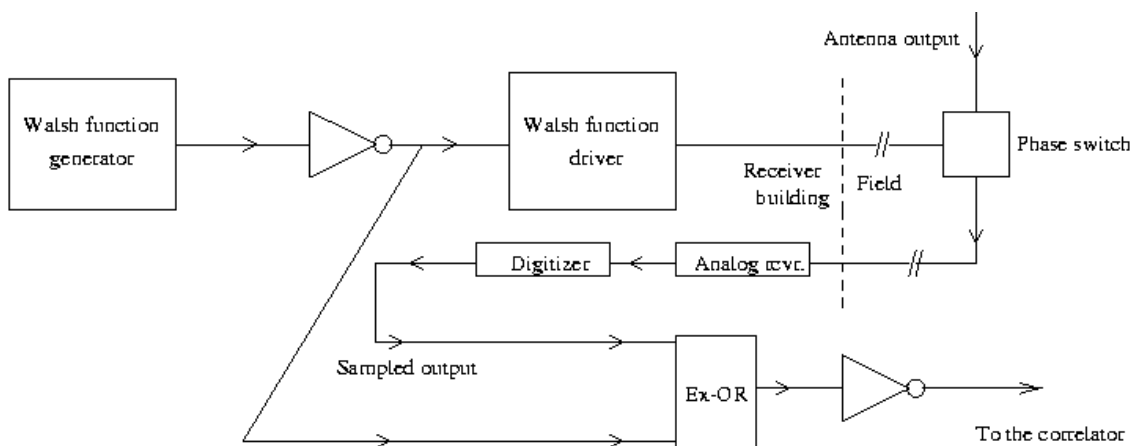


FIGURA 5.9 – Esquema do chaveamento usado no BDA.

5.4 - Sistema de Atraso Digital

A saída de um interferômetro correlacionador é dada por (Thompson et al., 1990):

$$F = \cos\left(\frac{2\pi D \varepsilon \nu}{c}\right) \quad (5.2)$$

onde D é o comprimento da linha de base, $\varepsilon = \cos\theta$ é a direção co-seno medida em relação à linha de base, θ é o ângulo de incidência da radiação com relação à normal ao plano da linha de base, ν é a frequência de observação. A expressão acima é verdadeira somente se a frequência de observação é estritamente monocromática. Entretanto em geral o sinal recebido é obtido para uma determinada faixa de frequências $\Delta\nu$ com frequência central ν_o . Assim sendo a Equação 5.2 torna-se:

$$F(\nu_o) = -\frac{1}{\Delta\nu} \int_{\nu_o - \Delta\nu/2}^{\nu_o + \Delta\nu/2} \cos\left(\frac{2\pi D \varepsilon \nu}{c}\right) \quad (5.3)$$

$$F(\nu_o) = \cos\left(\frac{2\pi \varepsilon \nu_o}{c}\right) \frac{\sin(\pi D \varepsilon \Delta\nu / c)}{\pi D \varepsilon \Delta\nu / c} \quad (5.4)$$

Nota-se que a saída (Equação 5.4) é modulada por uma função *sinc*, sendo que esta terá um máximo se o atraso entre os dois sinais no correlacionador for zero. Se o atraso entre os sinais não for compensado antes da correlação, conduzirá a uma perda na coerência entre os dois sinais. Assim, faz-se necessário inserir um atraso apropriado no sinal proveniente das duas antenas a fim de preservar a coerência entre os sinais (particularmente em observações cuja fonte esteja afastada do Zênite). No BDA, este atraso é realizado através de uma unidade de atraso digital (ver Figura 5.10) a qual pode compensar atrasos geométricos em passos de $0,2 \mu\text{s}$, como mencionado anteriormente. A Figura 5.11 mostra as observações solares realizadas com as antenas 1 e 3, utilizando o esquema descrito acima.

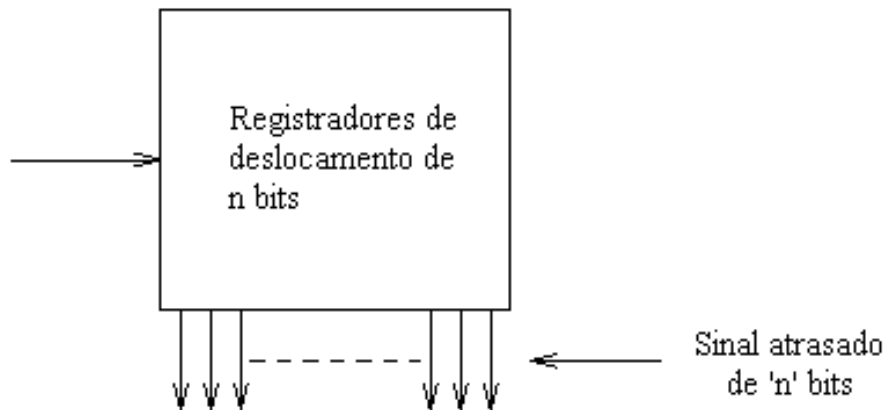


FIGURA 5.10 – Unidade de atraso digital.

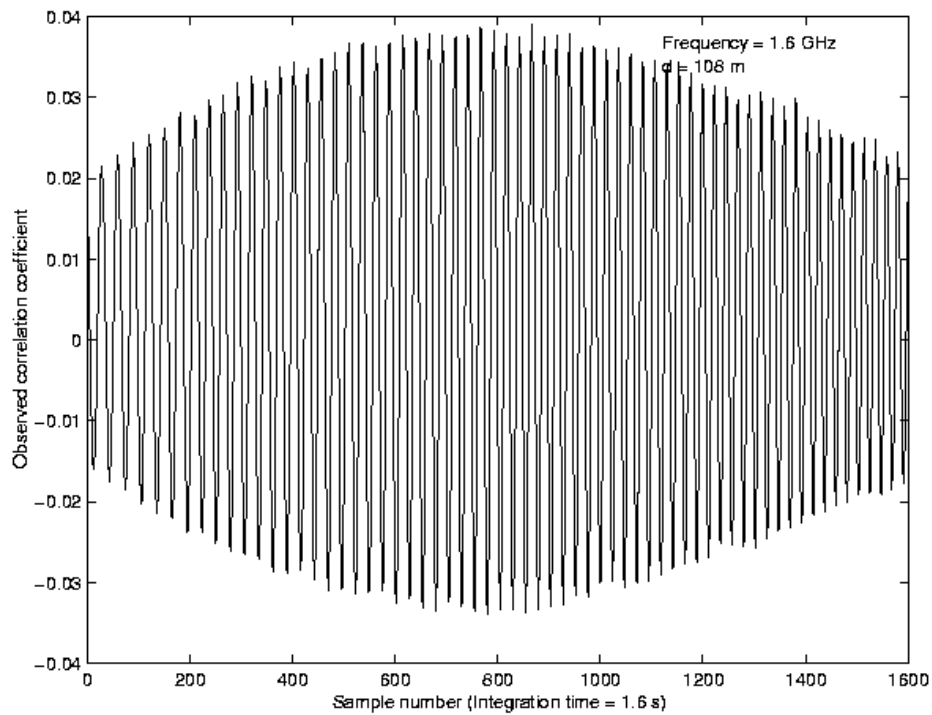


FIGURA 5.11 – Observação do Sol realizada com as antenas 1 e 3 do BDA no modo rastreo, em 4 de Dezembro de 2004.

6 - CONFIGURAÇÃO DO PBDA

6.1 - Escolha da Configuração

Um arranjo interferométrico, tal como o BDA, é um instrumento que permite a observação de fontes astronômicas através de medidas da correlação entre os sinais recebidos pelos diversos telescópios que constituem o arranjo. O produto da correlação dos diversos pares interferométricos do arranjo é chamado de função visibilidade (Thompson et al., 1990), a qual representa a transformada de Fourier da distribuição de brilho da fonte observada, assim, utilizando as visibilidades obtidas pelo arranjo pode-se estimar a distribuição de brilho original da fonte através de uma transformada inversa de Fourier. Na prática, as visibilidades medidas pelo arranjo são realizadas em um conjunto finito de pontos no plano de Fourier.

Os pontos, ou frequências espaciais, amostrados pelo arranjo são determinados principalmente pelo vetor distância de todos os possíveis pares de antenas que constituem o arranjo (Thompson et al., 1990; Wohlenben, et al., 1991). Cada par interferométrico mede uma componente de Fourier específica, tal componente é determinada pela distância projetada (entre as duas antenas) em um plano normal ao ângulo de incidência da radiação proveniente da fonte, sendo que esta distância projetada é medida em comprimentos de onda.

A escolha da configuração de um arranjo interferométrico é uma das principais tarefas do projeto de um rádio interferômetro como o BDA. A distribuição geométrica das antenas determina as frequências espaciais nas quais as medidas da função visibilidade da rádio-fonte observada serão realizadas, ou seja, é a configuração do arranjo que determina a função de amostragem no plano de Fourier e conseqüentemente uma maior ou menor fidelidade da imagem sintetizada da fonte. A escolha da configuração para um arranjo interferométrico é determinada visando atender os objetivos científicos do projeto, bem como, as restrições de custos e restrições geográficas do terreno onde o mesmo será construído. Nesta primeira fase do BDA (PBDA) procurou-se uma configuração que viesse a atender os diversos requisitos desta fase do projeto, ou seja, a realização dos vários testes de engenharia que permitirão otimizar os subsistemas eletrônicos do BDA para as fases seguintes, bem como, a realização das primeiras observações solares, permitindo assim, obter informações unidimensionais da distribuição de brilho do Sol.

Considerando a disponibilidade da infra-estrutura e do apoio do INPE foi proposta a instalação do BDA no INPE em Cachoeira Paulista. Este local é aproximadamente 110 km a Nordeste da sede do INPE em São José dos Campos.

Nesta primeira fase de desenvolvimento do BDA, as cinco antenas foram dispostas em uma única linha de base na direção Leste-Oeste, de forma a se obter uma distância máxima entre as antenas de 216 m. Esta máxima linha de base permitirá ao BDA uma resolução espacial de aproximadamente $\approx 2,8$ minutos de arco para uma frequência de observação de 1,6 GHz, o que corresponde a aproximadamente 1/12 do disco solar.

A opção por implementar um arranjo unidimensional, com todas as antenas dispostas em uma única linha de base na direção Leste-Oeste, justifica-se pelo limitado número de antenas do arranjo. O PBDA possui 5 antenas, isto implica na existência de 10 pares interferométricos $[N*(N-1)/2]$, ou seja, 10 amostras da função visibilidade da fonte observada. Estudos realizados mostraram que a reconstrução de imagens bi-dimensionais a partir deste pequeno número de amostras foi insatisfatória. A implementação de um arranjo unidimensional permitiu uma amostragem unidimensional mais uniforme do plano uv e uma reconstrução do perfil unidimensional original da fonte menos susceptível a erros provenientes de componentes de frequências não amostrados. Esta configuração unidimensional permitiu o uso de uma linha de base máxima de 216 m, implicando no desenvolvimento de tecnologia para

transmissão/recepção dos sinais de rádio do BDA para distâncias longas, tecnologia esta, necessária para o desenvolvimento das fases subseqüentes do BDA.

A Figura 6.1 ilustra a configuração do PBDA (Faria et al., 2004). Esta configuração usa uma distribuição com mínima redundância das cinco antenas dispostas sobre a linha de base Leste-Oeste. A antena mais a Oeste foi designada como Antena A1 e a antena mais a Leste como Antena A5. Esta distribuição, com mínima redundância, visa obter uma distribuição mais uniforme dos pontos amostrados no plano uv e com um maior número de pontos amostrados evitando redundâncias, uma vez que o número de antenas (5) é reduzido. O centro do Arranjo encontra-se nas coordenadas Longitude 45° 00' 15" Oeste e Latitude: 22° 41' 36" Sul.



FIGURA 6.1 – Plano da localização das antenas para o PBDA, em Cachoeira Paulista, SP.

O espaçamento mínimo escolhido entre as antenas foi de 18 m (ver antenas A3 e A4 da Figura 6.1), este espaçamento mínimo entre as antenas foi escolhido pelo tamanho do disco solar em rádio na frequência de 1,6 GHz, aproximadamente 32 minutos de arco. Assim sendo, este espaçamento implicará num campo de visada de aproximadamente 36 minutos de arco, o que é suficiente para a observação de todo o disco solar. O espaçamento mínimo escolhido foi a = 18 metros, sendo que as distâncias entre as cinco antenas seguem a seguinte distribuição: 4a, 2a, 1a e 5a. A Tabela 6.1 mostra as linhas de base obtidas para todos os pares interferométricos do arranjo.

TABELA 6.1 – Comprimentos das linhas de base para o PBDA.

Pares interferométricos (correlações)	Comprimento da linha de base (em metros)
A1 × A2	72
A1 × A3	108
A1 × A4	126
A1 × A5	216
A2 × A3	36
A2 × A4	54
A2 × A5	144
A3 × A4	18
A3 × A5	108
A4 × A5	90

6.2 - Cobertura do plano uv e feixe do PBDA

Nesta primeira etapa do projeto, foi desenvolvido um protótipo para simulação dos dados gerados pelo BDA. O protótipo desenvolvido consiste em uma interface computacional para simulação do funcionamento de arranjos radio interferométricos, desenvolvido na linguagem IDL (Interactive Data Language). O IDL foi escolhido por oferecer um grande conjunto de ferramentas para processamento e visualização de dados científicos, além de ser largamente utilizado no meio astronômico, o que o torna apropriado para o desenvolvimento do protótipo. Este simulador está permitindo definir uma metodologia de imageamento que possa ser aplicado ao BDA, além de ter sido aplicado nos estudos de configuração das antenas do PBDA e fase subsequente.

A metodologia adotada (Faria et al., 2004) para geração dos dados simulados do BDA é descrita a seguir:

1. Cálculo da função de amostragem, ou plano de cobertura uv , designado por $S(u,v)$;
2. Cálculo da Transformada Inversa de Fourier do padrão $S(u,v)$, de forma a se obter a Função de Espalhamento Pontual (FEP) do sistema;
3. Geração das visibilidades complexas $V(u,v)$, a partir do cálculo da Transformada de Fourier da fonte observada $I(x,y)$;
4. Amostragem da função visibilidade através da multiplicação de $V(u,v)$ por S ;
5. Cálculo da Transformada Inversa de Fourier sobre $V(u,v)$ para obtenção da "imagem suja" $I^p(x,y)$.

A implementação dos procedimentos acima em um sistema computacional para simulação das imagens geradas pelo BDA está permitindo estudar os efeitos da configuração do arranjo sobre a cobertura do plano uv obtida e a conseqüente qualidade da imagem gerada. Uma interface gráfica permite que o usuário escolha o número de antenas a serem utilizadas, bem como, a localização destas no arranjo. A partir de uma configuração escolhida, obtém-se a localização dos pontos no plano uv , onde a função visibilidade será amostrada. As amostras da função visibilidade são então utilizadas para a obtenção da imagem sintetizada suja através da sua inversa de Fourier. A partir da imagem suja pode-se então aplicar técnicas de restauração de imagens a fim de se estimar a distribuição de brilho original da fonte. Essas técnicas são baseadas em métodos de deconvolução de imagens, uma vez que o processo de degradação da imagem original pode, na maioria das vezes, ser aproximado por uma integral de convolução. Em radioastronomia, o processo de deconvolução de imagens tem sido dominado principalmente por dois algoritmos clássicos: o método de regularização da máxima entropia, conhecido como MEM (Maximum Entropy Method) (Jaynes, 1957; Naryan e Natayanada, 1986) e o algoritmo CLEAN (Hogbom et al., 1974; Clark, 1980).

Para o PBDA, foram realizadas investigações a fim de verificar a capacidade de imageamento da configuração escolhida. A partir da localização das antenas (mostradas na Figura 6.1) foram calculadas a cobertura do plano uv e a resposta a uma fonte pontual conhecida como Função de Espalhamento Pontual (FEP) ou o feixe sintetizado do arranjo. A Tabela 2 mostra os principais parâmetros utilizados na simulação.

TABELA 6.2 – Parâmetros de entrada da simulação do plano uv .

Posições das Antenas	-90 0 18 54 126
Comprimento de Onda (m)	0.187559
Campo de Visada (arcmin)	40
Resolução (arcmin)	2.98509
Linhas de Base (m)	18 36 54 72 90 108 108 126 144 216

A Figura 6.2 mostra a cobertura uv obtida e o feixe sintético da configuração do PBDA com lóbulos laterais inferiores a 20% do lóbulo central.

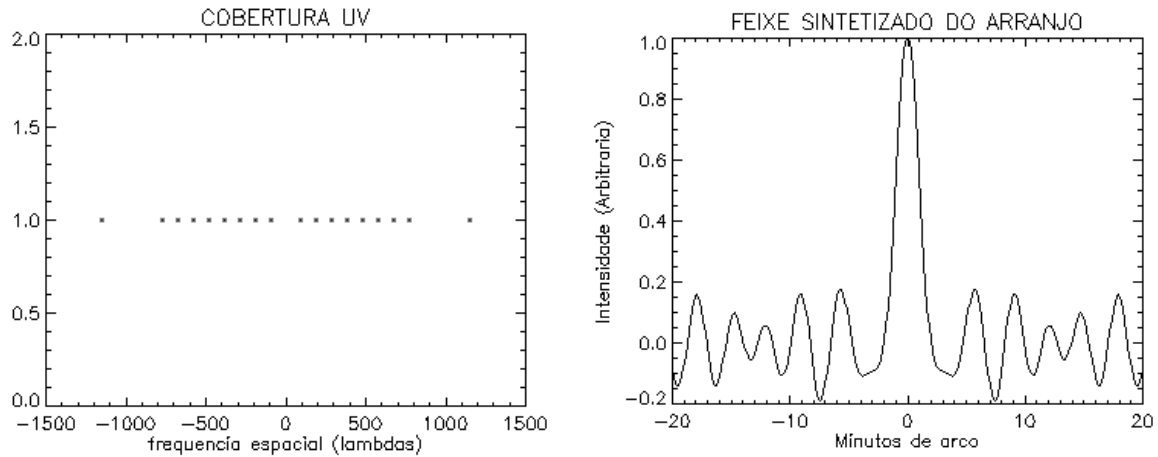


FIGURA 6.2 – Cobertura UV e Feixe Sintetizado (FEP) obtido a partir da configuração do PBDA.

6.3 - Resolução Espacial

O PBDA fornecerá as visibilidades complexas para cada par interferométrico conforme ilustrado na Figura 6.3.

A1×A2	
A1×A3	A2×A3
A1×A4	A2×A4 A3×A4
A1×A5	A2×A5 A3×A5 A4×A5

FIGURA 6.3 - Conjunto de correlações (pares interferométricos) para as 5 antenas do PBDA.

O sistema correlacionador digital do BDA foi projetado de forma que os coeficientes de correlação de todos os pares interferométricos do arranjo sejam obtidos com um tempo de integração de ≈ 100 ms. O feixe obtido pela correlação das antenas será de aproximadamente 1/10 do tamanho do disco solar dependendo do par interferométrico escolhido (~ 3 minutos de arco para o par A1×A5 na frequência de 1,6 GHz).

A Tabela 6.3 mostra as resoluções esperadas para cada linha de base que forma o PBDA. A resolução espacial (δ) de um par interferométrico é dada por:

$$\delta = \sin^{-1}(\lambda / B) \tag{6.1}$$

onde λ é o comprimento de onda observado e B é a distância entre as antenas que compõem o par interferométrico.

O centro de controle (Figura 6.1), situado a 30 metros do centro do arranjo, possui computadores instalados para controle e aquisição dos dados do BDA. Um sistema de aquisição de dados, desenvolvido pelo Indian Institute of Astrophysics (IIA), é responsável pela leitura dos coeficientes de correlação de todos os pares interferométricos do arranjo. Os conjuntos de dados lidos são armazenados em arquivos em formato ASCII. O computador de controle fornece também as tabelas de apontamento para os computadores de controle e posicionamento, localizados nas antenas e o diagnóstico dos receptores. Um software de imageamento, desenvolvido em IDL, é responsável pela síntese das imagens instantâneas do BDA.

TABELA 6.3 – Linhas de base e resolução esperada para o PBDA a 1.6 GHz.

Pares interferométricos (correlações)	Resolução espacial esperada (minutos de arco)
A3 × A4	35,8
A2 × A3	17,9
A2 × A4	11,9
A1 × A2	8,95
A4 × A5	7,16
A1 × A3	5,96
A1 × A4	5,11
A2 × A5	4,47
A1 × A5	2,98

Nesta primeira fase, foram realizadas as primeiras observações do BDA para obtenção das franjas interferométricas e síntese do perfil unidimensional do Sol utilizando o sistema correlacionador digital para as 5 antenas desenvolvido pelo IIA para o PBDA.

6.3.1 - Determinação experimental da resolução espacial

Para determinação experimental da resolução espacial dos pares interferométricos do BDA foram realizadas observações do trânsito solar e obtenção das franjas interferométricas utilizando o sistema correlacionador digital para 5 antenas desenvolvido pelo IIA para o PBDA.

O Apêndice A possui um catálogo com o conjunto de franjas seno e co-seno obtidas por todos os pares interferométricos do BDA na observação do trânsito solar em 11 de dezembro de 2004. A partir destas franjas interferométricas, foi possível medir a resolução espacial de cada linha de base do arranjo para conferência com a resolução esperada do mesmo. A resolução espacial de cada par interferométrico pode ser medida como a distância angular entre dois mínimos consecutivos das franjas da correlação co-seno ou seno do par interferométrico correspondente. A Tabela 6.4 apresenta a resolução espacial medida para todos os pares interferométricos do PBDA.

TABELA 6.4 – Linhas de base e resolução medida para o PBDA a 1.6 GHz.

Pares interferométricos (correlações)	Linha de base (m)	Resolução espacial medida (minutos de arco)
A3 × A4	18	36,4
A2 × A3	36	18,2
A2 × A4	54	12,2
A1 × A2	72	9,05
A4 × A5	90	7,26
A1 × A3	108	6,10
A1 × A4	126	5,20
A2 × A5	144	4,61
A1 × A5	216	3,02

6.4 - Esquema de calibração do BDA

A função visibilidade medida na saída do correlacionador complexo de um determinado par interferométrico do arranjo, denotada por V_{ij}^{obs} , é definida por:

$$V_{ij}^{obs} = V_{ij}^{true} g_i g_j^* + c_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (6.2)$$

onde i e j identificam o par de antenas que compõe o par interferométrico; g_i e g_j correspondem ao ganho complexo para a antena i e j , respectivamente, e $*$ denota o complexo conjugado. O termo g_{ij} representa o ganho complexo dependente da linha de base ij ; c_{ij} consiste em um erro aditivo proveniente de diversos fatores, como erro do atraso instrumental, comprimento dos cabos, etc; e ε_{ij} é o erro proveniente principalmente do ruído térmico do sistema receptor.

6.4.1 - Calibração da Amplitude

O processo de calibração da amplitude da visibilidade complexa medida pelos pares interferométricos do BDA será realizado através da observação das seguintes fontes calibradoras:

1. Virgo A (3C274 ou M87), $S_{1600} \approx 166 \text{ Jy}$, RA(2004.1)=12^h31^m05^s, Dec(2004.1)=12° 22’;
2. Taurus A (3C144 ou M1), $S_{1600} \approx 897 \text{ Jy}$, RA(2004.1)=05^h31^m05^s, Dec(2004.1)=12° 22’;
3. Cygnus A (3C405), $S_{1600} \approx 1257 \text{ Jy}$, RA(2004.1)=19h59m39s, Dec(2004.1)=40° 45’.

A observação das fontes calibradoras citadas acima foi realizada utilizando apenas os pares interferométricos A1×A2, A1×A3, A2×A3. Uma vez que a dimensão das fontes calibradoras é muito menor que a largura do feixe primário de cada antena ($\approx 2,5^\circ$ na frequência de 1,6 GHz), assumiu-se que não há variação de ganho entre os diferentes canais em ambos os sistemas receptores, analógico e digital. Assim sendo, as amplitudes calibradas para as três linhas de base foram utilizadas na calibração de todas as linhas de base do BDA.

6.4.2 - Calibração em Fase

A fase da visibilidade complexa observada por um determinado par interferométrico, devido a erros introduzidos pela atmosfera e outros efeitos (cabos, erros de compensação de atraso, etc), é dada por (Jennison, 1958):

$$\phi_{ij}^{obs} = \phi_{ij}^{true} + \phi_i^{err} - \phi_j^{err} \quad (6.3)$$

onde ϕ_i^{err} e ϕ_j^{err} são as fases correspondentes ao par formado pela i -ésima e j -ésima antena.

Utilizando a técnica conhecida como “closure phase” proposta por Jennison (1958), podem-se eliminar tais erros de fase, formando uma relação fechada entre três pares interferométricos, dado pelas antenas i , j e k quaisquer do arranjo, de forma que:

$$\phi_{ij}^{obs} = \phi_{ij}^{true} + \phi_i^{err} - \phi_j^{err} \quad (6.4)$$

$$\phi_{jk}^{obs} = \phi_{jk}^{true} + \phi_j^{err} - \phi_k^{err} \quad (6.5)$$

$$\phi_{ki}^{obs} = \phi_{ki}^{true} + \phi_k^{err} - \phi_i^{err} \quad (6.6)$$

A soma das fases acima produz uma fase do fechamento $\langle i,j,k \rangle$, ϕ_{ijk} , livre dos erros de fase presentes na Equação 6.3, embora erros provenientes de ruídos no sistema receptor ainda estejam presentes.

$$\phi_{ijk} = \phi_{ij}^{true} + \phi_{jk}^{true} - \phi_{ik}^{true} \quad (6.7)$$

A obtenção das visibilidades, não corrompidas por erros, de cada par interferométrico que compõe o arranjo pode ser obtida formando todas equações de fase associadas aos possíveis grupos de três antenas $\langle i,j,k \rangle$. Assim sendo, em um arranjo interferométrico formado por N antenas, pode-se arranjar tais equações em um sistema linear na forma matricial:

$$Ax = b \quad (6.8)$$

onde A é a matriz de coeficientes; x é uma matriz coluna constituída pelas fases verdadeiras ϕ^{true} e b é uma matriz coluna constituídas pelas somas da fase do fechamento $\langle i,j,k \rangle$. A solução da Equação 6.8 pode ser obtida utilizando-se uma técnica de solução de sistemas lineares. As fases obtidas podem ser então combinadas com as amplitudes observadas de cada linha de base, a fim de se obter a visibilidade complexa verdadeira da fonte observada (ver Rogstad, 1968; Readhead e Wilkinson; 1978 e Pearson e Readhead, 1984 para maiores detalhes).

6.4.3 - Aplicação aos dados do BDA

Uma vez que o BDA FASE I possui 5 antenas, é possível obter 10 grupos independentes de três antenas. Numerando as antenas de 1 a 5 tem-se as seguintes relações de fase:

$$\begin{aligned} \phi_{1,2,3} &= \phi_{1,2}^{true} + \phi_{2,3}^{true} - \phi_{1,3}^{true} \\ \phi_{1,2,4} &= \phi_{1,2}^{true} + \phi_{2,4}^{true} - \phi_{1,4}^{true} \\ \phi_{1,2,5} &= \phi_{1,2}^{true} + \phi_{2,5}^{true} - \phi_{1,5}^{true} \\ \phi_{1,3,4} &= \phi_{1,3}^{true} + \phi_{3,4}^{true} - \phi_{1,4}^{true} \\ \phi_{1,3,5} &= \phi_{1,3}^{true} + \phi_{3,5}^{true} - \phi_{1,5}^{true} \\ \phi_{1,4,5} &= \phi_{1,4}^{true} + \phi_{4,5}^{true} - \phi_{1,5}^{true} \\ \phi_{2,3,4} &= \phi_{2,3}^{true} + \phi_{3,4}^{true} - \phi_{2,4}^{true} \\ \phi_{2,3,5} &= \phi_{2,3}^{true} + \phi_{3,5}^{true} - \phi_{2,5}^{true} \\ \phi_{2,4,5} &= \phi_{2,4}^{true} + \phi_{4,5}^{true} - \phi_{2,5}^{true} \\ \phi_{3,4,5} &= \phi_{3,4}^{true} + \phi_{4,5}^{true} - \phi_{3,5}^{true} \end{aligned} \quad (6.9)$$

Para este sistema existem 10 equações com apenas 9 fases (ϕ^{true}) não conhecidas. Embora os pares $A1 \times A3$ e $A3 \times A5$ possuam a mesma linha de base de 108 metros, as fases obtidas por tais pares foram tratadas de forma independente. Reescrevendo o problema em sua forma matricial tem-se o seguinte sistema linear.

$$\begin{pmatrix}
1 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 1 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 1
\end{pmatrix}
\begin{pmatrix}
\phi_{1,2}^{true} \\
\phi_{1,3}^{true} \\
\phi_{1,4}^{true} \\
\phi_{1,5}^{true} \\
\phi_{2,3}^{true} \\
\phi_{2,4}^{true} \\
\phi_{2,5}^{true} \\
\phi_{3,4}^{true} \\
\phi_{3,5}^{true} \\
\phi_{4,5}^{true}
\end{pmatrix}
=
\begin{pmatrix}
\phi_{1,2,3} \\
\phi_{1,2,4} \\
\phi_{1,2,5} \\
\phi_{1,3,4} \\
\phi_{1,3,5} \\
\phi_{1,4,5} \\
\phi_{2,3,4} \\
\phi_{2,3,5} \\
\phi_{2,4,5} \\
\phi_{3,4,5}
\end{pmatrix}
\quad (6.10)$$

O sistema linear acima foi resolvido através da Técnica de Decomposição de valores singulares para inversão da matriz de coeficientes. Uma solução de mínimos quadrados para a obtenção das fases da visibilidade foi obtida, as quais foram posteriormente combinadas com a amplitude da visibilidade corrigida. Uma vez obtidas as visibilidades medidas para cada par interferométrico, a distribuição de brilho unidimensional do Sol foi obtida através de uma transformada inversa de Fourier e do algoritmo de deconvolução CLEAN (Hogbom, 1974, para maiores detalhes ver Ramesh, 1998; Ramesh et al., 1998 e Ramesh et al., 1999). As fases obtidas com a técnica acima, para as linhas de base A1×A2, A1×A3 e A2×A3, foram confrontadas com as fases obtidas através do método convencional, ou seja, através da observação de uma fonte calibradora. Os valores obtidos por ambas as técnicas foram similares. Os valores de fase obtidos usando o método convencional foram utilizados para ajustar a posição da fonte no Céu. O Apêndice A mostra as franjas observadas com as diferentes linhas de base do BDA na observação de Cygnus A e Taurus A.

As Figuras 6.4 e 6.5 mostram a distribuição de brilho unidimensional do Sol obtidas com o PBDA, utilizando o método descrito acima, em 11 de dezembro de 2004 às 15:00 UT e 17:00 UT respectivamente.

A Figura 6.6 mostra uma imagem em ultravioleta da coroa Solar obtida com o satélite SOHO (câmara EIT, canal 195 Å) obtida em 11 de Dezembro de 2004 às 15:00 UT. A emissão destacada pelo perfil unidimensional da distribuição do Sol obtido com o BDA (Figura 6.4) corresponde bem às regiões de brilho mais intenso das imagens do SOHO. A fim de obter uma melhor comparação entre as imagens observadas pelo BDA e SOHO, foi gerado um perfil unidimensional integrado a partir da imagem da Figura 6.6 obtida pelo SOHO. Este perfil unidimensional é mostrado na Figura 6.7 e foi suavizado por um feixe semelhante ao do PBDA para uma melhor validação (semelhança) do perfil unidimensional do Sol obtido com o BDA.

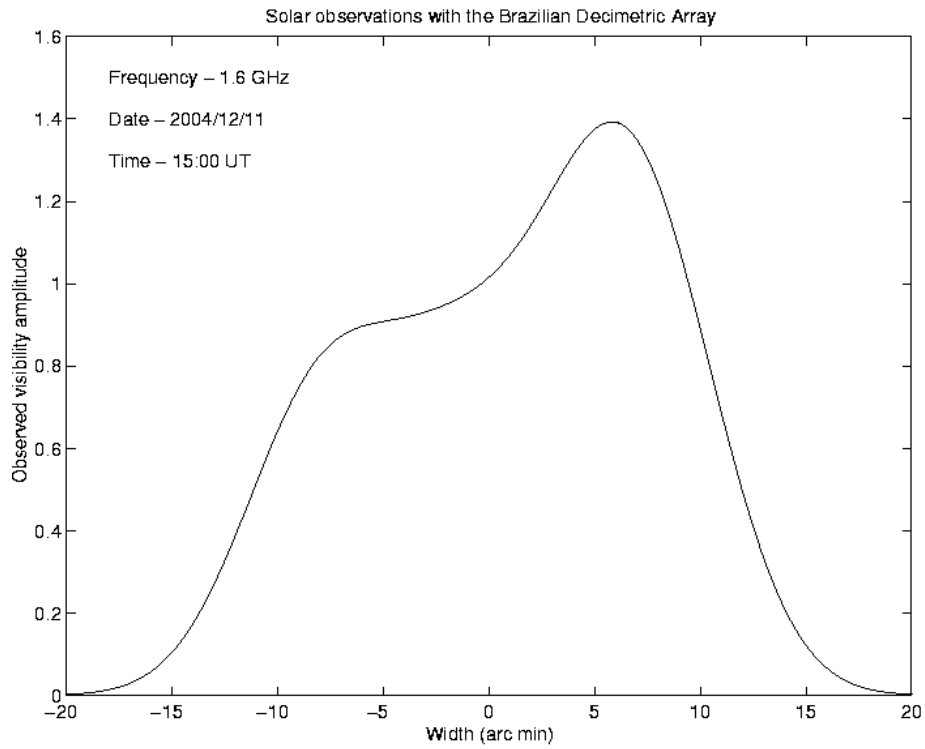


FIGURA 6.4 – Distribuição de brilho unidimensional do Sol obtida com o PBDA em 11 de Dezembro de 2004 às 15:00 UT.

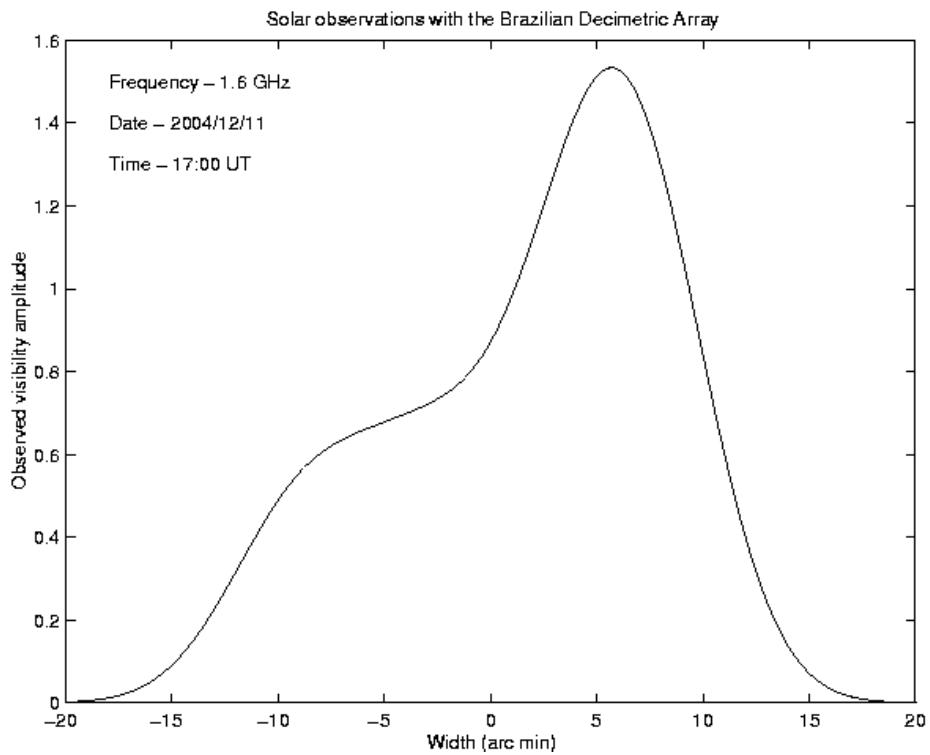


FIGURA 6.5 – Distribuição de brilho unidimensional do Sol obtida com o PBDA em 11 de Dezembro de 2004 às 17:00 UT.

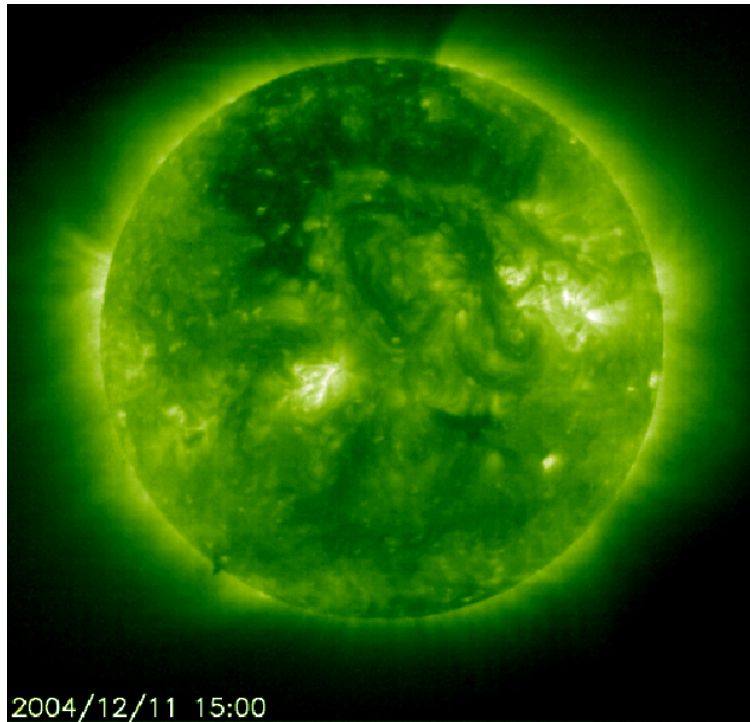


FIGURA 6.6 – Imagem em ultravioleta da coroa Solar obtida com o satélite SOHO (câmara EIT, canal 195 Å) obtida em 11 de Dezembro de 2004 às 15:00 UT.

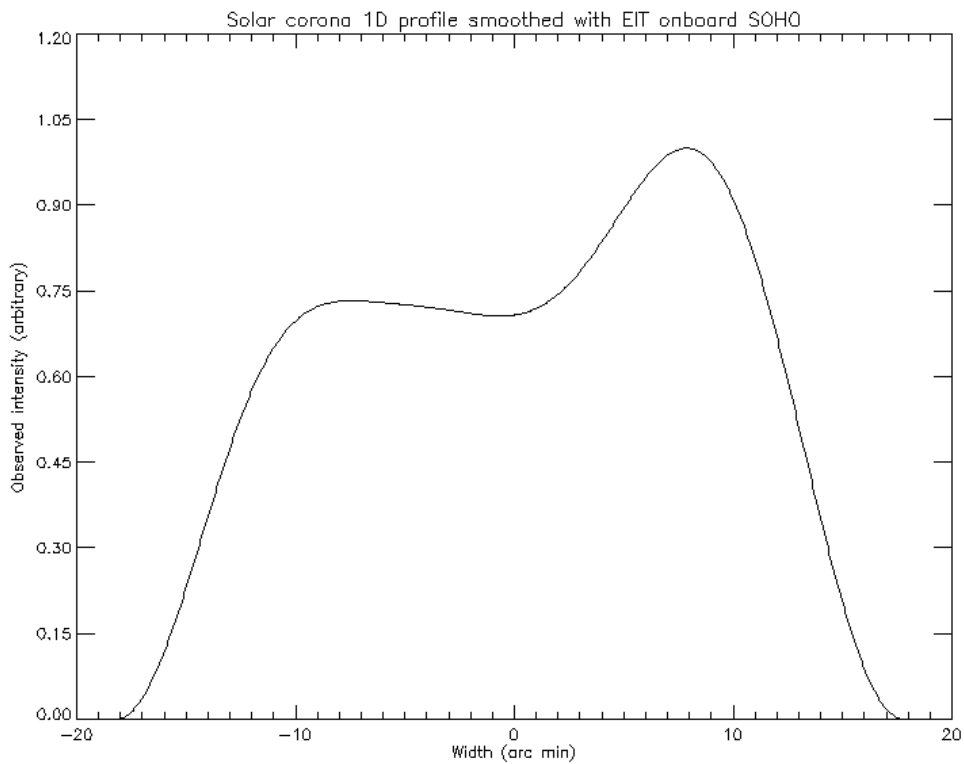


FIGURA 6.7 – Distribuição de brilho unidimensional do Sol obtida com o Satélite SOHO. A imagem da Figura 6.6 foi integrada na linha Norte-Sul do Sol e suavizada com um feixe limpo semelhante ao do PBDA.

7 - OBSERVAÇÕES SOLARES E NÃO-SOLARES

Foram realizadas a instalação da interface digital do sistema de aquisição de dados do projeto BDA, pelos cientistas e engenheiros do IIA e INPE, e uma Campanha de observações no INPE - Cachoeira Paulista, no período de 22 de Novembro a 12 de Dezembro de 2004. No total foram cerca de 47 horas observacionais úteis durante o período, divididas entre 35 horas de observações solares e 11 horas de observação de fontes calibradoras (Cygnus-A, Crab Nebula, Taurus-A e Centaurus-A) (Apêndice A). Na Tabela 7.1 é apresentado um resumo das observações realizadas.

Cabe ressaltar que durante as observações não foram registrados sinais de interferências eletromagnéticas, reforçando os resultados dos testes para medição dos níveis de interferência eletromagnética no sítio do BDA, em Cachoeira Paulista, realizados em Maio de 2002 pela equipe do LIT/INPE (Laboratório de Integração e Testes), na faixa de frequência de (1 – 10) GHz (Apêndice B).

TABELA 7.1 – Campanha de observações realizada com o BDA em Cachoeira Paulista.

Data	Fonte	Horário (LT)	Comentários
22-24/11/04			Montagem do correlacionador instalação do hardware e software da interaface digital no INPE-SJC
25/11/04			Inteface do sistema correlacionador com os 5 receptores em CP
26/11/04	Sol Cygnus-A	14:00-15:00 17:30-18:30	modo trânsito
27/11/04	Sol	10:30-11:30	modo trânsito
29/11/04			Manutenção de uma antena
30/11/04	Sol Crab Nebula	16:30:17:30 02:00-03:00	modo trânsito
01/12/04	Sol	10:30-11:30 14:00-15:00 16:30-17:30	modo trânsito
02/12/04	Sol Cygnus-A Crab Nebula	10:30-11:00 15:30-16:30 17:20-18:30 01:40-02:40	
03/12/04	Sol Cygnus-A	14:00-15:00 16:00-17:00 17:20-18:20	
04/12/04	Sol	10:30-11:30 14:00-15:00 15:30-16:30 17:00-18:00	
06/12/04	Sol	16:30-17:30	modo trânsito Alimentador em manutenção
07/12/04	Sol Crab Nebula	11:00-12:00 14:00-15:00 15:30-16:30 17:00-18:00 01:20-02:20	

Continua ...

TABELA 7.1 – Conclusão

08/12/04	Sol	10:30-11:30 14:00-15:00 15:30-16:30 17:00-18:00	
09/12/04	Sol	09:30-10:30 11:00-12:00 12:30-13:30 13:40-14:20 14:30-15:30 16:00-16:40 17:00-18:00 01:00-02:00	modo trânsito
10/12/04	Sol	10:30-11:30 14:00-15:00 15:30-16:30 17:00-18:00 01:00-02:00	
11/12/04	Cygnus-A Crab Nebula	10:30-11:30 12:40-13:40 13:50-14:40	Chuva intensa e conclusão dos trabalhos após 15:00 hs
12/12/04	Centaurus-A Sol		Preparação de relatório de viagem do Dr. Ramesh e Eng. Rajan

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bastian, T. S.; Gopalswamy, N.; Shibasaki, K. Solar Physics with Radio Observations. **NRO Report**, v. 479, 1999. Proceedings of the Nobeyama Symposium (1998).
- Beauchamp, K. G. **Walsh function and thier applications**. London: Academic Press, 1975.
- Botti, L. C. L.; Abraham, Z. Longterm Radio Observations of the Nucleus of NGC5128 Centaurus-A. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 264, n. 4, p. 807-812, 1993.
- Burns, J. O.; Feigelson, E. D.; Schreier, E. J. The inner radio structure of Centaurus A - Clues to the origin of the jet X-ray emission. **Astrophysical Journal**, v. 273, n. 1, p. 128-153, 1983.
- Cecatto, J. R., **Radiômetro milimétrico de alta resolução e fragmentação temporal de fulgurações solares durante a fase impulsiva**. 185 p. (INPE-6126-TDI/587) Tese (Doutorado em Astrofísica) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1996.
- Cecatto, J. R.; Sawant, H. S.; Fernandes, F. C. R.; Krishan, V.; Neri, J. A. C. F.; Moraes Filho, J. C. High resolution time profile of decimetric type-III bursts. **Advances in Space Research**, v 32, n. 12, p. 2533-2537, 2003.
- Cecatto, J R; Fernandes, F. C. R.; Neri, J A C F; Bethi, N; Felipini, N S; Madsen, F R H; Andrade, M C; Soares, A C; Alonso, E M B; Sawant, H S. Protótipo do primeiro interferômetro brasileiro (Projeto Brazilian Decimetric Array – BDA). **Boletim da Sociedade Astronômica Brasileira**, v. 23, n. 3, p. 25-38, 2004.
- Clark, B. G. An efficient implementation of the algorithm 'CLEAN'. **Astronomy and Astrophysics**, v. 89, n. 3, p. 377-378, 1980.
- Cooper, B. F. C.; Price, R. M.; Cole, D. A study of the decimetric emission and polarization of Centaurus A. **Australian Journal of Physics**, v. 18, n. 1, p. 589, 1965.
- Faria, C.; Sawant, H. S.; Stephany, S. Solar Radio Observations with High Spatial Resolution. In: Workshop dos Cursos de Computação Aplicada do INPE, IV. (WORCAP), 20-21 October, 2004, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: LAC/INPE. CD-ROM.
- Fernandes, F. C. R., **Espectrógrafo decimétrico de alta sensibilidade e resolução: análise preliminar das explosões solares**. 132 p. (INPE-5537-TDI/525) Dissertação (Mestrado em Ciência Espacial - Radioastronomia e Física Solar) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1992.
- Fernandes, F. C. R., **Espectrógrafo Digital Decimétrico de banda larga e investigações de flares solares em rádio e raios-X**. 178 p. (INPE-6396-TDI/612) Tese (Doutorado em Astrofísica) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1997.
- Fernandes, F. C. R.; Cecatto, J. R.; Neri, J. A. C. F.; Faria, C; Martinon, A. R. F.; Rosa, R. R.; Mesquita, F. P. V.; Portezani, A.; Andrade, M. C.; Alonso, E. M. B.; Vats, H. O.; Sawant, H. S. O Brazilian Solar Spectroscop (BSS) e os Problemas Atuais da Física Solar. **Boletim da Sociedade Astronômica Brasileira**, v. 20, n. 2, p. 33-43, 2000a.

- Fernandes, F. C. R.; Sawant, H. S.; Melendez, J. L.; Benz, A. O.; Knane, S. R. Investigations of the Acceleration Region of Energetic Electrons Associated with Decimetric Type III and X-Ray Bursts. **Advances in Space Research**, v. 25, n. 9, p. 1813-1816, 2000b.
- Gopal-Krishna; Saripalli, L. Possible relationship between the radio and optical structures associated with the active galaxy Centaurus A **Astronomy and Astrophysics**, v. 141, n. 1, p. 61-66, 1984.
- Hogbom, J. Aperture synthesis with a non regular distribution of interferometer baselines. **Astronomy and Astrophysics Supplement**, v. 15, n. 1, p. 417-426, 1974.
- Jaynes, E. T. Information Theory and statistical mechanics. **Physical Review**, v. 106, n. 1, p. 620-630, 1957.
- Jennison, R. C. A phase sensitive interferometer technique for the measurement of the Fourier transforms of spatial brightness distributions of small angular extent. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 118, n. 1, p. 276, 1958.
- Nakajima, H.; Nishio, M.; Enome, S.; Shibasaki, K.; Takano, T.; Hanaoka, Y.; Torii, C.; Sekiguchi, H.; Bushimata, T.; Kawashima, S.; Shinohara, N.; Irimajiri, Y.; Koshiishi, H.; Kosugi, T.; Shiomi, Y.; Sawa, M.; Kai, K. New Nobeyama Radio Heliograph. **Astrophysics & Astronomy Supplement**, v. 16, n. 1, p. 437, 1995.
- Narayan, R.; Nityananda, R. Maximum entropy image restoration in astronomy. **Annual Review of Astronomy and Astrophysics**, v. 24, n. 1, p. 127-170, 1986.
- Pearson, T. J.; Readhead, A. C. S. Image Formation by Self-Calibration in Radio Astronomy. **Annual Review of Astronomy and Astrophysics**, v. 22, n. 1, p. 97-130, 1984.
- Ramaty, R.; Mandzhavidze N. High Energy Solar Physics Workshop - Anticipating HESSI, **Astronomical Society of the Pacific Conference Series**, v. 206, n. 1, 2000. Special issue on the Anticipating HESSI Workshop - 2000.
- Ramesh, R., Bangalore, Índia. Ph.D. Thesis - Bangalore University, 1998.
- Ramesh, R.; Subramanian, K. R.; Sundara Rajan; M. S.; Sastry, Ch. V. The Gauribidanur Radioheliograph. **Solar Physics**, v. 181, n. 2, p. 439-453, 1998.
- Ramesh, R.; Subramanian, K. R.; Sastry, Ch. V. Phase calibration scheme for a "T" array. **Astronomy and Astrophysics Supplement Series**, v. 139, n. 1, p. 179-181, 1999.
- Readhead, A. C. S.; Wilkinson, P. N. The mapping of compact radio sources from VLBI data. **Astrophysical Journal**, v. 223, n. 1, p. 25-36, 1978.
- Rogstad, D. H. A technique for measuring visibility phase with an optical interferometer in the presence of atmospheric seeing. **Applied Optics IP**, v. 7, n. 4, p. 585, 1968.
- Rosa, R. R.; Sawant, H. S.; Valdivia, J. A.; Sharma, A. S. Dissipative Structure And Weak Turbulence In The Solar Corona. **Advances in Space Research**, v. 20, n. 12, p. 2303-2308, 1997.
- Rosa, R. R.; Sawant, H. S.; Cecatto, J. R.; Rodrigues Neto, C.; Lopes, V. C. A.; Subramanian, K. R.; Fernandes, F. C. R.; Saito, J. H.; Moron, C. E.; Mucheroni, M. L.; Furuya, N.; Mascarenhas, N. Phenomenological Dynamics of Coronal Loops by using a Neural Network Approach. **Advances in Space Research**, v. 25, n. 9, p. 1917-1921, 2000a.

- Rosa, R. R.; Sawant, H. S.; Costa Junior, R. A.; Ramos, F. M.; Cecatto, J. R.; Fernandes, F. C. R.; Saito, J. H.; Moron, C. E.; Mucheroni, M. L. Normalized Emission Measurement - Density Curves of X-ray Loop. **Astronomical Society of the Pacific Conference Series**, v. 206, n. 1, p. 293-296, 2000b.
- Rosa, R. R.; Vats, H. O.; Ramos, F. M.; Zanandrea, A.; Rodrigues Neto, C.; Fernandes, F. C. R.; Bolzan, M. J. A.; Rempel, E. L.; Brito, R. C.; Vijaykumar, N. L.; Sawant, H. S. Characterization of local self-similarity and criticality in the solar active regions **Advances in Space Research**, v. 29, n. 3, p. 463-468, 2002.
- Sawant, H. S.; Rosa, R. R. High sensitivity, high frequency and high time resolution decimetric spectroscopy. **Revista Mexicana de Astronomia y Astrofísica**, v. 21, n. 1, p. 651-654, 1990.
- Sawant, H. S.; Sobral, J. H. A.; Neri, J. A. C. F.; Fernandes, F. C. R.; Rosa, R. R.; Cecatto, J. R.; Martinazzo, D. High sensitivity, high frequency and high time resolution decimeter solar radio spectroscopy In: Reunião Anual da SBPC, 43., 1991, Rio de Janeiro, RJ. **Anais....** Rio de Janeiro: Ed. SBPC, 1991. p. 689-690. ISSN 0102-2474.
- Sawant, H. S.; Rosa, R. R.; Cecatto, J. R.; Fernandes, F. C. R. High Spectral Resolution of mm-Wavelength (23-18) GHz Solar Burst. **Lecture Notes in Physics**, v. 399, n. 1, p. 367, 1992a.
- Sawant, H. S.; Sobral, J. H. A.; Neri, J. A. C. F.; Fernandes, F. C. R.; Rosa, R. R.; Cecatto, J. R.; Martinazzo, D. Decimeter High Resolution Solar Radio Spectroscopy. **Lecture Notes in Physics**, v. 399, n. 1, p. 318-321, 1992b.
- Sawant, H. S.; Sobral, J. H. A.; Neri, J. A. C. F.; Fernandes, F. C. R.; Cecatto, J. R.; Rosa, R. R. High Sensitivity Digital Decimetric Spectroscopy. **Advances in Space Research**, v. 13, n. 9, p. 199-202, 1993.
- Sawant, H. S.; Cecatto, J. R. High-Sensitivity Spectral Resolution Mm-Wavelength (18-23 GHz) Radiometer. **Solar Physics**, v. 150, n. 2, p. 375-384, 1994.
- 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. **Advances in Space Research**, v. 17, n. 4/5, p. 385-388, 1996.
- 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. Data Acquisition and Recent Results of the Brazilian Solar Spectroscopy - BSS. **Astronomical Society of the Pacific Conference Series**, v. 206, n. 1, p. 347-350, 2000a.
- Sawant, H. S.; Ludke, E.; Subramanian, K. R.; Cecatto, J. R.; Fernandes, F. C. R.; Rosa, R. R.; Sobral, J. H. A.; Swarup, G.; Scalise, E.; Boas, J. W. V. A High Resolution Decimetric Solar Radiograph. **Astronomical Society of the Pacific Conference Series**, v. 206, n. 1, p. 341-346, 2000b.
- Sawant, H. S.; Subramanian, K. R.; Ludke, E.; Sobral, J. H. A.; Swarup, G.; Fernandes, F. C. R.; Rosa, R. R.; Cecatto, J. R. Brazilian Decimetric Array. **Advances in Space Research**, v. 25, n. 9, p. 1809-1812, 2000c.
- 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, A.; Martinon, A. R. F. Brazilian Solar Spectroscopy (BSS). **Solar Physics**, v. 200, n. 1-2, p. 167-176, 2001.

- Sawant, H. S.; Neri, J. A. C. F.; Fernandes, F. C. R.; Cecatto, J. R.; Sankararaman, M. R.; Faria, C.; Subramanian, K. R.; Sundararajan, M. I. S.; Ramesh, R.; Karlický, M.; Southern Hemisphere Solar Radio Heliograph. **ESA SP**, v. 506, n. 2, p. 971-974, 2002. Special issue on the 10th European Solar Physics Meeting.
- Sawant, H. S.; Neri, J. A. C. F.; Fernandes, F. C. R.; Cecatto, J. R.; Sankararaman, M. R.; Faria, C.; Stephany, S.; Rosa, R. R.; Andrade, M. C.; Alonso, E. M. B.; Lüdke, E.; Subramanian, K. R.; Ramesh, R.; Sundararajan, M. S.; Ananthakrishnan, S.; Swarup, G.; Boas, J. W. V.; Botti, L. C. L.; Moron, C. E.; Saito, J. H. A low cost steerable radio-telescope, **Advances in Space Research**, v. 32, n. 12, p. 2715-2720, 2003.
- Sawant, H. S. and BDA Team. First light from Prototype Brazilian Decimetric Array, **Advances in Space research**, 2004 (submitted).
- Silver, S., **Microwave Antenna Theory and Design**, New York: Dover Publications Inc., 1965, cap. 12.
- Swarup, G. Giant meterwave radio telescope (GMRT) - Scientific Objective and design aspects. **Indian Journal of Radio and Space Physics**, v. 19, n. 1, p. 493-503, 1990.
- Swarup, G. Giant meterwave radio telescope (GMRT). In: Radio interferometry: theory, techniques, and applications - IAU Colloquium, 131., 1990, Socorro, NM, USA. **Proceedings...** San Francisco, CA, USA: Astronomical Society of the Pacific, 1991. p. 376-380.
- Thompson, A. R., Moran, J. M., Swenson Jr., G. W. **Interferometry and Synthesis in Radio Astronomy**. New York: Wiley, 1990.
- Udya Shankar, N. **Application of digital techniques to radio astronomy measurements**. Bangalore, Índia. Ph. D Thesis – Raman Research Institute, University of Bangalore, 1986.
- Van Vleck, J. H.; Middleton, D. **Proc. IEEE**, v. 54, n. 1, p. 2, 1966.
- Wade, C. M.; Hjellming, R. M.; Kellermann, K. I.; Wardle, J. F. C. Radio Emission from the Nucleus of NGC 5128. **Astrophysical Journal**, v. 170, n. 1, p. L11, 1971.
- Weinreb, S. **A digital spectral analysis technique and its application to radio astronomy**. Ph.D. Thesis - Dept. Electrical Engineering, Massachusetts Institute of Technology - MIT, Cambridge, MA, USA. 1963.
- Wohlenben, R.; Mattes, H.; Krichbaum, J. **Interferometry in radioastronomy and radar techniques**. Dordrecht, Netherlands: Kluwer, 1991, 210 p.
- Zirin, H.; Baumert, B. M.; Hurford, G. J. The microwave brightness temperature spectrum of the quiet sun. **Astrophysical Journal**, v. 370, n. 1, p. 779-783, 1991.

APÊNDICE A

FRANJAS INTERFEROMÉTRICAS OBSERVADAS COM O BDA

Este Apêndice apresenta um catálogo das franjas observadas com o BDA para as diferentes linhas de base do arranjo. Foram realizadas observações de Cygnus A (Figuras A.1 a A.6), Taurus A (Figuras A.7 a A.12) e o Sol (Figuras A.13 a A.31), entre 10 e 11 de Dezembro de 2004 na frequência de 1,6 GHz. O tempo de integração usado foi de 1,6 segundos.

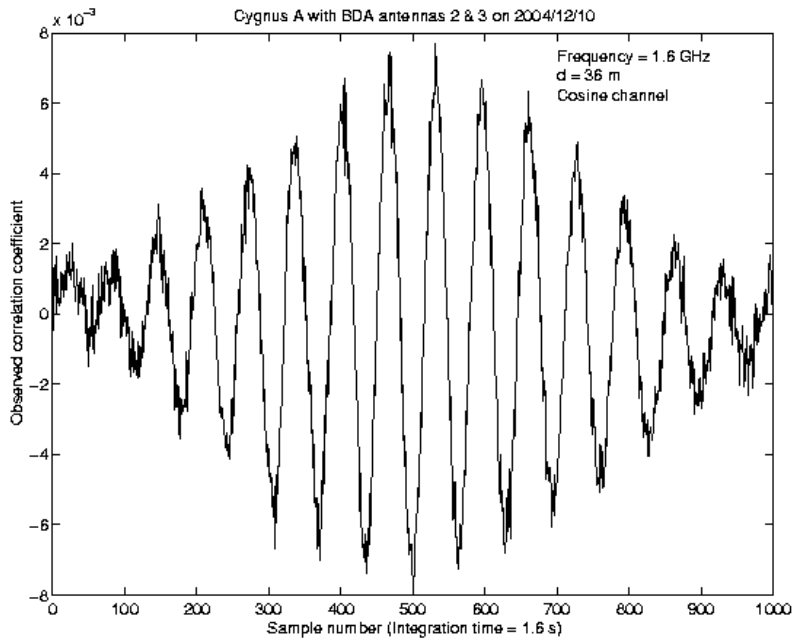


FIGURA A.1 - Franja co-seno obtida em 10/12/2004 pelo par interferométrico composto pelas antenas A2 e A3 na observação de Cygnus A.

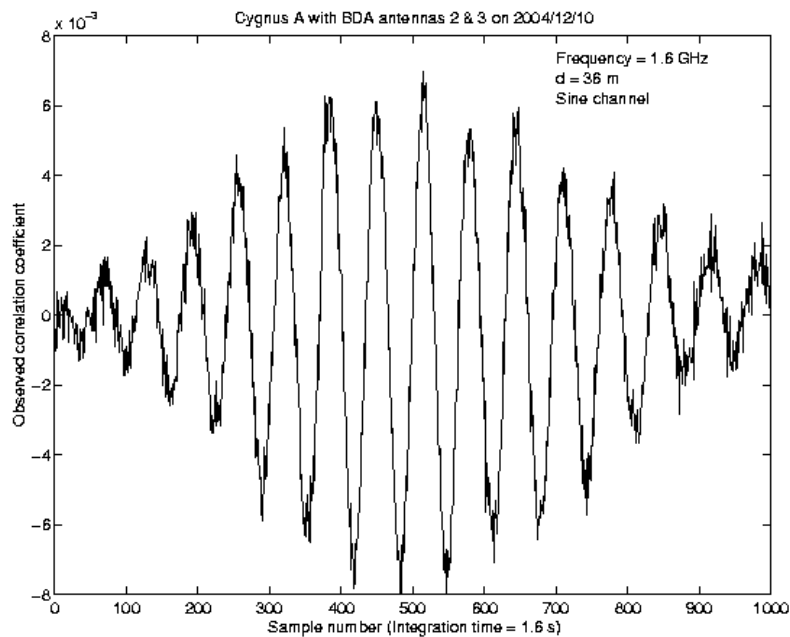


FIGURA A.2 - Franja seno obtida em 10/12/2004 pelo par interferométrico composto pelas antenas A2 e A3 na observação de Cygnus A.

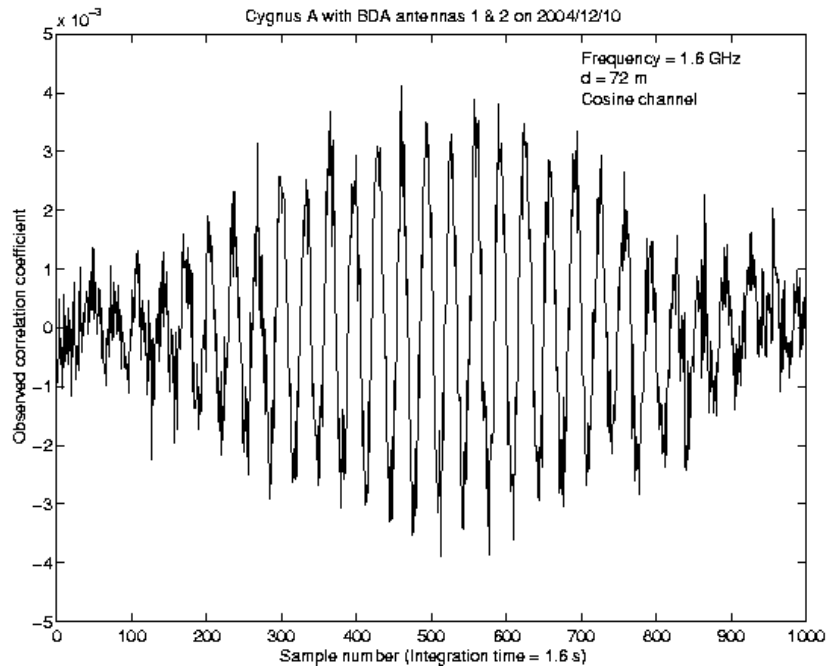


FIGURA A.3 - Franja co-seno obtida em 10/12/2004 pelo par interferométrico composto pelas antenas A1 e A2 na observação de Cygnus A.

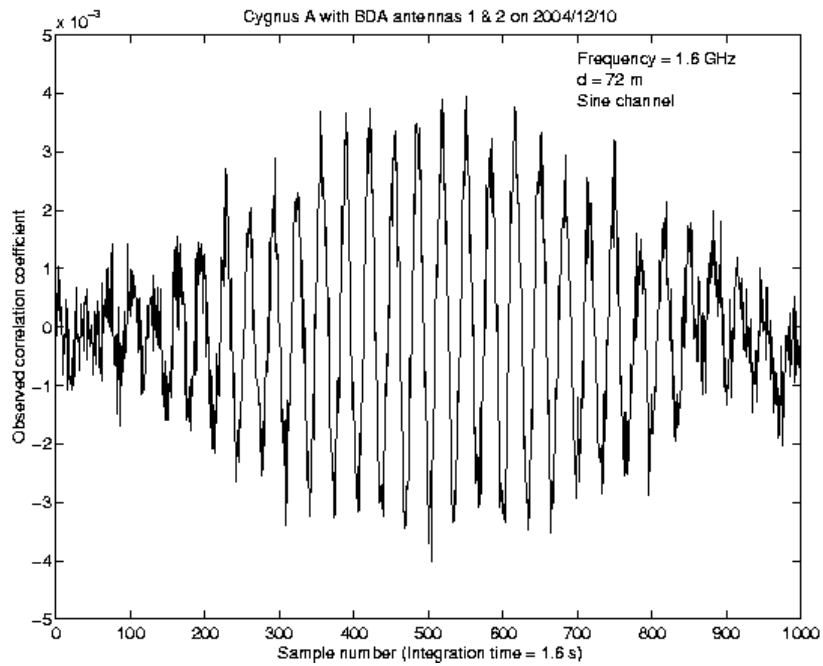


FIGURA A.4 - Franja seno obtida em 10/12/2004 pelo par interferométrico composto pelas antenas A1 e A2 na observação de Cygnus A.

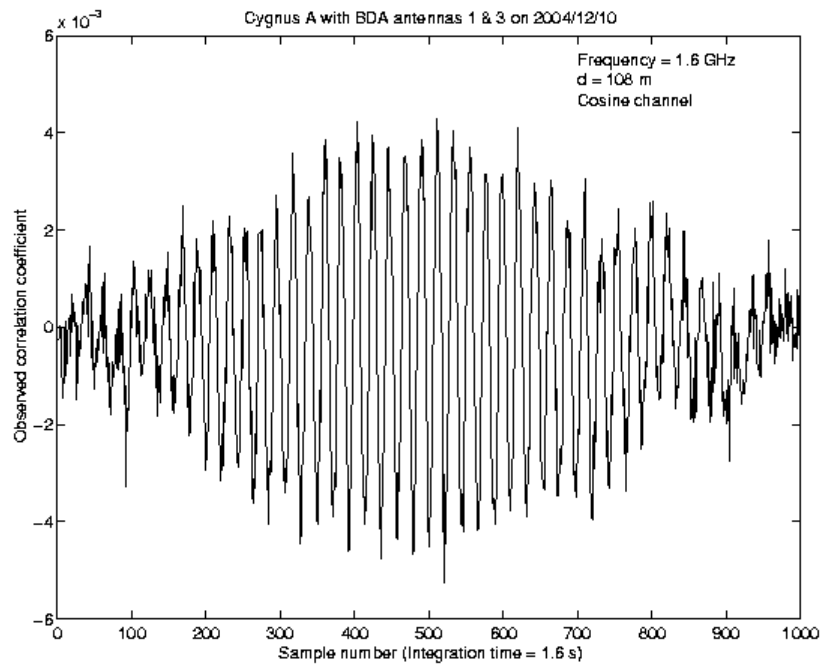


FIGURA A.5 - Franja co-seno obtida em 10/12/2004 pelo par interferométrico composto pelas antenas A1 e A3 na observação de Cygnus A.

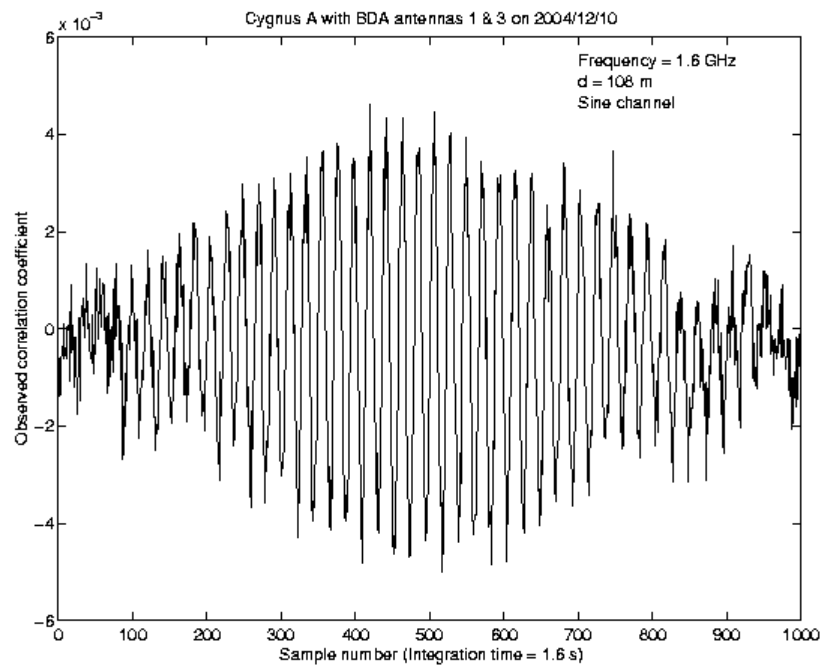


FIGURA A.6 - Franja seno obtida em 10/12/2004 pelo par interferométrico composto pelas antenas A1 e A3 na observação de Cygnus A.

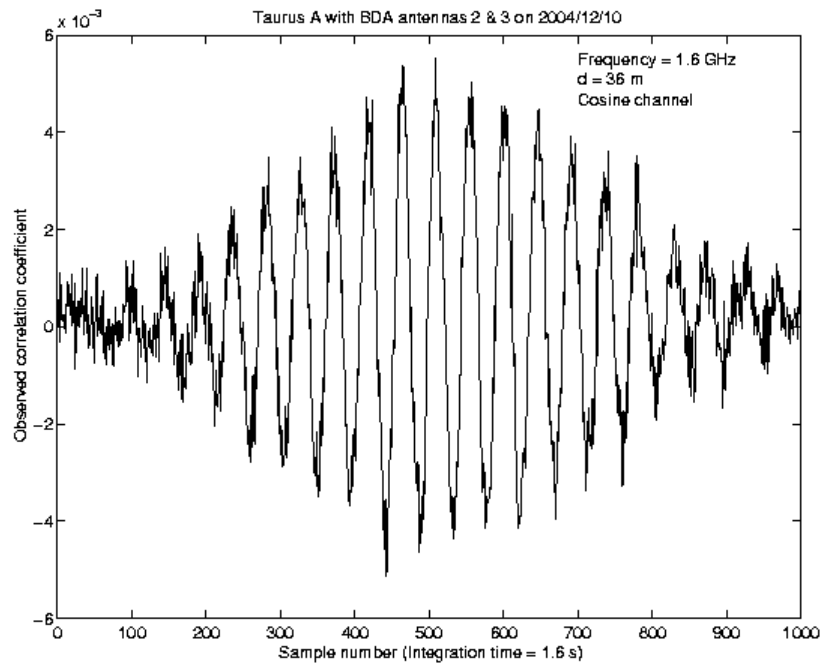


FIGURA A.7 - Franja co-seno obtida em 10/12/2004 pelo par interferométrico composto pelas antenas A2 e A3 na observação de Taurus A.

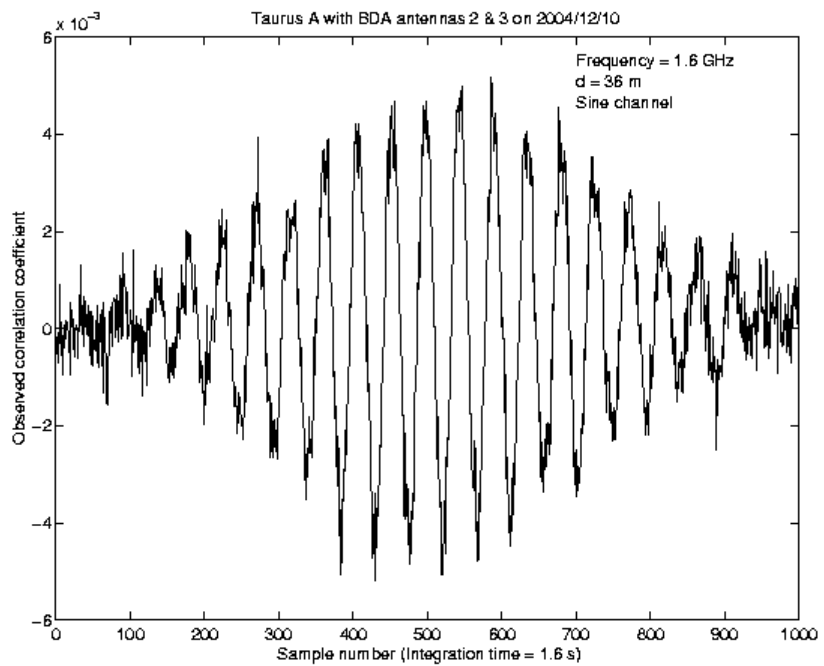


FIGURA A.8 - Franja seno obtida em 10/12/2004 pelo par interferométrico composto pelas antenas A2 e A3 na observação de Taurus A.

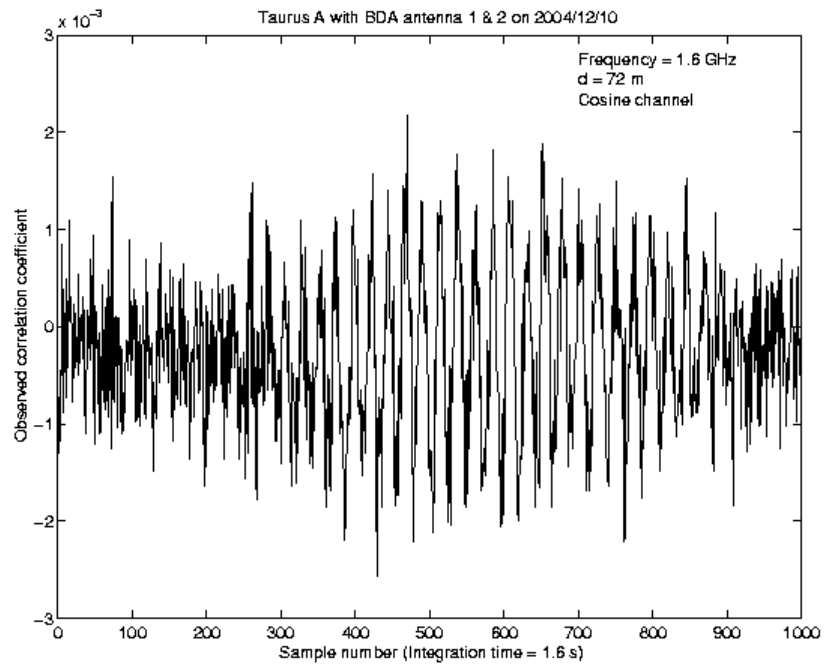


FIGURA A.9 - Franja co-seno obtida em 10/12/2004 pelo par interferométrico composto pelas antenas A1 e A2 na observação de Taurus A.

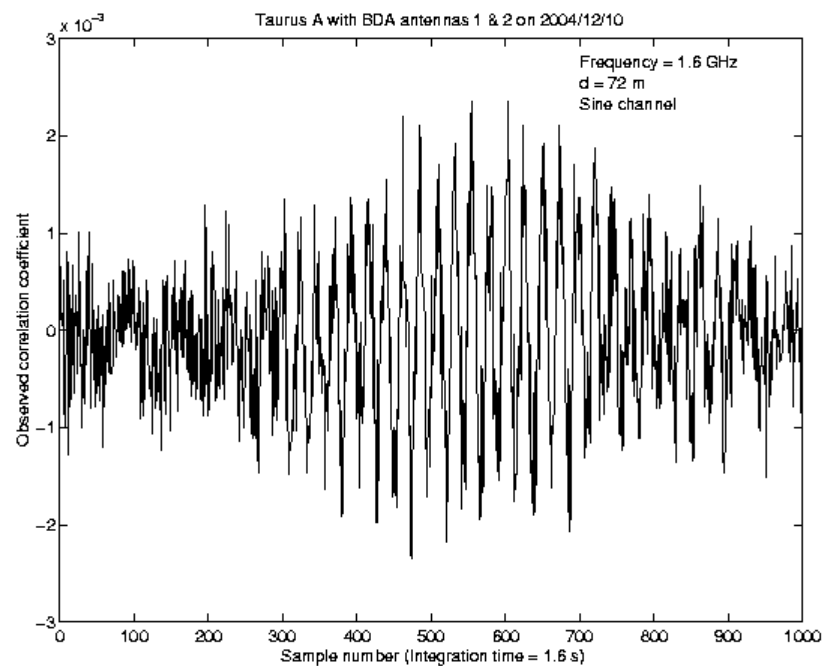


FIGURA A.10 - Franja seno obtida em 10/12/2004 pelo par interferométrico composto pelas antenas A1 e A2 na observação de Taurus A.

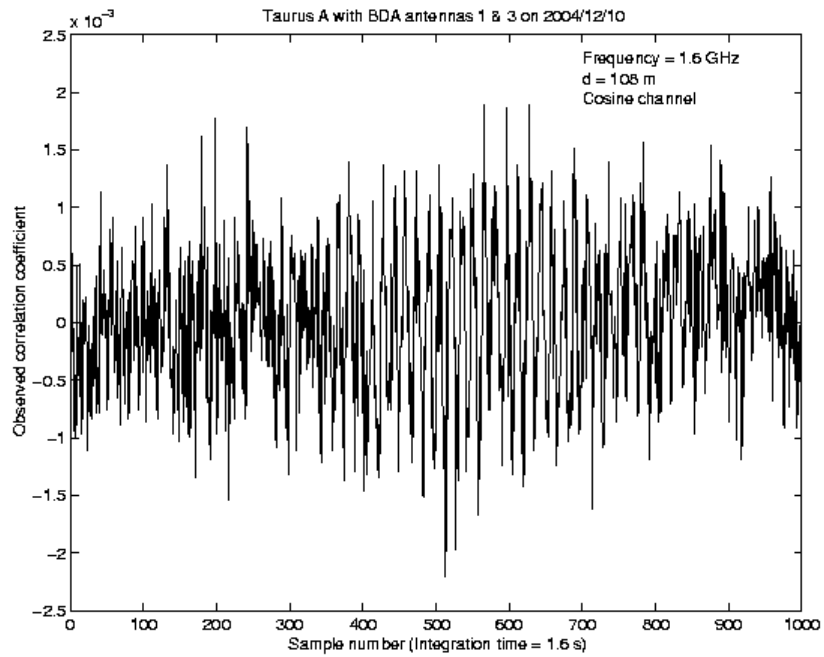


FIGURA A.11 - Franja co-seno obtida em 10/12/2004 pelo par interferométrico composto pelas antenas A1 e A3 na observação de Taurus A.

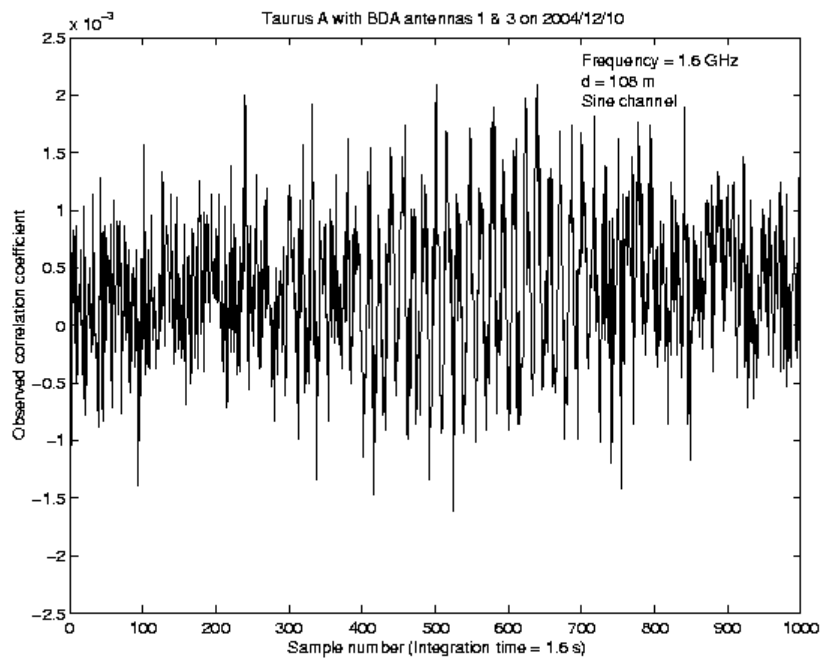


FIGURA A.12 - Franja seno obtida em 10/12/2004 pelo par interferométrico composto pelas antenas A1 e A3 na observação de Taurus A.

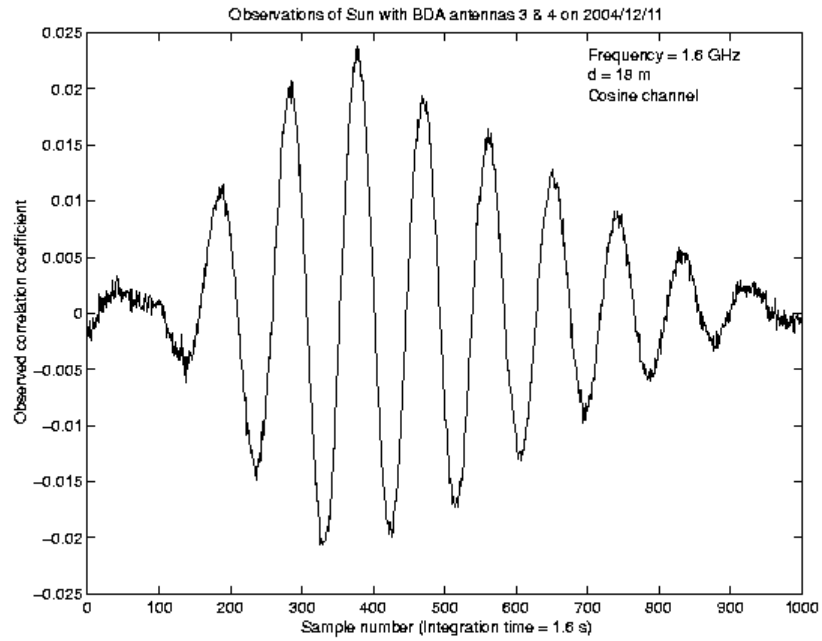


FIGURA A.13 - Franja co-seno obtida em 11/12/2004 pelo par interferométrico composto pelas antenas A3 e A4 na observação do Trânsito do Sol.

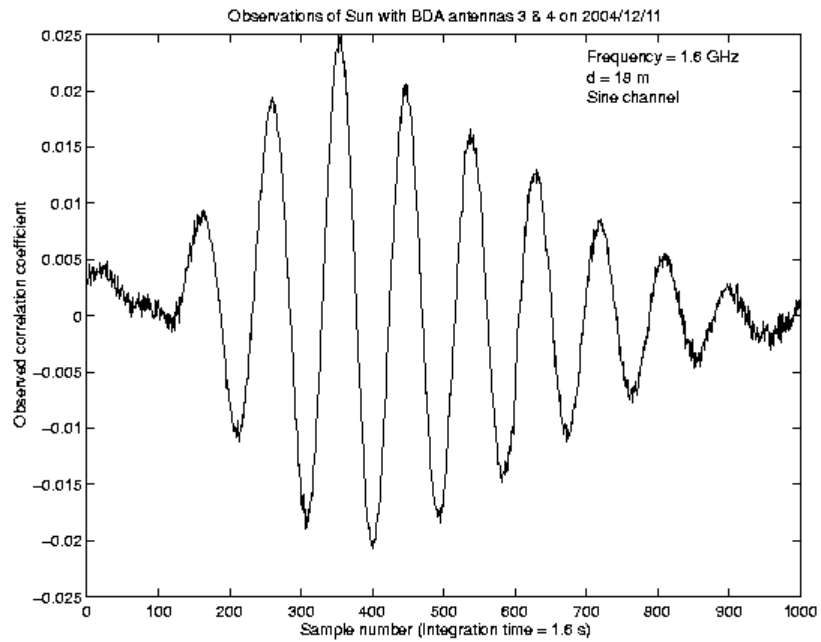


FIGURA A.14 - Franja seno obtida em 11/12/2004 pelo par interferométrico composto pelas antenas A3 e A4 na observação do Trânsito do Sol.

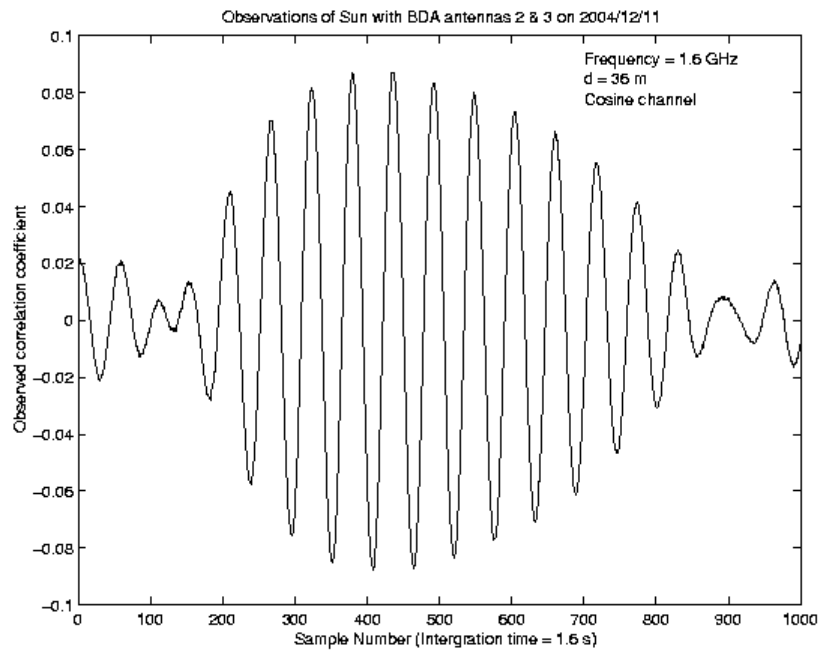


FIGURA A.15 - Franja co-seno obtida em 11/12/2004 pelo par interferométrico composto pelas antenas A2 e A3 na observação do Trânsito do Sol.

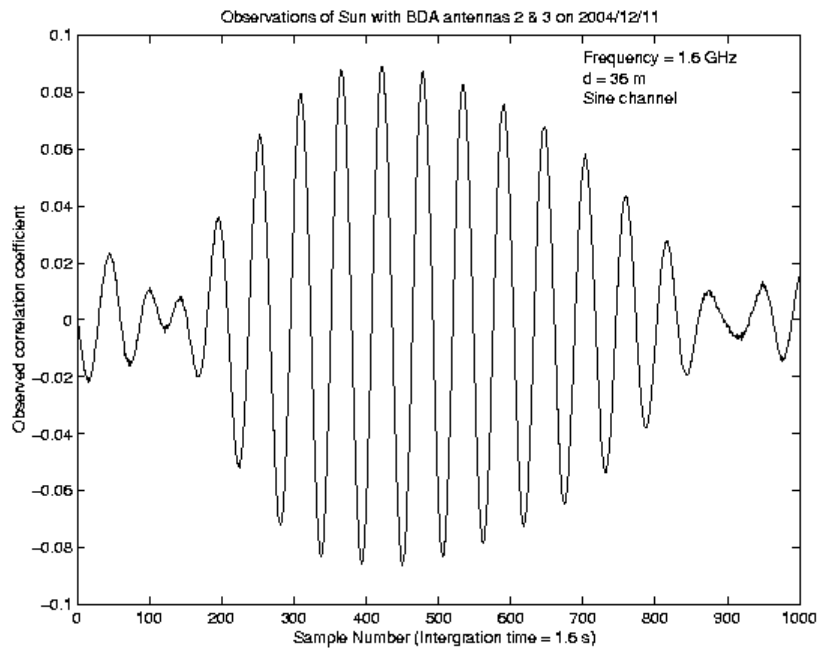


FIGURA A.16 - Franja seno obtida em 11/12/2004 pelo par interferométrico composto pelas antenas A2 e A3 na observação do Trânsito do Sol.

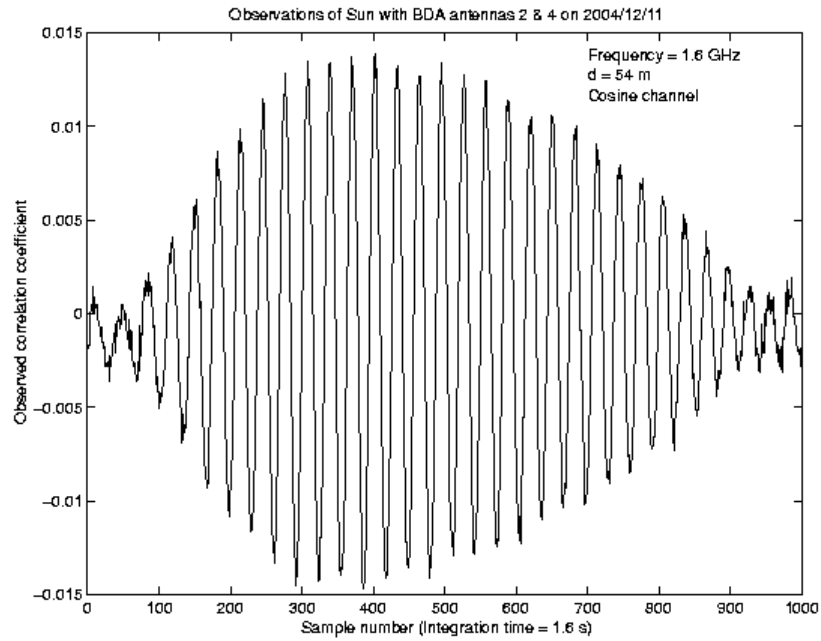


FIGURA A.17 - Franja co-seno obtida em 11/12/2004 pelo par interferométrico composto pelas antenas A2 e A4 na observação do Trânsito do Sol.

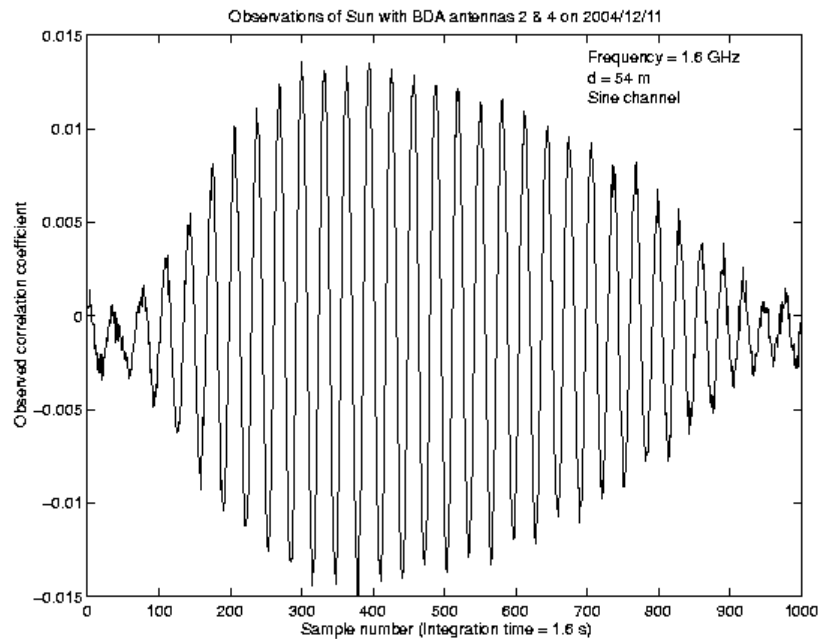


FIGURA A.18 - Franja seno obtida em 11/12/2004 pelo par interferométrico composto pelas antenas A2 e A4 na observação do Trânsito do Sol.

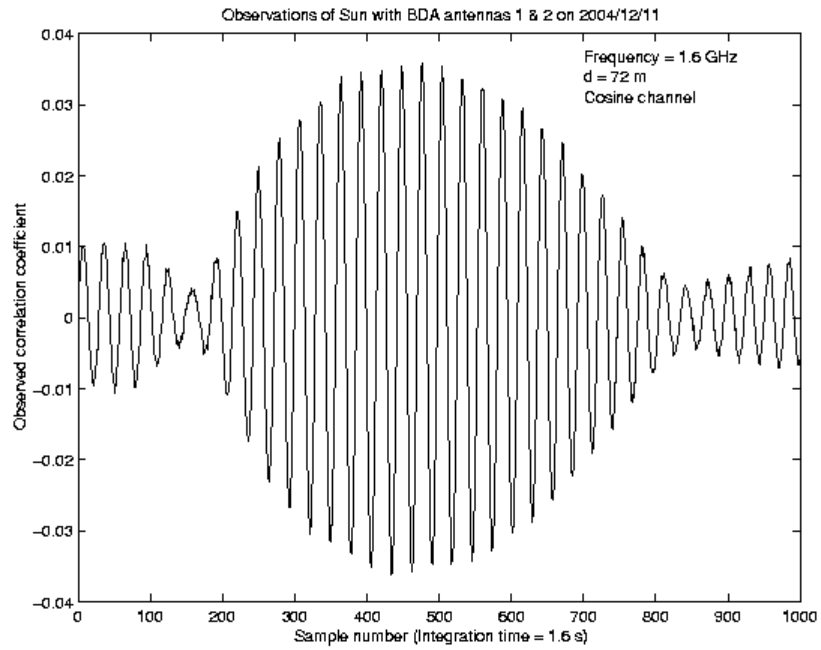


FIGURA A.19 - Franja co-seno obtida em 11/12/2004 pelo par interferométrico composto pelas antenas A1 e A2 na observação do Trânsito do Sol.

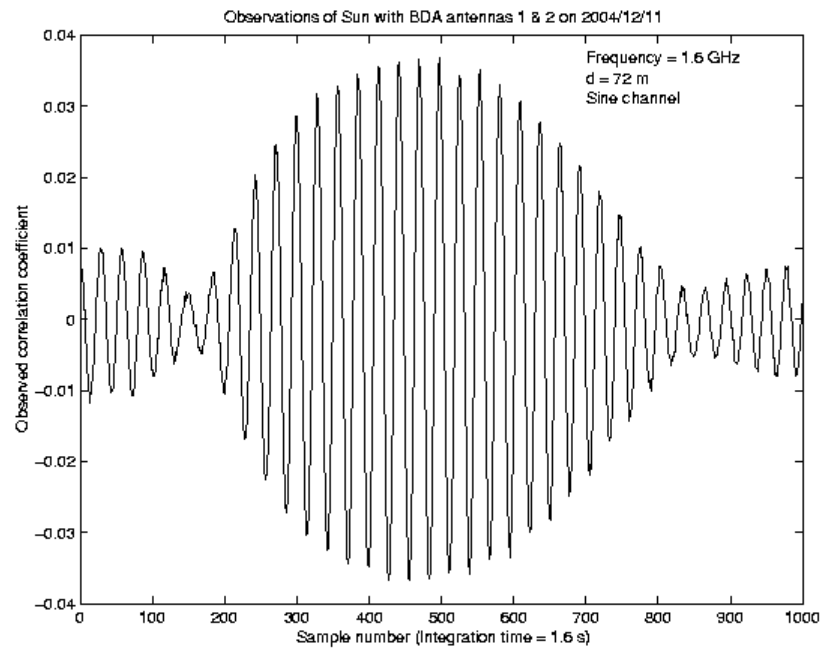


FIGURA A.20 - Franja seno obtida em 11/12/2004 pelo par interferométrico composto pelas antenas A1 e A2 na observação do Trânsito do Sol.

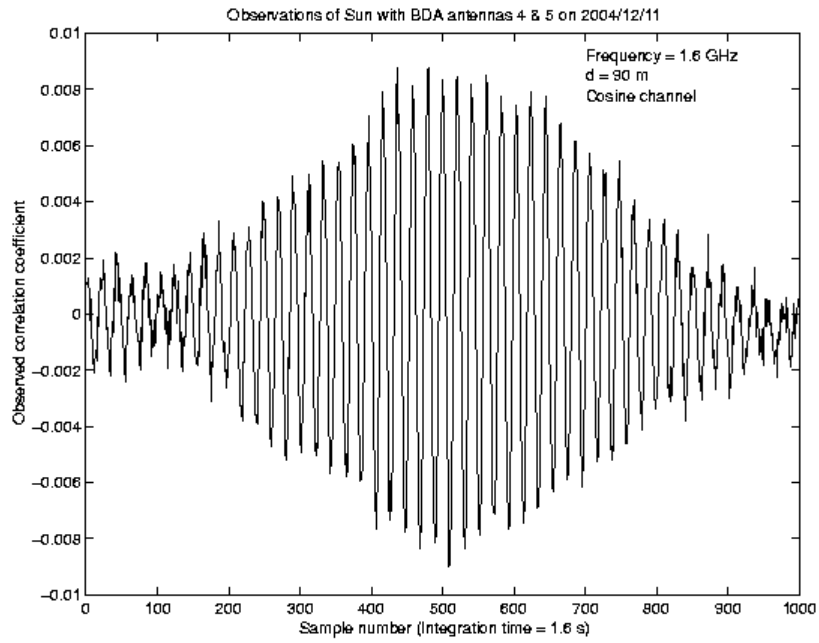


FIGURA A.21 - Franja co-seno obtida em 11/12/2004 pelo par interferométrico composto pelas antenas A4 e A5 na observação do Trânsito do Sol.

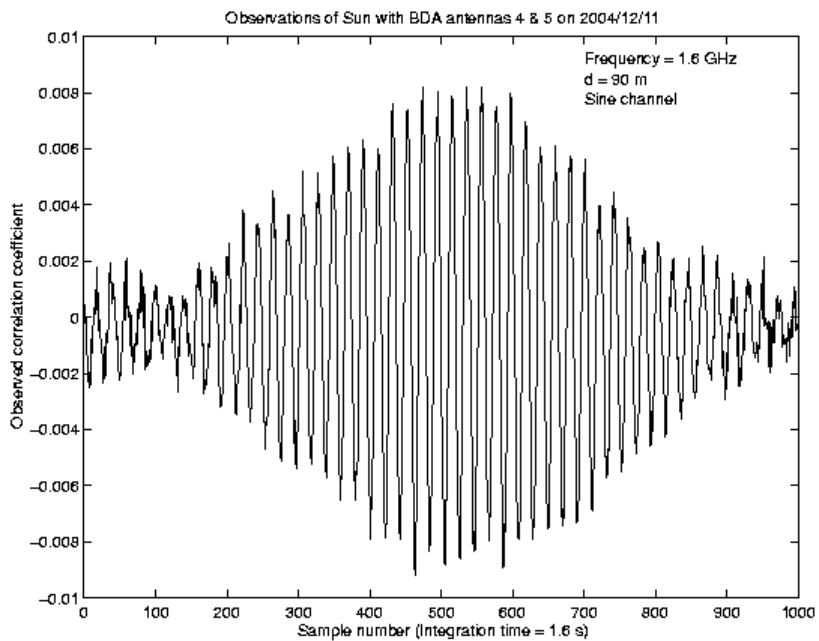


FIGURA A.22 - Franja seno obtida em 11/12/2004 pelo par interferométrico composto pelas antenas A4 e A5 na observação do Trânsito do Sol.

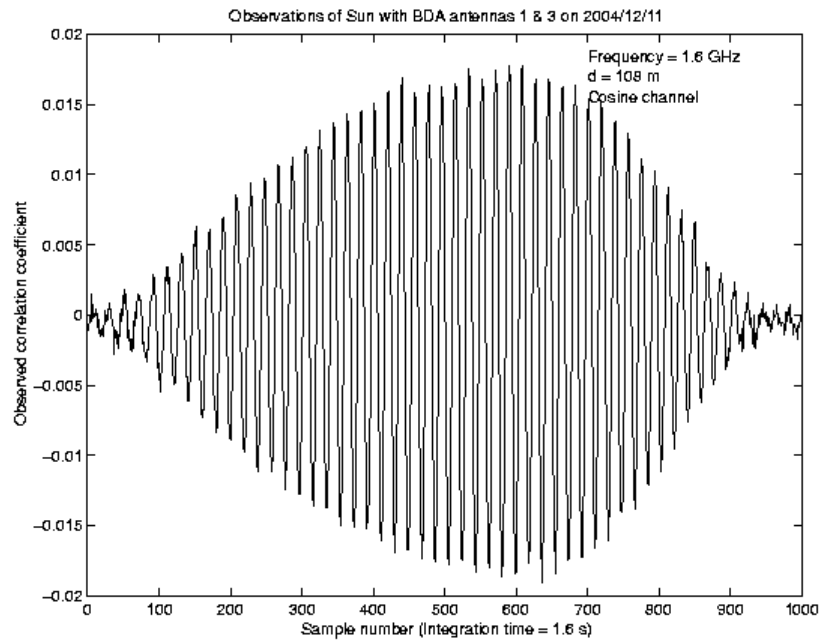


FIGURA A.23 - Franja co-seno obtida em 11/12/2004 pelo par interferométrico composto pelas antenas A1 e A3 na observação do Trânsito do Sol.

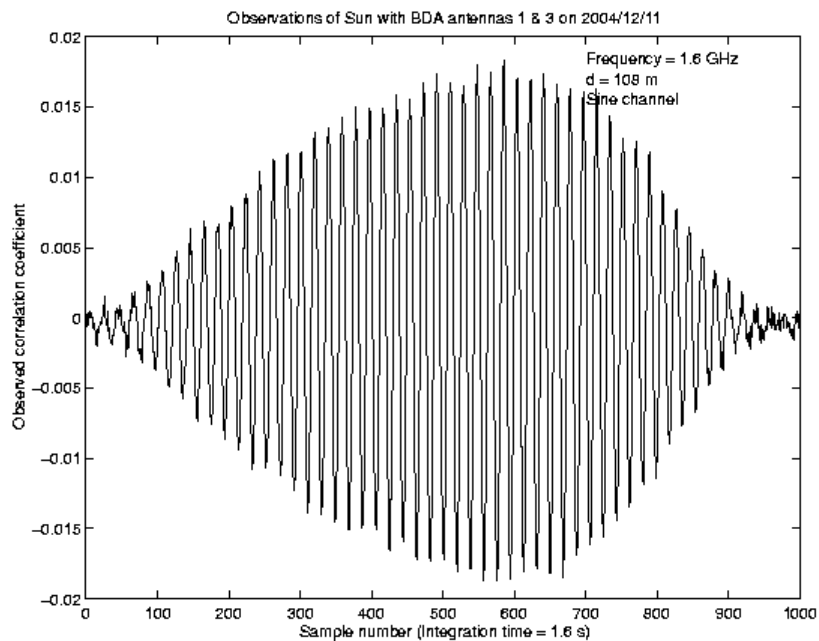


FIGURA A.24 - Franja seno obtida em 11/12/2004 pelo par interferométrico composto pelas antenas A1 e A3 na observação do Trânsito do Sol.

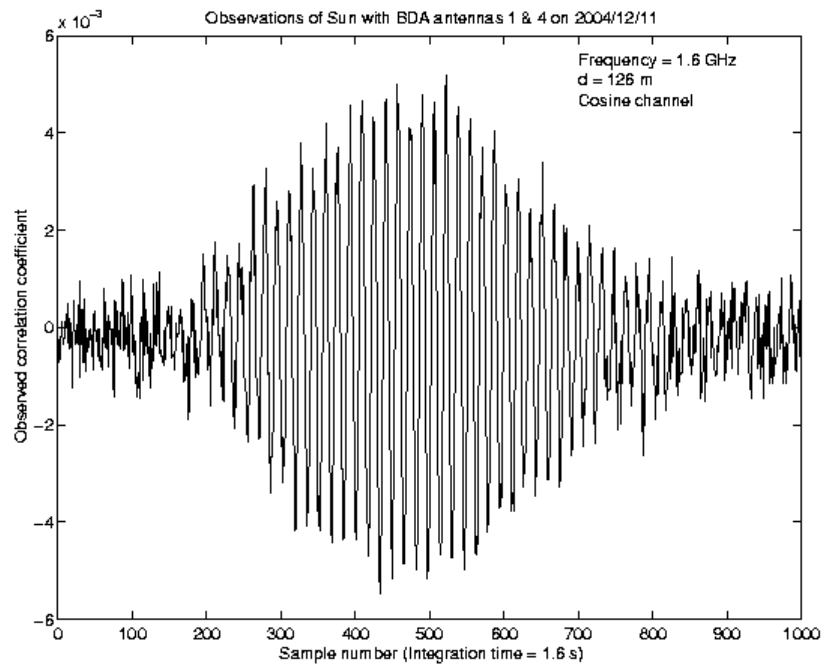


FIGURA A.25 - Franja co-seno obtida em 11/12/2004 pelo par interferométrico composto pelas antenas A1 e A4 na observação do Trânsito do Sol.

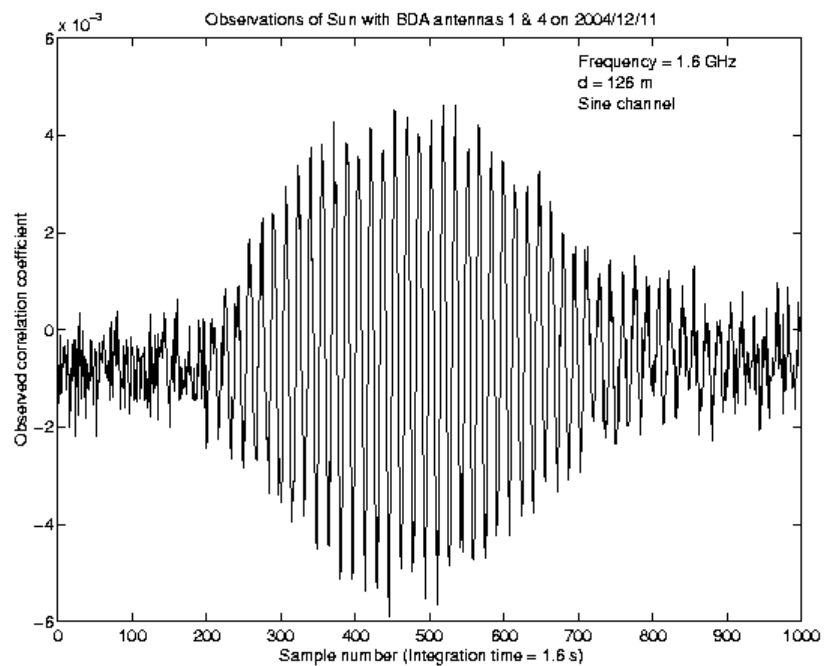


FIGURA A.26 - Franja seno obtida em 11/12/2004 pelo par interferométrico composto pelas antenas A1 e A4 na observação do Trânsito do Sol.

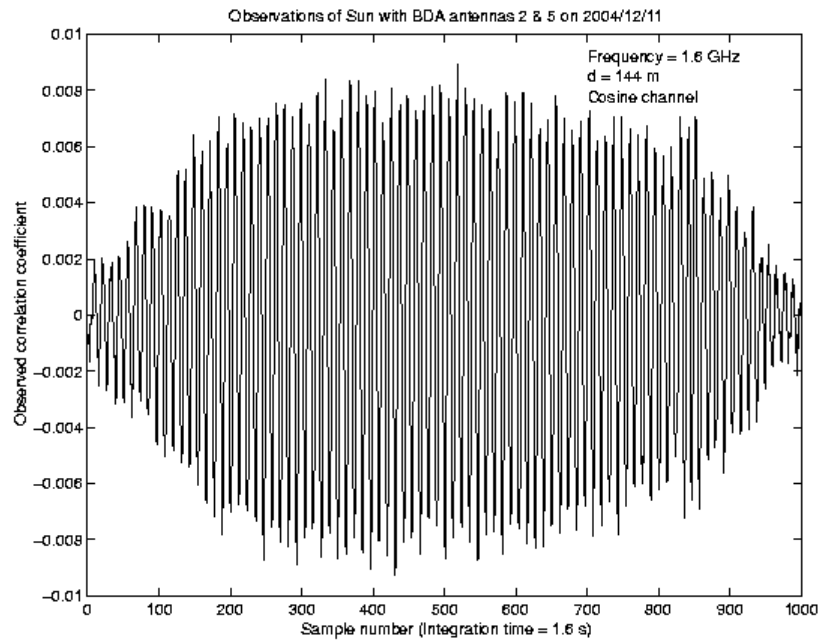


FIGURA A.27 - Franja co-seno obtida em 11/12/2004 pelo par interferométrico composto pelas antenas A2 e A5 na observação do Trânsito do Sol.

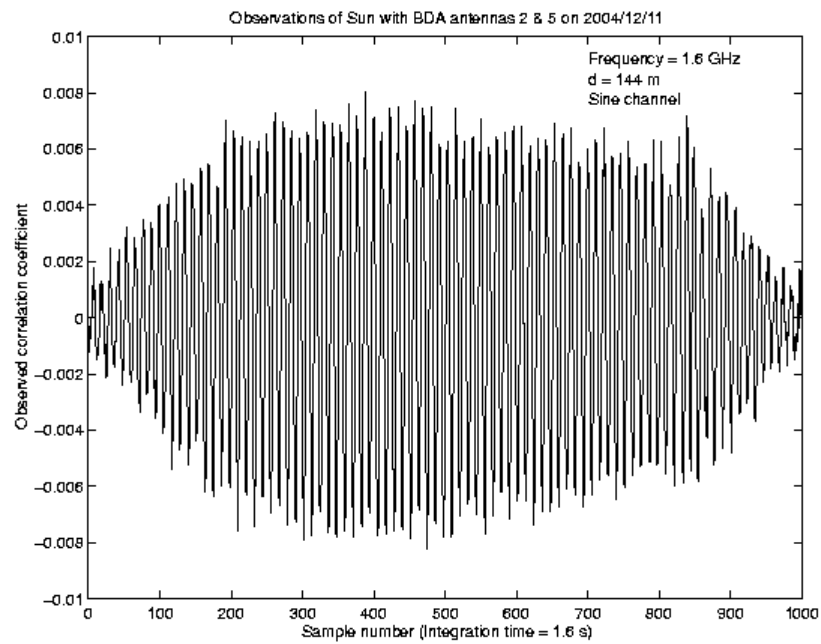


FIGURA A.28 - Franja seno obtida em 11/12/2004 pelo par interferométrico composto pelas antenas A2 e A5 na observação do Trânsito do Sol.

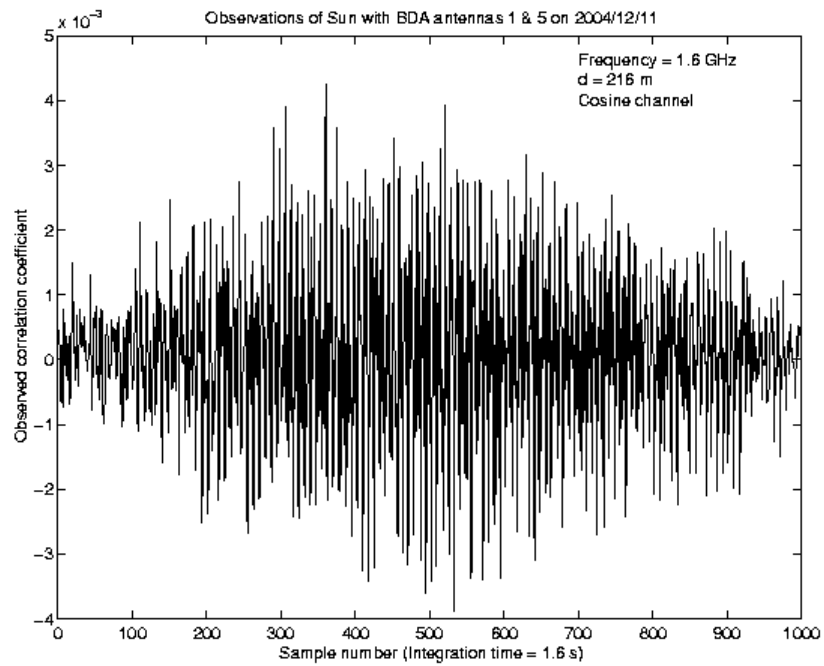


FIGURA A.29 - Franja co-seno obtida em 11/12/2004 pelo par interferométrico composto pelas antenas A1 e A5 na observação do Trânsito do Sol.

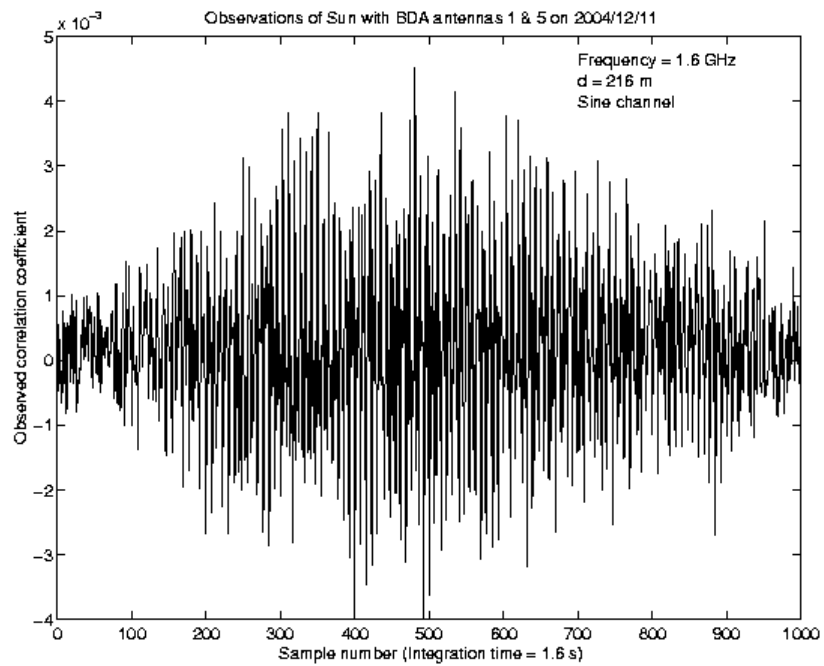


FIGURA A.30 - Franja seno obtida em 11/12/2004 pelo par interferométrico composto pelas antenas A1 e A5 na observação do Trânsito do Sol.

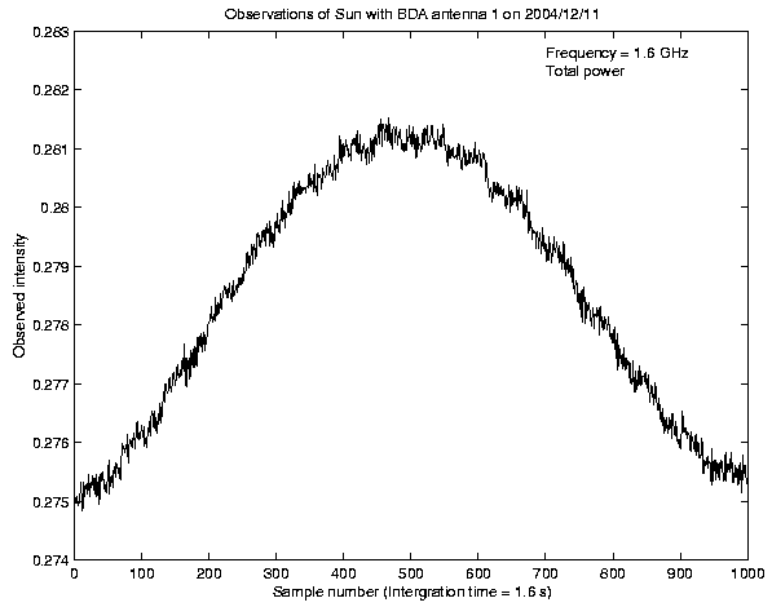


FIGURA A.31 – Transito Solar obtido em 11/12/2004 pela antena 1.

APÊNDICE B

RELATÓRIO DAS MEDIDAS DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA REALIZADAS PELO LIT NO SITO DO BDA (INPE-CP)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

PROGRAMA PROGRAM	DOCUMENTO/DOCUMENT NO. LIT03-DEA-TR-001
	PÁGINA/PAGE VERSÃO/ISSUE
	i I

TÍTULO/TITLE

Medidas de EMI no Campus do INPE / Cachoeira Paulista

RFI

CÓDIGO/CODE A.P.

ESTE DOCUMENTO É DE PROPRIEDADE DO INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS-INPE NÃO PODENDO SER REPRODUZIDO, NO TODO OU EM PARTE, NEM TAMPOUCO TRANSMITIDAS SUAS INFORMAÇÕES A TERCEIROS SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO DO INPE.	THIS DOCUMENT IS PROPERTY OF THE INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS-INPE, AND CAN NOT BE REPRODUCED OR COMMUNICATED TO ANY PERSON WITHOUT INPE'S AUTHORIZATION
--	---

PREPARADO POR / PREPARED BY ASS./SIGN: / NOME/NAME: Massanori Sato / DATA/DATE: 11/06/02	APROVADO POR / APPROVED BY ASS./SIGN: / NOME/NAME: Benjamim S.M.C. Galvão / DATA/DATE: 11/06/02
ASS./SIGN: _____ / NOME/NAME: _____ / DATA/DATE: ____/____/____	ASS./SIGN: / NOME/NAME: Carlos de Oliveira Lino / DATA/DATE: 11/06/02
ASS./SIGN: _____ / NOME/NAME: _____ / DATA/DATE: ____/____/____	ASS./SIGN: / NOME/NAME: Clóvis Solano Pereira / DATA/DATE: 11/06/02
ASS./SIGN: _____ / NOME/NAME: _____ / DATA/DATE: ____/____/____	ASS./SIGN: _____ / NOME/NAME: _____ / DATA/DATE: ____/____/____
ASS./SIGN: _____ / NOME/NAME: _____ / DATA/DATE: ____/____/____	ASS./SIGN: _____ / NOME/NAME: _____ / DATA/DATE: ____/____/____
ASS./SIGN: _____ / NOME/NAME: _____ / DATA/DATE: ____/____/____	ASS./SIGN: _____ / NOME/NAME: _____ / DATA/DATE: ____/____/____



PROGRAMA PROGRAM	DOCUMENTO / DOCUMENT NO. LIT03-DEA-TR-001
	PÁGINA/PAGE 1
	VERSÃO/ISSUE 1

1 - INTRODUÇÃO

Este relatório refere-se às medições de Interferência Eletromagnética realizadas, no dia 24 de maio de 2002, pelo **Laboratório de Integração e Testes (LIT)**, do **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE - São José dos Campos)** para a **Divisão de Astrofísica (DAS)**.

2 - OBJETIVO DO ENSAIO

O objetivo deste ensaio foi o de medir o nível de interferência presente na faixa de frequência compreendida entre 1,0 GHz e 10,0 GHz, no site "Brazilian Decimetric Array" (BDA), onde serão instaladas as antenas do Sistema Interferômetro.

3 - CONFIGURAÇÃO BÁSICA DO ENSAIO

As medições foram realizadas no site BDA, localizado no INPE de Cachoeira Paulista.

Essas antenas serão colocadas inicialmente ao longo de uma formação em forma de um "T". As distâncias do centro às suas extremidades é da ordem de 128m. Foram feitas as medições em quatro pontos chamados de 1, 2, 3 e 4, os quais estão identificados no croqui anexo. O ponto 1 identifica o centro do "T" e os demais pontos correspondem às suas extremidades.

As antenas de recepção foram posicionadas para cima, nas direções Norte - Sul e Leste - Oeste, e depois apontadas para as direções dos pontos cardeais (N, S, L, W), nas polarizações vertical e horizontal.

As frequências a serem utilizadas no sistema de recepção estão compreendidas entre as faixas de 1,2 GHz a 1,7 GHz e de 2,7 GHz a 5,0 GHz.

3.2 - Coordenadas dos Pontos

Ponto 1 : 22° 41' 35,2" S / 45° 00' 15,5" W;

Ponto 2 : 22° 41' 38,0" S / 45° 00' 15,0" W;

Ponto 3 : 22° 41' 33,2" S / 45° 00' 11,2" W;

Ponto 4 : 22° 41' 36,1" S / 45° 00' 18,8" W.



PROGRAMA	DOCUMENTO / DOCUMENT NO.	
PROGRAM	LIT'03-DEA-TR-001	
	PÁGINA/PAGE	VERSÃO/ISSUE
	2	1

3.2 - Aparelhos usados nesta Medição

- Spectrum Analyzer HP, modelo 8566B;
- Cabo coaxial Semflex, modelo FSCM 60637, 10m;
- Antena Eaton Double Ridged Guide, modelo 96001;
- Plotter HP, modelo 7475A;
- Tripé metálico EATON 95209-1;
- GPS Garmin Etrex .

4 - RESULTADOS

Os resultados obtidos estão apresentados em forma de gráficos (Anexo A). Cada gráfico em sua primeira linha à esquerda, apresenta a identificação do site, o ponto de medida, a orientação da antena de medida e a sua polarização.

5 - CONCLUSÕES

Da análise dos gráficos, pode-se concluir que não foram encontrados sinais espúrios acima do limiar mínimo permitido pelo equipamento de medida utilizado.

Medição realizada por: Massanori Sato - LIT
Reginaldo dos Santos - LIT

Acompanharam as medições: José Angelo Neri - DAS
José Roberto Cecatto - DAS