

EDUARDO MENA BARRETO ALONSO

**ANÁLISE DOS ERROS DE RASTREIO E APONTAMENTO DAS ANTENAS DO
*BRAZILIAN DECIMETRIC ARRAY (BDA)***

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física e Astronomia da Universidade do Vale do Paraíba, como complementação dos créditos necessários para obtenção do título de Mestre em Física e Astronomia.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Carlos Rocha Fernandes

São José dos Campos, SP
2014

EDUARDO MENA BARRETO ALONSO

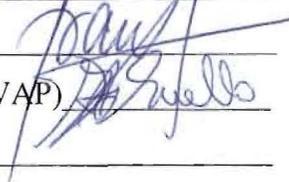
“ANALISE DOS ERROS DE RASTREIO E APONTAMENTO DAS ANTENAS DO BRAZILIAN DECIMETRIC ARRAY (BDA).”

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Física e Astronomia, do Programa de Pós-Graduação em Física e Astronomia, do Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento da Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, SP, pela seguinte banca examinadora:

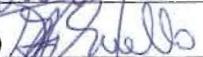
Prof. Dr. **CAIUS LUCIUS SELHORST** (UNIVAP)



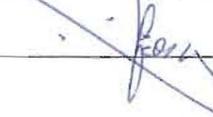
Prof. Dr. **FRANCISCO CARLOS ROCHA FERNANDES** (UNIVAP)



Prof. Dr. **MARCIO TADEU DE ASSIS HONORATO MUELLA** (UNIVAP)



Prof. Dr. **REINALDO R. ROSA** (INPE)



Profª. Dra. Sandra Maria Fonseca da Costa

Diretor do IP&D – UniVap

São José dos Campos, 29 de abril de 2014.

TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE DIVULGAÇÃO DA OBRA

Ficha catalográfica

Alonso, Eduardo Mena Barreto

Análise dos erros de rastreamento e apontamento das antenas do Brazilian Decimetric Array (BDA) / Eduardo Mena Barreto Alonso; orientador, Francisco Carlos Rocha Fernandes. - São José dos Campos, SP, 2014.

1 CD-ROM, 102 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos. Programa de Pós-Graduação em Física e Astronomia.

Inclui referências

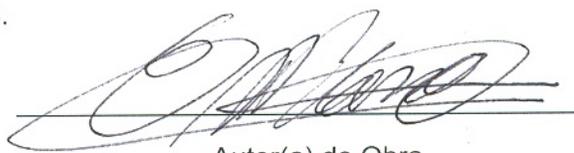
1. Física e Astronomia. 2. Interferometria. 3. Arranjo Decimétrico Brasileiro. 4. Erro de Apontamento. 5. Azimute e Elevação. I. Fernandes, Francisco Carlos Rocha, orient. II. Universidade do Vale do Paraíba. Programa de Pós-Graduação em Física e Astronomia. III. Título.

Eu, Eduardo Mena Barreto Alonso, autor(a) da obra acima referenciada:

Autorizo a divulgação total ou parcial da obra impressa, digital ou fixada em outro tipo de mídia, bem como, a sua reprodução total ou parcial, devendo o usuário da reprodução atribuir os créditos ao autor da obra, citando a fonte.

Declaro, para todos os fins e efeitos de direito, que o Trabalho foi elaborado respeitando os princípios da moral e da ética e não violou qualquer direito de propriedade intelectual sob pena de responder civil, criminal, ética e profissionalmente por meus atos.

São José dos Campos, 2 de Setembro de 2014.



Autor(a) do Obra

Data da defesa: 29 1 ABRIL 2014

AGRADECIMENTOS

Meu sincero agradecimento ao meu orientador Dr. Francisco Carlos Rocha Fernandes pela confiança em mim depositada, por sua dedicação, ideias e sugestões, que me ajudaram no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao Dr. Hanumant Shankar Sawant, pela oportunidade oferecida em participar do curso de mestrado e a toda a equipe participante do projeto BDA pela ajuda e esclarecimento de todas as dúvidas que surgiram durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos professores do curso de Pós-graduação de Física e Astronomia da UNIVAP, particularmente aos Prof. Dr. Caius Lucius Selhorst e Prof. Dr. Marcio Honorato Assis Muella, membros da Banca da Qualificação pelas correções e sugestões dadas no meu trabalho de qualificação.

Agradeço a Fundação Valeparaibana de Ensino pela ajuda financeira com o fornecimento de uma bolsa de isenção de mensalidade.

Agradeço a minha colega de trabalho Maria Conceição de Andrade pelo incentivo, ajuda e apoio técnico durante a realização do curso e da preparação deste trabalho.

Agradeço a minha esposa pelo incentivo e motivação durante a realização do curso de mestrado.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise dos erros de rastreamento e apontamento em azimute e elevação do sistema de rastreamento das 26 antenas do Brazilian Decimetric Array (BDA). Descreve o desenvolvimento das fases do projeto com detalhes dos componentes que fazem parte de cada subsistema. São descritas as rotinas computacionais desenvolvidas para automatizar a realização da análise dos erros apresentados nas antenas do arranjo. Uma metodologia foi desenvolvida para a realização das análises permitindo o conhecimento das condições em que foram feitas as observações. Foram realizadas análises dos erros das antenas nas observações do ano de 2012. Como resultado destas análises, foram selecionadas 5 antenas com erros considerados como críticos. Uma análise detalhada destas antenas mostrou o comportamento dos erros de cada uma delas durante o período das observações. A identificação destes erros possibilitará ao sistema gerar imagens com resolução angular da ordem de 3 minutos de arco. Com isso, permitindo observações a partir das menores linhas de base e combinadas com a alta sensibilidade e precisão, identificar estruturas solares de larga escala, como os buracos coronais, fornecendo assim informações sobre os fluxos gerados a partir destes fenômenos. Com a utilização da metodologia desenvolvida será possível que, nas futuras observações, sejam selecionadas somente as antenas consideradas como apropriadas para garantir a resolução espacial especificada para o sistema.

Palavras-chave: Interferometria. Arranjo Decimétrico Brasileiro. Erro de Apontamento. Azimute e elevação. Observações Solares.

ANALYSIS OF THE POINTING AND TRACKING ERRORS FOR THE ANTENNAS OF THE BRAZILIAN DECIMETRIC ARRAY (BDA)

ABSTRACT

This work presents an analysis of tracking and pointing errors in azimuth and elevation of the screening of the 26 antennas of the Brazilian Decimetric Array (BDA) system. It describes the development phase of the project with details of the components that are part of each subsystem. Routines to automate the accomplishment of the error analysis presented in the arrangement of the antennas were developed. A methodology was developed for the analysis allowing knowledge of the conditions under which the observations were made. Analysis of the errors of the antennas was performed for the observations of the year 2012. As a result of these analyzes, only five antennas with mistakes that are considered critical were selected. A detailed analysis of these antennas showed the behavior of the errors of each of them during the period of observations. The identification of these errors will allow the system to generate images with an angular resolution of the order of 3 arcmin. This, allowing observations from the smaller baselines and combined with high sensitivity and precision to identify large-scale solar structures, such as coronal holes, providing information on flows generated from these phenomena. By using this methodology it is possible, in future observations, select only antennas that do not show errors that may compromise the system resolution.

Key-words: Interferometry. Brazilian Decimetric Array. Pointing and tracking Error. Azimuth and Elevation. Solar Observations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação esquemática da atmosfera solar (cromosfera e coroa) ao longo das últimas décadas	11
Figura 2: Diagrama de radiação em coordenadas retangulares.....	16
Figura 3: Radiointerferômetro correlacionado de dois elementos	20
Figura 4: Vista do protótipo de 5 elementos montados no INPE - São José dos Campos.....	23
Figura 5: Vista do protótipo de 5 elementos montados no INPE – em Cachoeira Paulista – SP.....	24
Figura 6: Imagem das antenas instaladas no INPE em Cachoeira Paulista.	25
Figura 7: Configuração das 26 antenas para a Fase II do BDA. As antenas na cor vermelha correspondem àquelas já existentes da Fase I e as na cor azul as antenas adicionadas na Fase II.....	27
Figura 8: Cobertura UV do arranjo “T” de 26 antenas para a Fase II do BDA em 1.4 GHz.....	28
Figura 9: Feixe sintético obtido para o arranjo de 26 antenas.....	28
Figura 10: Perfil do feixe sintetizado do arranjo central do BDA em 1.4 GHz.	29
Figura 11: Modelo de fonte em rádio do Sol (mapa do Sol obtido pelo RH Nobeyama em 7 GHz esquerda) e imagem produzida pelo arranjo de 26 antenas para o modelo de fonte utilizado (direita).	29
Figura 12: Diagrama em blocos mostrando o funcionamento do sistema.....	31
Figura 13: Antena parabólica com 4 metros de diâmetro.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 14: Desenho da montagem do alimentador.	33
Figura 15: Alimentadores fabricados e as respectivas redomas.	33
Figura 16: Amplificador de baixo ruído instalado no foco da antena.....	34
Figura 17: Diagrama em blocos do receptor.	35
Figura 18: Interior da torre da antena mostrando entrada e saída do RX1.	36
Figura 19: Dispositivos que compõe o sistema de fibra óptica instalado na base das antenas (ROF).....	37
Figura 20: Diagrama em blocos simplificado do correlacionador.	38
Figura 21: Vista do interior do correlacionador (imagem esquerda) e vista traseira com as entradas dos cabos dos sinais da banda base (imagem direita).	39
Figura 22: Microcomputador modelo UR16.....	39
Figura 23: Diagrama esquemático dos processos no computador principal.	41
Figura 24: Fluxograma do programa EPHEMER.	42
Figura 25: Franjas obtidas em 2005 para as 10 linhas de base do PBDA, espaçadas conforme mostrado na figura 8.	44
Figura 26: Localização das antenas para a realização do teste do sistema.	45
Figura 27: Gráfico das franjas obtidas com a combinação das 12 antenas.	46
Figura 28: Motor e caixa de redução para posicionamento da antena em azimute.....	47

Figura 29: Engrenagens de posicionamento das antenas em azimute e elevação.....	48
Figura 30: Diagrama em blocos do esquema de funcionamento do sistema de rastreamento.....	49
Figura 31: Dispositivo para controle e monitoramento dos motores (Geo Pmac).	49
Figura 32: Dispositivo para leitura do posicionamento das antenas (“encoder”) de azimute (imagem esquerda) e de elevação (imagem direita).....	50
Figura 33: Prédio do centro de controle.	551
Figura 34: Arquivo de exemplo de dados da antena 1 na data de 21 de setembro de 2012 (dataLog_1 2012.09.21.txt)	52
Figura 35: Formato de saída da rotina LerData.....	54
Figura 36: Formato de saída da rotina LerErro.	55
Figura 37: Gráfico gerado pela rotina LerErro.	55
Figura 38: Formato de saída da rotina ErroAzimute.....	57
Figura 39: Formato de saída da rotina ErroElevação.....	57
Figura 40: Gráfico gerado pela rotina ErroAzimute.	58
Figura 41: Gráfico gerado pela rotina ErroAzimuteEl.	58
Figura 42: Gráfico gerado pela rotina ErroElevação.	59
Figura 43: Gráfico gerado pela rotina ErroElevaçãoAz.	59
Figura 44: Formato do arquivo de dados gerado pela rotina ErroAzimute.	60
Figura 45: Formato do arquivo de dados gerado pela rotina ErroElevação. ... Erro! Indicador não definido.	
Figura 46: Formato de saída da rotina ApontamentoAzimute.	61
Figura 47: Formato de saída da rotina ApontamentoElevação.	61
Figura 48: Gráfico dos erros em azimute apresentados pela antena 1 na observação de 15 de setembro.....	73
Figura 49: Gráfico dos erros em azimute apresentados pela antena 1 na observação de 16 de setembro.....	74
Figura 50: Gráfico dos erros em azimute apresentados pela antena 1 na observação de 28 de setembro.....	75
Figura 51: Gráfico dos erros em azimute apresentados pela antena 1 na observação de 05 de dezembro.....	75
Figura 52: Gráfico dos erros em azimute apresentados pela antena 1 na observação de 19 de dezembro.....	76
Figura 53: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena 1 na observação de 15 de setembro.....	77
Figura 54: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena 1 na observação de 16 de setembro.....	78
Figura 55: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena 1 na observação de 28 de setembro.....	79
Figura 56: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena 1 na observação de 05 de dezembro.....	80
Figura 57: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena 1 na observação de 19 de dezembro.....	80

Figura 58: Gráfico dos erros em azimute apresentados pela antena 9 na observação de 15 de setembro.....	81
Figura 59: Gráfico dos erros em azimute apresentados pela antena 9 na observação de 16 de setembro.....	82
Figura 60: Gráfico dos erros em azimute apresentados pela antena 9 na observação de 28 de setembro.....	82
Figura 61: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena11 na observação de 15 de setembro.....	83
Figura 62: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena11 na observação de 16 de setembro.....	84
Figura 63: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena11 na observação de 28 de setembro.....	84
Figura 64: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena11 no período das 10:00 às 11:45 horas na observação de 15 de setembro.....	85
Figura 65: Gráfico dos erros em azimute apresentados pela antena12 na observação de 15 de setembro.....	86
Figura 66: Gráfico dos erros em azimute apresentados pela antena12 na observação de 16 de setembro.....	87
Figura 67: Gráfico dos erros em azimute apresentados pela antena12 na observação de 28 de setembro.....	88
Figura 68: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena 12 na observação de 15 de setembro.....	89
Figura 69: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena 12 na observação de 16 de setembro.....	89
Figura 70: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena 12 no período de 10:00 às 11:45 horas na observação de 15 de setembro.....	90
Figura 71: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena 12 na observação de 28 de setembro.....	91
Figura 72: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena 17 na observação de 15 de setembro.....	92
Figura 73: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena 17 na observação de 16 de setembro.....	92
Figura 74: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena 17 na observação de 05 de dezembro.....	93
Figura 75: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena 17 na observação de 19 de dezembro.....	93
Figura 76: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena 17 no período das 10:00 às 15:00 horas na observação de 15 de setembro.....	94
Figura 77: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena 17 na observação de 28 de setembro.....	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados obtidos da localização das antenas.....	26
Tabela 2: Data das observações realizadas no ano de 2012.	62
Tabela 3: Comportamento das antenas 1 a 11 com erros maiores do que 0,05 graus apresentados nas observações no mês de setembro.	63
Tabela 4: Comportamento das antenas 12 a 26 com erros maiores do que 0,05 graus apresentados nas observações no mês de setembro.	63
Tabela 5: Comportamento das antenas 1 a 26 com erros maiores do que 0,05 graus apresentados nas observações no mês de outubro.....	65
Tabela 6: comportamento das antenas 1 a 26 com erros maiores do que 0,05 apresentados nas observações no mês de novembro.	66
Tabela 7: Comportamento das antenas 1 a 11 com erros maiores do que 0,05 graus apresentados nas observações no mês de dezembro.	67
Tabela 8: Comportamento das antenas 12 a 26 com erros maiores do que 0,05 graus apresentados nas observações no mês de dezembro.	68
Tabela 9: Classificação das antenas	71
Tabela 10: Tabela com as datas selecionadas para a análise das antenas.....	72
Tabela 11: Comportamento das antenas.....	97

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	INTERFEROMETRIA SOLAR	11
1.2	MOTIVAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	13
1.3	OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	14
2	INTRODUÇÃO À RÁDIO INTERFEROMETRIA	15
2.1	OS RADIOTELESCÓPIOS	15
2.2	RESOLUÇÃO ANGULAR DO RADIOTELESCÓPIO	16
2.3	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO RADIOINTERFERÔMETRO	18
2.4	RADIOINTERFERÔMETRO DE 2 ELEMENTOS	18
3	ARRANJO DECIMÉTRICO BRASILEIRO – BDA	21
3.1	INTRODUÇÃO	21
3.2	BREVE HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO BDA	22
3.2.1	Fase I do Projeto	22
3.2.2	Fase II do Projeto	24
3.2.3	Fase III do Projeto	30
3.3	PRINCIPAIS COMPONENTES DO SISTEMA	30
3.3.1	Antena	31
3.3.2	Alimentador	32
3.3.3	Amplificador de baixo ruído – LNA	34
3.3.4	Receptor	34
3.3.5	Sistema de Fibra Óptica	36
3.3.6	Correlacionador	37
3.3.7	Unidade de Programação dos Receptores e Sistema de Rastreamento	39
3.3.8	Sistema de Operação e Controle	40
3.3.9	Teste do Sistema	43
4	SISTEMA DE RASTREIO	47
4.1	SISTEMA MECÂNICO	47
4.2	SISTEMA ELETRÔNICO	48
4.3	SISTEMA DE CONTROLE	50
4.3.1	Controle de Telemetria	51
4.3.2	Controle de Rastreamento	51
5	METODOLOGIA	53
5.1	DESENVOLVIMENTO DAS ROTINAS	53
5.1.1	Rotina LerData	53
5.1.2	Rotina LerErro	54
5.1.3	Rotinas para Análise dos Erros	55
5.1.4	Rotinas ApontamentoAzimute e ApontamentoElevação	61
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	62
6.1	ANÁLISE DETALHADA DAS ANTENAS CONSIDERADAS COMO CRÍTICAS	72
6.1.1	Análise da antena 1	73
6.1.2	Análise da antena 9	81
6.1.3	Análise da antena 11	83
6.1.4	Análise da antena 12	85

6.1.5 Análise da antena 17.....	91
7 CONCLUSÕES.....	101
7.1 PRINCIPAL CONTRIBUIÇÃO.....	101
7.2 COMPORTAMENTO DAS ANTENAS.....	101
7.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	102
REFERÊNCIAS.....	104
REFERÊNCIAS CONSULTADAS.....	105

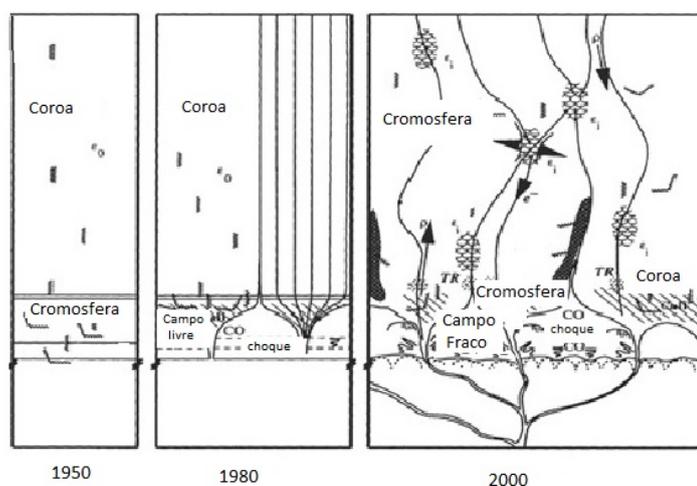
1 INTRODUÇÃO

A seguir a contextualização que delimita esta pesquisa.

1.1 INTERFEROMETRIA SOLAR

Nas últimas décadas, enormes avanços têm sido feitos no sentido caracterizar os fenômenos solares e toda a estrutura topológica da atmosfera solar (cromosfera e coroa). Com o aprimoramento das resoluções dos instrumentos de observação solar, principalmente aqueles que possibilitam o imageamento, como os rádio-interferômetros, tornou-se mais fácil identificar as estruturas solares, como regiões ativas, buracos coronais e também sua evolução temporal e espacial. A figura 1 representa uma esquematização da evolução da percepção sobre a estrutura da atmosfera solar nas últimas décadas, mostrando que o conhecimento vem avançando. As técnicas, os instrumentos e as ferramentas para observação destas estruturas, constantemente são aperfeiçoados.

Figura 1: Representação esquemática da atmosfera solar (cromosfera e coroa) ao longo das últimas décadas.



Fonte: (ASCHWANDEN, 2004).

Atualmente, a atmosfera solar é concebida como uma região fortemente não-homogênea, onde estão presentes diversos processos dinâmicos, tais como fluxos de material aquecido e/ou resfriado, presença de partículas não-térmicas, fenômenos de reconexão de linhas de campo, emissão de plasma aquecido, presença de choques, turbulência e ondas.

Particularmente, as observações solares em rádio frequências métricas e decimétricas têm contribuído para um melhor entendimento sobre questões associadas aos fenômenos eruptivos solares, como os "flares" e ejeções de massa coronal (CME), pois representam indicadores para investigação principalmente de processos de armazenamento e liberação de energia, a aceleração e o transporte de partículas e a localização da região de aceleração.

As CMEs tornaram-se o principal foco de investigação sobre o clima espacial e relações solar-terrestres nos últimos anos (HARRISON, 1991; KAHLER, 1992; CROOKER; JOSELYN; FEYNMAN, 1997). Em observações de CMEs com coronógrafos (dispositivo óptico que bloqueia a luz a partir do disco solar, tornando possível observar a coroa), o disco solar é ocultado e apenas CMEs se propagando em direções perpendiculares a linha de visada e em instantes posteriores ao disparo são detectadas com clareza. Porém, em observações rádio-interferométricas, o disco solar não é ocultado, portanto, CMEs sobre o disco podem ser observadas mesmo nos estágios iniciais, o que não é possível pelas observações com coronógrafos. A possibilidade de previsão de mudanças no clima espacial aumenta com a detecção de CMEs em estágios iniciais.

Schwenn (2006) apresentou uma lista das principais questões ainda em aberto relacionadas ao melhor entendimento das CMEs (que chamou de "Catálogo de Ignorância"). Entre as questões discutidas, este autor citou a necessidade de evidências observacionais, incluindo observações em ondas de rádio, para diagnóstico mais preciso de onde, como e quando ocorre a reconexão magnética responsável pela liberação de energia primária dos eventos impulsivos. Esforços têm sido feitos para detectar emissão contínua em rádio associada com CME, por meio de rádio-espectrógrafos.

Neste sentido, investigações citadas acima podem ser aprimoradas com observações com altas resoluções espaciais proporcionadas pelos rádio interferômetros como o Brazilian Decimetric Array (BDA) (SAWANT et al., 2000b; 2000a; 2002; 2003; 2005; 2011; SAWANT; BDA TEAM, 2005; 2008), pois

possibilitam, entre outras investigações, a determinação da localização da região de disparo das CMEs, que não é possível através de observações com coronógrafos, que ocultam o disco solar até 2 ou mais raios solares.

O BDA também pode observar outros fenômenos solares que afetam o clima espacial, tais como, buracos coronais, onde são produzidos ventos de partículas de alta velocidade, que perturbam o ambiente heliosférico e fenômenos geoefetivos.

Como exposto brevemente acima, diversas investigações de fenômenos solares podem ser realizadas por meio de rádio interferômetros dedicados às observações solares. Por outro lado, há falta destes interferômetros no hemisfério Sul terrestre. Estes aspectos motivaram o desenvolvimento do Projeto do Brazilian Decimetric Array, no final da década de 1990 (SAWANT; BDA TEAM, 2005).

O BDA, um projeto pioneiro no Brasil, está sendo desenvolvido para promover observações solares na faixa de ondas decimétricas por imageamento com resolução espacial de minutos de arco (para a Fase II) e segundos de arco (para a Fase III), o que permitirá investigar os problemas fundamentais da física solar. Consequentemente, pode contribuir para melhorar a capacidade e previsão de clima espacial e de relações solar-terrestres (SAWANT et al., 2011).

O BDA encontra-se atualmente na sua fase II de desenvolvimento e instalado na unidade operacional do INPE em Cachoeira Paulista.

1.2 MOTIVAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Conforme exposto, as observações solares a serem realizadas com o BDA devem contribuir para investigações de questões da física solar. Para o pleno funcionamento do arranjo e geração de imagens (mapas solares bi-dimensionais), há a necessidade de garantir a precisão espacial e do rastreamento síncrono de todos os elementos do arranjo. Estas exigências, principalmente considerando a necessidade de precisão no apontamento, motivou o desenvolvimento deste trabalho, que visa promover uma análise do comportamento do apontamento das 26 antenas da fase II do BDA.

Devido à importância da precisão na resolução espacial do BDA para o conhecimento da localização dos fenômenos ocorridos durante as explosões solares, este trabalho se propõe a realizar uma análise nos dados disponíveis gerados pelo

sistema de rastreamento das observações realizadas para avaliar os erros no apontamento, tanto em azimute como em elevação. Com isso, será possível identificar detalhadamente o aparecimento destes erros e suas tendências de ocorrência e efetuar estudos para possíveis soluções que permitam ao sistema informações suficientemente precisas para a geração das imagens com a resolução esperada.

1.3 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

O objetivo deste trabalho é realizar um levantamento dos erros de rastreamento e apontamento das 26 antenas do Brazilian Decimetric Array (BDA).

1 – Identificar erros de rastreamento e apontamento nas antenas utilizadas nas observações do ano de 2012.

2- Desenvolver metodologia para a realização das análises.

3 – Analisar detalhadamente as antenas que apresentaram erros de apontamento, tanto em azimute como em elevação.

4 – Propor soluções para a seleção das antenas na realização de futuras observações.

2 INTRODUÇÃO À RÁDIO INTERFEROMETRIA

Desde as primeiras observações pioneiras realizadas por Karl G. Jansky, em 1931, a Radioastronomia tornou-se uma ciência central na exploração do universo. Os avanços tecnológicos nas últimas décadas possibilitaram um aumento considerável da sensibilidade e da resolução espacial dos instrumentos de observação rádio astronômicas, permitindo assim, estudos de fontes cósmicas compactas e cada vez mais distantes. Neste contexto, o desenvolvimento das técnicas radiointerferométricas teve um papel determinante, devido a maior resolução espacial que pode ser obtida com o uso de um radiointerferometro (KELLERMAN; MORAN, 2001; CRUTCHER, 1994).

2.1 OS RADIOTELESCÓPIOS

Um telescópio é um instrumento que permite a observação da radiação emitida por objetos astronômicos. Especificamente, o radiotelescópio destina-se as observações de ondas eletromagnéticas na faixa de rádio frequência, que apesar de não ter limites bem definidos, correspondem às ondas com comprimentos que vão desde alguns milímetros (frequências da ordem de 300 GHz) até quilômetros (frequências menores que 300 kHz).

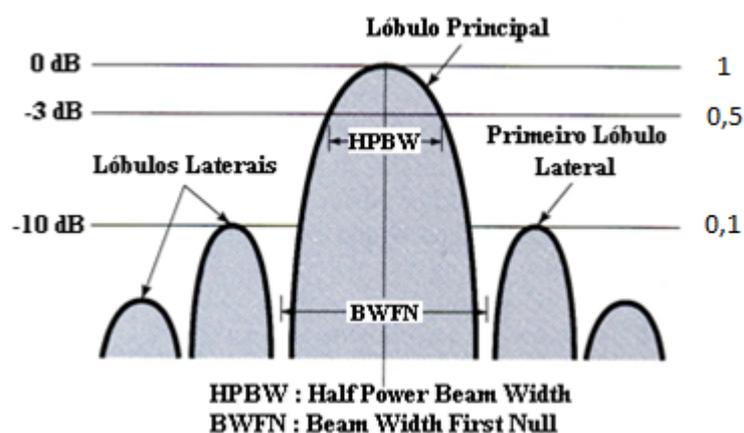
Um radiotelescópio, na sua forma mais simples, consiste basicamente dos seguintes elementos: uma antena, aqui descrita como o conjunto formado por um refletor e um alimentador, um receptor e um sistema para registro do sinal observado. O refletor é responsável por coletar a radiação eletromagnética de uma determinada região do espaço, concentrá-los e enviá-los aos alimentadores, os quais são responsáveis por transformar a radiação incidente em sinais elétricos correspondentes. O refletor também garante direcionalidade à resposta do radiotelescópio devido ao fato de poder captar essa radiação em diversas direções. Estes sinais elétricos são enviados a um sistema receptor, onde são amplificados e filtrados na faixa de frequência desejada, sendo que, as potências correspondentes à radiação recebida são geralmente registradas em algum tipo de mídia para futuras análises.

Atualmente, com uso cada vez mais intenso da tecnologia de processamento digital de sinais e computadores de alto desempenho, esforços tem sido feitos para permitir que os dados provenientes dessas observações sejam tratados e visualizados em tempo quase real.

2.2 RESOLUÇÃO ANGULAR DO RADIOTELESCÓPIO

A capacidade de discriminar os sinais provenientes de diversas direções do espaço é uma das características mais importantes de um radiotelescópio. A resposta em função da direção das ondas eletromagnéticas é dada pelo diagrama de potência da antena, o qual é comumente composto de um conjunto de lóbulos, tal como apresentado na figura 2 (KRAUS, 1966). Pode-se notar a existência de um máximo em torno do eixo vertical (direção de apontamento da antena), o qual está normalizado para $P_1/P_2 = 1$ equivalente a 0 dB ($db = 10 \log(P_1/P_2)$). O lóbulo associado a este máximo é denominado lóbulo principal, ou feixe primário da antena, sendo que é por este lóbulo que a maior parte da radiação proveniente da fonte é coletada. Além do lóbulo principal, nota-se a existência de outros lóbulos determinados por outros máximos com valores inferiores ao máximo central, denominados de lóbulos laterais ou lóbulos secundários (FARIA, 2006).

Figura 2: Diagrama de radiação em coordenadas retangulares.



Fonte: Adaptação de Kraus (1966).

A resolução angular de um radiotelescópio representa a menor distância angular na qual duas fontes pontuais podem ser distinguidas. Usualmente, a resolução angular de uma determinada antena é definida na largura a meia potência do lóbulo principal (Half Power Beam Width, HPBW), a qual corresponde à extensão angular entre os dois extremos do lóbulo principal onde a potência normalizada vale 0,5 (equivalente a - 3 decibéis), tal como mostrado na figura 2.

A resolução δ de um radiotelescópio é dada em função do diâmetro da antena (D) e do comprimento de onda (λ) observado:

$$\delta = \lambda / D \quad (a)$$

A ordem de grandeza dos comprimentos de onda observados na faixa de rádio torna a resolução espacial em rádio pobre em relação às observações em comprimento de ondas menores, tais como, as observações óticas, nas quais o comprimento de onda observado é da ordem de centenas de vezes menor que os das ondas de rádio. Isto implica que, para se obter a mesma resolução que um telescópio óptico, um radiotelescópio necessita de um diâmetro maior numa proporção dada pela razão entre os comprimentos de onda observados (radio/ótico). O maior diâmetro da antena requer uma estrutura mecânica muito maior, o que muitas vezes torna a construção de tais instrumentos impraticáveis.

Entretanto, podem-se realizar observações radioastronômicas com boa resolução angular por meio de um radiointerferômetro, o qual tem como princípio básico de funcionamento o aumento da resolução angular pela combinação apropriada dos sinais provenientes de dois ou mais radiotelescópios/antenas, observando simultaneamente a mesma fonte.

Em geral, utiliza-se um número grande de radiotelescópios/antenas de forma a se obter um arranjo interferométrico.

A resolução angular obtida pelo uso de dois radiotelescópios na observação de uma mesma fonte é inversamente proporcional à distância entre suas antenas, de modo que, esta distância tem a mesma função do diâmetro D na equação (a).

Um radiointerferômetro funciona correlacionando/multiplicando, ou então somando os sinais provenientes de cada radiotelescópio, de modo a produzir uma medida de coerência do plano de onda proveniente da fonte observada. Mais especificamente, a correlação dos sinais de um par interferométrico fornece uma

medida instantânea de uma componente específica de Fourier da distribuição de brilho da região observada no céu, comumente chamada de visibilidade. Em geral, vários telescópios são utilizados e combinados convenientemente, dois a dois, formando um arranjo interferométrico.

Em um arranjo interferométrico, cada par de antenas produz uma única medida de visibilidade correspondente a uma componente de frequência espacial específica, a qual é determinada principalmente pelo vetor separação (comprimento e orientação) entre as antenas dos radiotelescópios que formam o arranjo. O conjunto de todas as componentes de Fourier amostradas simultaneamente permite reconstruir a distribuição de brilho da fonte que está sendo observada, por meio de uma transformada inversa de Fourier.

Entretanto, o número de antenas e, conseqüentemente, o número de pontos amostrados é finito. Assim, para que esta reconstrução seja satisfatória é necessário que as componentes de Fourier amostradas sejam distribuídas de forma a procurar atender os requisitos científicos do arranjo. Neste contexto, a busca de uma configuração física das antenas que otimize a distribuição das visibilidades amostradas no plano de Fourier é uma das tarefas centrais no projeto de um arranjo radiointerferométrico, uma vez que o desempenho do mesmo em termos da reconstrução do brilho da fonte depende diretamente da distribuição das visibilidades.

As seções seguintes apresentam uma fundamentação teórica sobre a radiointerferometria.

2.3 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO RADIOINTERFERÔMETRO

O funcionamento de um radiointerferômetro fundamenta-se na correlação dos sinais provenientes de suas antenas, produzindo uma medida de correlação conhecida como função de coerência mútua ou função visibilidade (ROHLFS; WILSON, 1986), que corresponde à medida de uma componente espacial de Fourier da distribuição de brilho da fonte observada (FARIA; STEPHANY; SAWANT, 2005).

2.4 RADIOINTERFERÔMETRO DE 2 ELEMENTOS

A figura 3 apresenta um exemplo de um radiointerferometro simplificado composto por duas antenas isotrópicas observando simultaneamente uma mesma fonte no céu.

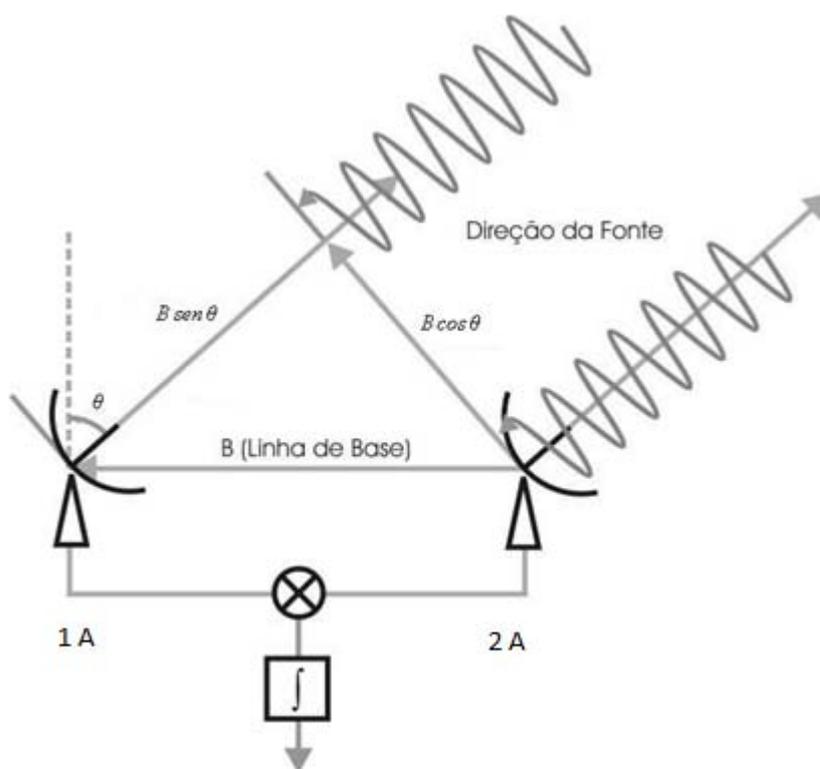
Para melhor entender a resposta obtida na saída do radiointerferometro considere a existência de uma fonte pontual distante, emitindo um plano de onda com comprimento λ , que incide sobre ambas as antenas do interferômetro. As antenas que compõem o interferômetro estão separadas por uma distância B , usualmente chamada de linha de base ou vetor linha de base.

Os sinais recebidos por cada antena passam por um circuito correlacionador onde são multiplicados e integrados por um determinado período de tempo produzindo uma medida de coerência entre os sinais. Pode-se obter interferência construtiva ou destrutiva entre esses sinais.

Supondo-se que os sinais percorrem a mesma distância através dos cabos, o plano de onda incidente nas antenas 1 A e 2 A estará em fase se o ângulo θ formado entre a direção de propagação do plano de onda e a normal do vetor linha de base for zero, ou seja, se a fonte estiver localizada no zênite. Isto implica que a correlação cruzada entre os sinais produzirá uma máxima resposta na saída do correlacionador.

Entretanto, se a fonte for deslocada do zênite por um ângulo pequeno θ , haverá uma pequena diferença de percurso $\Delta l = B \sin\theta$ entre os sinais que chegam até as antenas 1 A e 2 A, implicando em uma diferença de fase entre eles na entrada do correlacionador. Esta diferença de fase entre os sinais produzirá um valor de medida de correlação entre os sinais um pouco menor, podendo até mesmo ter um valor nulo quando a diferença de fase entre os sinais for máxima (180°).

Figura 3: Radiointerferômetro correlacionado de dois elementos.



Fonte: O autor.

Para diferenças de percurso Δl , cujo valor seja um múltiplo inteiro de λ , os sinais que chegam até o correlacionador estarão em fase novamente, produzindo um novo máximo para a medida de correlação. Esta variação da intensidade das medidas de correlação em função do ângulo θ causa as chamadas franjas interferométricas (THOMPSON; MORAN; SWENSON JUNIOR, 1994).

Uma franja interferométrica pode ser obtida a partir da observação de uma fonte pontual no céu, uma vez que, o movimento de rotação da Terra provoca uma variação do ângulo θ .

3 ARRANJO DECIMÉTRICO BRASILEIRO – BDA

Esta seção descreve a importância do desenvolvimento do projeto BDA para as investigações das regiões onde ocorrem as explosões de rádio decimétricas.

3.1 INTRODUÇÃO

Existem poucas investigações sobre as regiões das quais se originam as explosões de rádio decimétricas a exceção de algumas observações feitas pelo Very Large Array (VLA) (GOPALSWAMY et al., 1995). Para preencher essas lacunas foi proposto o desenvolvimento de um rádio-heliógrafo para operar nas frequências entre 1 e 6 GHz, denominado Arranjo Decimétrico Brasileiro (BDA) (do inglês, Brazilian Decimetric Array) para suprir a falta de instrumentação adequada para estudos solares mais detalhados nesta faixa de frequência.

O principal objetivo do BDA é registrar rádio emissões solares e ejeções de massa coronal (CMEs), desempenhando um papel vital para preencher a lacuna existente no imageamento solar em comprimentos de onda decimétricos, uma faixa espectral pouco explorada anteriormente, fornecendo assim informação importante para os estudos do clima espacial.

Além disso, as observações a partir das menores linhas de base, combinadas com a alta sensibilidade permitirão identificar estruturas solares de larga escala como os buracos coronais e fornecer informações sobre os fluxos gerados a partir deles. As explosões solares e os buracos coronais são fenômenos transientes solares que estão diretamente associados à dinâmica do campo magnético solar e que têm grande importância para o Clima Espacial.

O BDA foi planejado para complementar as observações feitas pelo rádio-heliógrafo de Nobeyama que opera em 17 GHz (NAKAJIMA et al., 1995), o rádio-heliógrafo de Nancay (1993), que opera em 160, 327 e 408 MHz e o Gauribidanur Rádio-heliógrafo que opera na faixa de frequência de 40 - 150 MHz (SUBRAMANIAN et al., 1996). As investigações combinadas permitirão estudar o fenômeno solar a diferentes altitudes na sua atmosfera.

O BDA será parte de uma grande cadeia mundial para monitorar continuamente as emissões solares em rádio frequências, que permitirão estudar a evolução de regiões ativas. Estes estudos possivelmente conduzirão a prever a ocorrência de fenômenos como explosões (*flares*) solares e ejeções de massa coronal (CME) que são as principais causas de perturbações geomagnéticas terrestres. Na presente era espacial é importante saber a localização da liberação de partículas energéticas para prevenir perigos de radiação para satélites, veículos orbitais, aviões etc., aparte de prever os efeitos no ambiente próximo da Terra como tempestades geomagnéticas e blecautes de rádio comunicações e distribuição de energia elétrica.

Observações rádio-interferométricas nas bandas métrica e decimétrica são contrapartidas importantes em investigações multiespectrais destes fenômenos, pois é somente com o uso de interferômetros que podem ser atingidas, nestas faixas de frequências, resoluções espaciais comparáveis às dos observatórios espaciais solares de ultra-violeta e raios-X em operação atualmente, da ordem décimo de segundos de arco. Os dados de visibilidade fornecidos pelo BDA podem gerar imagens bi-dimensionais com uma resolução espacial da ordem de 3 segundos de arco.

3.2 BREVE HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO BDA

Os trabalhos de desenvolvimento e construção do BDA foram divididos em três fases distintas descritas a seguir.

3.2.1 FASE I DO PROJETO

A Fase I do desenvolvimento (designada de Protótipo - PBDA) teve início em dezembro de 2001, com a especificação, desenvolvimento, construção e teste de cinco estações heliossíncronas compostas de 5 antenas parabólicas com 4 metros de diâmetro direcionáveis com montagem altazimutal e com sistema de rastreamento computadorizado e controlado remotamente, operando inicialmente na faixa de frequência de 1,2 e 1,7 GHz.

O principal objetivo desta fase foi o de adquirir experiência no desenvolvimento de receptores e em estruturas de antenas transferindo esta experiência para empresas de São José dos Campos para a produção em série dos diversos sub-sistemas a serem usados nas fases posteriores do projeto.

As estações foram instaladas na unidade operacional do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), em São José dos Campos compondo um arranjo de 5 antenas regularmente distribuídas em uma única linha de base na direção Leste-Oeste, utilizando-se um espaçamento fundamental de 8 metros entre as antenas, com uma máxima linha de base de 32 metros. A figura 4 mostra o arranjo com 5 antenas instalado no INPE em São José dos Campos.

Figura 4: Vista do protótipo de 5 elementos montados no INPE - São José dos Campos.



Fonte: O autor.

Também foram realizados testes de engenharia para otimizar todos os sub-sistemas eletrônicos e mecânicos de maneira que na Fase II do projeto a relação custo/desempenho fosse melhorada (SAWANT et al., 2002).

Este instrumento operou por cerca de um ano (2003) nas instalações do (INPE-SJC) (CECATTO et al., 2004).

Os equipamentos foram transferidos em 2004, para a Unidade Regional do INPE em Cachoeira Paulista – SP, após a instalação de toda a infra-estrutura necessária (energia, água, rede computacional, prédio, etc.). A máxima linha de base foi aumentada para uma distância de 216 metros para testes do sistema

receptor analógico. A figura 5 apresenta uma foto do arranjo do PBDA implementado no INPE, em Cachoeira Paulista.

Figura 5: Vista do protótipo de 5 elementos montados no INPE – em Cachoeira Paulista – SP.



Fonte: O autor.

3.2.2 FASE II DO PROJETO

A Fase II do projeto teve início em 2006, com o estudo para a otimização da configuração do arranjo, e do número mínimo de antenas que seriam instaladas necessárias para obtenção das imagens com alta resolução espacial, chegando-se a uma configuração em forma de “T” com 26 antenas sendo 17 antenas instaladas a uma distância de 252 metros na direção leste-oeste e 9 antenas instaladas a uma distância de 162 metros na direção sul.

Esta fase consistiu da manufatura, instalação e operação dos 26 elementos da porção central do arranjo (256 x 256 m), dos quais 5 já estavam em operação (Protótipo – PBDA).

Nesta fase, foi realizado o desenvolvimento das modificações das partes eletrônicas e mecânicas apresentadas na Fase I e a instalação de mais 21 antenas constituindo o arranjo com as 26 antenas. A figura 6 mostra o arranjo das antenas do BDA instalado no INPE em Cachoeira Paulista.

Figura 6: Imagem das antenas instaladas no INPE em Cachoeira Paulista.



Fonte: O autor.

Para a determinação da localização e comprimento das linhas de base, foram executados trabalhos para o posicionamento das 25 antenas do arranjo do interferômetro e implantação de três vértices no local da instalação do BDA, em Cachoeira Paulista, aferidos no Sistema UTM (Universal Transversa de Mercator).

Nesta fase do projeto somente 25 antenas estavam instaladas. Posteriormente foi executado este mesmo trabalho para a última antena do arranjo.

Para a aferição das antenas e dos vértices neste sistema, foi executado uma poligonal eletrônica com uso de uma Estação total, amarrada a uma Base Geodésica constituída pelos vértices de 1ª Ordem: ESTAÇÃO SAT 91725 e ESTAÇÃO SAT 91742, implantadas na área pela Coordenação de Geodésia do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas - IBGE. No que diz respeito à locação das antenas, foram observados os alinhamentos existentes, materializados no terreno por antenas existentes.

Para a localização das bases, foram observados o projeto fornecido pelo BDA e os alinhamentos existentes, que serviram para a localização das demais antenas.

Foram também determinadas as alturas de cada antena, considerando como referência de nível a linha de foco das mesmas. Com base nessas medidas as coordenadas para 25 antenas do projeto foram encontradas. A tabela 1 apresenta os dados obtidos para cada antena.

Tabela 1: Dados obtidos da localização das antenas.

Nome	Descrição	Distância	Coordenada Norte	Coordenada Oeste	Latitude	Longitude	Altura
nt. 2	linha E/W	7.49	0.487,146	9.714,338	- 22° 41'	- 45° 00'	48,767
nt. 3	linha E/W	7.49	0.487,274	9.696,510	- 22° 41'	- 45° 00'	48,740
nt. 4	linha E/W	7.49	0.487,413	9.678,559	- 22° 41'	- 45° 00'	48,726
nt. 5	linha E/W	7.49	0.487,571	9.660,431	- 22° 41'	- 45° 00'	48,747
nt. 6	linha E/W	7.49	0.487,624	9.651,380	- 22° 41'	- 45° 00'	48,778
nt. 7	linha E/W	7.49	0.487,686	9.642,379	- 22° 41'	- 45° 00'	48,758
nt. 8	linha E/W	7.49	0.487,782	9.633,383	- 22° 41'	- 45° 00'	48,730
nt. 9	linha E/W	7.49	0.487,864	9.624,390	- 22° 41'	- 45° 00'	48,756
nt. 10	linha E/W	7.49	0.487,935	9.615,398	- 22° 41'	- 45° 00'	48,746
nt. 11	linha E/W	7.49	0.487,999	9.606,402	- 22° 41'	- 45° 00'	48,761
nt. 12	linha E/W	7.49	0.488,057	9.597,447	- 22° 41'	- 45° 00'	48,770
nt. 13	linha E/W	7.49	0.488,123	9.588,437	- 22° 41'	- 45° 00'	48,783
nt. 14	linha E/W	7.49	0.488,273	9.570,375	- 22° 41'	- 45° 00'	48,758
nt. 15	linha E/W	7.49	0.488,416	9.552,289	- 22° 41'	- 45° 00'	48,767
nt. 16	linha E/W	7.49	0.488,559	9.534,410	- 22° 41'	- 45° 00'	48,752
nt. 17	linha E/W	7.49	0.488,860	9.498,414	- 22° 41'	- 45° 00'	48,744
nt. 18	linha N/S	7.49	0.478,851	9.624,370	- 22° 41'	- 45° 00'	48,754
nt. 19	linha N/S	7.49	0.469,815	9.624,179	- 22° 41'	- 45° 00'	48,740
nt. 20	linha N/S	7.49	0.460,769	9.624,165	- 22° 41'	- 45° 00'	48,730
nt. 21	linha N/S	7.49	0.451,766	9.624,269	- 22° 41'	- 45° 00'	48,647
nt. 22	linha N/S	7.49	0.433,664	9.623,940	- 22° 41'	- 45° 00'	48,762
nt. 23	linha N/S	7.49	0.415,605	9.623,819	- 22° 41'	- 45° 00'	48,729
nt. 24	linha N/S	7.49	0.397,566	9.623,703	- 22° 41'	- 45° 00'	48,770
nt. 25	linha N/S	7.49	0.361,503	9.623,364	- 22° 41'	- 45° 00'	48,804
nt. 26	linha N/S	7.49	0.325,416	9.623,117	- 22° 41'	- 45° 00'	48,755

Fonte: O autor.

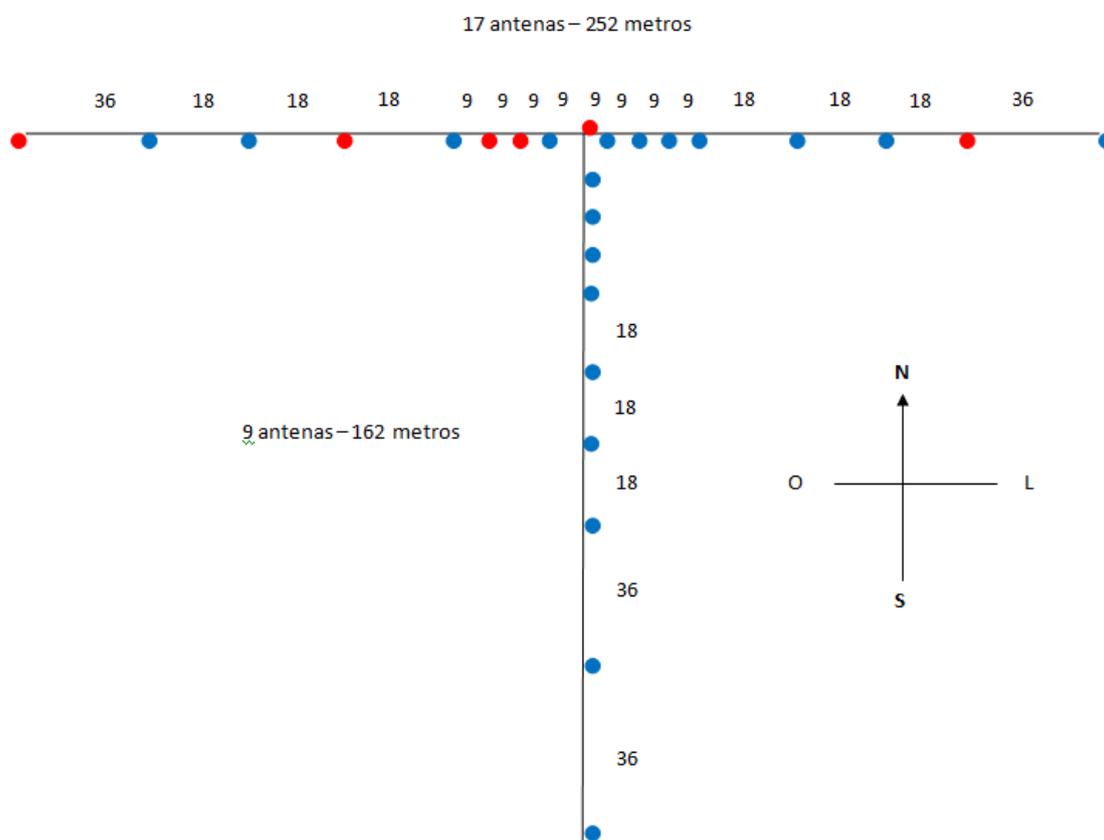
É possível se obter as franjas de interferência para uma dada linha de base (LB) – distância entre um par de antenas - conhecendo-se a frequência de

observação e tamanho da linha de base, além da posição da fonte no céu. Para se obter o tamanho de uma linha de base precisamos conhecer as coordenadas de suas antenas componentes.

A partir das coordenadas das antenas dadas na tabela 1, a distância entre qualquer par de antenas pode ser determinada. Para isso, basta se utilizar de um modelo geodésico local para a superfície terrestre.

A figura 7 mostra a configuração das antenas para a fase II do BDA.

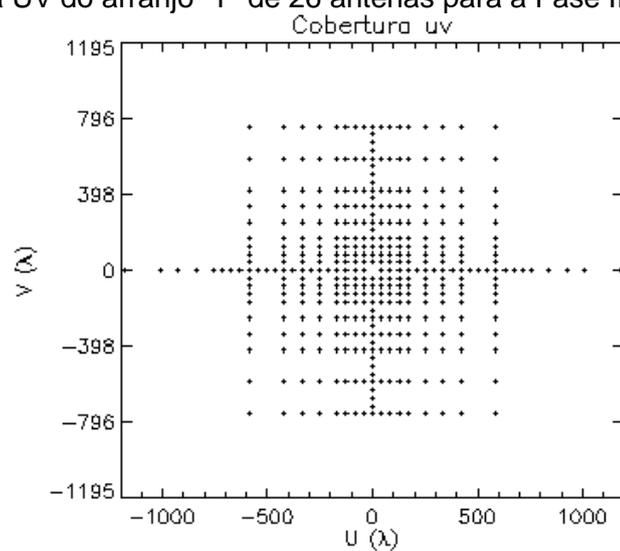
Figura 7: Configuração das 26 antenas para a Fase II do BDA. As antenas na cor vermelha correspondem àquelas já existentes da Fase I e as na cor azul as antenas adicionadas na Fase II.



Fonte: O autor.

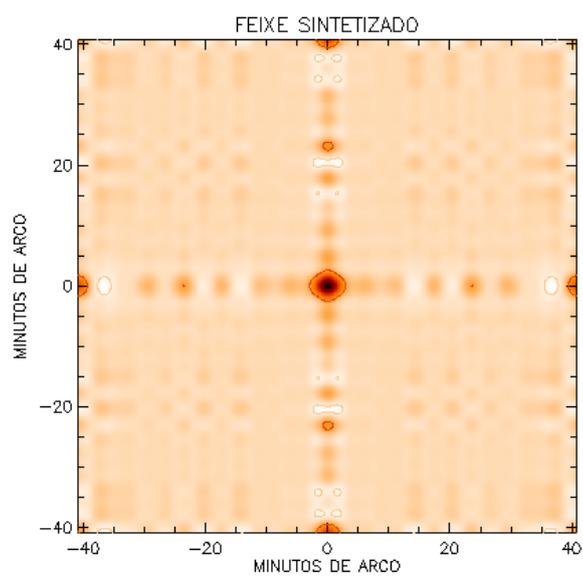
As figuras 8 e 9 mostram, respectivamente, a cobertura UV e o feixe sintético para esta configuração de antenas. É claramente visto que os “grating lobes” estão fora do campo de visada de 40' x 40' de arco conforme mostrado na figura 10.

Figura 8: Cobertura UV do arranjo “T” de 26 antenas para a Fase II do BDA em 1.4 GHz.



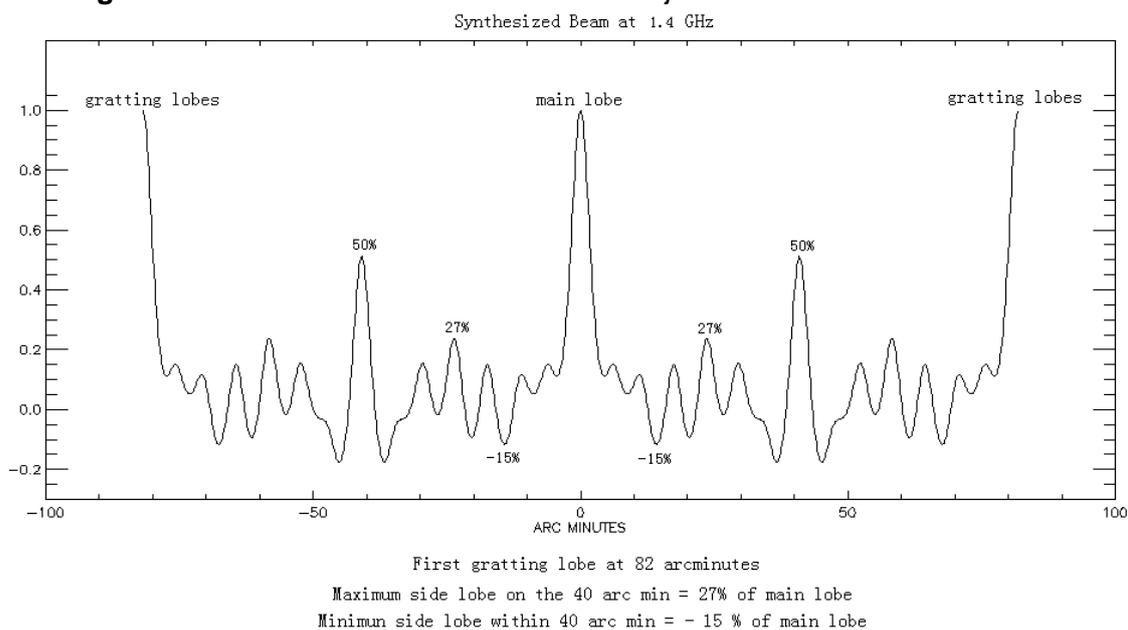
Fonte: O autor.

Figura 9: Feixe sintético obtido para o arranjo de 26 antenas.



Fonte: O autor.

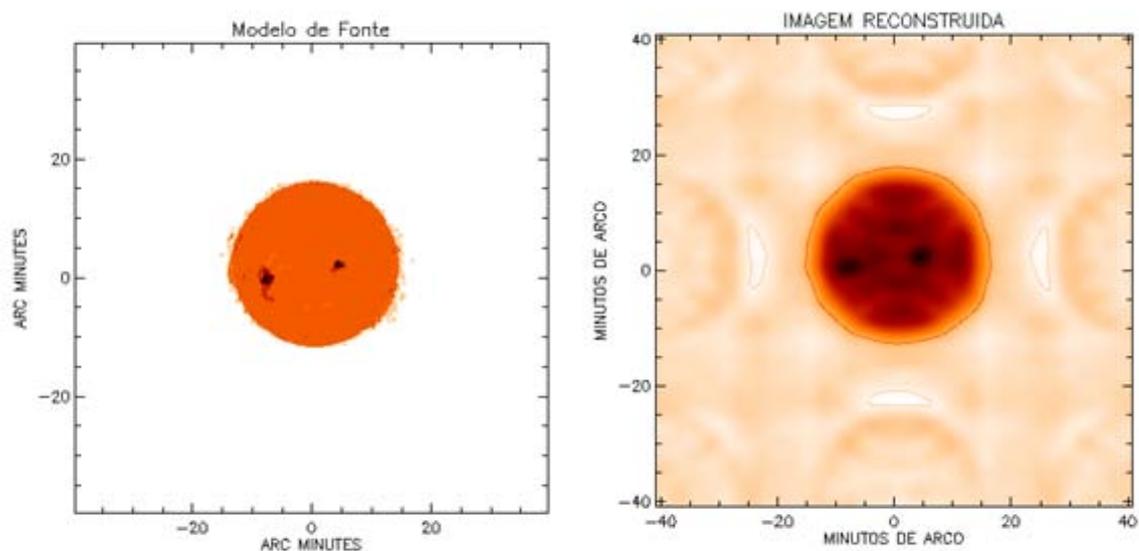
Figura 10: Perfil do feixe sintetizado do arranjo central do BDA em 1.4 GHz.



Fonte: O autor.

A Figura 11 exibe um modelo de fonte do Sol e a imagem da fonte produzida por este arranjo de antenas instaladas no INPE em Cachoeira Paulista.

Figura 11: Modelo de fonte em rádio do Sol (mapa do Sol obtido pelo RH Nobeyama em 7 GHz esquerda) e imagem produzida pelo arranjo de 26 antenas para o modelo de fonte utilizado (direita).



Fonte: O autor.

3.2.3 FASE III DO PROJETO

O arranjo completo estará espalhado em uma área aproximada de 2 km x 1 km adicionando 4 antenas em cada braço da configuração em forma de “T”, igualmente espaçadas de 252 m compondo o arranjo final com 38 antenas. A máxima linha de base entre dois elementos subsequentes será de 252 m e a mínima de 9 metros. O braço leste-oeste terá 25 antenas e o braço sul terá 13 antenas. Esta configuração proverá um feixe quase circular quando o sol estiver em trânsito (LUDKE et al., 2000). O elemento central do braço leste-oeste será comum a ambos os braços.

Com esta configuração, será obtido uma resolução espacial de aproximadamente 10 segundos de arco na frequência de 5,6 GHz e resolução temporal de 100 ms no tempo de visibilidade.

Cada antena, com montagem altazimutal, terá um processador dedicado com interface projetada para o rastreamento e apontamento, que inclui compensação de erro, apontamento automático e correção de erro de rastreamento. Terão também comunicação por fibras ópticas, ajuste de relógio, diagnóstico para receptor, oscilador local para sintonizar e assegurar a qualidade das observações.

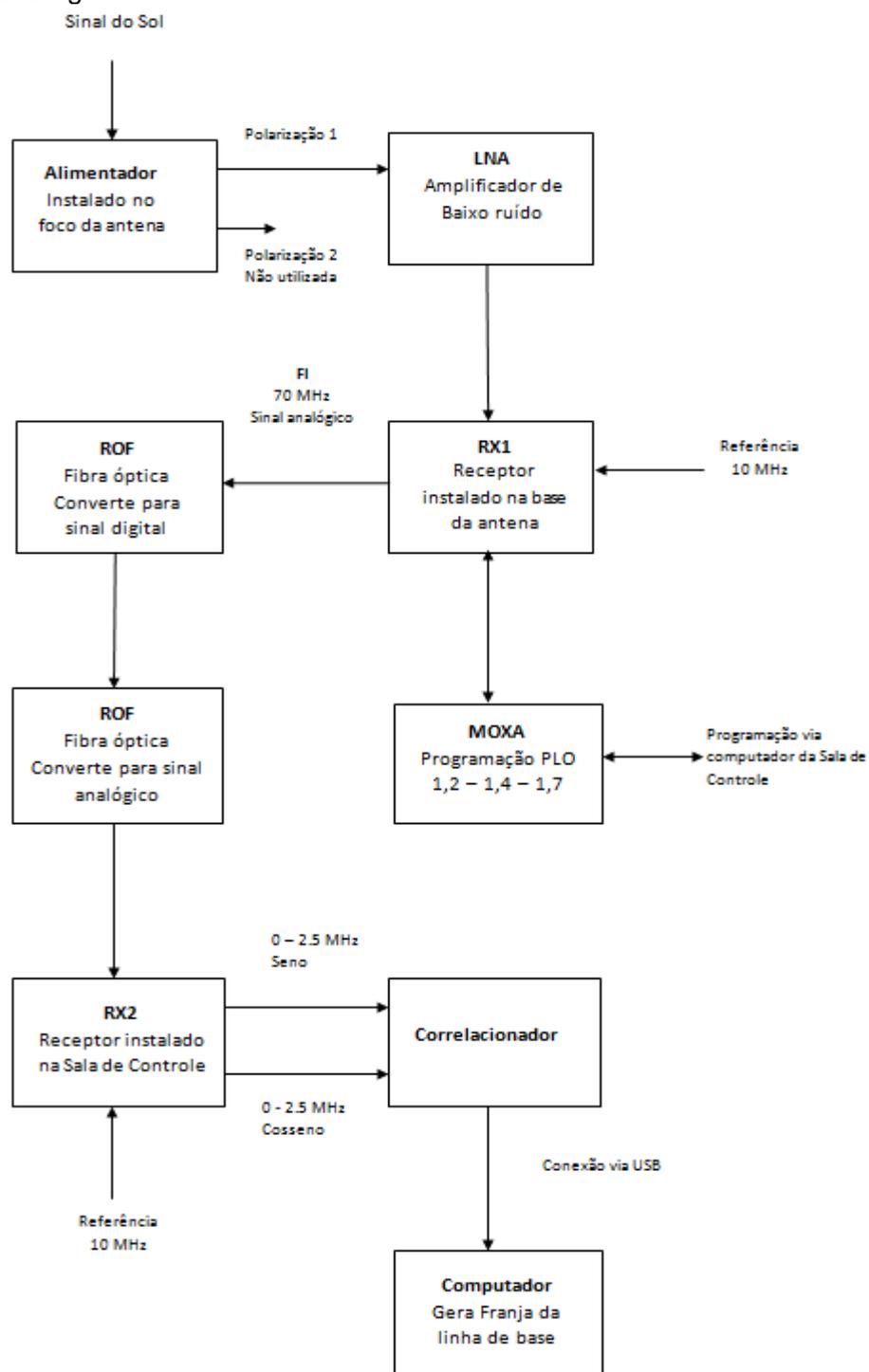
O sinal RF de cada antena será ampliado (35 dB de ganho) por um amplificador de baixo ruído (1,5 dB) e banda larga (1,2 - 1,7, 2,8 e 5,6 GHz). O sinal passará em seguida por um filtro passa faixa para eliminar sinais espúrios. O amplificador de RF e o filtro passa faixa serão mantidos a uma temperatura controlada para minimizar as variações de fase e de ganho.

3.3 PRINCIPAIS COMPONENTES DO SISTEMA

Nesta seção são descritos detalhadamente cada componente do sistema com suas características e funcionalidades.

O diagrama em blocos da Figura 3.9 ilustra o funcionamento do sistema mostrando o sinal que chega no foco da antena até sua fase final, na saída do correlacionador, onde se obtém as franjas de interferência.

Figura 12: Diagrama em blocos mostrando o funcionamento do sistema.



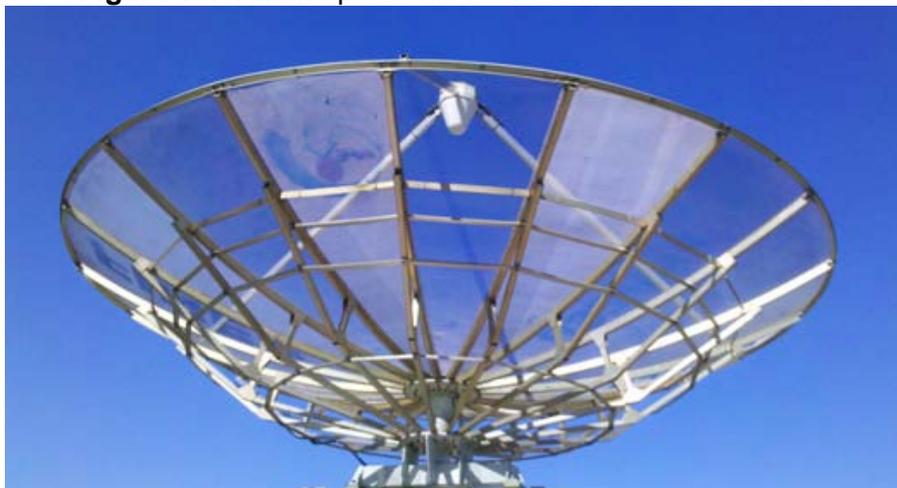
Fonte: o autor.

3.3.1 Antena

O sistema utiliza antenas com refletores parabólicos reforçado com 4 metros de diâmetro.

A Figura 13 mostra a antena utilizada no projeto.

Figura 13: Antena parabólica com 4 metros de diâmetro.



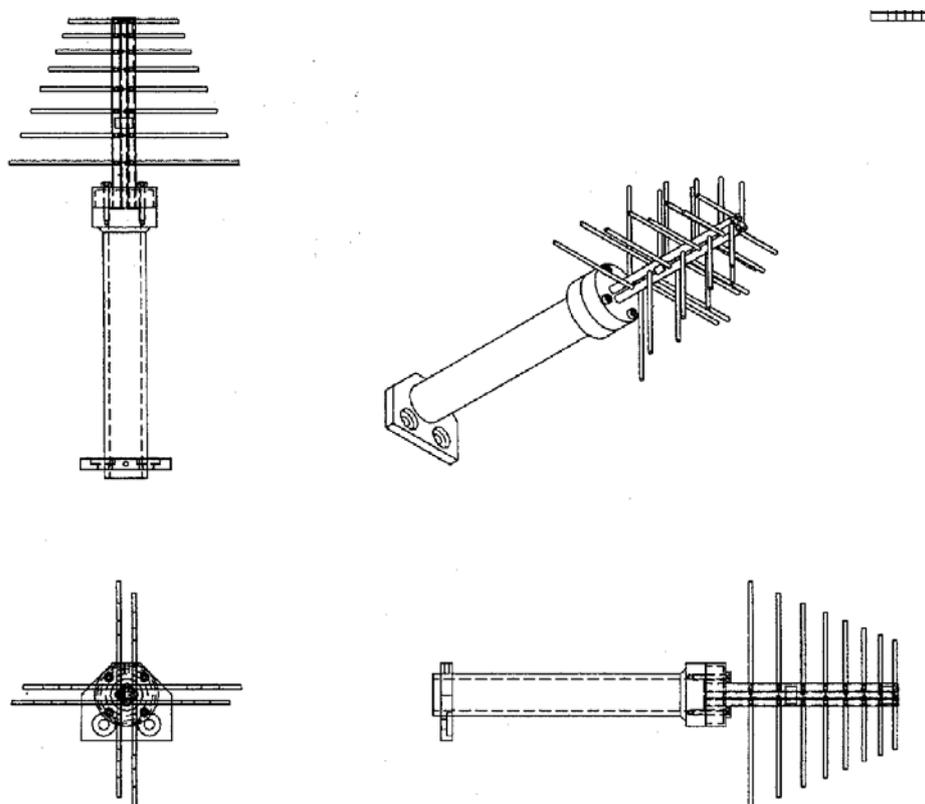
Fonte: O autor.

3.3.2 Alimentador

Instalado no foco da antena há um alimentador log-periódico em duas polarizações projetado para operar na faixa de frequência de 1,2 à 1,7 GHz. Para sua proteção, foi desenvolvida uma redoma, fabricada com material especial de maneira a se ter a mínima atenuação do sinal no alimentador.

Para se obter a faixa de operação desejada, foi utilizada uma rede de oito elementos. 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 mostrada nas Figuras 3.11 e 3.12.

Figura 14: Desenho da montagem do alimentador.



Fonte: O autor.

Figura 15: Alimentadores fabricados e as respectivas redomas.



Fonte: O autor.

3.3.3 Amplificador de Baixo Ruído – LNA

Foram desenvolvidos amplificadores de baixo ruído e alto ganho operando na faixa de (1,2 – 1,7) GHz tendo um ganho de ~22 dB, VSWR de 1,2 e intermodulação de -30 dB. Os amplificadores apresentaram uma figura de ruído NF de 1,6 dB e um ganho nominal de 25 dB. A Figura 3.13 mostra um dos amplificadores (LNA) instalado na base da redoma colocada no foco da antena.

Figura 16: Amplificador de baixo ruído instalado no foco da antena.



Fonte: O autor.

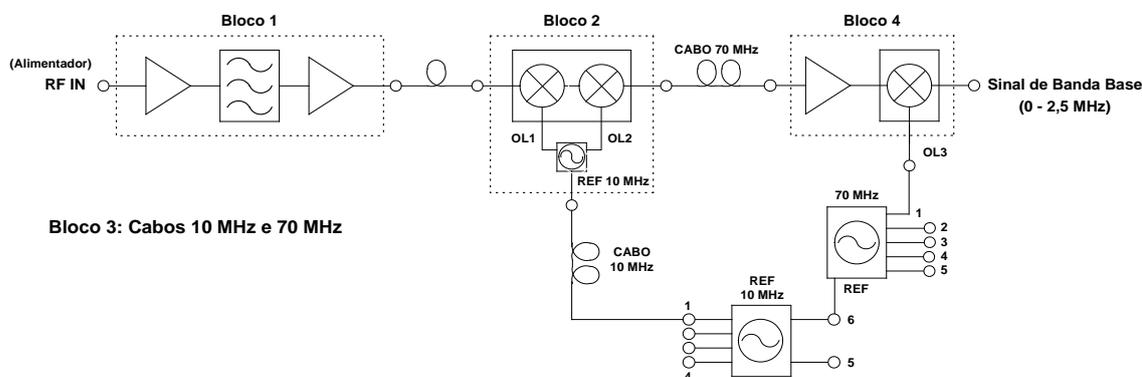
3.3.4 Receptor

O sistema de recepção do BDA é dividido em 2 receptores, sendo um receptor chamado de RX1 instalado na torre da antena, e o outro, chamado de RX2 instalado na sala de controle.

Foi projetado para operar na faixa de frequência de (1 – 6) GHz, a partir do receptor desenvolvido para o PBDA, sendo um projeto modular e com montagem tipo

gaveta com o objetivo de reduzir os custos de manutenção e otimizar sua operação. A figura 17 mostra o diagrama do receptor.

Figura 17: Diagrama em blocos do receptor.



Fonte: O autor.

As principais características do receptor são:

- Frequência de operação: (1-6) GHz.
- Banda base: 0-2,5 MHz.
- Taxa de digitalização: 5 MHz.
- Tipo: PLL (Phase-Locked Loop) com tripla conversão (900 MHz, 70 MHz e 2,5 MHz).
- Ganho total de RF(Rádio Frequência): ~ 120 dB.
- Rejeição de imagem: ~ 30 dB.
- LNA - Figura de ruído: ~ 1,5 dB, Ganho ~ 42 dB, VSWR ~ 1.2, Intermodulação ~ -30 dB.
- Faixa dinâmica: ~ 30 dB.

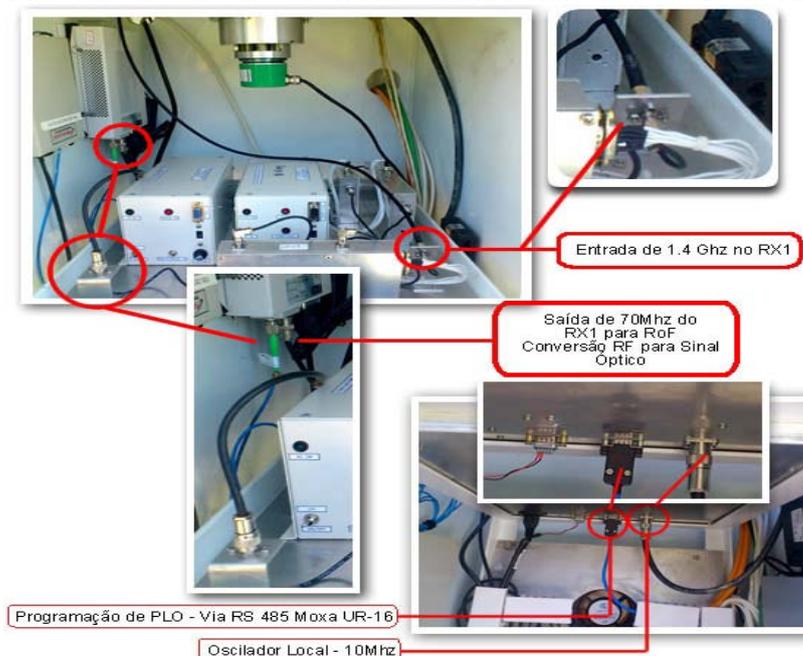
Cada antena do arranjo possui um amplificador de baixo ruído (LNA) conectado diretamente à saída de seu alimentador. A saída do LNA é conectada através de um cabo coaxial à entrada do bloco de radiofrequência (RF) que efetua as duas primeiras conversões de frequência, localizado na base da antena. O 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 é composto pelas unidades receptoras e pelo oscilador de referência de Rubídio comum a todas as unidades. O sinal de saída do receptor consiste nos sinais de banda base oriundos das unidades receptoras.

A figura 18 mostra o interior da torre de uma antena, com a entrada do sinal de 1,4 GHz em RX1 e saída de 70 MHz para a o sistema de fibra óptica (RoF conversão rádio para ótico) que converte o sinal de 70 MHz para a banda de (0 - 5) MHz.

Figura 18: Interior da torre da antena mostrando entrada e saída do RX1.



Fonte: O autor.

3.3.5 Sistema de Fibra Óptica

O sistema de fibra óptica realiza a conversão do sinal analógico em rádio de 70 MHz do receptor RX1 (situado na torre de cada antena) para um sinal digital e óptico em 70 MHz ao qual é transmitido para a sala de controle via cabo de fibra óptica, sendo então convertido novamente para um sinal analógico em rádio de 70

MHz e enviado para o receptor RX2. A figura 19 mostra a imagem dos equipamentos que compõe o sistema de fibra óptica.

Figura 19: Dispositivos que compõe o sistema de fibra óptica instalado na base das antenas (ROF).



Fonte: O autor.

3.3.6 Correlacionador

Em sua fase final, o BDA será consistido de 38 antenas com 4 metros de diâmetro operando na faixa de frequências de 1,2 -1,7 GHz, 2,8 GHz e 5,6 GHz. Em qualquer banda de observação, a cadeia de circuitos analógicos de cada antena produz um sinal de 2,5 MHz de largura de banda para cada uma das duas polarizações ortogonais. Esses sinais estão disponíveis como sinais em banda base na saída do conversor de frequências do Receptor de Banda Larga do BDA.

Há, portanto, um total de 76 sinais analógicos de saída (38 antenas x 2 polarizações) disponíveis para utilização pelo bloco de processamento digital do BDA.

Para produzir saídas correlacionadas entre quaisquer dois sinais de entrada com a mesma polarização de duas antenas diferentes é requerido um correlacionador compatível para realizar esta operação.

O correlacionador foi desenvolvido utilizando-se tecnologia de FPGA (“Field Programmable Gate Array”) para satisfazer os requisitos de imageamento do BDA. O projeto foi dividido em duas partes:

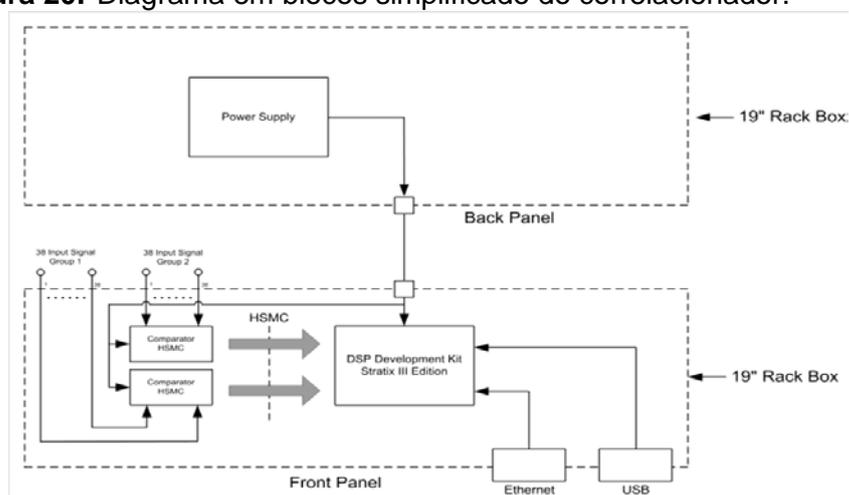
- a) Circuito de amostragem baseado em comparadores;
- b) Módulo FPGA.

Todos os requisitos funcionais do correlacionador tais como a correção de atraso, cálculo do “lag product”, acumulação e “fringe stopping” junto com a transferência dos dados de visibilidade para o sistema final de aquisição de dados foram implementados utilizando a linguagem HDL (“Hardware Description Language”) dentro do FPGA.

A complexidade do FPGA foi escolhida para acomodar os cálculos mencionados para todas as entradas, permitindo, desta maneira, o processamento dos dados de visibilidade para construir as imagens bi-dimensionais do céu.

A Figura 20 apresenta o diagrama de blocos simplificado do correlacionador.

Figura 20: Diagrama em blocos simplificado do correlacionador.



Fonte: O autor.

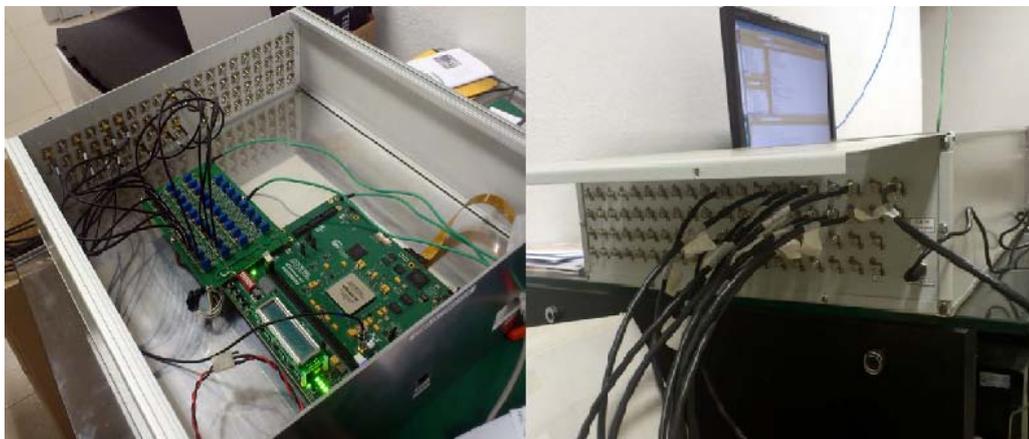
A função dos módulos “Comparator HSMC” é fazer uma amostragem de 1 bit dos sinais analógicos de entrada produzindo um sinal de saída digital que é aplicado ao módulo de processamento digital.

O módulo de processamento digital é composto por uma placa de desenvolvimento FPGA / DSP do fabricante ALTERA (modelo Stratix III) configurada e programada de forma a realizar as funções necessárias para o processamento.

O resultado do processamento digital é disponibilizado para os demais subsistemas do BDA através de uma interface Ethernet ou USB.

A figura 21 mostra as montagens interna e externa do correlacionador.

Figura 21: Vista do interior do correlacionador (imagem esquerda) e vista traseira com as entradas dos cabos dos sinais da banda base (imagem direita).



Fonte: O autor.

3.3.7 Unidade de Programação dos Receptores e Sistema de Rastreo

A programação dos receptores e sistema de rastreo é feita por meio de um microcomputador, instalado em cada uma das bases das antenas, responsável por realizar a programação dos componentes do sistema, tais como controles de receptores e sistemas de rastreo. Os comandos para esta programação são enviados do microcomputador instalado na sala de controle. A comunicação é realizada via rede internet utilizando o protocolo TCP/IP. A figura 22 mostra a imagem do microcomputador instalado na base de uma antena.

Figura 22: Microcomputador modelo UR16.



Fonte: O autor.

3.3.8 – Sistema de Operação e Controle

O sistema de operação e controle está localizado na sala de controle sendo composto por um computador principal com os softwares de controle instalados de maneira a propiciar ao operador a realização da programação dos microcomputadores, instalados em cada antena.

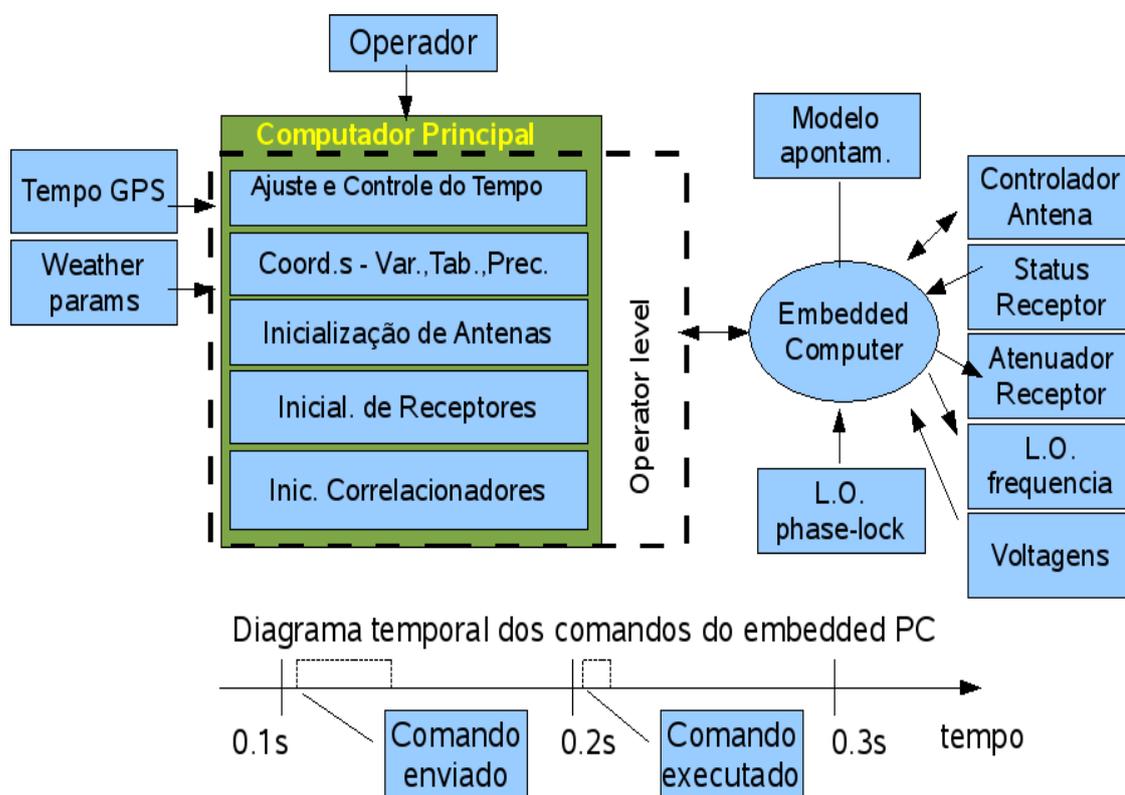
Um servidor de tempo, utilizando o protocolo NTP (“Network Time Protocol”) foi instalado no computador principal, para acerto da hora universal utilizando um equipamento GPS (“Global Positioning System”). Este tempo é utilizado para o sincronismo dos processos de operação dos receptores e do sistema de rastreamento.

Comandos são enviados pela rede aos microcomputadores UR16 para a programação dos receptores tais como a compatibilização dos ganhos para compensar as variações da atenuação do céu.

Também é monitorado remotamente nos receptores, o controle de estado e as tensões variáveis que são aplicadas para a sintonia de frequências.

A figura 23 mostra o esquema de funcionamento do sistema de controle.

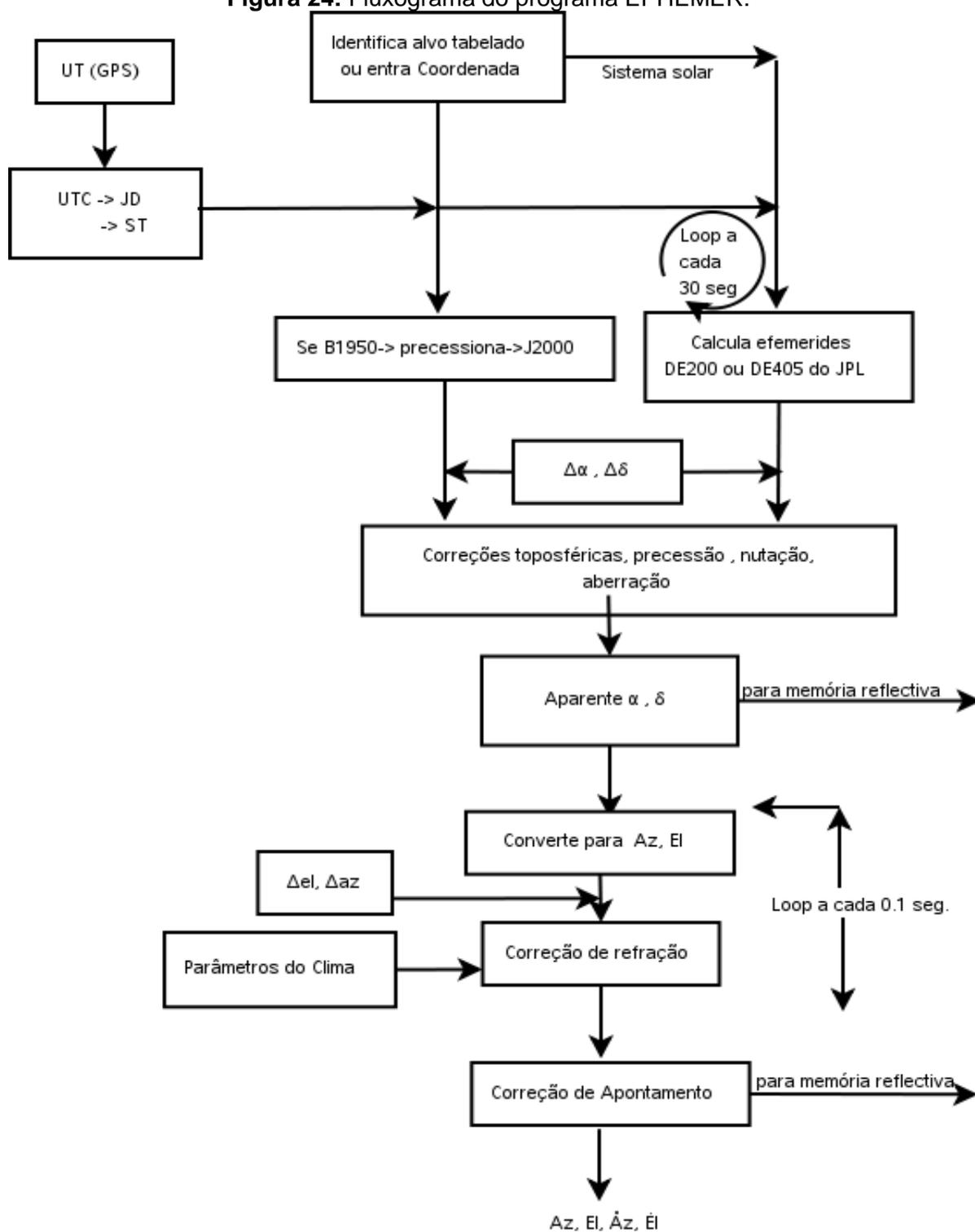
Figura 23: Diagrama esquemático dos processos no computador principal.



Fonte: O autor.

Para o rastreamento, são enviados comandos de posições de astros, calculadas por um programa chamado EPHEMER, que realiza o cálculo das efemérides dos astros do sistema solar, incluindo o Sol e a Lua, usando uma base de dados de precisão distribuída pelo JPL ("Jet Propulsion Lab") com o nome de DE200. O esquema de cálculo e conversão de coordenadas que é utilizado está apresentado na figura 24.

Figura 24: Fluxograma do programa EPHEMER.



Fonte: O autor.

3.3.9 Teste do Sistema

Fase I

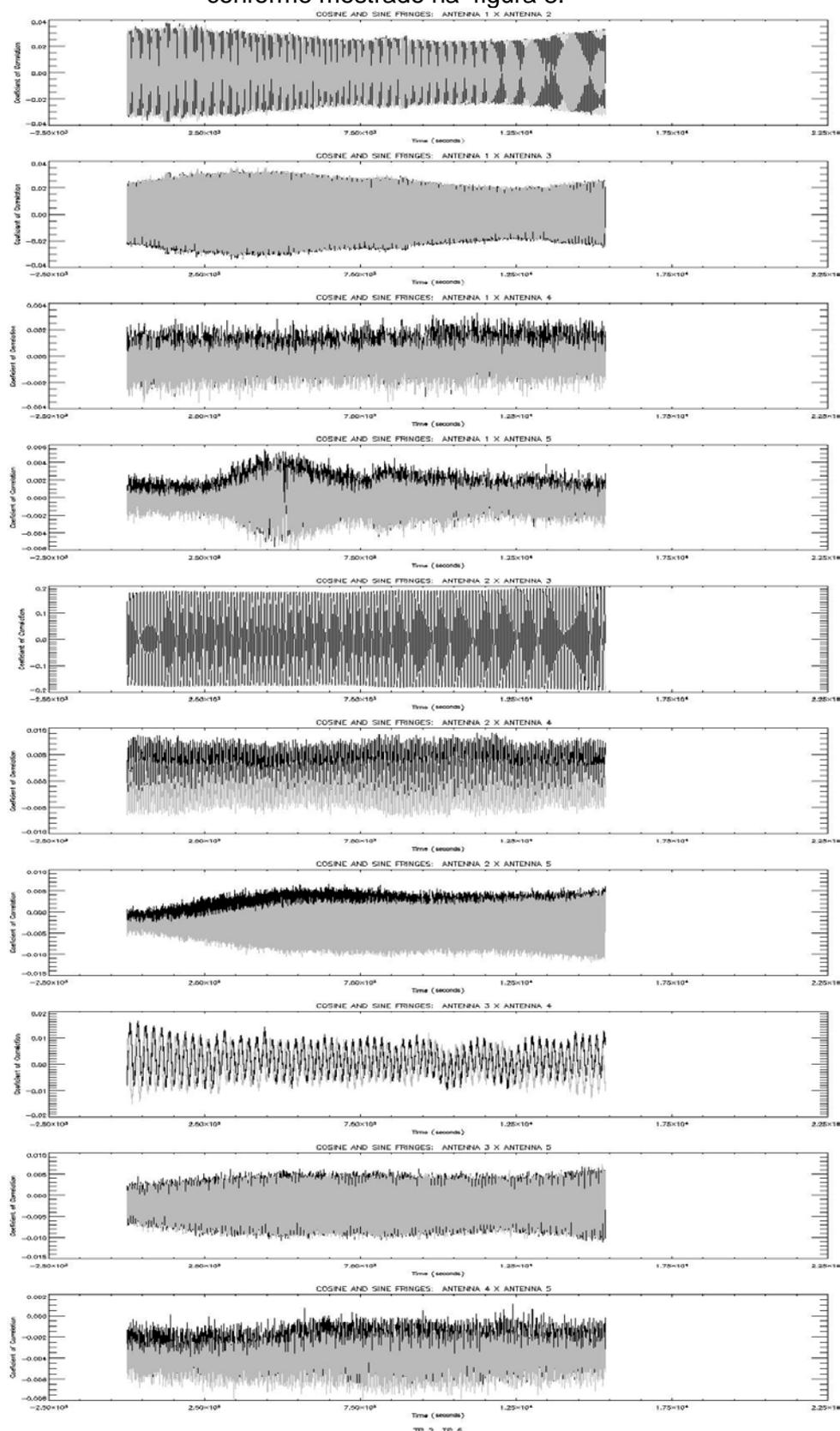
Os testes do sistema para a Fase I foi realizado com o apoio do Dr. K. R. Subramanian, responsável pelo desenvolvimento do sistema digital desta fase.

As primeiras visibilidades de interferência deste conjunto foram utilizadas para testar os receptores e os programas de calibração de dados, uma vez que, por cada antena individualmente o Sol não será resolvido espacialmente pelo conjunto mais interno de antenas do arranjo.

Para a observação de fontes calibradoras (Cygnus-A e Taurus-A), o modo predominante foi o trânsito, enquanto que para o Sol ambos os modos de rastreamento e trânsito foram usados.

O sistema foi testado por cerca de 110 dias correspondendo a aproximadamente 370 horas observacionais sendo 250 horas de observação do Sol e aproximadamente 120 horas de fontes calibradoras. A Figura 3.22 mostra o registro das franjas seno e cosseno para as 10 linhas de base obtido durante 4 horas ininterruptas de observação do Sol. Este registro atesta o perfeito funcionamento dos 5 elementos do Protótipo.

Figura 25: Franjas obtidas em 2005 para as 10 linhas de base do PBDA, espaçadas conforme mostrado na figura 8.



Fonte: O autor.

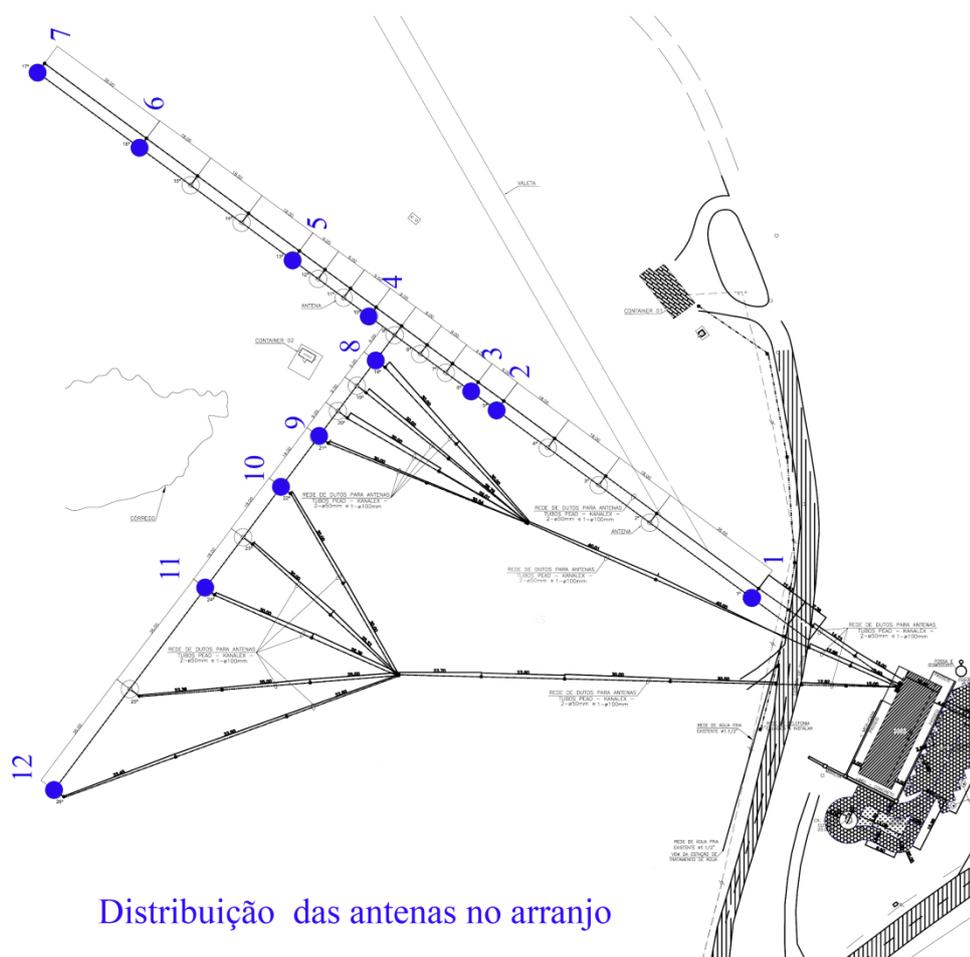
Fase II

O teste do sistema para a Fase II foi realizado com o apoio do Dr K. S. Sandeep responsável pelo desenvolvimento do correlacionador, onde foram utilizadas 12 antenas do arranjo na observação realizada em 12 de dezembro de 2012.

A figura 26 mostra a distribuição das antenas utilizadas para este teste.

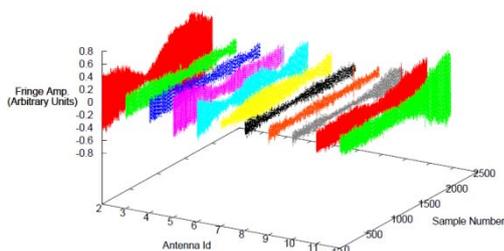
A figura 27 mostra os resultados das correlações, duas a duas, destas 12 antenas com os gráficos das franjas correspondentes.

Figura 26: Localização das antenas para a realização do teste do sistema.

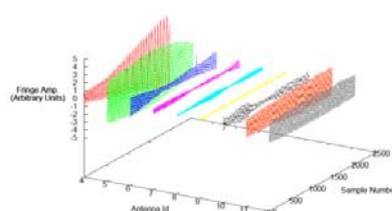
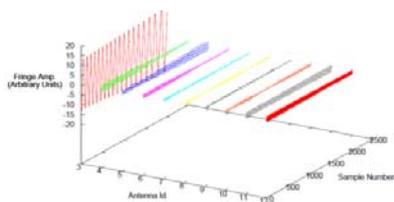


Fonte: O autor.

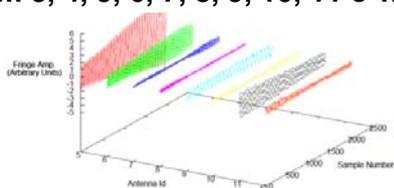
Figura 27: Gráfico das franjas obtidas com a combinação das 12 antenas.



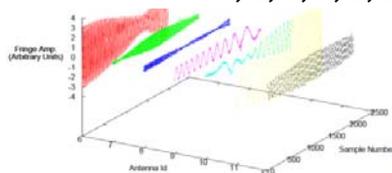
Antena 1 com antenas 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12



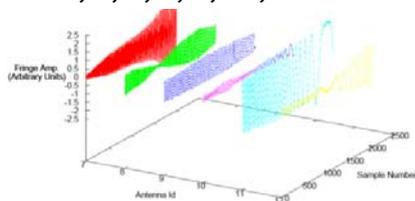
Antena 2 com 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12



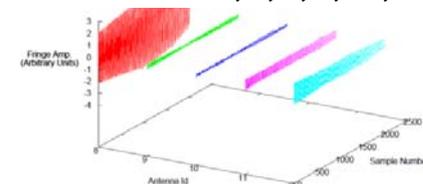
Antena 3 com 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12



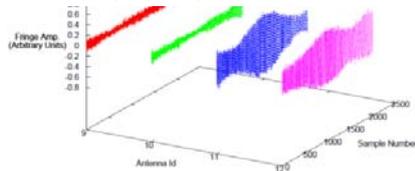
Antena 4 com 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12



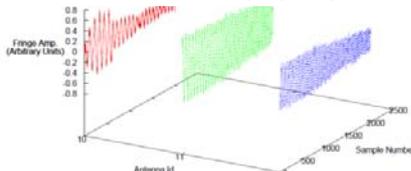
Antena 5 com 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12



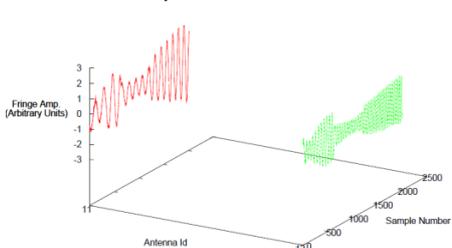
Antena 6 com 7, 8, 9, 10, 11 e 12



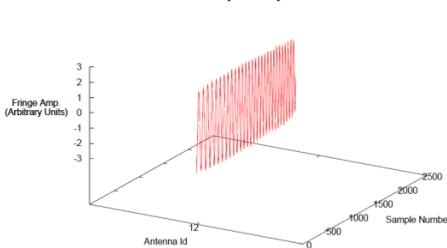
Antena 7 com 8, 9, 10, 11 e 12



Antena 9 com 10, 11 e 12



Antena 8 com 9, 10, 11 e 12



Antena 10 com antenas 11 e 12

Antena 11 com antena 12

Fonte: O autor.

4 SISTEMA DE RASTREIO

A seção a seguir descreve o funcionamento do sistema de rastreo composto basicamente pelo sistema mecânico, sistema eletrônico e sistema de controle.

4.1 SISTEMA MECÂNICO

O sistema mecânico de rastreo com montagem altazimutal é composto principalmente por motores e engrenagens para o movimento das antenas em azimute e em elevação.

Caixas de redução são utilizadas com a finalidade de reduzir a velocidade de rotação do eixo dos motores acionando os pinhões acoplados às engrenagens de azimute e elevação.

A figura 28 mostra o motor acoplado à caixa de redução instalado na base da antena.

Figura 28: Motor e caixa de redução para posicionamento da antena em azimute.



Fonte: O autor.

A figura 29 mostra as engrenagens de azimute e elevação montadas na estrutura mecânica de fixação da antena.

Figura 29: Engrenagens de posicionamento das antenas em azimute e elevação.



4.2 SISTEMA ELETRÔNICO

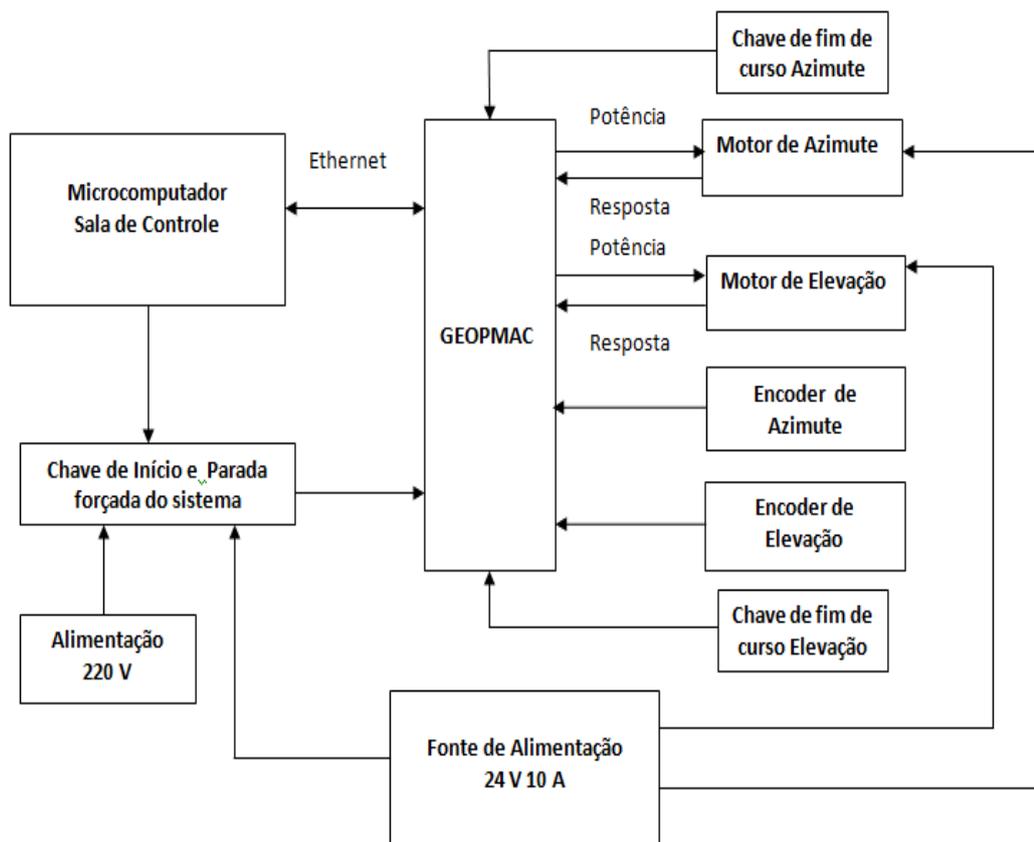
O sistema eletrônico de rastreamento é feito basicamente por um equipamento (“GEOPMAC”) equipado com processadores digitais programados para comandarem o acionamento e controle dos motores de azimute e elevação.

Este equipamento efetua a leitura dos dispositivos que realizam a medida do posicionamento das antenas (“encoder”). Para a interligação dos componentes eletrônicos do sistema é utilizado um painel de controle, onde estão instalados a entrada de energia 220v AC, os disjuntores de segurança, uma fonte de alimentação de 24v DC utilizada para alimentar o sistema de freio dos motores e para a alimentação da chave de início de rastreamento e parada forçada do sistema.

Para segurança do sistema, o início do rastreamento se dá com o acionamento, via botão instalado na sala de controle, que tem a função de liberar a entrada de energia ao sistema após um tempo ajustado por meio de uma chave temporizada.

A figura 30 mostra o diagrama em blocos do esquema de funcionamento do sistema de rastreamento.

Figura 30: Diagrama em blocos do esquema de funcionamento do sistema de rastreio.



Fonte: O autor.

A figura 31 mostra o equipamento responsável pelo acionamento dos motores.

Figura 31: Dispositivo para controle e monitoramento dos motores (Geo Pmac).



Fonte: O autor.

A figura 32 mostra os dispositivos responsáveis pela leitura do posicionamento das antenas.

Figura 32: Dispositivo para leitura do posicionamento das antenas (“encoder”) de azimute (imagem esquerda) e de elevação (imagem direita).



Fonte: O autor.

4.3 SISTEMA DE CONTROLE

O sistema de controle está instalado no prédio do centro de controle e foi projetado especificamente para a operação do BDA. Ele está localizado em uma posição estratégica que possibilita a visão de todas as antenas do arranjo, permitindo desta maneira, o monitoramento do arranjo durante as observações. A figura 33 mostra a localização do prédio de controle com vista para o arranjo das antenas.

No subsolo deste prédio estão instalados os sistemas de recepção e os sistemas de transmissão e recepção de dados via fibra óptica. Na parte superior estão instalados os microcomputadores de controle de telemetria e rastreo, bem como o sistema estabilização e proteção contra falta de energia.

Figura 33: Prédio do centro de controle.



Fonte: O autor.

4.3.1 Controle de Telemetria

O controle de telemetria é realizado por um software instalado em um microcomputador na sala de controle, utilizado unicamente para a realização do controle de telemetria responsável por efetuar a programação dos receptores.

4.3.2 Controle de Rastreo

O rastreo das antenas é controlado por um software, instalado em um outro microcomputador na sala de controle, utilizado unicamente para o controle do rastreo.

Este software tem controle direto sobre cada controlador via Ethernet. Tem a função de permitir a interação do operador, em determinados modos de operação.

O software gera automaticamente arquivos contendo dados de apontamento em Azimute e Elevação com valores das posições programadas, da real posição das antenas e a diferença de valores indicando o erro no posicionamento das antenas.

Os dados estão disponíveis em arquivos do tipo texto (.txt) em forma de tabela com o nome "dataLog seguido do número da antena e da data da

observação”. A figura 34 mostra o formato do arquivo de dados gerado pelo sistema de rastreo.

Figura 34: Arquivo de exemplo de dados da antena 1 na data de 21 de setembro de 2012 (dataLog_1 2012.09.21.txt).

Data	Hora	Az Prog	Az Lido	Erro Az	El Prog	El Lido	Erro El
21.09.2012	10:17:18	228.755	228.764	-000.009	122.608	122.639	-000.031
21.09.2012	10:17:28	228.701	228.686	000.014	122.581	122.495	000.087
21.09.2012	10:17:38	228.647	228.619	000.027	122.555	122.594	-000.039
21.09.2012	10:17:48	228.590	228.574	000.016	122.527	122.531	-000.004
21.09.2012	10:17:58	228.536	228.552	-000.016	122.500	122.495	000.006
21.09.2012	10:18:08	228.475	228.485	-000.009	122.470	122.486	-000.015
21.09.2012	10:18:18	228.414	228.395	000.020	122.440	122.450	-000.009
21.09.2012	10:18:28	228.350	228.341	000.010	122.409	122.351	000.058
21.09.2012	10:18:38	228.289	228.273	000.016	122.378	122.409	-000.030
21.09.2012	10:18:48	228.227	228.210	000.017	122.348	122.351	-000.003
21.09.2012	10:18:58	228.185	228.160	000.025	122.318	122.297	000.022
21.09.2012	10:19:08	228.145	228.174	-000.029	122.292	122.306	-000.013
21.09.2012	10:19:18	228.093	228.106	-000.014	122.265	122.256	000.009
21.09.2012	10:19:28	228.038	228.016	000.022	122.236	122.256	-000.020
21.09.2012	10:19:38	227.986	228.025	-000.039	122.208	122.153	000.056
21.09.2012	10:19:48	227.934	227.927	000.007	122.181	122.216	-000.035
21.09.2012	10:19:58	227.880	227.886	-000.006	122.153	122.153	000.000
21.09.2012	10:20:08	227.824	227.841	-000.017	122.123	122.117	000.007
21.09.2012	10:20:18	227.764	227.746	000.017	122.092	122.108	-000.016
21.09.2012	10:20:28	227.706	227.693	000.014	122.062	122.072	-000.010
21.09.2012	10:20:38	227.648	227.647	000.001	122.032	121.968	000.064

Fonte: o autor.

5 METODOLOGIA

Neste capítulo são descritas a metodologia e as principais etapas adotadas para a realização das atividades de levantamento e análise dos erros de apontamento e rastreio das antenas do BDA.

Verificou-se a necessidade do conhecimento das antenas utilizadas em cada observação para a determinação dos arquivos DataLog a serem examinados.

Tendo-se o conhecimento destes arquivos podem-se verificar os erros ocorridos tanto em azimute como em elevação em cada antena utilizada nas observações.

Para a realização destes procedimentos foram desenvolvidas rotinas com a finalidade de executar cada um destes passos.

5.1 DESENVOLVIMENTO DAS ROTINAS

Para automatizar a análise dos erros de apontamento foram desenvolvidas rotinas para realizar a leitura dos dados armazenados nos arquivos DataLog e selecionar os erros de azimute e elevação encontrados durante uma determinada observação. Estas rotinas foram desenvolvidas utilizando-se o software MATLAB.

Nas subseções a seguir são descritas as seguintes rotinas desenvolvidas:

- a) Rotina LerData
- b) Rotina LerErro
- c) Rotina ErroAzimute
- d) Rotina ErroElevação
- e) Rotina ApontamentoAzimute
- f) Rotina ApontamentoElevação

5.1.1 Rotina LerData

Esta rotina tem a função de determinar a quantidade de antenas utilizadas bem como sua numeração. Tem como parâmetro de entrada o nome do arquivo

DataLog seguido do sinal gráfico “*”, que efetua a leitura de todas as antenas utilizadas na data da observação, efetua a leitura de todos os arquivos dataLog armazenados em um determinado diretório informando a quantidade de antenas e sua numeração.

A figura 35 mostra o formato de saída desta rotina.

Figura 35: Formato de saída da rotina LerData.

```

Nome da rotina      Nome do Arquivo
  ↓                ↓
>> lerdata('dataLog_* 2012.09.21.txt:')
Data da observação → Data = 2012.09.2
Antenas Utilizadas= 22 ← Quantidade de antenas utilizadas
Numeração das antenas = 1
Numeração das antenas = 2
Numeração das antenas = 3
Numeração das antenas = 4
Numeração das antenas = 5
Numeração das antenas = 6
Numeração das antenas = 7
Numeração das antenas = 8
Numeração das antenas = 9
Numeração das antenas = 10
Numeração das antenas = 11
Numeração das antenas = 12
Numeração das antenas = 13
Numeração das antenas = 14
Numeração das antenas = 15
Numeração das antenas = 17
Numeração das antenas = 18
Numeração das antenas = 20
Numeração das antenas = 21
Numeração das antenas = 22
Numeração das antenas = 24
Numeração das antenas = 25
>> |
  
```

Fonte: O autor.

5.1.2 Rotina LerErro

Esta rotina tem a função de efetuar a leitura dos dados armazenados no arquivo DataLog de uma determinada antena e identificar todos os erros ocorridos gerando um arquivo no formato “txt” e um gráfico, que mostra o valor do erro e a hora de sua ocorrência. Tem como parâmetro de entrada o nome do arquivo DataLog com a numeração da antena e a data da observação.

A figura 36 mostra o formato de saída desta rotina e a figura 37 mostra o gráfico gerado por esta rotina.

Figura 36: Formato de saída da rotina LerErro.

```

Nome da rotina      Nome do arquivo com a
↓                  ↓
>> lererro('dataLog_1 2012.09.21.txt')
Hora do início da observação = 10:17:18 ← Hora do início da observação
Hora do fim da observação = 15:25:28 ← Hora do fim da observação
Tempo de observação =
5 Horas
8 Minutos ← Tempo de observação
10 Segundos

azimute_max =
0.0490 ← Erro máximo de Azimute

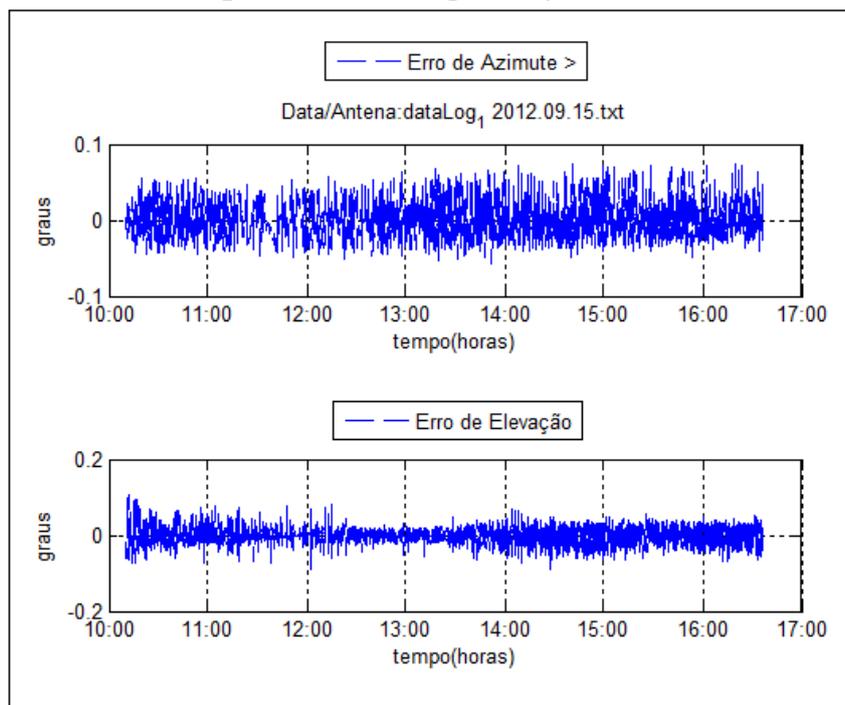
elevacao_max =
0.0820 ← Erro máximo de Elevação

>> |

```

Fonte: O autor.

Figura 37: Gráfico gerado pela rotina LerErro.



Fonte: O autor.

5.1.3 Rotinas para Análise dos Erros

Foram desenvolvidas 4 rotinas, para realizar verificação dos erros ocorridos em cada antena separadamente.

As rotinas ErroAzimute e ErroElevacao têm a função de determinarem os erros encontrados acima de um determinado valor gerando dois arquivos no formato “txt” com os nomes ErroAzimute, ErroElevacao, cada um deles seguido dos nomes dos arquivos DataLog que foram lidos. Elas tem como parâmetro de entrada o nome do arquivo DataLog com a numeração da antena e a data da observação, seguido dos valores dos erros e do intervalo da observação a ser analisada.

Os arquivos gerados contém o valor dos erros encontrados com o horário da ocorrência, hora do início e do fim da observação, número de erros encontrados, hora do primeiro e do último erro, valor do erro máximo de azimute e de elevação.

A rotina ErroAzimuteEl gera um gráfico que mostra na parte superior os erros ocorridos em azimute maiores do que o valor do erro a ser analisado. Ela mostra, na parte inferior do gráfico, os erros ocorridos em elevação.

A rotina ErroElevaçãoAz gera um gráfico que mostra na parte superior os erros ocorridos em elevação maiores do que o valor do erro a ser analisado. Ela mostra, na parte inferior do gráfico, os erros ocorridos em azimute.

Valores dos erros positivos e negativos indicam que a antena está, respectivamente, à frente ou atrás da posição correspondente ao erro analisado.

As figuras 38 e 39 mostram os formatos de saída destas rotinas. As figuras 40, 41, 42 e 43 mostram os gráficos gerados por estas rotinas para a análise dos erros com valor superior a (0,05 graus).

Figura 38: Formato de saída da rotina ErroAzimute.

Nome da rotina	Nome do arquivo com a numeração da antena	Valor do erro	Intervalo de observação
↓	↓	↓	↓
<pre>>> erroazimute('datalog_1 2012.09.15.txt',0,0.05,1,2319) T A M A N H O A R Q U I V O = 2319 Nome do Arquivo = datalog_1 2012.09.15.txt Valores dos Erros > 0.00 0.05 Hora do inicio da observação = 10:10:22 ← Hora do início da observação Hora do fim da observação = 16:36:42 ← Hora do fim da observação Tempo de observação = 6 Horas 26 Minutos ← Tempo de observação 20 Segundos Numero total de erros > = 2174 ← Quantidade de erros ocorridos Número de erros > 0.05 = 96 >></pre>			

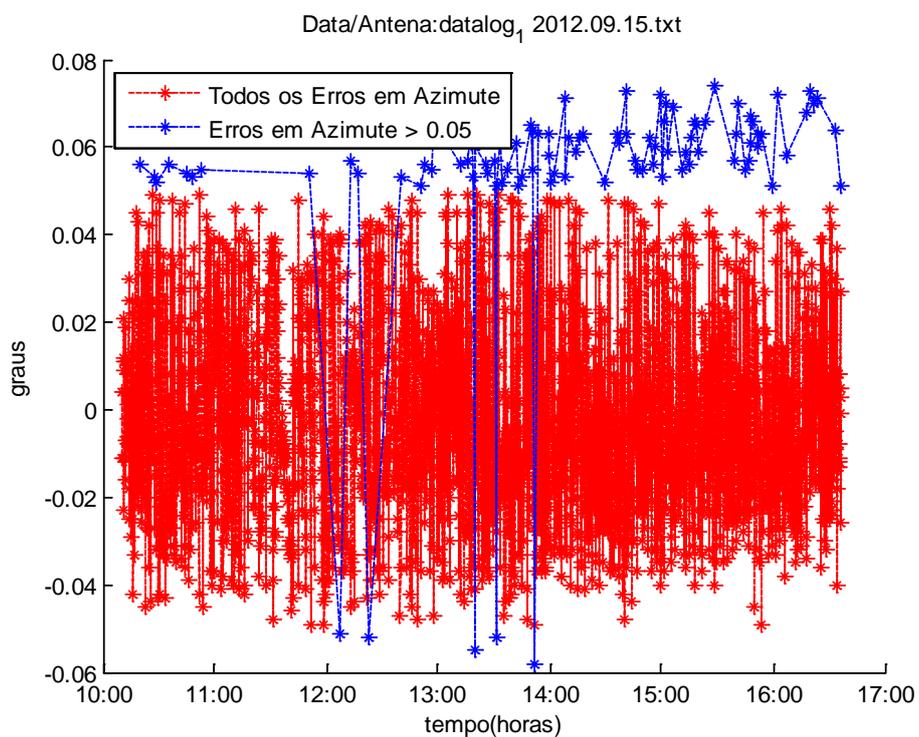
Fonte: O autor.

Figura 39: Formato de saída da rotina ErroElevação.

Nome da rotina	Nome do arquivo com a numeração da antena	Valor do erro	Intervalo de observação
↓	↓	↓	↓
<pre>>> erroelevacao('datalog_1 2012.09.15.txt',0,0.05,1,2319) T A M A N H O A R Q U I V O = 2319 Nome do Arquivo = datalog_1 2012.09.15.txt Valores dos Erros > 0.00 0.05 Hora do inicio da observação = 10:10:22 ← Hora do início da observação Hora do fim da observação = 16:36:42 ← Hora do fim da observação Tempo de observação = 6 Horas 26 Minutos ← Tempo de observação 20 Segundos Numero total de erros > = 2139 ← Quantidade de erros ocorridos Número de erros > 0.05 = 125 >></pre>			

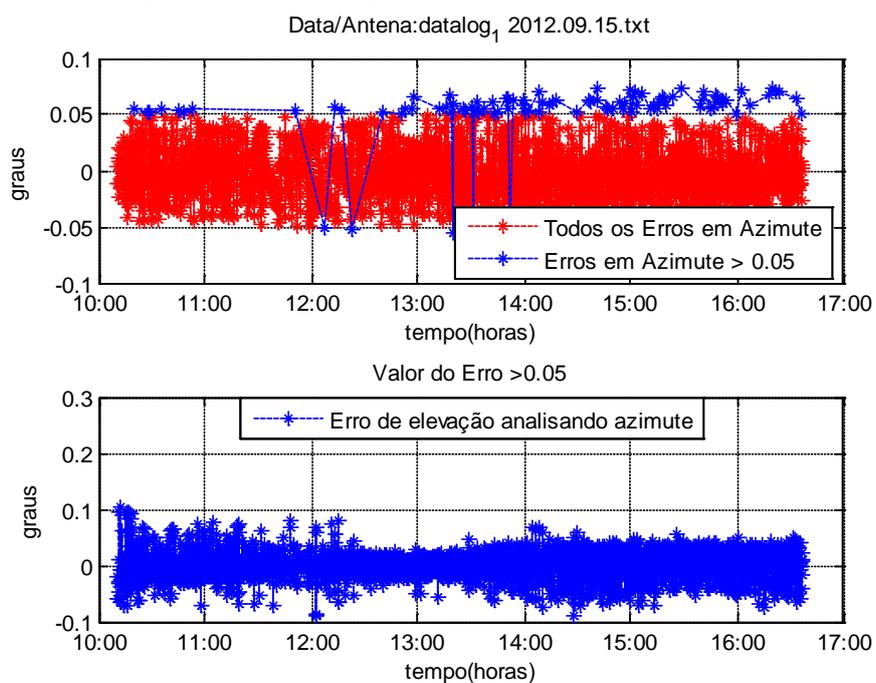
Fonte: O autor.

Figura 40: Gráfico gerado pela rotina ErroAzimute.



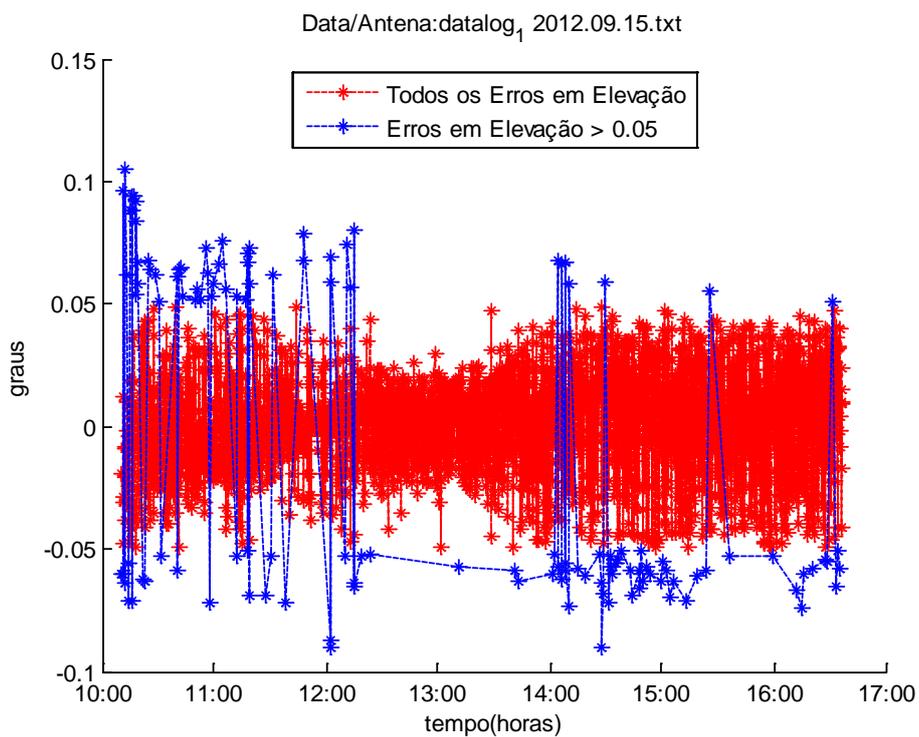
Fonte: O autor.

Figura 41: Gráfico gerado pela rotina ErroAzimuteEI



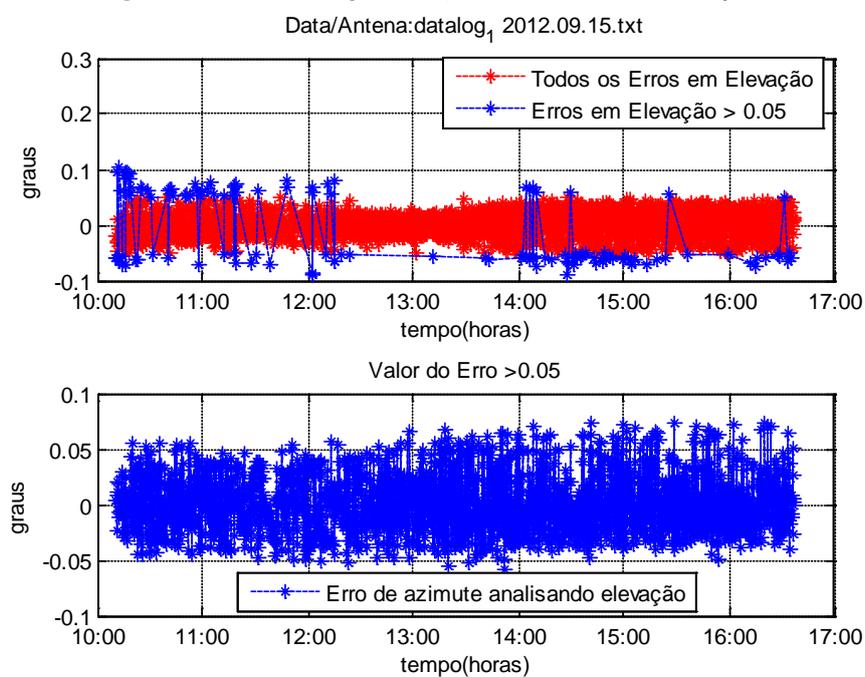
Fonte: O autor.

Figura 42: Gráfico gerado pela rotina ErroElevação.



Fonte: O autor.

Figura 43: Gráfico gerado pela rotina ErroElevaçãoAz.



Fonte: O autor.

As figuras 44 e 45 mostram o formato de saída dos arquivos de dados gerados pelas rotinas ErroAzimute e ErroElevação.

Figura 44: Formato do arquivo de dados gerado pela rotina ErroAzimute.

Erro de Azimute	Erro de Elevação	Hora da ocorrência do erro	
-0.014	-0.051	12:26:38	
0.012	-0.057	12:28:48	
0.011	-0.051	12:35:48	
0.000	-0.056	12:36:38	
0.018	-0.054	13:18:28	
-0.012	-0.055	13:21:48	
0.003	-0.051	13:32:18	
-0.021	-0.054	13:33:48	
0.007	-0.055	13:38:08	
0.001	-0.052	13:39:08	
-0.002	-0.051	13:52:08	
-0.007	-0.053	13:57:58	
-0.014	-0.051	14:08:38	
-0.007	-0.053	14:21:38	
0.011	-0.051	14:33:18	
-0.005	-0.052	14:59:48	
Nome do Arquivo = dataLog_3 2012.09.21.txt			Nome do arquivo com a numeração da antena
Valor do Erro > 0.05			Valor do erro analisado
Hora do início da observação = 10:17:18			Hora do início da observação
Hora do fim da observação = 15:25:28			Hora do fim da observação
Tempo de observação =			
5 Horas			
8 Minutos			Tempo de observação
10 Segundos			
Numero de Erros = 16			Quantidade de erros ocorridos
Hora do primeiro erro = 12:26:38			Hora da ocorrência do primeiro e do ultimo erro
Hora do ultimo erro = 14:59:48			

Figura: O autor.

Figura 45: Formato do arquivo de dados gerado pela rotina ErroElevação.

Erro de Elevação	Erro de Azimute	Hora da ocorrência do erro	
-0.051	-0.014	12:26:38	
-0.057	0.012	12:28:48	
-0.051	0.011	12:35:48	
-0.056	0.000	12:36:38	
-0.054	0.018	13:18:28	
-0.055	-0.012	13:21:48	
-0.051	0.003	13:32:18	
-0.054	-0.021	13:33:48	
-0.055	0.007	13:38:08	
-0.052	0.001	13:39:08	
-0.051	-0.002	13:52:08	
-0.053	-0.007	13:57:58	
-0.051	-0.014	14:08:38	
-0.053	-0.007	14:21:38	
-0.051	0.011	14:33:18	
-0.052	-0.005	14:59:48	
Nome do Arquivo = dataLog_3 2012.09.21.txt			Nome do arquivo com a numeração da antena
Valor do Erro > 0.05			Valor do erro analisado
Hora do início da observação = 10:17:18			Hora do início da observação
Hora do fim da observação = 15:25:28			Hora do fim da observação
Tempo de observação =			
5 Horas			
8 Minutos			Tempo de observação
10 Segundos			
Numero de Erros = 16			Quantidade de erros ocorridos
Hora do primeiro erro = 12:26:38			Hora da ocorrência do primeiro e do ultimo erro
Hora do ultimo erro = 14:59:48			

Fonte: O autor.

5.1.4 Rotinas ApontamentoAzimute e ApontamentoElevação

Estas rotinas geram arquivos no formato “txt”, contendo os valores dos erros ocorridos nas antenas utilizadas na observação. Somente os erros das antenas acima do valor a ser analisado são armazenados. Ela têm como parâmetro de entrada o nome do arquivo DataLog seguido do sinal gráfico ‘*’, que efetua a leitura de todas as antenas utilizadas, a data da observação e o valor do erro a ser analisado.

As figuras 46 e 47 mostram o formato de saída destas rotinas.

Figura 46: Formato de saída da rotina ApontamentoAzimute.

Nome da rotina	Nome do Arquivo	Valor do erro
↓	↓	↓
<pre>>> apontamentoaz('dataLog_* 2012.09.21.txt',0.05) Data = 2012.09.21 ← Data da observação Antenas Utilizadas= 22 ← Quantidade de antenas utilizadas Antena com erro = 1 Antena com erro = 10 Antena com erro = 12 ← Numeração das antenas que Antena com erro = 14 ← apresentaram erros Antena com erro = 24 Antena com erro = 7 Antena com erro = 9 >> </pre>		

Fonte: O autor.

Figura 47: Formato de saída da rotina ApontamentoElevação.

Nome da rotina	Nome do Arquivo	Valor do erro
↓	↓	↓
<pre>>> apontamentoel('dataLog_* 2012.09.21.txt'.0.05) Data = 2012.09.21 ← Data da observação Antenas Utilizadas= 22 ← Quantidade de antenas utilizadas Antena com erro = 1 Antena com erro = 11 Antena com erro = 12 Antena com erro = 14 Antena com erro = 17 Antena com erro = 18 ← Numeração das antenas que Antena com erro = 20 ← apresentaram erros Antena com erro = 21 Antena com erro = 22 Antena com erro = 26 Antena com erro = 3 Antena com erro = 4 Antena com erro = 7 >></pre>		

Fonte: O autor.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Utilizando-se as rotinas apresentadas no Capítulo 5 foram obtidos os seguintes resultados:

- 1 – Data das observações.
- 2 – Número de antenas utilizadas em cada observação.
- 3 – Erros de apontamento.
- 4 – Identificação das antenas que apresentaram mais erros.
- 5 – O comportamento dos erros para as antenas críticas.

A Tabela 6.1 ilustra as datas das observações realizadas no ano de 2012.

Tabela 2: Data das observações realizadas no ano de 2012.

Mês					ia						
SE TEMBRO	0	1	2	3	4	5	6	8	1	7	8
OU TUBRO	1	2	0	9	4						
NO VEMBRO	9	0									
DE ZEMBRO	2	4	5	6	9	2	9	0			

Fonte: o autor.

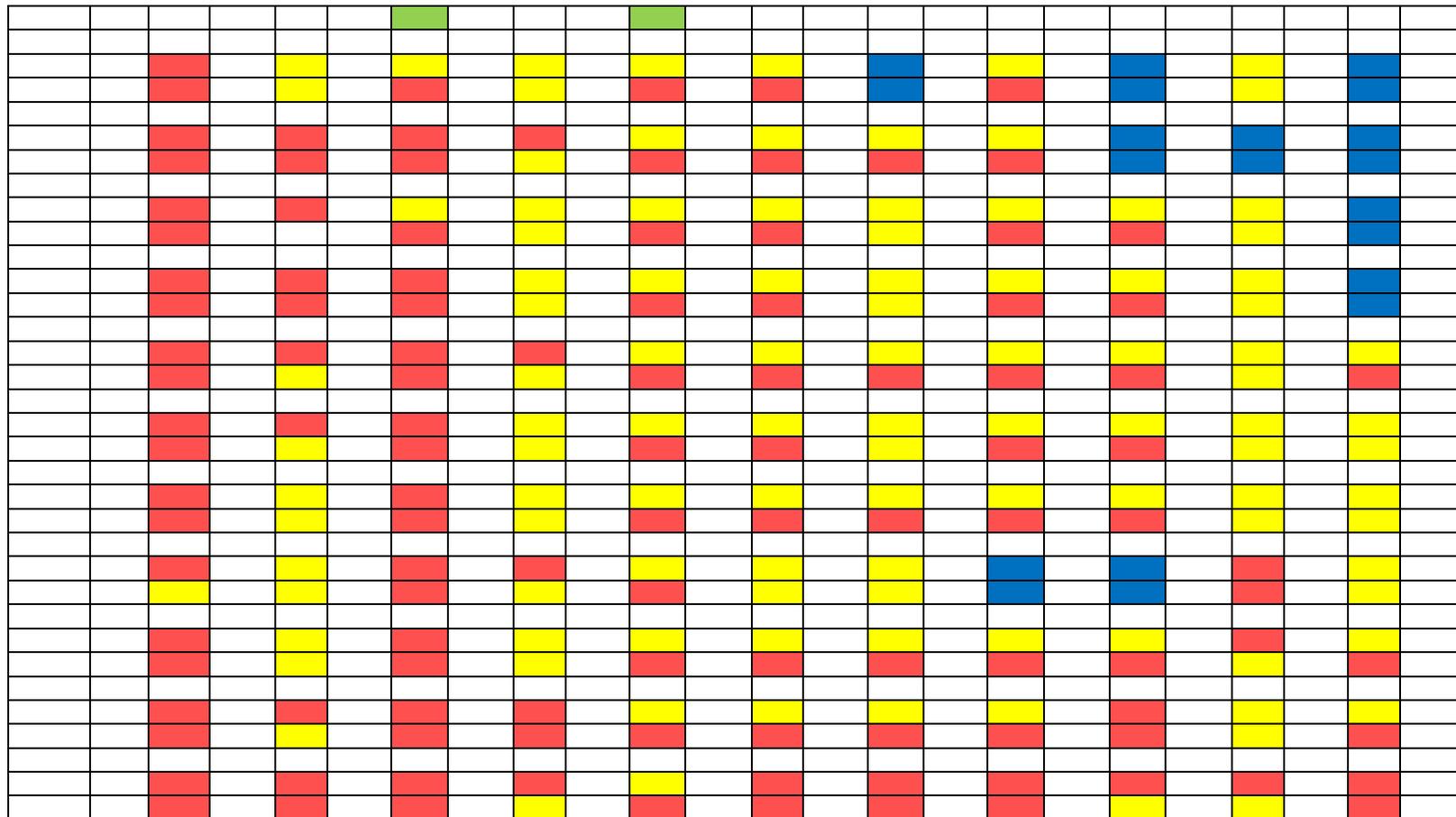
Seguindo a metodologia descrita no Capítulo 5, foram realizadas análises das antenas utilizadas nas observações de 2012 para valores dos erros maiores do que 0,05 graus, correspondente a 3 minutos de arco. Com os dados obtidos nestas análises foram elaboradas tabelas contendo o comportamento das antenas com os erros em azimute e elevação apresentados nestas observações.

Foram obtidos os números de leituras em cada uma das observações e, considerando a soma dos erros em azimute e elevação em relação ao número de leituras, calculou-se a porcentagem dos erros ocorridos.

Por motivo de atrasos na importação de 4 motores para o sistema de rastreamento, as antenas 15, 19, 23 e 25 do arranjo não foram utilizadas nas observações de 2012.

As tabelas 3 a 8 mostram o comportamento das 22 antenas utilizadas observações de 2012 analisando-se apresentação de erros com valor superior a 0,05 graus.

Tabela 4: Comportamento das antenas 12 a 26 com erros maiores do que 0,05 graus apresentados nas observações no mês de setembro.



■ Número de erros apresentados
 ■ Antenas sem ocorrência de erros
 ■ Antenas não utilizadas nas observações
 ■ Antenas do protótipo

Fonte: O autor.

Tabela 6: comportamento das antenas 1 a 26 com erros maiores do que 0,05 apresentados nas observações no mês de novembro.

/L	t																	0	1				
9/nov	z	2	z+EI		z+EI																		
50	l	0	,80		,00		,00		,20		,20		,60		,00		,60		,00		,60		,00
0/nov	z	5	z+EI		z+EI		z+EI		z+EI														
191	l	7	1,08		,00		,00		,00		,17		,17		,00		,00		,00		,42		,00

/L	t	2	3	4	6	7	8	0	1	2	4	6																					
9/nov	z		z+EI																														
50	l		,00		,00		,60		,20		,00		,00		,1		,20		,00		,60		,00										
0/nov	z		z+EI																														
191	l		,00		,50		,00		,00		,00		,00		,41		,1,84		,08		,00		,00		,30		,00		,00		,00		,08

■ Número de erros apresentados

■ Antenas sem ocorrência de erros

■ Antenas não utilizadas nas observações

■ Antenas do protótipo

Fonte: O autor.

Tabela 7: Comportamento das antenas 1 a 11 com erros maiores do que 0,05 graus apresentados nas observações no mês de dezembro.

/L	t																	0	1		
2/dez	z	3	z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI
406	l	58	2,87		,00		,00		,00		,28		,50		,00		,00		,43		,00
4/dez	z		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI
42	l		,89		,00		,00		,00		,41		,41		,00		,83		,48		,00
5/dez	z		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI
012	l	51	2,72		,00		,00		,25		,50		,30		,00		,10		,20		,00
6/dez	z		z+EI		z+EI		z+EI	3	z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI
15	l	2	,44		,00		,00	6	5,56		,22		,27		,00		,95		,27		,00
9/dez	z	5	z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI	3	z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI
416	l	39	,79		,00		,00		,33		,25		,03		,00		,25		,58		,00
2/dez	z		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI	9	z+EI		z+EI		z+EI		z+EI	7	z+EI
834	l	4	,19		,00	16	,09		,00		,21		,02		,00		,00		,60		,00
9/dez	z		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI
253	l	8	,11		,00	4	,17		,00		,22		,27		,00		,04		,27		,00

0/dez	z		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI
368	l	1	,72	,00	,21	,21	,21	,21	,21	,89	,00	,21	,00	,21	,00	,76	,00						

 Número de erros apresentados
  Antenas sem ocorrência de erros
  Antenas não utilizadas nas observações
  Antenas do protótipo

Fonte: O autor.

Tabela 8: Comportamento das antenas 12 a 26 com erros maiores do que 0,05 graus apresentados nas observações no mês de dezembro.

/L	t	2	3	4	6	7	8	0	1	2	4	6							
2/dez	z		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI
406	l	,00	,21	,00	,07	17	5,43	,28	,00	0	,98	,14	,07	,14					
4/dez	z		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI
42	l	,00	,65	,00	,37	70	0,66	,65	,00	1	,37	,24	,65	,41					
5/dez	z		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI
012	l	,00	,25	,00	,25	263	2,77	,25	,00	4	,80	,45	,20	,25					
6/dez	z		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI
15	l	,00	,27	,00	,95	0	5,40	,27	,00	6	,71	,22	,27	,90					
9/dez	z		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI		z+EI

416	l		,00	,46	,00	,25	64	5,76	,46	,00	65	,04	,54	1	,28	,37	
2/dez	z	z+El															
834	l		,00	,11	,00	,00	293	5,62	,11	,00	76	,21	3	,46	4	,61	,04
9/dez	z	z+El	1	z+El													
253	l		,00	,49	,00	,04	72	0,95	,04	,00	57	,97	,00	7	,11	,22	
0/dez	z	z+El	5	z+El													
368	l		,00	,72	,00	,21	85	3,19	,38	,00	49	,50	,46	1	,79	,30	

■ Número de erros apresentados

■ Antenas sem ocorrência de erros

■ Antenas não utilizadas nas observações

■ Antenas do protótipo

Fonte: O autor

Com os resultados apresentados nas tabelas 3 a 8, foi feita uma classificação das antenas, considerando a porcentagem dos erros ocorridos em cada observação, conforme descrito a seguir:

1 – Antena considerada como boa:

Antenas que apresentaram erros menores do que 7 % em todas as observações.

2 – Antena considerada como Instável:

Antenas que apresentaram erros maiores do que 10% somente em algumas observações.

3 – Antena considerada como Ruim:

Antenas que apresentaram erros maiores do que 10 % em todas as observações.

A Tabela 6.8 mostra a classificação das antenas segundo os critérios descritos acima.

Tabela 9: Classificação das antenas.

Classificação das antenas													
Boa							0	3	6	8	0	4	6
Instável		4	1	2									
Ruim			1	2	7								

 Antenas consideradas como críticas que deverão ser analisadas em detalhes.

Fonte: O autor.

Verificando o comportamento das antenas apresentados nas Tabelas 6.2 a 6.7, foram selecionadas para uma análise detalhada das antenas classificadas como ruins, as datas das observações com duração média de 6 horas.

A Tabela 6.9 mostra as datas selecionadas para a realização da análise detalhada das antenas.

Tabela 10: Tabela com as datas selecionadas para a análise das antenas.

ata	Tempo de Observação	rrros / Antena 1	rrros / Antena 9	rrros / Antena 11	rrros / Antena 12	rrros / Antena 17
5/09	<i>Duração</i> = 06:26:20 <i>Início</i> = 10:10:22 <i>Fim</i> = 16:36:42	<i>a</i> <i>z</i> = 96 <i>e</i> <i>l</i> = 125	<i>a</i> <i>z</i> = 428 <i>e</i> <i>l</i> = <i>s/erro</i>	<i>a</i> <i>z</i> = <i>s/erro</i> <i>e</i> <i>l</i> = 2062	<i>a</i> <i>z</i> = 150 <i>e</i> <i>l</i> = 1047	<i>a</i> <i>z</i> = <i>s/erro</i> <i>e</i> <i>l</i> = 494
6/09	<i>Duração</i> = 05:15:00 <i>Início</i> = 11:21:20 <i>Fim</i> = 16:36:20	<i>a</i> <i>z</i> = 43 <i>e</i> <i>l</i> = 130	<i>a</i> <i>z</i> = 337 <i>e</i> <i>l</i> = <i>s/erro</i>	<i>a</i> <i>z</i> = <i>s/erro</i> <i>e</i> <i>l</i> = 1619	<i>a</i> <i>z</i> = 98 <i>e</i> <i>l</i> = 805	<i>a</i> <i>z</i> = <i>s/erro</i> <i>e</i> <i>l</i> = 758
8/09	<i>Duração</i> = 06:42:30 <i>Início</i> = 08:21:27 <i>Fim</i> = 15:03:57	<i>a</i> <i>z</i> = 17 <i>e</i> <i>l</i> = 342	<i>a</i> <i>z</i> = 383 <i>e</i> <i>l</i> = <i>s/erro</i>	<i>a</i> <i>z</i> = <i>s/erro</i> <i>e</i> <i>l</i> = 1639	<i>a</i> <i>z</i> = 533 <i>e</i> <i>l</i> = 5	<i>a</i> <i>z</i> = <i>s/erro</i> <i>e</i> <i>l</i> = 30
5/12	<i>Duração</i> = 05:57:32 <i>Início</i> = 10:58:39 <i>Fim</i> = 16:56:11	<i>a</i> <i>z</i> = 5 <i>e</i> <i>l</i> = 251				<i>a</i> <i>z</i> = <i>s/erro</i> <i>e</i> <i>l</i> = 1263
9/12	<i>Duração</i> = 06:15:20 <i>Início</i> = 10:09:08 <i>Fim</i> = 16:24:28	<i>a</i> <i>z</i> = 2 <i>e</i> <i>l</i> = 68				<i>a</i> <i>z</i> = <i>s/erro</i> <i>e</i> <i>l</i> = 472

 - Antena não utilizada na observação.

Fonte: O autor.

6.1 ANÁLISE DETALHADA DAS ANTENAS CONSIDERADAS COMO CRÍTICAS

Nas seções a seguir são apresentadas as análises em detalhe das antenas 1, 9, 11, 12 e 17, classificadas como ruins nas observações de 15, 16, 28 de setembro e 05, 19 de dezembro. A média do número de leituras nos arquivos datalog das observações destas datas foi de 2170 leituras.

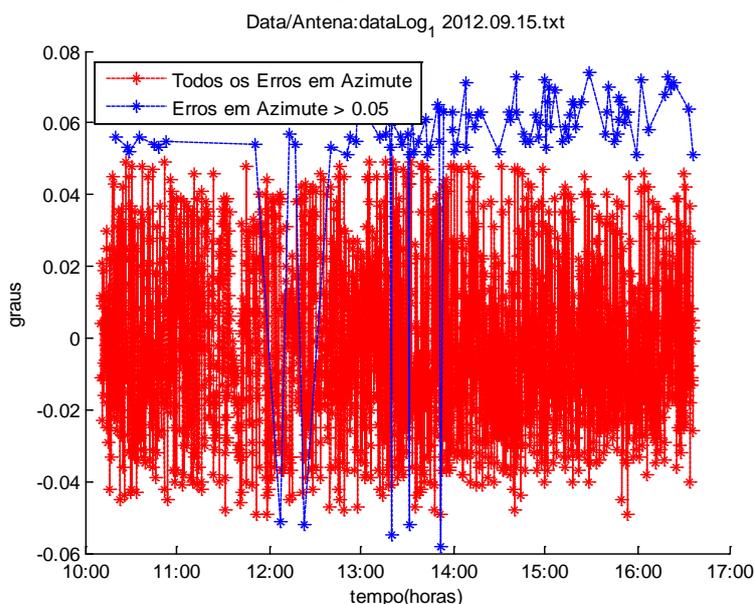
6.1.1 Análise da Antena 1

Esta antena foi utilizada em todas as observações, apresentando um comportamento instável, com erros tanto em azimute como em elevação nas datas das observações analisadas.

a) Análise em azimute

A análise dos erros em azimute na data de 15 de setembro mostrou o aparecimento de poucos erros, com valores positivos do início da observação até por volta das 10:45 horas. Após este horário mostrou que a antena permaneceu sem apresentar erros até por volta das 12:00 horas. A partir deste horário e até por volta das 14:00 horas, mostrou o aparecimento de apenas 5 erros, variando entre valores positivos e negativos na faixa de 0,05 a 0,06 graus. Após as 14:00 horas e até o final da observação, mostrou o aparecimento de erros, com valores somente positivos, variando na faixa de 0,05 a 0,07 graus. A Figura 6.1 mostra o gráfico dos erros em azimute apresentados nesta data.

Figura 48: Gráfico dos erros em azimute apresentados pela antena 1 na observação de 15 de setembro.

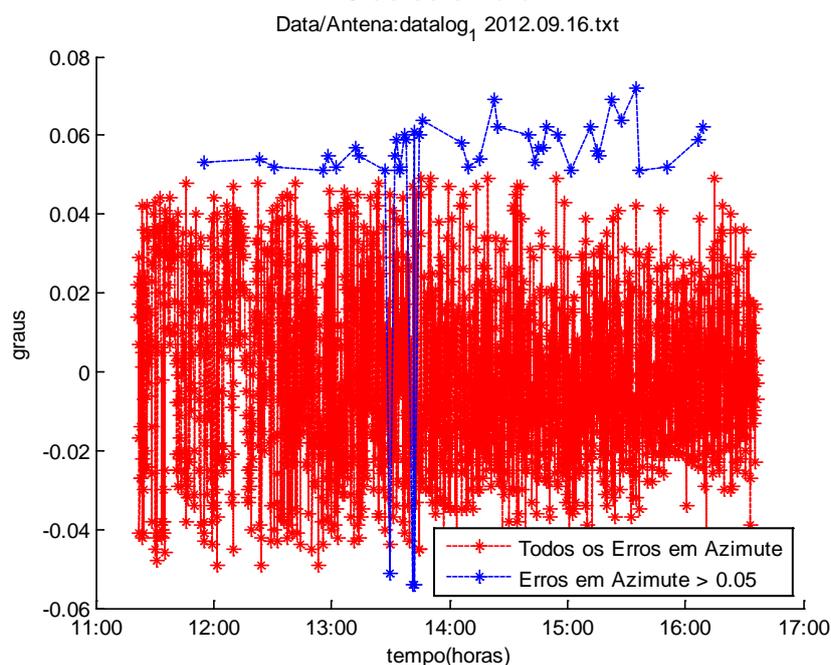


Fonte: O autor.

Entre as transições dos erros com valores positivos e negativos no intervalo de tempo entre as 12:00 e as 14:00 horas, ocorreram diversos erros com valores menores do que 0,05 graus, indicando, desta maneira, que a antena não apresentou uma queda brusca neste período.

A análise na data de 16 de setembro mostrou o aparecimento de poucos erros, com valores positivos no intervalo de tempo do início da observação até por volta das 13:30 horas. No intervalo de tempo entre 13:30 e 13:45 horas, mostrou o aparecimento de apenas 2 erros com valores negativos (0,05 graus). Após as 13:45 horas até o final da observação, mostrou o aparecimento de erros, com valores somente positivos, variando na faixa de 0,05 a 0,07 graus. A Figura 6.2 mostra o gráfico dos erros em azimute apresentados nesta data.

Figura 49: Gráfico dos erros em azimute apresentados pela antena 1 na observação de 16 de setembro.

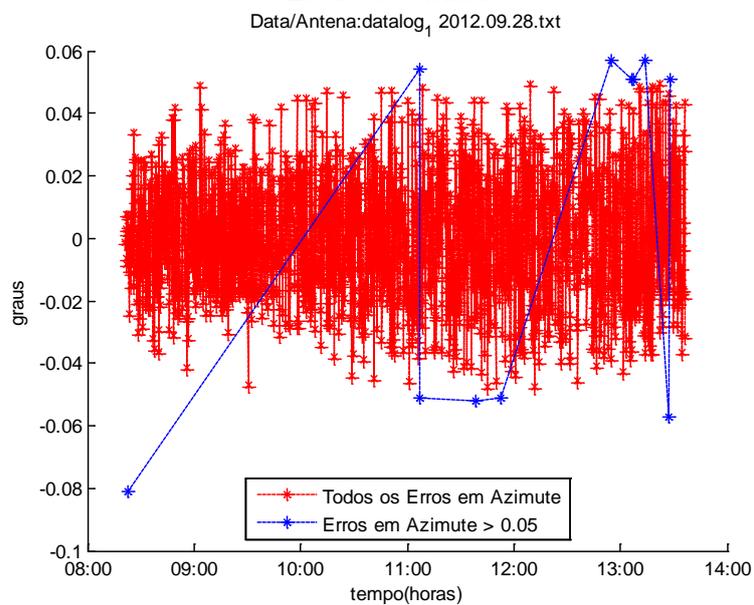


Fonte: O autor.

As análises nas datas de 28 de setembro, 05 e 19 de dezembro, mostraram o aparecimento de uma diminuição gradativa dos erros, com valores positivos e negativos, chegando a apenas 2 erros na observação de 19 de dezembro. No início e no final das observações de 28 de setembro e 05 de dezembro, a análise mostrou, respectivamente, que a antena apresentou somente

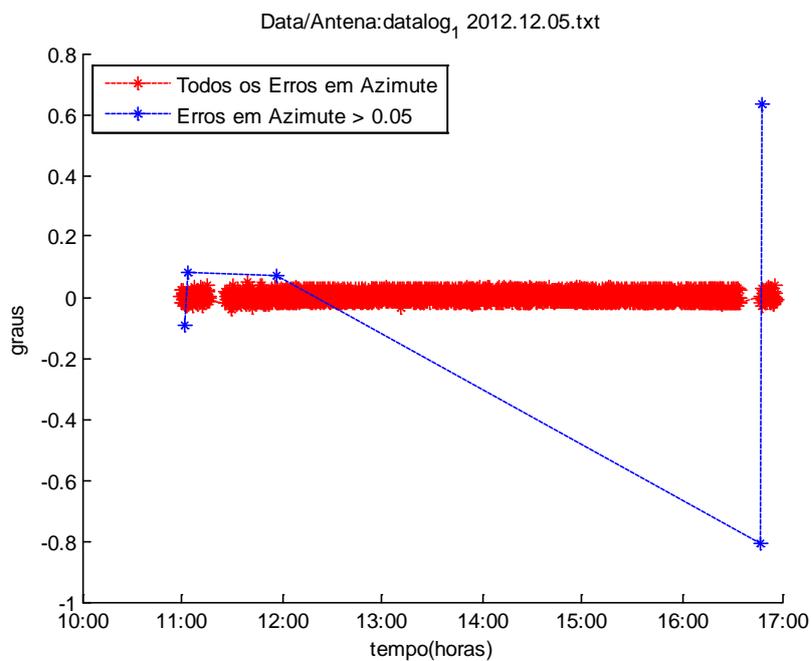
um erro, com um elevado valor de 0,08 graus. As figuras 50, 51 e 52 mostram os gráficos dos erros em azimute apresentados nestas datas.

Figura 50: Gráfico dos erros em azimute apresentados pela antena 1 na observação de 28 de setembro.



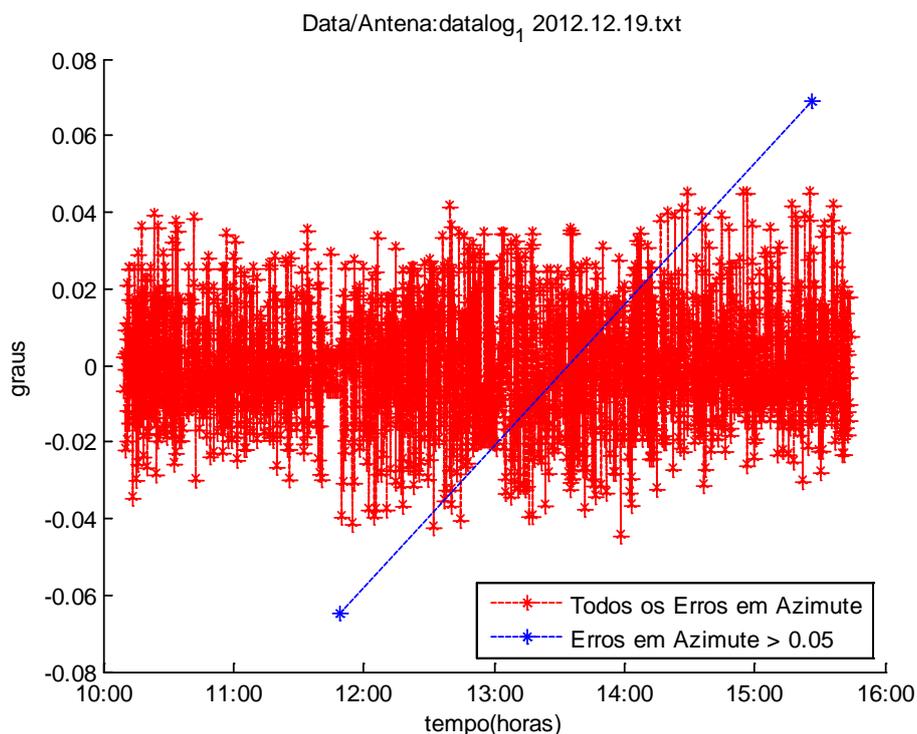
Fonte: O autor.

Figura 51: Gráfico dos erros em azimute apresentados pela antena 1 na observação de 05 de dezembro.



Fonte: O autor.

Figura 12: Gráfico dos erros em azimute apresentados pela antena 1 na observação de 19 de dezembro.

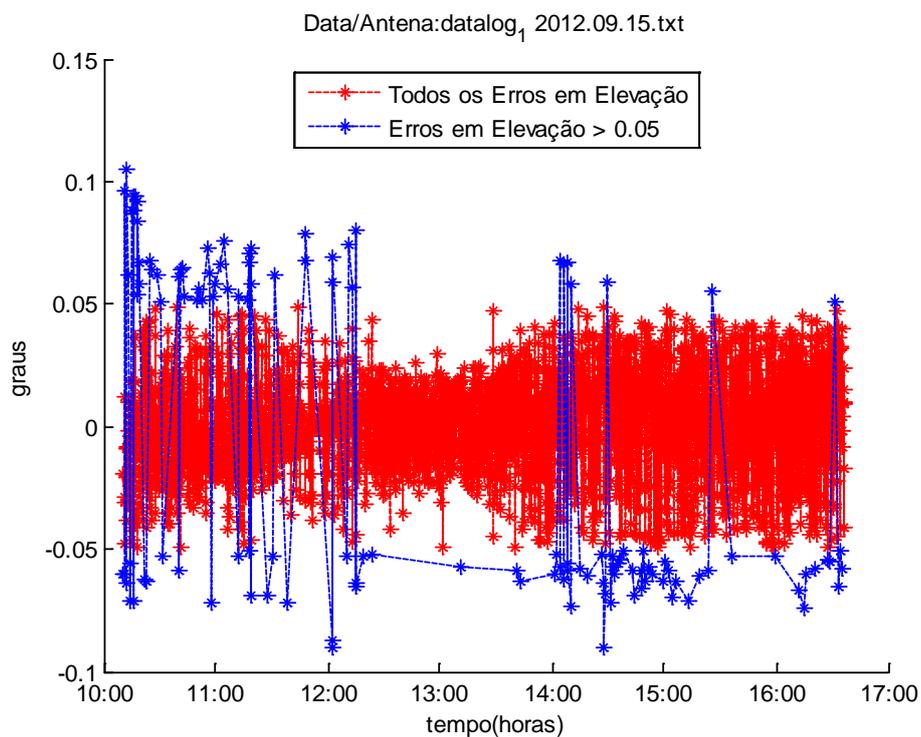


Fonte: O autor.

b) Análise em Elevação

A análise na data de 15 de setembro mostrou o aparecimento, no período da manhã e no início da observação, de poucos erros com elevados valores positivos (0,1 graus), e erros com valores positivos e negativos na faixa de 0,05 a 0,08 graus. No período das 12:00 as 14:00 horas, mostrou o aparecimento de poucos erros somente com valores negativos. Após este horário e até o final da observação, mostrou o aparecimento da maioria dos erros somente com valores negativos. A figura 6.6 mostra o gráfico dos erros em elevação apresentados nesta data.

Figura 53: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena 1 na observação de 15 de setembro.

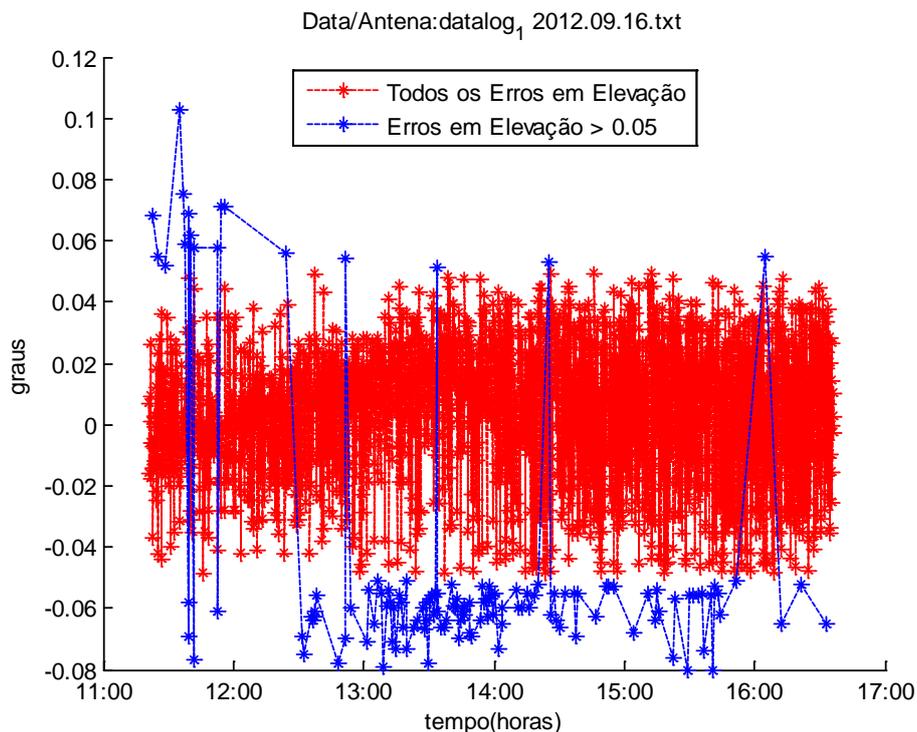


Fonte: O autor.

O motivo da variação de valores positivos e negativos pode ter sido causado devido a um defeito na caixa de redução acoplada ao motor de elevação.

A análise de 16 de setembro mostrou o aparecimento, no período da manhã e no início da observação, de um erro com elevado valor positivo (0,1 graus). Após as 12h30min mostrou o aparecimento da maioria dos erros com valores negativos variando na faixa de 0,05 a 0,08 graus. A Figura 54 mostra o gráfico dos erros em elevação apresentados nesta data.

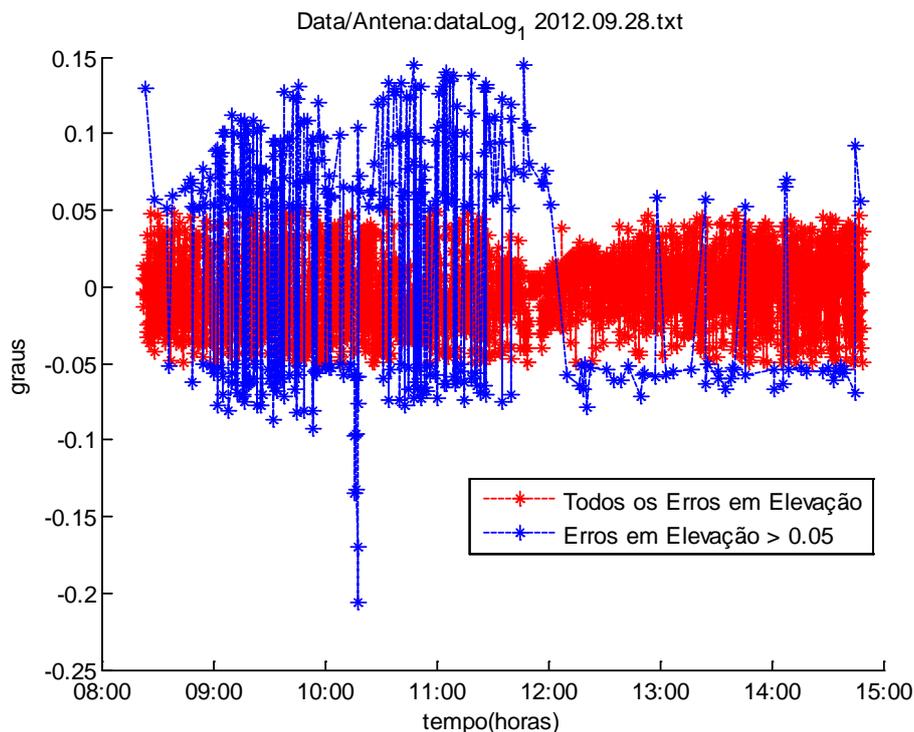
Figura 54: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena 1 pela observação de 16 de setembro.



Fonte: O autor.

A análise da observação de 28 de setembro mostrou o aparecimento, no período da manhã, de erros com elevados valores positivos, aumentando gradativamente, e variando na faixa de 0,05 a 0,15 graus. No mesmo período também mostrou o aparecimento de erros com valores negativos, variando na faixa de 0,05 a 0,07 graus. No período da tarde, mostrou o aparecimento da maioria dos erros somente com valores negativos. A Figura 6.8 mostra o gráfico dos erros em elevação apresentados nesta data.

Figura 55: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena 1 na observação de 28 de setembro.

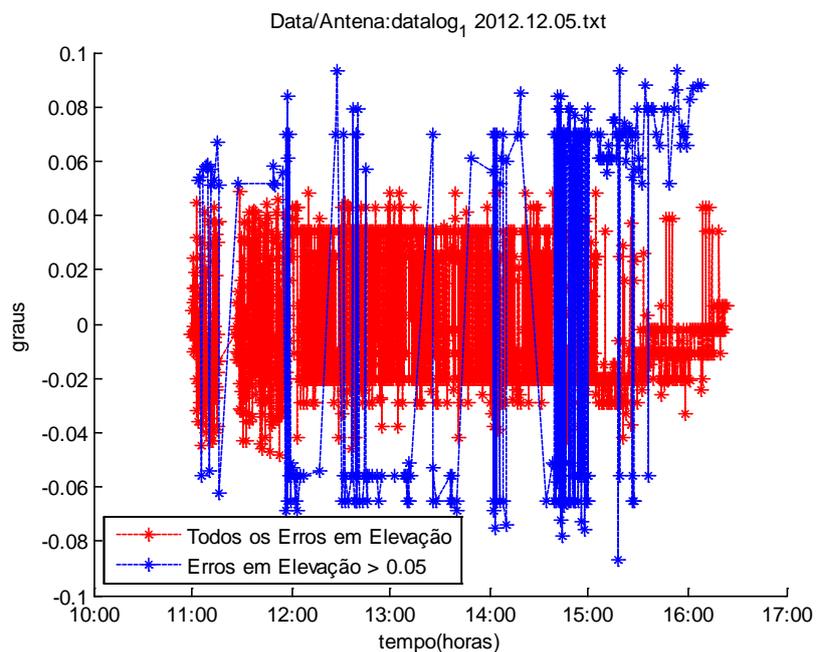


Fonte: O autor.

O motivo do comportamento destes erros pode ter sido devido ao posicionamento incorreto do contra peso desta antena, causando um maior torque no motor de elevação durante o período da manhã.

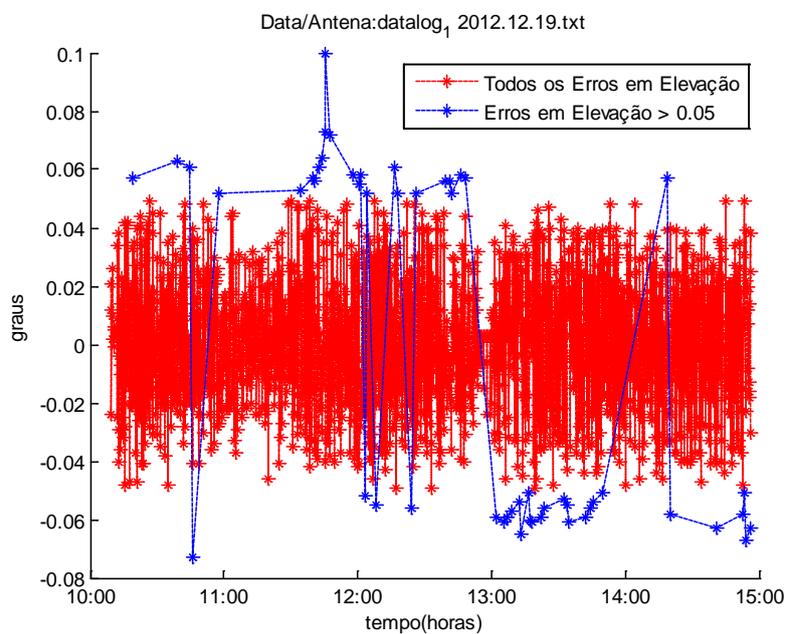
As análises das observações dos dias 05 e 19 de dezembro mostraram o aparecimento de erros positivos e negativos durante todo o período da observação. Mostrou também uma diminuição na quantidade de erros na observação do dia 19 dezembro. As Figuras 6.9 e 6.10 mostram os gráficos dos erros em elevação apresentados nestas datas.

Figura 56: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena 1 na observação de 05 de dezembro.



Fonte: O autor.

Figura 57: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena 1 na observação de 19 de dezembro.



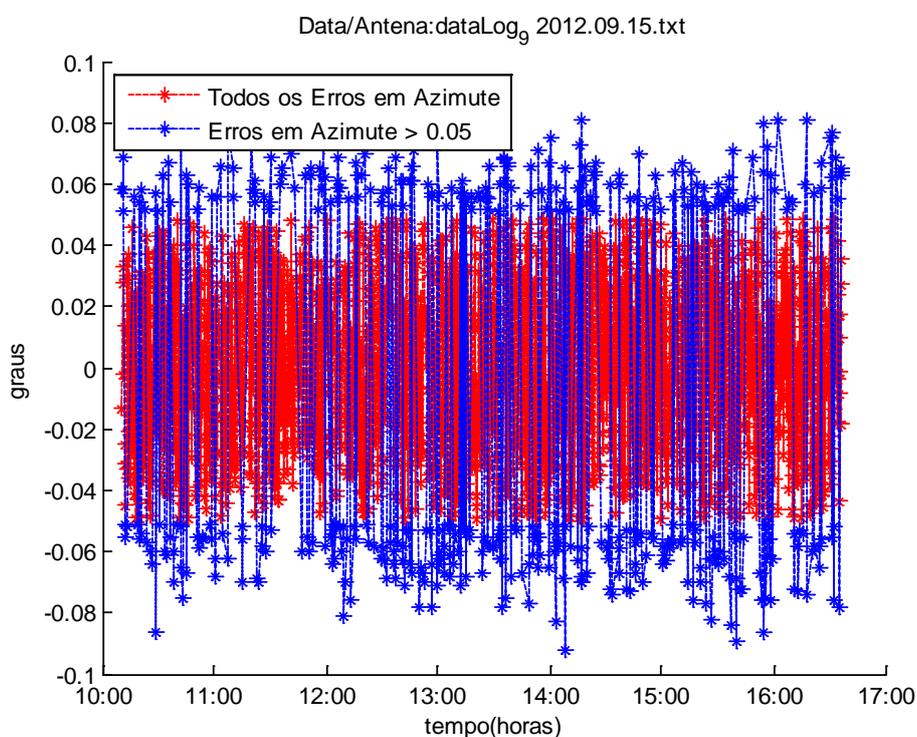
Fonte: O autor.

6.1.2 Análise da Antena 9

Esta antena apresentou erros somente em azimute não sendo utilizada nas observações do mês de dezembro.

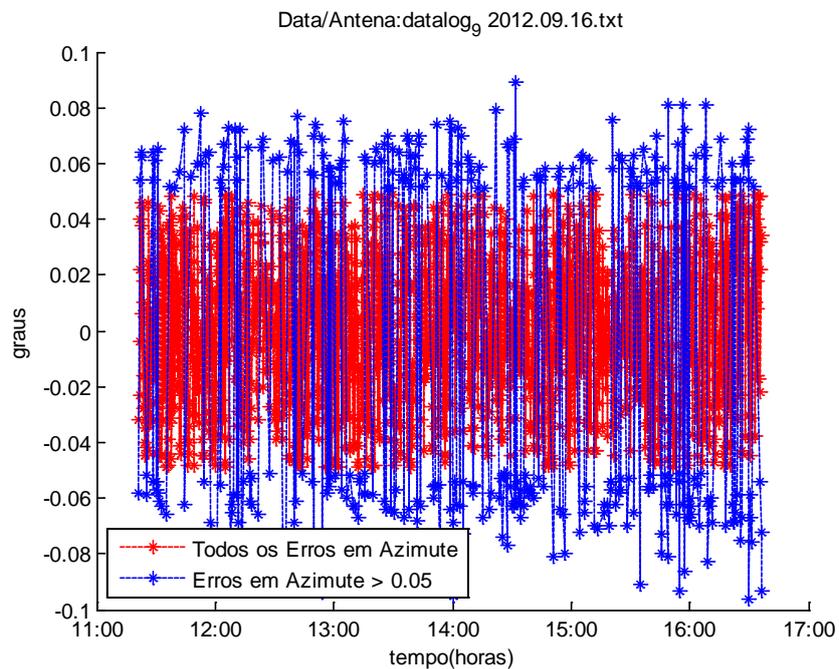
As análises dos dias 15, 16 e 28 de setembro mostraram o aparecimento de erros, com valores positivos e negativos variando na faixa de 0,05 a 0,08 graus durante todo o período das observações. As Figuras 6.11, 6.12 e 6.13 mostram os gráficos dos erros em azimute apresentados nestas datas.

Figura 58: Gráfico dos erros em azimute apresentados pela antena 9 na observação de 15 de setembro.



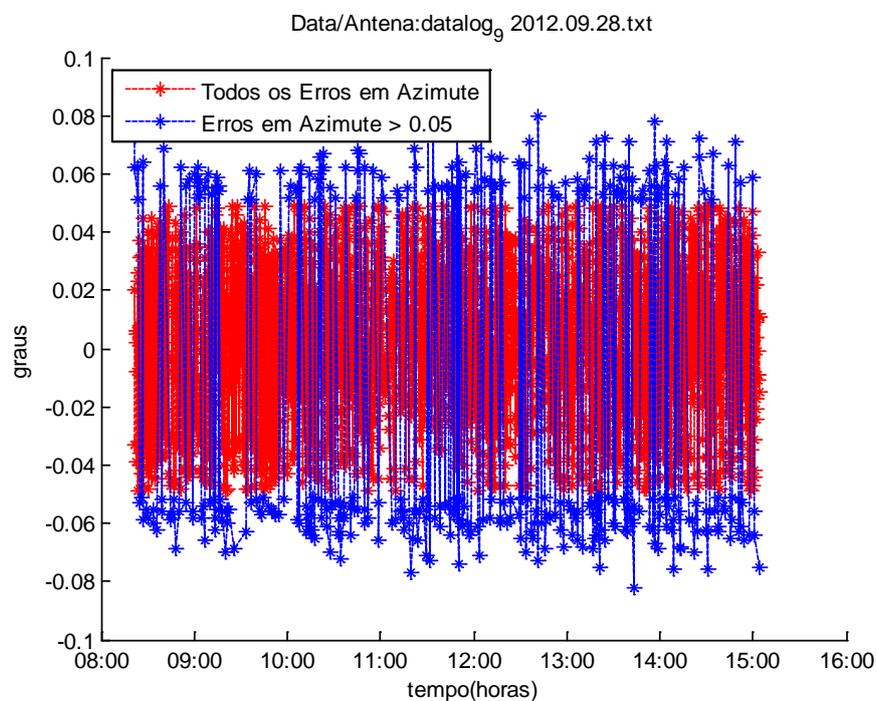
Fonte: O autor.

Figura 59: Gráfico dos erros em azimute apresentados pela antena 9 na observação de 16 de setembro.



Fonte: O autor.

Figura 60: Gráfico dos erros em azimute apresentados pela antena 9 na observação de 28 de setembro.



Fonte: O autor.

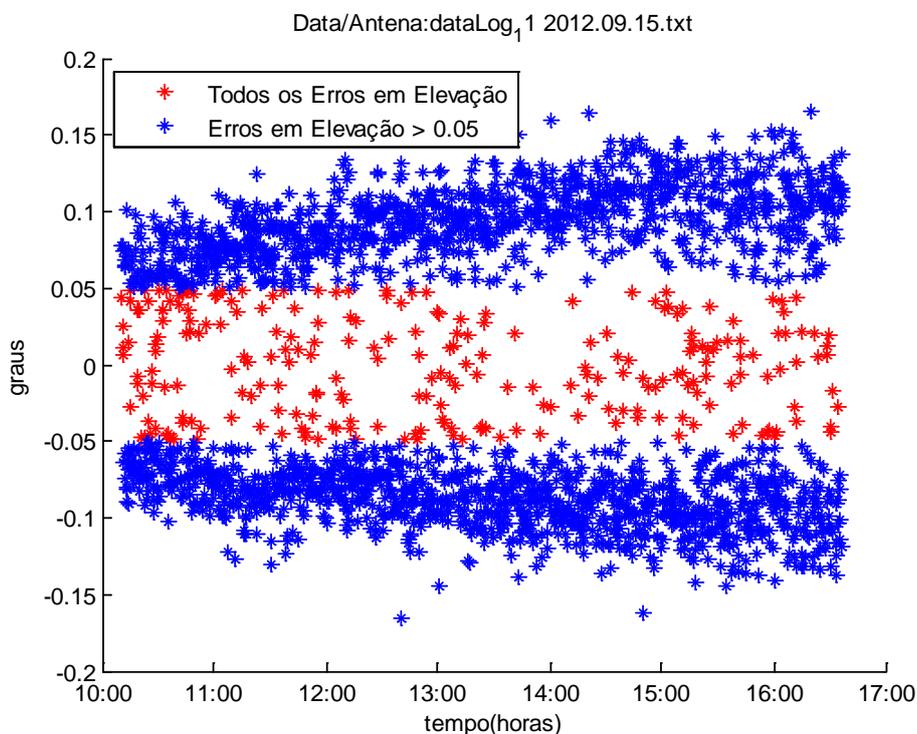
Devido ao fato desta antena fazer parte do protótipo do projeto, o motivo do comportamento destes erros pode ter sido devido a um desgaste na engrenagem de azimute.

6.1.3 Análise da Antena 11

Esta antena apresentou erros somente em elevação não sendo utilizada nas observações do mês de dezembro.

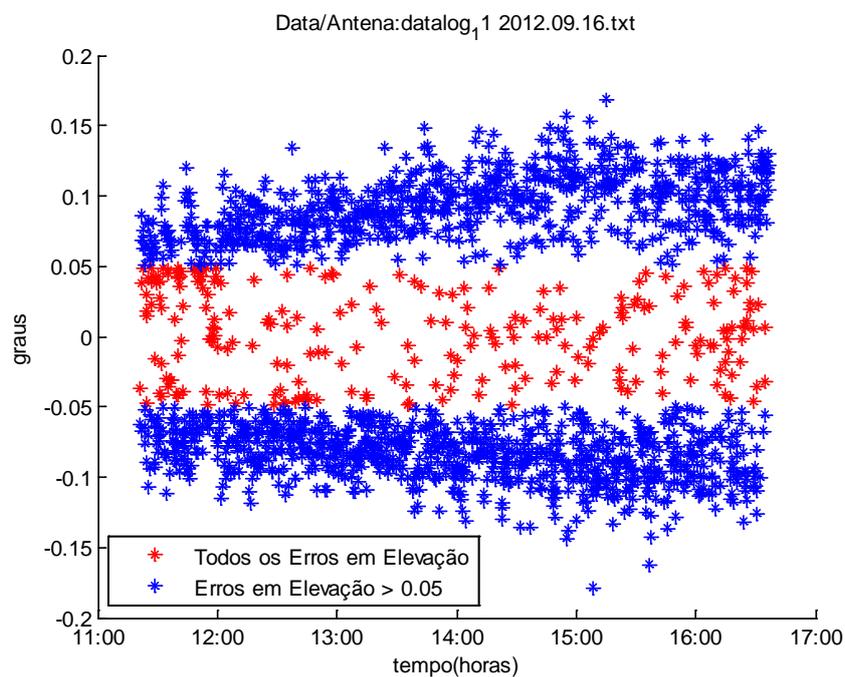
As análises dos dias 15, 16 e 28 de setembro mostraram o aparecimento de um número elevado de erros, com valores positivos e negativos, variando na faixa de 0,05 a 0,15 graus. Mostrou também um aumento gradativo destes valores durante o período das observações. As Figuras 6.14, 6.15 e 6.16 mostram os gráficos dos erros em elevação apresentados nestas datas.

Figura 61: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena11 na observação de 15 de setembro.



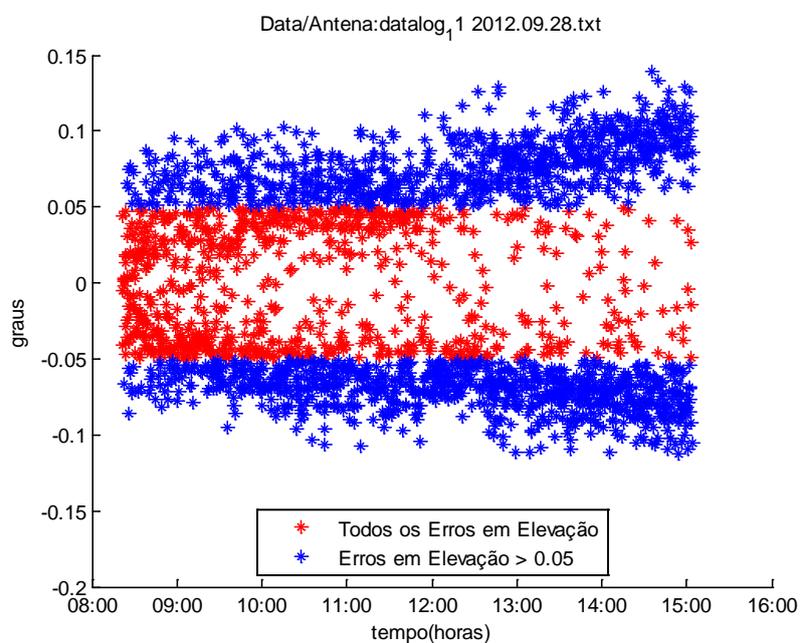
Fonte: O autor.

Figura 62: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena11 na observação de 16 de setembro.



Fonte: O autor.

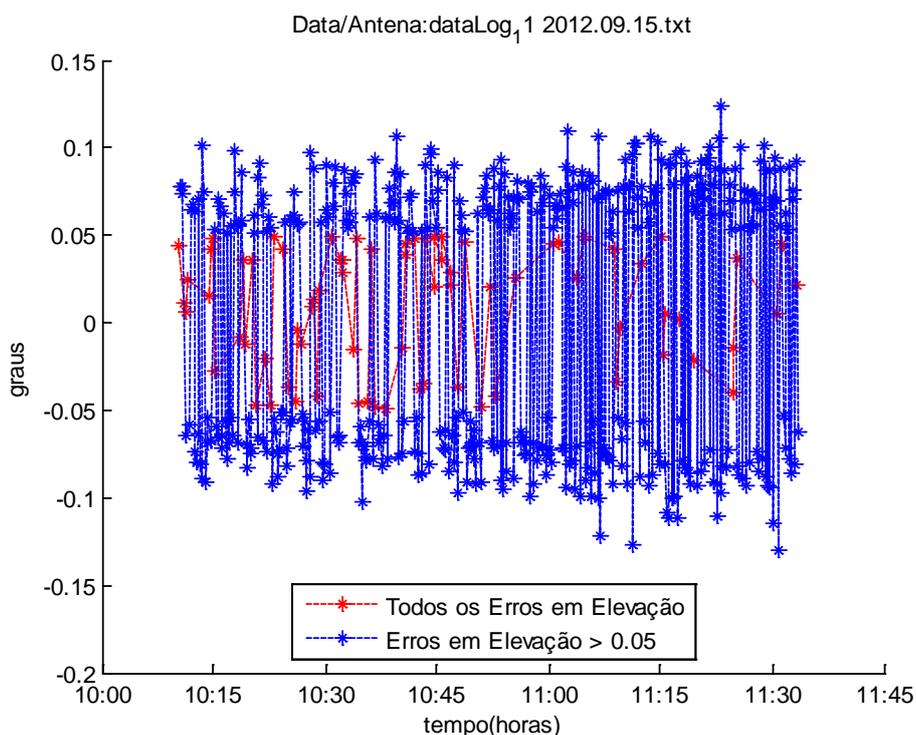
Figura 63: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena11 na observação de 28 de setembro.



Fonte: O autor.

A figura 64 mostra os erros apresentados no período das 10:00 às 11:45 horas, na observação de 15 de setembro, na qual pode-se visualizar a variação de valores positivos e negativos.

Figura 64: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena11 no período das 10:00 às 11:45 horas na observação de 15 de setembro.



Fonte: O autor.

O motivo do comportamento dos erros nestas datas possivelmente pode ter sido devido a um posicionamento incorreto do contra peso desta antena causando um maior torque no motor de elevação durante o período das observações.

O número elevado de erros possivelmente pode ter sido devido a um desgaste na engrenagem de elevação, uma vez que esta antena fazia parte do protótipo do projeto.

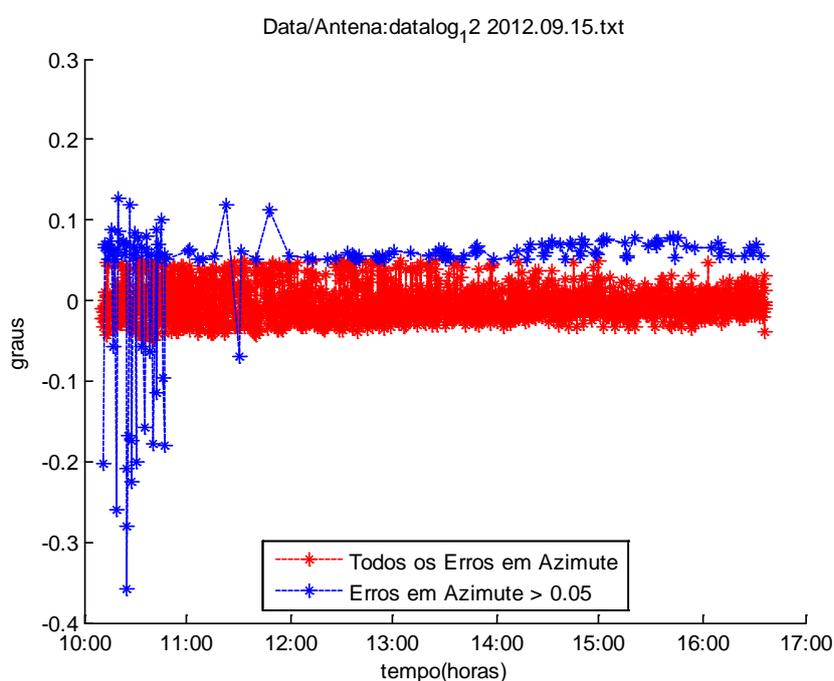
6.1.4 Análise da Antena 12

a) Análise em azimute

Esta antena apresentou erros em azimute e elevação não sendo utilizada nas observações do mês de dezembro.

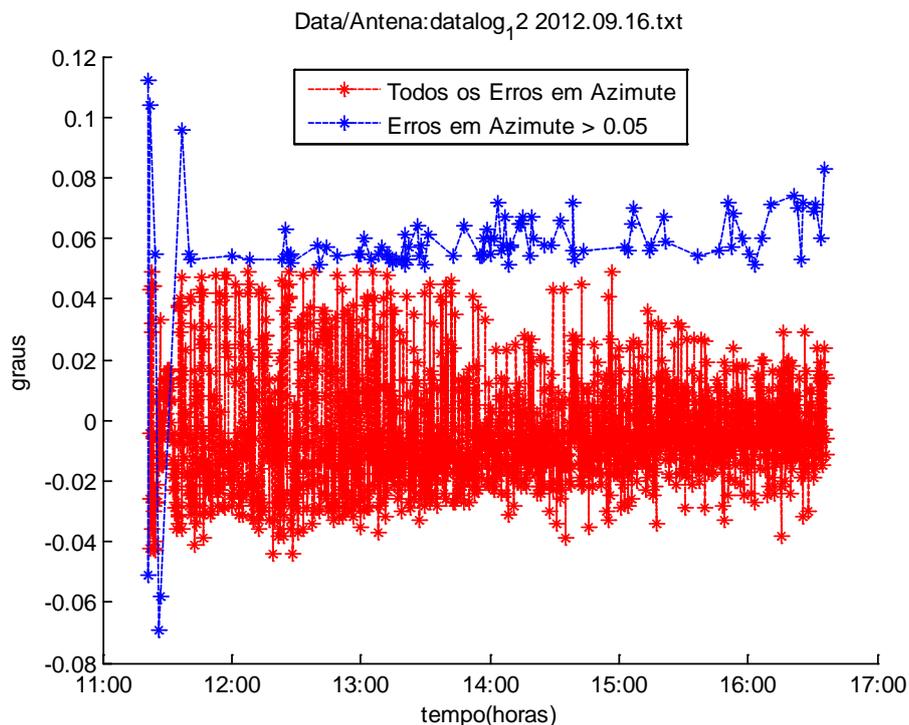
As análises dos dias 15 e 16 de setembro mostraram o aparecimento de erros, no início da observação, com elevados valores positivos, na faixa de 0,05 a 0,15 graus e negativos, na faixa de 0,1 a 0,25 graus, permanecendo com pouca variação e somente com valores positivos até o final da observação. As figuras 65 e 66 mostram os gráficos com os erros em azimute apresentados nestas datas.

Figura 65: Gráfico dos erros em azimute apresentados pela antena12 na observação de 15 de setembro.



Fonte: O autor.

Figura 66: Gráfico dos erros em azimute apresentados pela antena12 na observação de 16 de setembro.

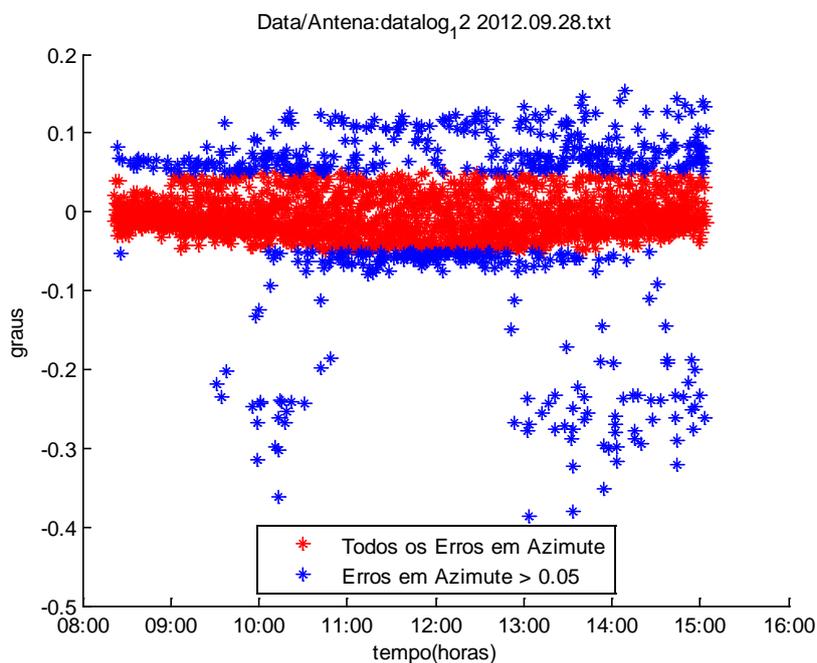


Fonte: O autor.

O motivo deste comportamento, possivelmente pode ter sido devido a um desgaste ou defeito na engrenagem de azimute e na caixa de redução acoplada ao motor de azimute.

A análise da observação do dia 28 de setembro mostrou o aparecimento, no início da observação, de um número elevado de erros com valores positivos e negativos com um aumento dos valores até o final da observação. Mostrou também o aparecimento de erros com elevados valores negativos no período das 09h30min as 11:00 horas e das 13:00 as 15:00 horas. A figura 67 mostra o gráfico com os erros em azimute apresentados nesta data.

Figura 67: Gráfico dos erros em azimute apresentados pela antena12 na observação de 28 de setembro.



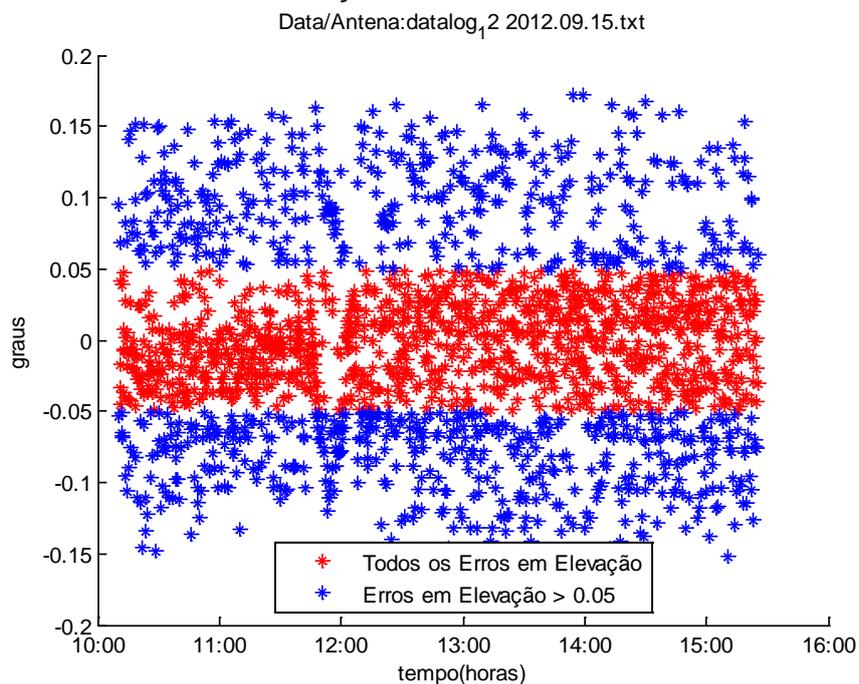
Fonte: O autor.

O motivo do comportamento destes erros possivelmente pode ter sido devido a defeitos na caixa de redução acoplada ao motor de azimute e desgaste na engrenagem de azimute.

b) Análise em elevação

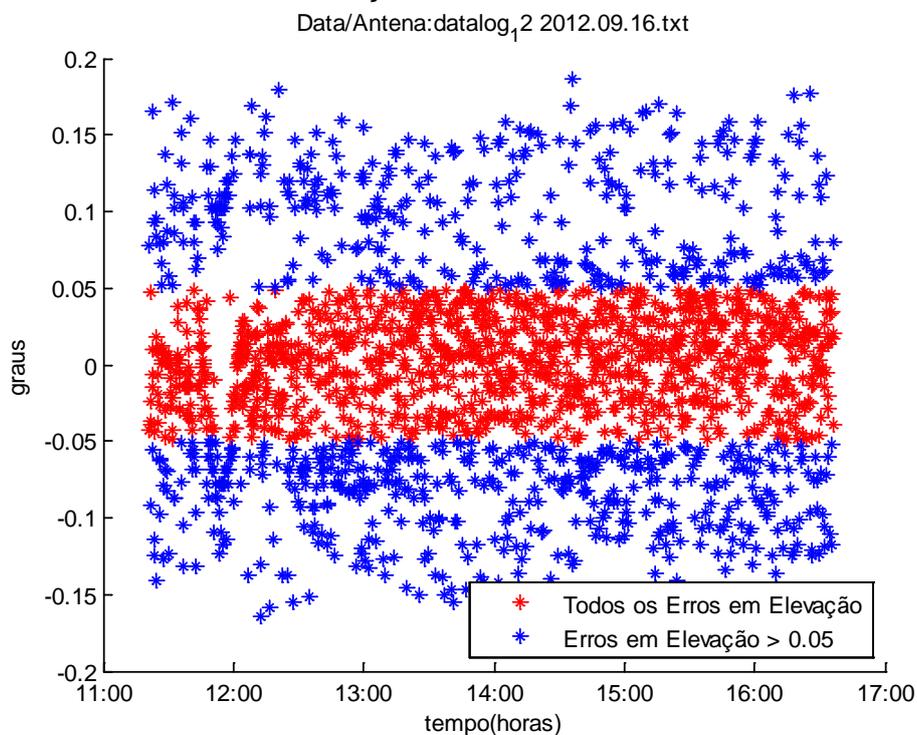
As análises das observações dos dias 15 e 16 de setembro mostraram o aparecimento de um número elevado de erros, variando de valores positivos e negativos na faixa de 0,05 a 0,15 graus durante todo o período da observação. As figuras 68 e 69 mostram os gráficos dos erros em elevação apresentados nestas datas.

Figura 68: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena 12 na observação de 15 de setembro.



Fonte: O autor.

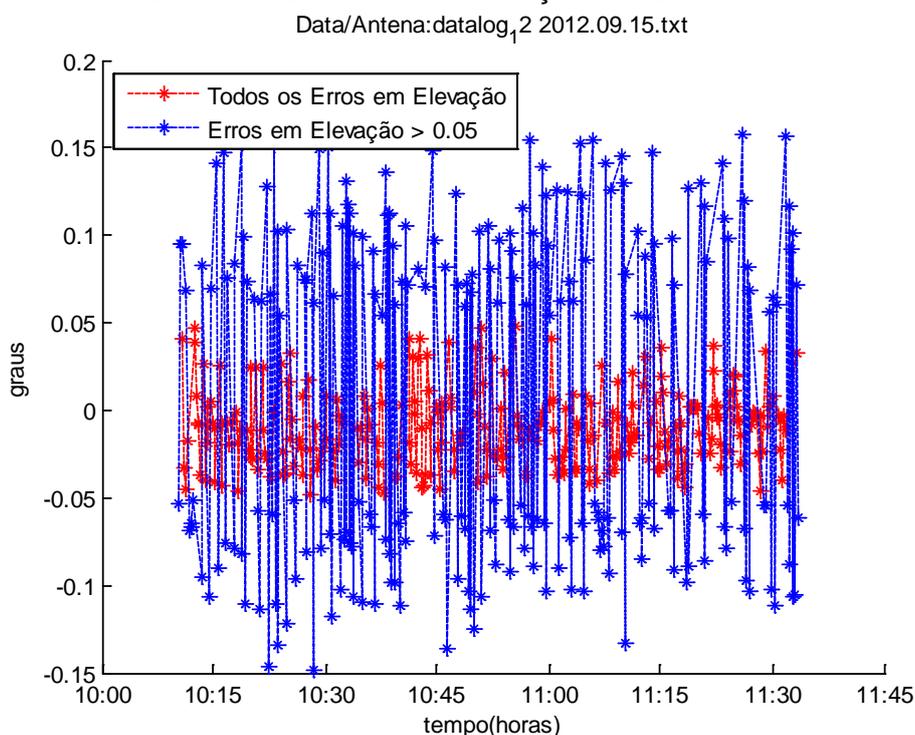
Figura 69: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena 12 na observação de 16 de setembro.



Fonte: O autor.

A figura 70 mostra o gráfico com o comportamento destes erros no período das 10:00 às 11:45 horas, na qual pode-se visualizar a variação de valores positivos e negativos neste período.

Figura 70: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena 12 no período de 10:00 às 11:45 horas na observação de 15 de setembro.

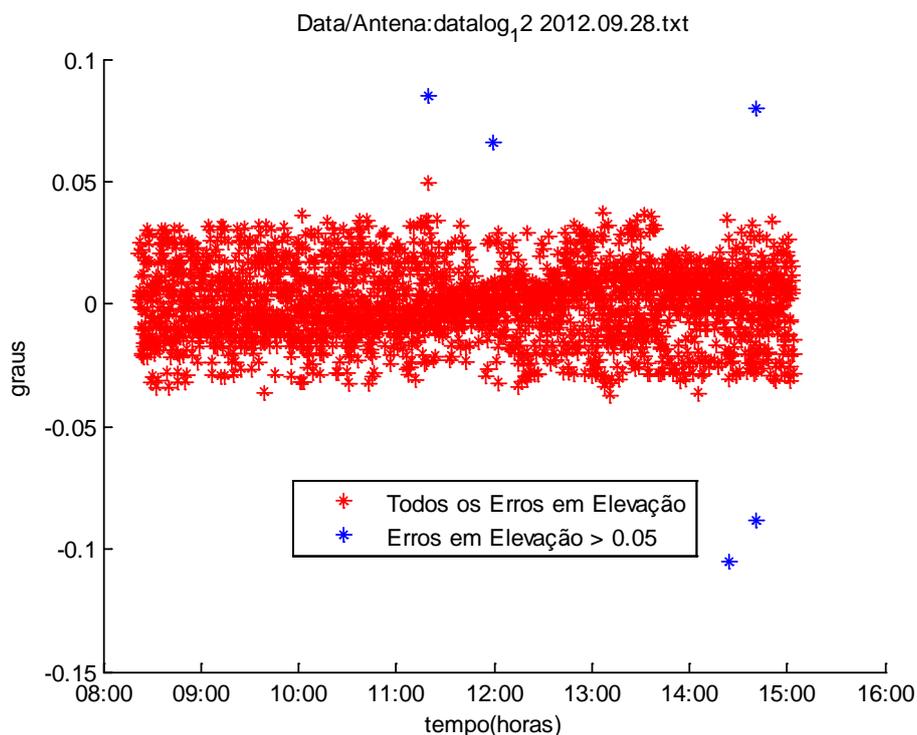


Fonte: O autor.

O motivo do aparecimento de um número elevado de erros possivelmente pode ter sido devido a um desgaste ou defeito na engrenagem de elevação juntamente com o posicionamento incorreto dos contra pesos desta antena, causando um maior torque no motor de elevação. A variação de valores positivos e negativos, possivelmente pode ter sido devido a um desgaste ou defeito na caixa de redução acoplada ao motor de elevação desta antena.

A análise da observação do dia 28 de setembro mostrou o aparecimento de apenas 5 erros durante todo o período da observação. A figura 71 mostra o gráfico dos erros em elevação apresentados nesta data.

Figura 71: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena 12 na observação de 28 de setembro.



Fonte: O autor.

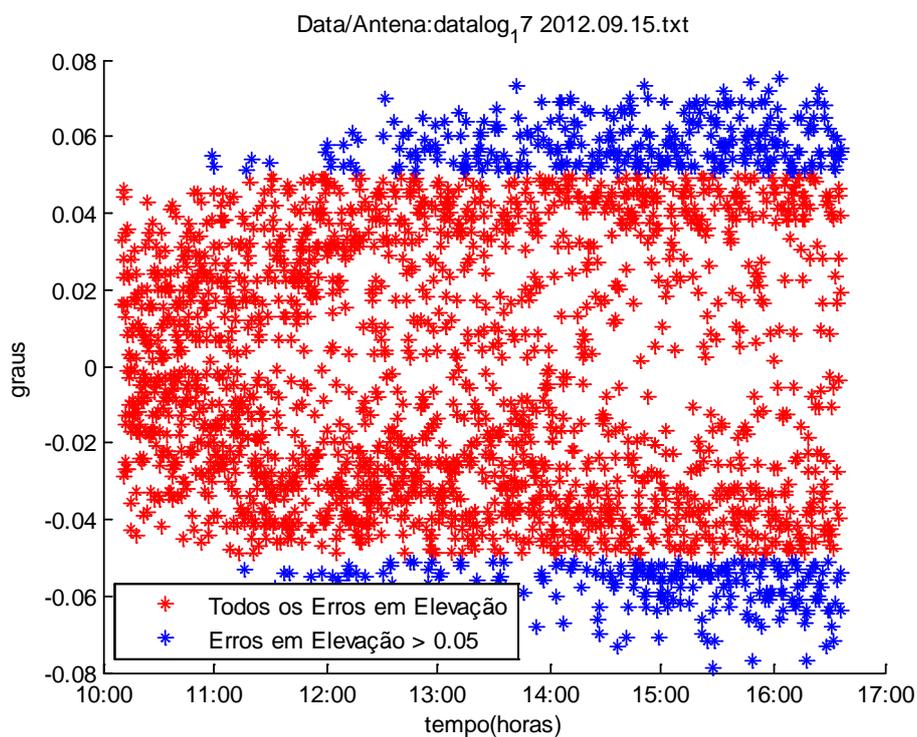
Pode-se notar que, nesta data, em comparação com as datas de 15 e 16 de setembro, esta antena apresentou um elevado número de erros em azimute, conforme mostrado na figura 67.

6.1.5 Análise da Antena 17

Esta antena apresentou somente erros em elevação, sendo utilizada em todas as datas das observações analisadas.

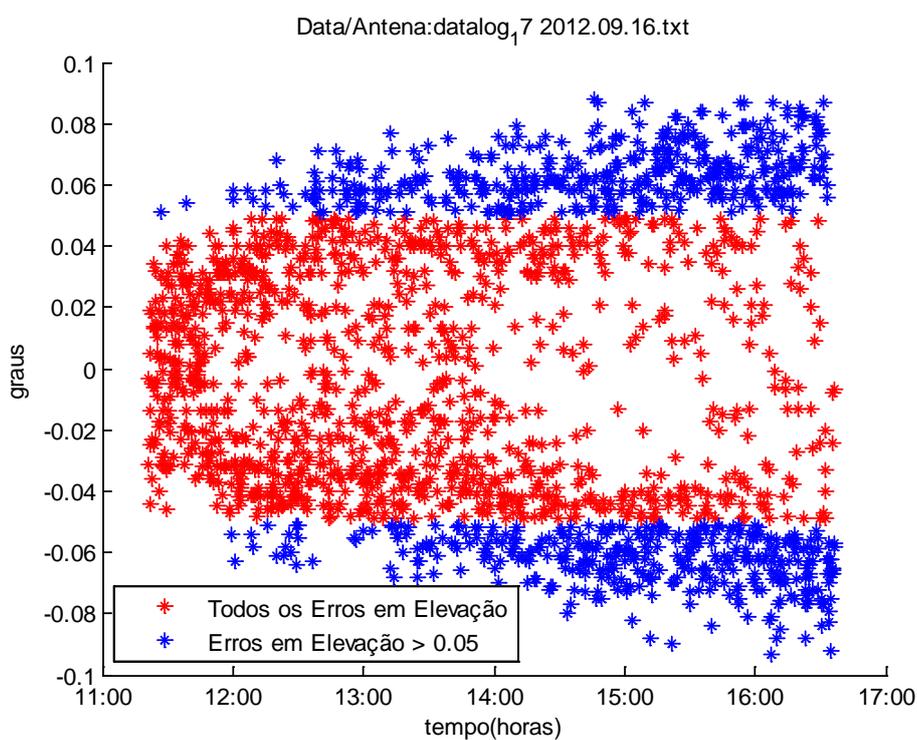
As análises das observações de 15 e 16 de setembro, 05 e 19 de dezembro, mostraram o aparecimento de um número elevado de erros, com valores positivos e negativos variando na faixa de 0,05 a 0,07 graus, com um aumento gradativo nos valores durante todo o período da observação. As figuras 72, 73 e 74 e 75 mostram os gráficos dos erros em elevação apresentados nestas datas.

Figura 72: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena 17 na observação de 15 de setembro.



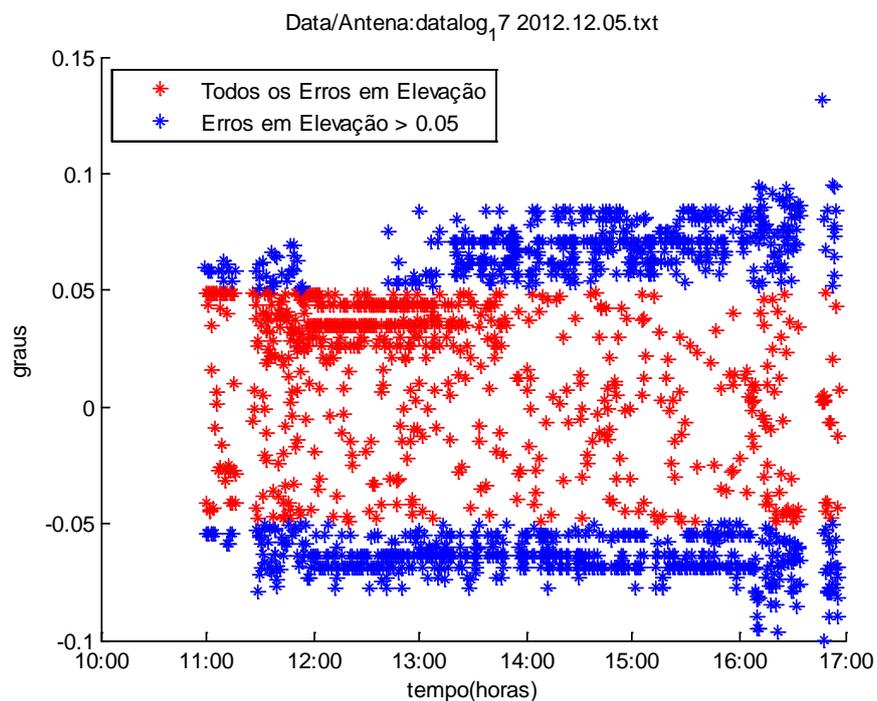
Fonte: O autor.

Figura 73: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena 17 na observação de 16 de setembro.



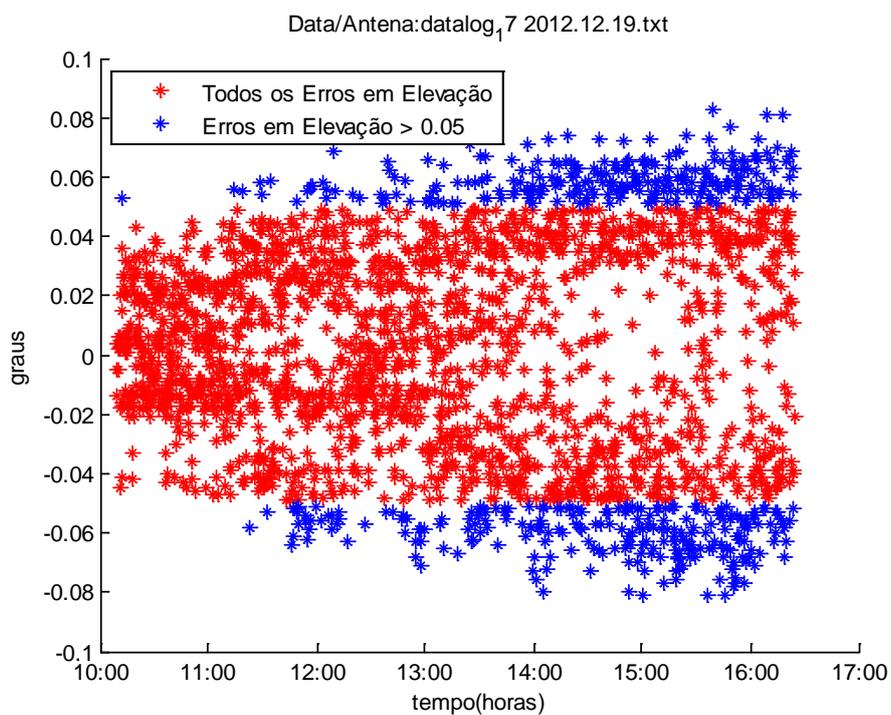
Fonte: O autor.

Figura 74: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena 17 na observação de 05 de dezembro.



Fonte: O autor.

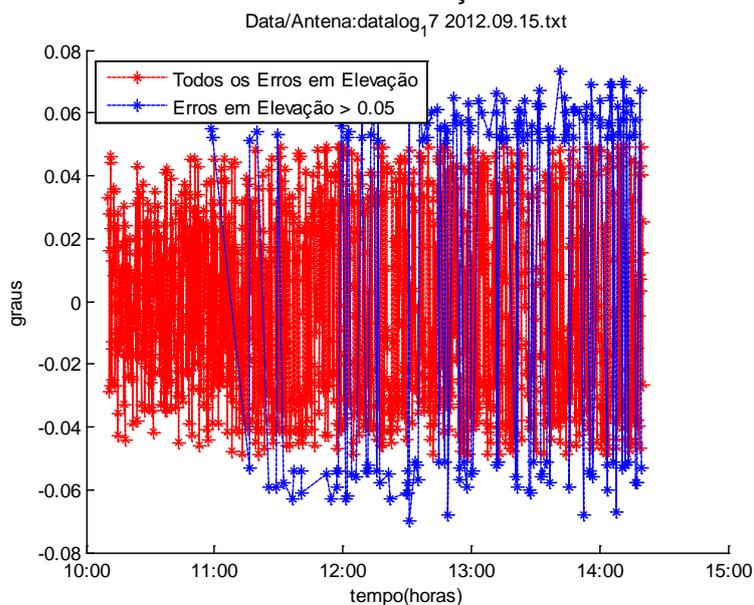
Figura 75: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena 17 na observação de 19 de dezembro.



Fonte: O autor.

A figura 76 mostra o gráfico com o aparecimento destes erros no período das 10:00 às 15:00 horas, na qual pose-se visualizar a variação de valores positivos e negativos neste período.

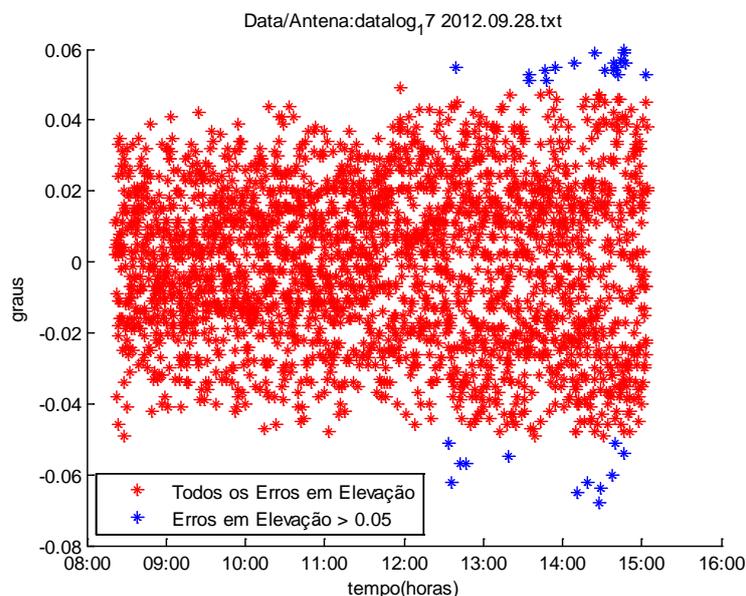
Figura 76: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena 17 no período das 10:00 às 15:00 horas na observação de 15 de setembro.



Fonte: O autor.

A análise na data de 28 de setembro mostrou o aparecimento de poucos erros somente no final da observação, com valores positivos e negativos variando na faixa de 0,05 a 0,07 graus. A Figura 6.30 mostra o gráfico dos erros em elevação apresentados nesta data.

Figura 77: Gráfico dos erros em elevação apresentados pela antena 17 na observação de 28 de setembro.



Fonte: O autor.

Devido ao fato desta antena ser do protótipo do projeto, o comportamento dos erros nesta data possivelmente pode ter sido devido a um maior desgaste na engrenagem de elevação e caixa de redução acoplada ao motor de elevação. O aumento gradativo nos valores dos erros possivelmente pode ter sido devido ao posicionamento incorreto dos contra pesos desta antena, causando um maior torque no motor de elevação durante o período da observação.

A tabela 10 mostra um resumo do comportamento dos erros das antenas nas datas analisadas.

As descrições comportamento aleatório e comportamento constante, significam que os perfis do aparecimento dos erros são diferentes ou iguais em cada uma das datas das observações.

Os possíveis motivos para o aparecimento destes erros estão descritos a seguir:

1 – Desgaste nas engrenagens de azimute e elevação:

Causa: Erros com valores positivos ou negativos maiores do que 0.05 graus.

2 – Desgaste ou defeito nas caixas de redução:

Causa: Erros positivos (antena adiantada) ou negativos (antena atrasada).

3 – Posicionamento dos contra pesos:

Causa: Torque nos sistemas de rastreo em elevação. (tendência de aumento nos erros no decorrer da observação).

4 – Desconhecido: Aumento nos valores dos erros em azimute no decorrer da observação.

Tabela 11: Comportamento das antenas.

Data / Antena	1	9	11	12	17
Tipo de erros	azimute e elevação	somente em azimute	somente em elevação	azimute e elevação	somente em elevação
Comportamento	Aleatório	Constante	Constante	Aleatório	Constante
Sistema de rastreo	Novo	Protótipo	Protótipo	Novo	Protótipo
15/setembro	<p>Azimute: Maioria dos erros com valores positivos. Motivo: 1. Elevação: Erros com valores positivos e negativos no período da manhã. Apresentou a maioria dos erros com valores negativos no período da tarde. Motivo: 1, 2. Figuras 6.1 e 6.6.</p>	<p>Azimute: Muitos erros com valores positivos e negativos com comportamento constantes durante todo o período. Motivo: 1, 2. Figura 6.11.</p>	<p>Elevação: Muitos erros com valores positivos e negativos, apresentando um aumento durante o período da observação. Motivo: 1, 2, 3. Figuras 6.14 e 6.17.</p>	<p>Azimute: Erros com valores positivos e negativos no início da observação. No período da tarde erros somente com valores positivos. Motivo: 1, 2. Elevação: Muitos erros com valores positivos e negativos apresentando um comportamento constante durante todo o período. Motivo: 1, 2. Figuras 6.21 e 6.23.</p>	<p>Elevação: Muitos erros com valores positivos e negativos, apresentando um aumento durante o período da observação. Motivo: 1, 2, 3. Figuras 6.25 e 6.29.</p>
16/setembro	<p>Azimute: Erros com valores positivos, apresentando um aumento a partir das 12 horas. Motivo: 1, 4. Elevação: Maioria dos erros com valores negativos.</p>	<p>Azimute: Muitos erros com valores positivos e negativos com comportamento constantes durante todo o período. Motivo: 1, 2. Figura 6.12.</p>	<p>Elevação: Muitos erros com valores positivos e negativos, apresentando um aumento durante o período da observação. Motivo: 1, 2, 3. Figura 6.15.</p>	<p>Azimute: Erros com valores positivos apresentando um aumento durante o período da observação. Motivo: 1, 4. Elevação: Muitos erros com valores positivos e negativos apresentando um comportamento constante durante todo o período.</p>	<p>Elevação: Muitos erros com valores positivos e negativos, apresentando um aumento durante o período da observação. Motivo: 1, 2, 3. Figura 6.26.</p>

	Motivo: 1. Figuras 6.2 e 6.7.			Motivo: 1, 2. Figuras 6.19 e 6.23.	
28/setembro	Azimute: Poucos erros com valores positivos e negativos. Motivo: 3. Elevação: Muitos erros com valores positivos e negativos no período da manhã. Maioria dos erros com valores negativos no período da tarde. Motivo: 1, 2, 3. Figuras 6.3 e 6.8.	Azimute: Muitos erros com valores positivos e negativos com comportamento constantes durante todo o período. Motivo: 1, 2. Figura 6.13.	Elevação: Muitos erros com valores positivos e negativos, apresentando um aumento durante o período da observação. Motivo: 1, 2, 3. Figura 6.16.	Azimute: Muitos erros com valores positivos no início da observação apresentando um aumento a partir das 10:30 horas com valores positivos e negativos. Apresentou erros com elevados valores em alguns períodos da manhã e da tarde. Motivo: 1, 2, 4. Elevação: Apresentou somente 5 erros com valores positivos e negativos. Motivo: 4. Figuras 6.20 e 6.24.	Elevação: Poucos erros com valores positivos e negativos a somente no período da tarde. Motivo: 2, 4. Figura 6.30.
05/dezembro	Azimute: Poucos erros com valores positivos e negativos. Motivo: 3. Elevação: Muitos erros com valores positivos e negativos distribuídos aleatoriamente durante o período da observação. Motivo: 1, 2, 3. Figuras 6.4 e 6.9.	Antena não utilizada	Antena não utilizada	Antena não utilizada	Elevação: Muitos erros com valores positivos e negativos, apresentando um aumento durante o período da observação. Motivo: 1, 2, 3. Figura 6.27.
	Azimute: Poucos erros. Motivo: 3.				Elevação: Muitos erros com valores positivos e negativos, apresentando um aumento

19/dezembro	Elevação: Poucos erros com valores positivos e negativos. Motivo: 1, 2. Figuras 6.5 e 6.10.	Antena não utilizada	Antena não utilizada	Antena não utilizada	durante o período da observação. Motivo: 1, 2, 3. Figura 6.28.
-------------	--	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	---

Fonte: O autor

7 CONCLUSÕES

Abaixo, as conclusões da pesquisa interpretada pelo autor.

7.1 PRINCIPAL CONTRIBUIÇÃO

Este trabalho permitiu a verificação do comportamento dos erros de apontamento das antenas do arranjo decimétrico brasileiro (BDA) através da análise detalhada dos arquivos de erros gerados pelo software do sistema de rastreio.

A metodologia desenvolvida, através da análise dos erros apresentados com valores e períodos pré-determinados, propiciou a determinação do comportamento de cada antena do arranjo utilizada nas observações do ano de 2012.

Nestas análises, algumas antenas apresentaram erros com valores variando entre positivos e negativos, o que corresponde à antena estar respectivamente adiantada ou atrasada em relação ao apontamento programado. Pode-se verificar que as antenas com este comportamento não sofreram uma queda brusca, uma vez que no intervalo das transições apresentaram erros com valores abaixo do valor analisado (0,05 graus).

Pode-se notar que, algumas antenas tiveram diferentes comportamentos nas datas analisadas, apresentando erros com características diferentes. Estas antenas foram classificadas como instáveis e não foram analisadas em detalhes.

7.2 COMPORTAMENTO DAS ANTENAS

Da análise dos erros de apontamento em azimute e elevação nas 22 antenas do BDA, somente 5 antenas foram classificadas como ruins.

A antena do protótipo de número 11 apresentou um número elevado de erros (80 a 90%), devido provavelmente a um maior desgaste nas engrenagens de azimute e elevação em comparação com as antenas novas.

A antena número 2, apesar de também fazer parte do protótipo, não apresentou erros.

O comportamento das antenas de números 5, 6, 14, 21 e 22, consideradas como instáveis é descrito a seguir:

1 - A antena de número 5 apresentou erros variando de 5 a 6%, somente nas observações no período de 10 a 16 de setembro;

2 - A antena de número 6 apresentou um número elevado de erros (20 a 28%) nas observações no período de 10 a 16 de setembro;

3 - A antena do protótipo de número 14 apresentou erros de 15%, somente na observação do dia 11 de setembro;

4 - A antena de número 21 apresentou erros acima de 10%, somente nas observações dos dias 10 e 11 de setembro;

5 - A antena de número 22 apresentou um número elevado de erros (21 a 26%), somente nas observações no período de 12 a 16 de setembro.

7.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Manter todos os sistemas de rastreamento instalados nas bases das antenas na mesma temperatura. Já está previsto no projeto original e ainda não implementado.

Verificar a ocorrência de erros devido a Intempéries, tais como, vento, temperatura, sol, chuva;

Fazer análise dos erros de apontamento nas observações durante as estações de Verão, na qual o sol está mais na vertical, exigindo menos torque nos motores e conseqüentemente menos erros, e Inverno, na qual o sol está mais inclinado, exigindo mais torque nos motores e conseqüentemente mais erros;

Verificar o dimensionamento dos contra peso nas antenas, visto que, se estiver mal dimensionado, será exigido mais torque nos motores para o rastreamento, aumentando a possibilidade da ocorrência de erros.

Realização de um número maior de observações para a determinação do motivo do comportamento instável de algumas antenas.

Analisar detalhadamente as antenas classificadas como instáveis.

Substituir as caixas de redução das antenas que apresentaram erros com valores positivos e negativos, pelas que não apresentaram nenhum erro, classificadas como boas.

REFERÊNCIAS

ASCHWANDEN, M. J. **Physics of the solar corona: an introduction, springer and praxis**. UK: Praxis Publishing, 2004.

CECATTO, J. R. et al. Protótipo do primeiro interferômetro brasileiro (Projeto Brazilian Decimetric Array – BDA). **Boletim da Sociedade Astronômica Brasileira**, v.23, p.25, 2004.

CROOKER, N.; JOSELYN, J.; FEYNMAN, J. **Coronal mass ejections: causes and consequences**. AGU Monograph; Proc. Chapman Conference, 1997. v.99.

CRUTCHER, R. M. Radio synthesis imaging: a high performance computing and communications project. In: CRABTREE, D. R. J. H.; BARNES, J. (Eds.). **Astronomical data analysis software and systems III**. [s.l.]: A.S.P, 1994. 409p. (Conference ; v.61).

FARIA, C. **Uma nova estratégia de otimização de arranjos interferométricos aplicada ao brazilian decimetric array**. 2006. Tese (Doutorado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2006. (14171-TDI/1086).

FARIA, C.; STEPHANY, S.; SAWANT, H. S. A new entropy-based strategy for the inverse design of a radio interferometric array. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INVERSE PROBLEMS IN ENGINEERING - ICIPE. 5, 2005. Cambridge. **Proceedings...** Cambridge: Leeds University Press, 2005. v.1, p.1-10.

GOPALSWAMY, N. et al. VLA and yohkoh Observations of an M1.5 Flare. *Ap*, n.455, p.715, 1995.

HARRISON, R. A. Coronal mass ejection [and discussion]. **Phil. Trans. R. Soc. Lond.**, A, n.336, p.401-412, 1991.

KAHLER, S. W. Solar flares and coronal mass ejections. **Ann. Rev. Astron. Astrophys.**, 30, p.113-141, 1992.

KELLERMAN, K. I.; MORAN, J. M. The development of high-resolution imaging in radio astronomy. **RA&A**, n.39, p.457, 2001.

KRAUS, J. D. **Radio Astronomy**. New York: McGraw-Hill, 1966.

LUDKE, E. et al. Solar imaging capabilities of the brazilian decimetric array. **International Geophysics**, n.39, p.147-152, 2000.

NAKAJIMA, H. et al. New nobeyama radio heliograph. **Astrophysics and Astronomy**, v.16, n. suppl., p.437, 1995.

ROHLFS, K.; WILSON, T. L. **Tools of radio astronomy**. Berlin: Springer, 1986.

SAWANT, H. S. et al. A high resolution decimetric solar - radioheliograph. **Astronomical Society of the Pacific Conference Series**, n.206, p.341-346, 2000a - B.

SAWANT, H. S. et al. A low cost steerable radio-telescope. **Advances in Space Research**, v.32, n.12, p.2715-2720, 2003.

SAWANT, H. S. et al. Brazilian decimetric array. **Advances in Space Research**, n.25(9), p.1809-1812, 2000B - A.

SAWANT, H. S. et al. Brazilian decimetric array. In: INTERNATIONAL UNION OF RADIO SCIENCE. 28. **Genral assembly**: proceeding... URSI GA, 2005.

SAWANT, H. S.; BDA TEAM. **Brazilian decimetric array - BDA**: o primeiro interferômetro decimétrico da América Latina. São José dos Campos, SP: INPE, 2005.

SAWANT, H. S.; BDA TEAM. **Brazilian decimetric array – BDA**: the first Latin American decimetric interferometer. São José dos Campos – SP: INPE, 2008.

SAWANT, H. S. et al. Southern hemisphere solar radio heliograph. **Proc. The 10th European Solar Physics Meeting**, ESA SP, 506, v.2, p.971-974, 2002.

SAWANT, H. S. et al. The brazilian decimetric array and space weather. **Journal of Atmospheric and Solar–Terrestrial Physics**, 2011.

SCHWENN, R. et al. Coronal observations of CMEs. **Space Science Reviews**, v.123, p.127–176, 2006. DOI: 10.1007/s11214-006-9016-y, 2007.

SUBRAMANIAN, K. R. et al. First results from the gauribidanur radio heliograph . **Astrophysics and Space Science**, v.243, i.1, p.259-262, 1996.

THOMPSON, A. R.; MORAN, J. M.; SWENSON JUNIOR, G. W. **Interferometry and syntesis in radio astronomy**. Sec. edition. [s.l.]: Wiley VCH, 1994.

REFERÊNCIAS CONSULTADAS

BASTIAN, T. S.; GARY, D. E. Coronal physics from radio and space observations. Proceedings of the Cesra Workshop Held in Nouan le Fuzelier, France, p.3–7, June, 1996.

BASTIAN, T. S.; GARY, D. E. On the feasibility of imaging coronal mass ejections at radio wavelengths. **JGR**, 102(A7), P.14.031-14.040, 1997B.

RAMESH, R. et al. Brazilian decimetre array (phase–1): initial solar observations. **Advances in Space Research**, 39, p.1453-1455, 2007.

SAWANT, H. S. et al. Brazilian decimetric array (phase-I). **Solar Physics**, n.242, v.1-2, p.213-220 2007.