

Desenvolvimento e avaliação de uma estação de recepção em banda S para incrementar o desempenho do Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais

Glauber Paz Miranda
Sérgio Wagner Gripp da Silveira
Wilson Yamaguti

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{glauber,sergio}@cba.inpe.br, yamaguti@dss.inpe.br

Abstract. The Brazilian Environmental Data Collection System provides data collection services based on SCD-1 and SCD-2 satellites to a large user community. The idea was to have a very simple payload subsystem on board like a bent pipe transponder, but with a very reliable architecture. After almost 20 years in operation, SCD-1 continues to offer the data collection services. The satellite has neither message processing capability nor storage facilities on board. The platform access the system transmitting in UHF in a burst mode with repetition rate around 200 s. When the satellite receives a platform message, it just relay this message to a ground receiving station in S Band. The platform located near to the boarder of the ground receiving station visibility circle has less contact time than to one located at the center of visibility circle. A way to improve the system performance is to install several ground receiving stations to increase the access time for a platform. The paper presents the development and evaluation of a small S Band receiving station. The development cycle follows the traditional space project phases, starting from specification to acceptance tests and field validation. The station design and construction are discussed. Two prototypes were built, one is installed at INPE in São José dos Campos and another is installed in Cuiabá Station area. The paper concludes with the discussion of experience gained and difficulties founded during the station development and evaluation such as mechanical backlash impacts and stability.

Palavras-chave: S Band Ground receiving station, data collection system, data collection platform, satellite, estação de recepção em banda S, sistemas de coleta de dados, plataformas de coleta de dados, satélite.

1. Introdução

O Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais (SBDA) é um sistema baseado em satélites, cuja função é receber dados de plataformas ambientais autônomas espalhadas pelo território nacional e distribuí-los aos usuários. Conforme ilustrado na Figura 1, é constituído atualmente pelas Plataformas de Coleta de Dados Ambientais (PCD), pelos satélites brasileiros de coleta de dados SCD-1 e SCD-2, pelas estações terrenas do INPE localizadas em Cuiabá-MT e Alcântara-MA, além de um centro de processamento e distribuição dos dados, denominado de SINDA, localizado em Natal-RN.

Desde a sua entrada em operação ocorrida em fevereiro de 1993, e graças à sua simplicidade e confiabilidade, o SBDA está em contínua expansão, contando hoje com aproximadamente 1079 PCDs e 94 diferentes tipos de usuários segundo Yamaguti et al. (2009, 2012) atuando em diversas aplicações, que vão desde a área de hidrologia, meteorologia, oceanografia e localização de plataformas móveis.

Nesse sistema, e a partir do momento que o satélite entra na região de visibilidade das estações terrenas (ângulo de elevação da antena $> 5^\circ$) é estabelecido um enlace de comunicação e o satélite passa a funcionar como retransmissor de eventuais mensagens emitidas pelas PCDs usando transponders do tipo *bent pipe* (sem nenhum tipo de processamento a bordo). O sinal recebido das PCDs em UHF na faixa de $401,635 \text{ MHz} \pm 30 \text{ kHz}$ é convertido no satélite para a banda de $95 \text{ kHz} \pm 30 \text{ kHz}$, que em seguida é usado para modular em fase uma portadora na banda S em $2267,5 \text{ MHz}$. O sinal em banda S modulado com os dados das PCDs é recebido pela estação terrena, que em seguida realiza o processo de demodulação e extração dos dados através do Processador de Coleta de Dados.

Como os satélites utilizados não possuem capacidade de gravação a bordo, os dados só são efetivamente recebidos quando há uma visibilidade mútua entre satélite, estação e PCD. A ausência de controle dos instantes de transmissões das PCDs, leva ao recebimento de níveis de potência de sinais diferentes no satélite e com isso, as plataformas que exibem nesse instante uma melhor condição de enlace tem maior probabilidade de ser processada. Nesse processo várias transmissões são perdidas e comprometem algumas aplicações que requerem uma quantidade mínima de mensagens recebidas. A localização da PCD em relação à estação de recepção também afeta o tempo de contato disponível, cujo valor vai se reduzindo à medida que a PCD vai se deslocando para a borda do círculo de visibilidade.

Nesse contexto um maior número de estações de recepção espalhadas pelo território e distanciadas das estações atuais, além de aumentar o tempo de contato, reduz o tempo de revisita das passagens, aumenta também o número de PCDs recebidas. Essas novas estações somente de recepção podem ser tecnicamente mais simples do que as estações atualmente utilizadas em Cuiabá e Alcântara, pois não há necessidade de operações de rastreamento e controle de satélites.

2. Síntese das especificações da estação de recepção em banda S para atender o sistema

As especificações principais da estação estão definidas na Tabela 1.

Tabela 1. Especificações principais da estação

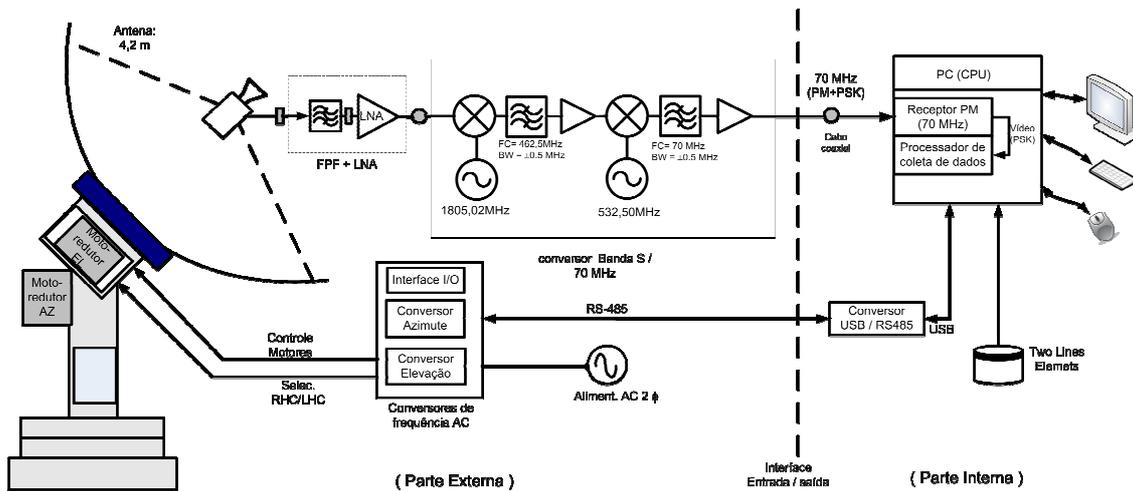
Característica	Especificação
Sistema de RF	
Faixa de recepção	2200 to 2300 MHz
Polarização	RHC / LHC remotamente selecionável
Ganho de Recepção	38 dBi nominal (na entrada do LNA)
Largura de feixe	2,25° Nominal
G/T (em 5° EL, céu claro)	16 dB/K Nominal
Frequência Intermediária (FI)	70 MHz
Pedestal	
Configuração	Elevação sobre azimute
Cobertura angular	Hemisférico total
Modo de rastreamento	Programado
Velocidade angular em EL	10° /sec
Velocidade angular em AZ	21° /sec
Aceleração máxima em EL	10° /sec ²
Aceleração máxima em AZ	10° /sec ²
Precisão angular	0,2°

3. Projeto e desenvolvimento da estação

A Figura 1 abaixo ilustra o diagrama de blocos da Estação de Recepção de Coleta de Dados em Banda S, que é constituída pelas seguintes partes principais:

- a) Alimentador (Feed) instalado no foco do refletor parabólico;
- b) Amplificador de Baixo Ruído (LNA) e conversor (Down Converter) para amplificação do sinal em 2.267,52 MHz e conversão para 70 MHz;

- c) Receptor (Demodulador PM);
- d) Processador de Coleta de Dados;
- e) Refletor parabólico e Posicionador de Antena (parte mecânica);
- f) Acionamento elétrico dos motores/redutores de azimute e de elevação;
- g) Controlador da antena (computador da estação e software de controle de apontamento da antena).



3.1 Análise das especificações

A estabilização de atitude dos satélites SCDs é feita por rotação. Nessa configuração o eixo de rotação tende a manter uma orientação inercial, apontando sempre para um ponto fixo no espaço, o que faz com que ângulo formado entre esse eixo e a direção estação-satélite se altere bastante durante o período de visibilidade. Por esse motivo, para garantir o enlace de comunicação durante a passagem, utilizam-se duas antenas de recepção e transmissão instaladas nos painéis inferiores e superiores do satélite, usando polarizações circulares ortogonais RHC e LHC. Na estação, o alimentador da antena foi projetado para receber essas duas polarizações, através de seleção comandada pelo computador da estação através de saídas digitais disponíveis nos conversores de frequência AC.

Em razão dos requisitos de alto ganho necessários à antena de recepção, foi previamente escolhida uma antena do tipo refletor parabólico com foco primário, que, devido à maior facilidade de fabricação em relação a outras geometrias (offset antenas), encontra-se mais facilmente no mercado brasileiro.

O refletor parabólico de 4,5 m de diâmetro tem seu posicionamento realizado através de um posicionador eletromecânico do tipo elevação sobre azimute com capacidade de mover a parábola nos eixos de elevação e azimute com velocidades de 10°/s e 20°/s, respectivamente. Essas são as velocidades angulares necessárias para o rastreamento de satélites de órbita baixa em banda S e cujo desalinhamento não provoca valores altos de atenuação nas passagens zenitais.

O sinal captado pelo refletor parabólico é concentrado no alimentador em banda S (2,2 a 2,3 GHz), encaminhado e amplificado no amplificador de baixo ruído (LNA) e em seguida convertido para a faixa de 70 MHz no conversor descendente (DC). Nesse projeto, o LNA foi instalado o mais próximo possível do alimentador visando minimizar a adição de ruído gerado no guia de onda entre alimentador e LNA. Do mesmo modo, o DC foi instalado logo após o LNA para evitar as perdas por atenuação de sinal, que são maiores em banda S comparadas a

faixa de 70 MHz, evitando-se dessa forma, a necessidade de compensar valores altos de atenuação provocada pelo cabo coaxial que interliga a saída do DC até o receptor. Além disso, a frequência de FI escolhida de 70 MHz é valor padronizado comercialmente, o que permite a utilização de módulos receptores COTS (*Commercial Off The Shelf*), instalados em PC.

3.2 Sistema de posicionamento da antena

Antenas com capacidade de apontamento automatizado e rastreamento de satélites de órbita baixa (LEO) requer o uso de um posicionador mecânico acionado por um sistema de servomecanismo. A antena deve ser capaz de acompanhar o satélite com uma determinada precisão no movimento ao longo de sua órbita, seguindo uma trajetória que foi previamente calculada e cujas coordenadas de apontamento são enviadas em intervalos regulares para a antena. O objetivo principal do sistema é acompanhar as demandas de variação de velocidade do satélite durante a passagem por sua órbita, bem como manter o erro angular da antena em relação ao valor nominal, o mais próximo possível de zero.

Dentre as diversas geometrias de posicionador ou pedestal existentes, a escolhida nesse projeto foi a do tipo “elevação sobre azimute”, devido basicamente à sua simplicidade, e relação direta entre os ângulos de posicionamento e as coordenadas usadas para o apontamento da antena. Entretanto, nesse tipo de geometria surge uma particularidade: durante as passagens zenitais a velocidade no eixo de azimute deve alcançar um valor que tenderia ao infinito para que não ocorra perda de apontamento e uma consequente diminuição do sinal captado, a depender da largura de feixe da antena. Essa perda momentânea de sinal pode ser agravada quando se trabalha com antenas ou frequências maiores, onde em ambos os casos a largura de feixe é mais estreita.

A estrutura mecânica planejada para a estação de recepção baseada na antena desenvolvida no projeto Brazilian Decimetric Array (BDA) foi aperfeiçoada em várias partes para incrementar a funcionalidade e o desempenho. A Figura 2 ilustra a antena e seu posicionador utilizado nos testes de recepção.



a)



b)

Figura 2 – a) Posicionador original do projeto BDA. b) Nova estrutura mecânica para o posicionador de Antena

O sistema de posicionamento é constituído pelas engrenagens mecânicas acopladas a conjuntos moto-redutores (um para cada eixo), que são por sua vez acionados por inversores estáticos de frequência. As engrenagens permitem movimentos simultâneos e independentes nos eixos de elevação e azimute, e foi projetado e construído visando suportar uma antena parabólica de 4,5 m de diâmetro. Além disso, a pressão aerodinâmica exercida pelo vento no

refletor provoca torques de magnitude variável no eixo mecânico, sendo o fator determinante para o dimensionamento do torque requerido pelo conjunto moto-redutor. Como a antena pode estar posicionada em qualquer coordenada angular acima do horizonte durante o rastreo, a carga vista pelos motores nos eixos, é uma carga de velocidade, aceleração e torque variável.

A solução adotada quanto à escolha dos motores e dos dispositivos de controle reflete o estado da arte em controle de servomecanismo com controle ativo de velocidade e de torque. Nesse sentido, foram utilizados motores AC síncronos sem escovas de imã permanente e conhecidos como motores “*servomotor AC brushless*”. Os motores são acionados por conversores de frequência de estado sólido usando dispositivos IGBTs (Insulated Gate Bipolar Transistor) e com inteligência computacional embarcada, que é a solução mais usada hoje em dia na indústria para acionamento de sistemas mecânicos que necessitam de controle de velocidade, torque e posicionamento com precisão, sem necessitar na grande maioria dos casos, do uso específico de dispositivos CLP (controlador Lógico Programável).

Os conversores basicamente transformam a alimentação da rede de tensão e frequência constantes, em uma alimentação de tensão e frequência variáveis, que são aplicadas ao motor. Através da variação da frequência, controla-se a velocidade do campo girante no motor, e consequentemente a velocidade mecânica de rotação da máquina. O controle da frequência concomitante à variação da tensão torna possível o controle da velocidade enquanto se mantém o torque constante.

Os fatores de decisão quanto à escolha do motor síncrono acionado por conversores podem ser descritos a seguir:

- ✓ Possibilidade de conseguir 100% de torque contínuo a baixas velocidades ou mesmo com velocidade igual a zero. Dessa forma, a antena pode manter a posição comandada, mesmo a parábola estando sujeita a atuação de forças aerodinâmicas variáveis.
- ✓ Permite, através de interfaces de entradas/saídas digitais e analógicas, comandar e controlar dispositivos externos instalados ao sistema, dispensando na maioria das aplicações o uso de um CLP.
- ✓ Tecnologia amplamente utilizada na indústria: Motores AC síncronos sem escovas acionados por conversores de tensão e frequência variáveis.

Todo o sistema é controlado através de um computador padrão IBM PC rodando um programa específico, que se comunica com os conversores de frequência através de duas interfaces seriais RS-485. A Figura 3 ilustra um diagrama dos componentes do posicionador para um dos eixos. Uma configuração idêntica é utilizada para o outro eixo.

3.3 Software de controle de apontamento da antena

3.3.1 Software de propagação de órbita

As coordenadas angulares de apontamento da antena (Azimute e Elevação), bem como a distância satélite-antena, são calculadas com precisão através de um programa específico de propagação e de apontamento, instalado em um computador do tipo PC. O programa requer como entrada as informações da coordenada geodésica da antena, dos dados de efemérides do satélite (*2lines elements*), do passo de propagação e os tempos de início e final requerido.

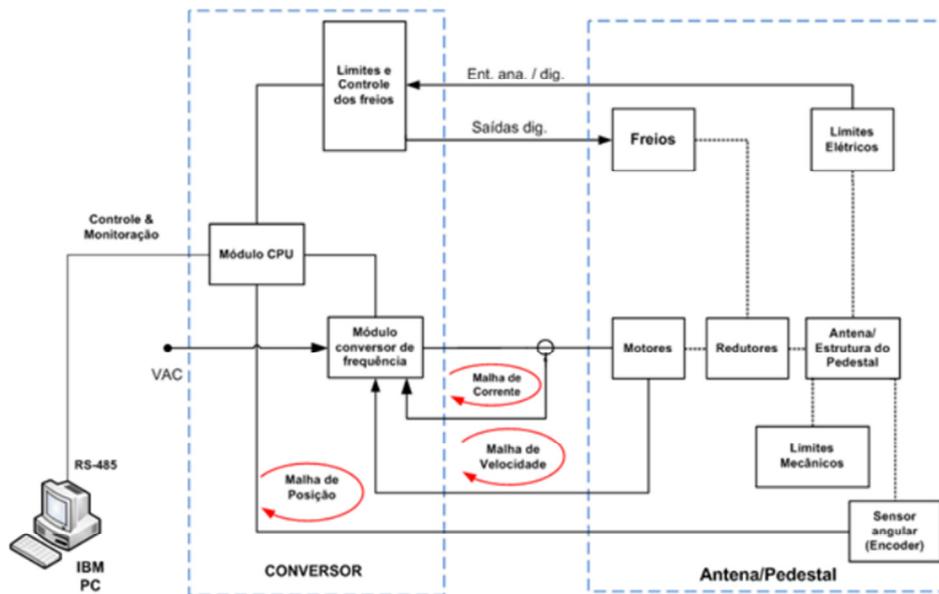


Figura 3 - Diagrama em blocos do sistema de posicionamento

Para efetuar a determinação de órbita ou previsão de passagem de um dado satélite, é necessário fazer a propagação a partir dos elementos orbitais que definem sua posição no céu. Esses elementos orbitais, que estão contidos em um arquivo de texto com duas linhas (daí o nome: *2lines elements*, abreviado TLE), são gerados pelo Comando de Defesa Aeroespacial Norte Americano (*North American Aerospace Defense Command – NORAD*) e disponibilizados via Internet no endereço <https://www.space-track.org>. Usando esse arquivo TLE, um modelo matemático de propagação de órbita, denominado Propagador Geral Simplificado 4 (SGP4 – *Simplified General Perturbation - version 4*), faz a propagação da órbita do satélite (HOOTS et al., 1980). Após a propagação dos pontos em termos de posição e velocidade do satélite na coordenada cartesiana com a origem no centro de massa da Terra (sistema ECI), é necessário convertê-los para o sistema de referência topocêntrico horizontal com as coordenadas da estação terrena (sistema ENU). Esses últimos pontos são dados em valores de azimute (AZ) e elevação (EL). A Figura 4 mostra o fluxograma desse software.

3.1.2 Software de controle da antena

Após determinada a órbita do satélite a ser rastreado, é necessário controlar a antena para que a mesma possa acompanhá-lo, mudando seus ângulos de elevação e azimute, durante a passagem daquele por sobre a estação. Isso é feito com o envio de comando para os motores de azimute e elevação da antena em momentos bem definidos. O fluxograma apresentado pela Figura 5 ilustra essas etapas.

4. Resultados e Discussão

Antes da montagem do refletor parabólico sobre o sistema de posicionamento e antes que este fosse montado sobre o pedestal, diversos testes de comunicação entre os inversores e o computador foram feitos. Com esses testes, foram identificados limites mecânicos a serem impostos nos dois eixos do conjunto. Os cabos de comunicação dos inversores limitam o movimento da antena no eixo de azimute em ± 140 graus. Dessa forma, o software de posicionamento tem que levar em conta o ângulo e inicial e final de cada passagem para que os cabos não sofram torções demasiadas. O ângulo de elevação também é limitado, só que este pela própria estrutura do sistema de posicionamento e pelo pedestal. Assim, é necessário

impor um limite no software para que a antena não passe de -2,5 graus de um lado, e 182,5 graus de outro.

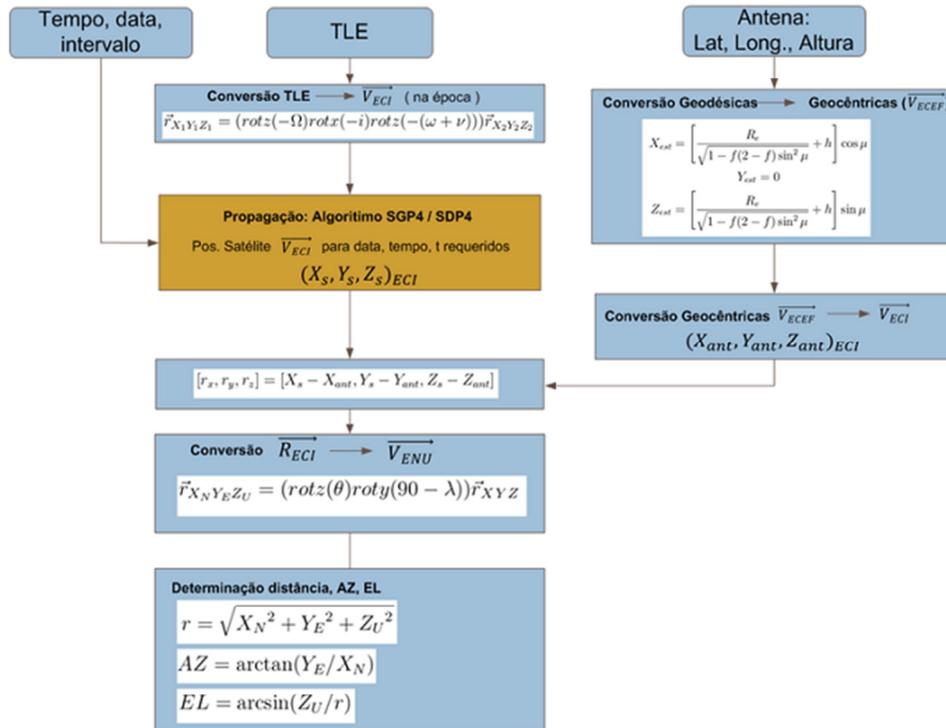


Figura 4 - Fluxograma do propagador.

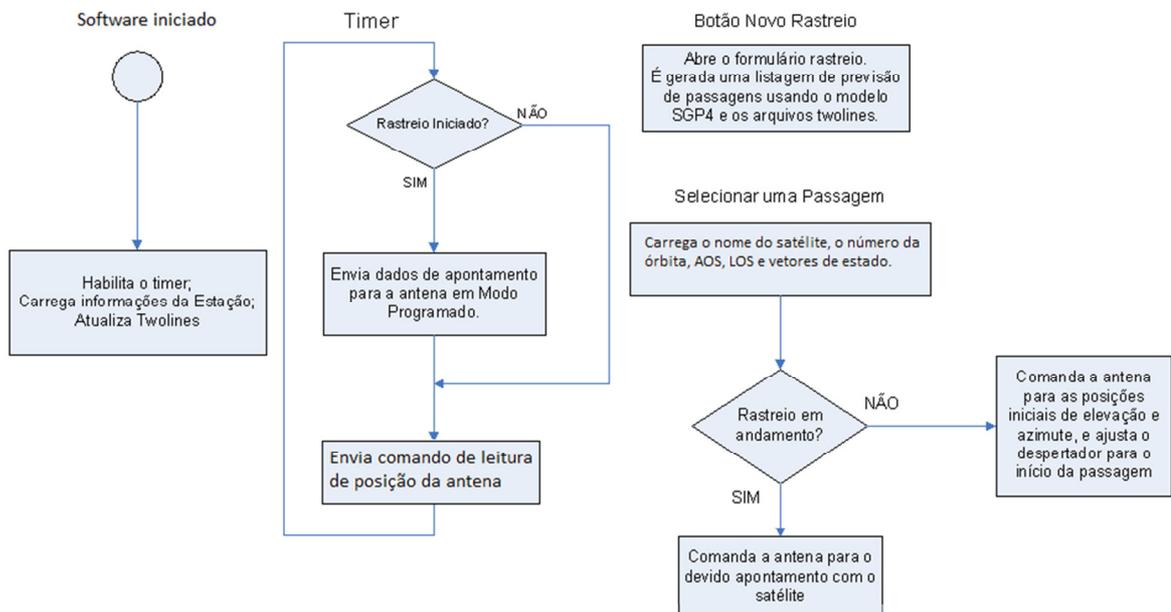


Figura 5 - Fluxograma simplificado do software de controle da antena.

Dois protótipos foram construídos e integrados simultaneamente. Um protótipo está montado nas instalações do INPE em Cuiabá, e o outro está montado no INPE de São José dos Campos, SP. A estratégia de montagem de uma estação em Cuiabá, além de permitir a equipe de projeto da estação de Cuiabá testar o controle de posicionamento com os equipamentos reais, poder realizar testes comparativos de recepção entre a estação de 11m e a estação em desenvolvimento considerando o mesmo conjunto de plataformas de coleta de dados e mesmas passagens dos satélites SCD-1 e SCD-2. A estação de São José dos Campos

permite acesso ao pessoal da Oficina Mecânica para implementação dos ajustes mecânicos em andamento.

Após a montagem completa da antena em Cuiabá (refletor + posicionador + pedestal), foram feitos testes preliminares de movimento nos dois eixos. Constatou-se uma oscilação indesejável do refletor. Após várias análises, verificou-se que seria necessário fazer um reforço estrutural para eliminar tal oscilação.

5. Conclusões

Uma estação de recepção de satélites de órbita baixa, cuja função é manter um enlace de comunicação com um satélite em órbita, é um sistema complexo de engenharia. Envolve vários ramos da engenharia elétrica (antenas, micro-ondas e radiofrequências, receptores, processamento e formatação de sinais, sistemas de energia, comunicações e computadores) bem como de engenharia mecânica e servomecanismos (estruturas, dinâmica e estabilidade, controle) e de dinâmica orbital. Todos estes conhecimentos devem ser integrados para produzir um sistema com alta precisão de apontamento para um alvo, cuja posição no espaço evolui rapidamente com o tempo e que dada a pouca demanda, praticamente inexistem fabricantes estabelecidos no Brasil.

Nesse contexto, o projeto e a construção desse tipo de sistema teve que contar com a contribuição de diversos especialistas do INPE, representando um grande desafio, cuja maior dificuldade é a de coordenar e integrar os trabalhos dessas diversas áreas. Mas, ao mesmo tempo permitiu um aprimoramento dos profissionais envolvidos e demonstrou a capacidade das equipes envolvidas.

Não foram encontradas quaisquer dificuldades durante a montagem e os testes dos módulos que compõem os subsistemas da estação. As diversas dificuldades detectadas como alinhamentos, pequenos ajustes dimensionais para compatibilização de subsistemas surgiram durante a integração dos subsistemas. Somente com a integração dos conversores de frequência, moto-redutores e todo o mecanismo de movimentação em azimute e em elevação é que foi possível detectar o problema da oscilação do refletor para elevações baixas, causando instabilidade de apontamento. As causas já foram identificadas e os projetos de modificações foram concluídos. Aguarda-se a conclusão da usinagem das peças de reforço para reinício da integração de subsistemas e avaliação em campo da estação como um todo.

Com a finalização das modificações para reforço da estrutura mecânica que sustenta a engrenagem de azimute, os testes de integração poderão ser reiniciados e concluídos a contento.

Referências Bibliográficas

Hoots, F. R.; Roehrich, R. L.; Kelso, T. **Spacetrack Report 3 - Models for Propagation of NORAD Elements Set - Compiled Version**. North American Aerospace Defense Command - NORAD, p. 87, 1980.

Yamaguti, W. et al. **O Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais: Estado atual, demandas e estudos de propostas de continuidade da Missão de Coleta de Dados**, INPE, São José dos Campos, 2006. SCD-ETD-002.

Yamaguti, W.; Orlando, V.; Pereira, S. P. **Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais: Status e planos futuros**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14, 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 1633-1640. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00044-7. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.21.20.46/doc/1633-1640.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2012.

Yamaguti, W. et al. **Status do Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais (SBCDA) – Julho/2012**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2012. 49 p. (SCD-ETD-009).