



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

SISTEMA DE CONTROLE DE APONTAMENTO PARA ANTENA DA ESTAÇÃO TT&C DE NATAL

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

Kurios Iuri Pinheiro de Melo Queiroz (UFRN, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: kurios@crn.inpe.br

Manoel Jozeane Mafra de Carvalho (INPE, Orientador)
E-mail: manoel@crn.inpe.br

COLABORADORES

Dr. Francisco das Chagas Mota (DCA/UFRN)
Eng. José Marcelo Lima Duarte (INPE/UFRN)

Julho de 2006

“Porque pela graça sois salvos, por meio da fé; e isto não de vós é dom de Deus”.

EFÉSIOS 2:8

A Deus e
Aos meus pais,
IVANILDO PINHEIRO
MARIA LUZIMAR

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que me ajudaram neste trabalho.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE pela oportunidade de estudos e utilização de suas instalações.

Ao orientador Msc. Manoel Jozeane Mafra de Carvalho pelo conhecimento passado, e pela orientação e apoio na realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Francisco das Chagas Mota pelo conhecimento passado, e pela orientação e apoio na realização deste trabalho.

Ao Eng. José Marcelo lima Duarte pela ajuda e apoio nas atividades desenvolvidas.

Aos professores da UFRN pelo conhecimento compartilhado.

Aos amigos e companheiros do dia-a-dia, pela força e incentivo.

A meus pais por sempre acreditarem na importância do estudo.

RESUMO

Este trabalho descreve um sistema de controle para uma antena de rastreamento de satélites. Sua concepção vai desde o acionamento e proteção do sistema (*hardware*), até as técnicas de controle empregadas no rastreamento de satélites (*software*). O sistema tem como base a estação SACI (atualmente desativada), cuja estrutura física (cabos, antena, motores, inversores, etc.) foi totalmente aproveitada. Toda a parte de software foi desenvolvida utilizando-se a plataforma GNU/Linux e os pacotes do projeto *Comedi*, responsáveis pelos *drives* da placa conversora analógica-digital (AD/DA), e pelas bibliotecas de programação na linguagem C.

CONTROL SYSTEM DEVELOPED FOR A SATELLITE TRACKING ANTENNA OF NATAL TT&C STATION

ABSTRACT

This work describes a control system developed for a satellite tracking antenna. In the system conception we worked on the driving system (hardware) as well as on the control techniques involved (software). The system had as start point an old ground station of the SACI system (now deactivated), whose physical structure (cables, antenna, motors, inverters, etc) was used. The software was developed using the GNU/Linux platform and the Comedi Package, used for developing the AD/DA board drivers and for providing libraries to the main program.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	14
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	16
INTRODUÇÃO.....	18
1.1 A Teoria de Controle	20
1.2 Esboço Geral	21
CAPÍTULO 2 - MÓDULOS DO SCR.....	22
2.1 Módulo Posicionador.....	22
2.2 Módulo de Potência	22
2.3. Módulo de Comando	24
2.3.1 Placa SOTEREM 2266-1	25
2.3.2 Circuitos de Comando	27
2.4 Módulo de controle.....	31
CAPÍTULO 3 - SOFTWARE DE SUPERVISÃO E CONTROLE.....	32
3.1 Estrutura do programa	32
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS OBTIDOS.....	35
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO.....	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura do SCR da estação EMM-Natal.	19
Figura 2: Diagrama de blocos do sistema.....	20
Figura 3: Antena parabólica da estação EEMN.....	22
Figura 4: Módulo de potência.....	23
Figura 5: Foto do módulo de potência.....	23
Figura 6: Vista frontal do módulo de comando.....	25
Figura 7: Esquema básico da placa SOTEREM 2266-1.	25
Figura 8: Vista superior da placa SOTEREM 2266-1 acoplada a placa INPE-01.	26
Figura 9: Vista superior do módulo de comando.	27
Figura 10: Exemplo de representação dos componentes nos esquemas.....	28
Figura 11: Circuito de comando referente a alimentação interna do modulo de comando.	29
Figura 12: Circuito de comando referente a proteção do módulo de potência.....	29
Figura 13: Circuito de comando referente ao freio do motor elevação.....	30
Figura 14: Circuito de comando referente ao evento “teste de <i>leds</i> .”.....	30
Figura 15: Circuito de comando referente a mudança na alimentação do <i>led Chauffage</i>	30
Figura 16: Circuito da placa SOTEREM 2483 dentro do módulo de comando.....	31
Figura 17: Esquema geral das <i>threads</i>	32
Figura 18: Saída de dados do algoritmo de rastreio.	33
Figura 19: Esquema de ativação da <i>thread</i> ICE.....	34
Figura 20: Referência para o eixo azimuth.....	35
Figura 21: Erro para o eixo azimuth.....	36
Figura 22: Sinal de controle para o eixo azimuth.....	36
Figura 23: Referência para o eixo elevação.....	36
Figura 24: Erro para o eixo elevação.....	37
Figura 25: Sinal de controle para o eixo elevação.....	37

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

EMM-Natal	- Estação Multi-Missão
SDR	- <i>Software Defined Radio</i>
SCR	- Subsistema de Controle e Rastreo
PNAE	- Programa Nacional de Atividades Espaciais
SACI	- Satélite de Aplicações Científicas
EQUARS	- Satélite de Pesquisa da Atmosfera Equatorial
COMEDI	- <i>Control and Measurement Device Interface</i>
SSC	- Software de Supervisão e Controle
AD/DA	- Analógico Digital/Digital Analógico

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O sistema de controle apresentado neste trabalho corresponde a um dos sistemas que compõem a Estação Multi-Missão de Natal (EMM-Natal), denominado de Subsistema de controle e Rastreo (SCR). A EMM-Natal é um projeto de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, com origem no reaproveitamento de uma estação francesa destinada aos Satélites de Aplicação Científica (SACI), desenvolvido pelo INPE. A EMM-Natal será uma estação para múltiplas missões, configurável por *software*, segundo o paradigma da tecnologia “Software Defined Radio – SDR”. Ela está sendo projetada para agregar as funcionalidades de centro de controle e missão, em um ambiente compacto, com base em computadores interconectados através de uma rede *Ethernet*.

A primeira aplicação da EMM-Natal é atender a uma demanda do sistema brasileiro de coleta de dados ambientais, inserido no Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE), que hoje não tem cobertura para uma grande parte do oceano atlântico equatorial, onde programas de oceanografia estão sendo instalados. Devido a sua posição geográfica privilegiada, a EMM-Natal permitirá ao Brasil uma maior e melhor capacidade de adquirir dados ambientais através dos satélites brasileiros, garantindo, assim, autonomia em uma área considerada estratégica para o desenvolvimento soberano do Brasil.

A EMM-Natal terá um papel importante no programa de satélites científicos que está sendo desenvolvido no INPE, inicialmente com o Satélite de Pesquisa da Atmosfera equatorial (EQUARS), a ser lançado em 2008 numa órbita equatorial de baixa altitude

O SCR da EMM-Natal é composto por quatro módulos: o módulo posicionador, o módulo de potência, o módulo de comando, e o módulo de controle. Cada um destes itens será abordado detalhadamente nos próximos capítulos, apresentando seus componentes internos e suas principais funcionalidades. A figura 1 mostra a estrutura do SCR, com as suas respectivas interações entre os módulos.

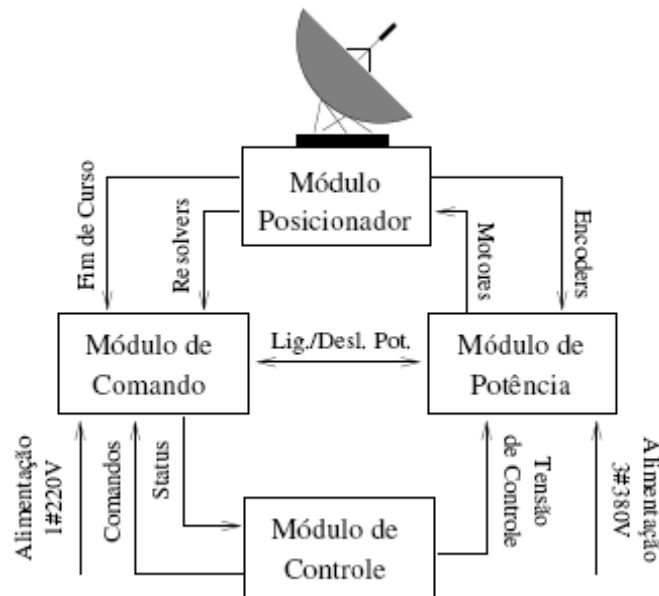


Figura 1: Estrutura do SCR da estação EMM-Natal.

O módulo posicionador é composto pelos motores que movimentam a antena, pelos redutores coaxiais, pelos sensores de fim de curso, e pelos sensores de posição (*resolvers*). Os motores são equipados com *encoders*¹, que fornecem periodicamente informações para os inversores no módulo de potência, responsáveis pelo seu acionamento e controle de velocidade. O movimento da antena é monitorado *on-line* pelo módulo de controle (computador), através dos *resolvers* acoplados em cada um dos eixos da antena (azimute e elevação). A comunicação entre os módulos de controle e comando é realizada através de uma placa conversora AD/DA, por onde são coletados dados sobre o *status* do sistema, bem como realizada a emissão de comandos.

O módulo de comando engloba todos os circuitos de proteção da antena, além de todas as fontes de alimentação e *LEDs* para indicação visual de eventos, como por exemplo, botão de emergência acionado. Ela tem a função de informar ao módulo de controle a situação atual do sistema, e também de transformar os comandos recebidos em ações.

O *software* de supervisão e controle (SSC) do SCR foi desenvolvido na linguagem C/C++, utilizando-se as bibliotecas da GNU no Linux (distribuição Debian 3.0r0), as bibliotecas do projeto Comedi (placa de aquisição de dados AD/DA) e a biblioteca *ncurses* (ambiente gráfico em modo texto). O aplicativo consiste numa interface simples que possibilita ao operador realizar a supervisão e controle do *hardware* da estação,

desde o acionamento da parte de potência, até a ativação do processo de rastreo ou de posicionamento. As tarefas propostas pelo *software* são executadas através de *threads*, com nível de prioridade controlado pelo sistema operacional, em virtude da inexistência de modificações no *kernel* para tarefas em tempo real. Após vários testes, ficou constatado que tais modificações não seriam necessárias, uma vez que o desempenho apresentado pelo sistema foi satisfatório.

1.1. A Teoria de Controle

O problema de controle no sistema consiste no posicionamento adequado da antena, nos seus dois eixos, a cada intervalo de amostragem. No controle de posição, para uma referência do tipo degrau, não é necessária a inclusão de um controlador que melhore o regime permanente, pois o modelo da planta já dispõe de um integrador. Porém, como a referência é do tipo rampa, em virtude do rastreo, um controlador do tipo proporcional integrativo (PI) foi utilizado. A figura 2 apresenta o digrama de blocos do sistema.

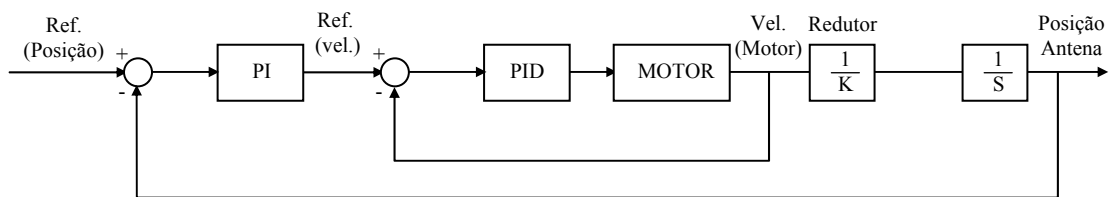


Figura 2: Diagrama de blocos do sistema.

Além do controle de posição envolvido, existe o controle de velocidade dos motores, que é realizado pelo módulo de potência, através de um controlador PID (Proporcional, Integrativo e Derivativo) presente nos inversores. Estes geram a frequência e intensidade das correntes de alimentação para os motores, de modo que a velocidade desejada seja atingida. A realimentação da malha de velocidade é realizada por dois *encoders*, acoplados um em cada motor.

Um controlador digital do tipo PI, funcionando no módulo de controle, compara a posição atual da antena com a posição desejada. A partir desta diferença e dos demais cálculos envolvidos no PI, determina-se o sinal de controle para o inversor. Este sinal é

¹ Sensores de posição angular.

analógico, sendo gerado pela placa conversora AD/DA, e corresponde a velocidade de rotação desejada para o motor. O período de amostragem deste controlador é de 1s.

1.2 Esboço Geral

Este trabalho foi dividido em mais cinco capítulos, descritos a seguir:

- *CAPÍTULO 2 – MÓDULOS DO SCR*: Neste capítulo são abordados os módulos que constituem o subsistema de controle e rastreo, apresentando seus componentes internos e suas principais funcionalidades.
- *CAPÍTULO 3 – SOFTWARE DE SUPERVISÃO E CONTROLE*: Este capítulo apresenta a descrição do *software* de supervisão e controle da EMM-Natal.
- *CAPÍTULO 4 – RESULTADOS OBTIDOS*: Resultados de um rastreo realizado pela EMM-Natal para o satélite SCD-2.
- *CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO*: Neste capítulo, as conclusões e considerações finais são apresentadas, bem como as perspectivas futuras para a continuidade do projeto.

CAPÍTULO 2

MÓDULOS DO SCR

2.1. Módulo Posicionador

O módulo posicionador da antena permite que a mesma se movimente nos dois eixos, azimute e elevação, de forma independente. Cada eixo é movido por um conjunto motor mais redutor coaxial. Os motores são do tipo autossíncronos (ímãs permanentes), com *encoders* oriundos de fábrica. Dispositivos de fim de curso, mecânicos e elétricos, instalados nos dois eixos, limitam o deslocamento da antena parabólica, aos valores limites de segurança. O motor responsável pelo deslocamento no sentido de elevação possui um freio eletromagnético para garantir o seu travamento nas paradas. A figura 3 apresenta a antena parabólica da estação.



Figura 3: Antena parabólica da estação EEMN.

2.2 Módulo de Potência

No módulo de potência estão instalados os dois inversores, modelo UMV 4301 da *Leroy Somer*, responsáveis pelo acionamento e controle de velocidade dos motores. Os inversores (ou *drives*) recebem um sinal de controle, proveniente do módulo de controle, entre -10V e +10V. Uma tensão de +10V equivale a velocidade nominal do motor (3000 rpm) num sentido, -10V no sentido contrário, e 0V a 0 rpm. O sistema de controle interno do inversor garante a convergência da velocidade real do motor com a velocidade de referência.

A alimentação dos dois inversores é controlada através de uma chave contactora, acionada pelo módulo de comando. O sinal para cortar a alimentação dos inversores, pode ser gerado devido ao acionamento de alguma proteção, como a de fim de curso, ou da chave que desliga o sistema. As figuras 4 e 5 apresentam respectivamente, o esquema elétrico do módulo de potência, e sua a estrutura física em gaveta industrial.

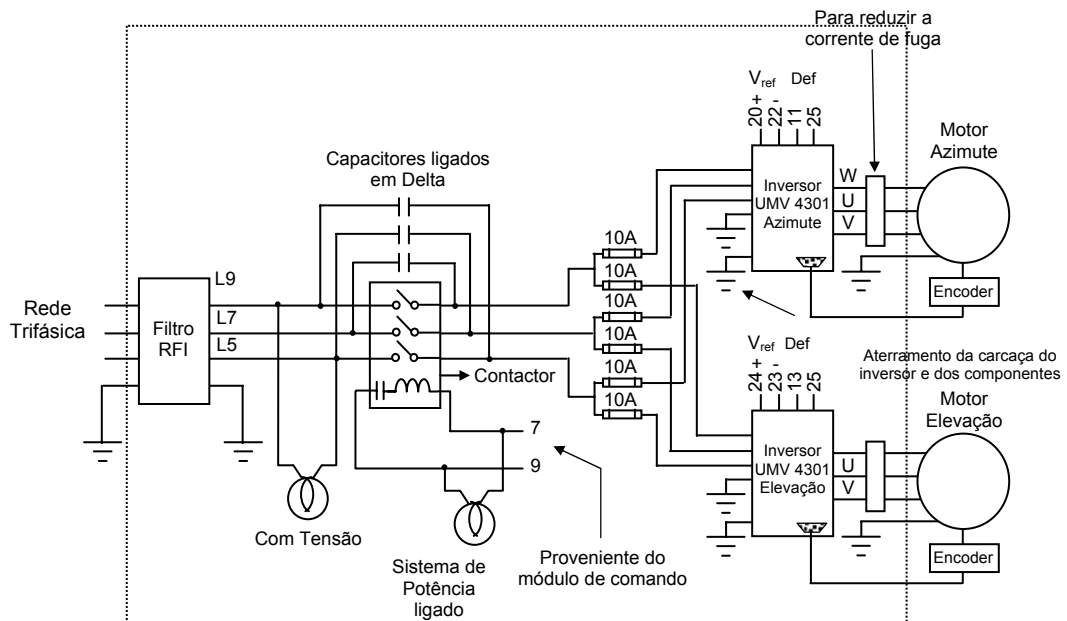


Figura 4: Módulo de potência.

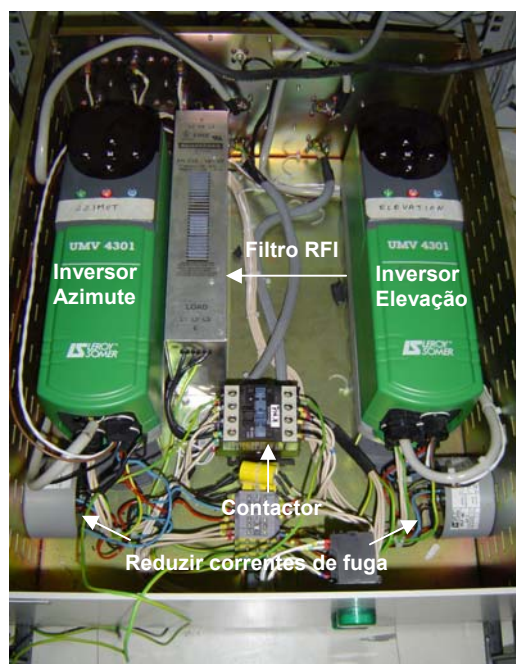


Figura 5: Foto do módulo de potência.

Ao se ligar um inversor pela primeira vez em conjunto com o motor, alguns procedimentos básicos devem ser realizados, como por exemplo, o “faseamento” (*autotune*) motor-inversor. O procedimento de *autotune* permite ao inversor, o conhecimento de parâmetros fundamentais do motor para execução do controle de velocidade interno (PID). A cada troca de motor ou inversor, este procedimento deve ser realizado para perfeito funcionamento de ambos. Caso contrário, o erro ENC PH9 será mostrado no visor do *drive*, acusando problemas no *encoder*. O inversor necessita ainda de mais algumas informações (parâmetros), que devem ser fornecidas pelo o usuário (quantidade de pólos do motor, frequência de alimentação, tipo do motor, etc.) através de seu teclado. A configuração dos inversores é feita de duas formas, digitalmente através da entrada de parâmetros pelo seu teclado, e pelas ligações físicas nos seus *borners*.

2.3. Módulo de Comando

O módulo de comando suporta todos os circuitos que controlam a alimentação dos inversores, a placa conversora SOTEREM 2266-1, os LEDs para visualização de eventos, e as fontes de alimentação do sistema. Ela também abriga um autotransformador (230V/48V), que alimenta o circuito de aquecimento do módulo posicionador, de modo a evitar que seus componentes sejam danificados em situações de clima frio.

Logo após as devidas configurações no módulo de controle (calibração da placa AD/DA, configuração e inicialização do sistema), a chave principal do módulo de comando deve ser acionada. Com isso, as fontes de alimentação são ligadas, e o *software* de rastreo poderá ser utilizado. A figura 6 apresenta a vista frontal do módulo de comando.



Figura 6: Vista frontal do módulo de comando.

2.3.1 Placa SOTEREM 2266-1

A placa SOTEREM 2266-1 é responsável pela conversão dos sinais dos *resolvers* numa saída digital. Estes sensores de posição fornecem sinais analógicos, referentes ao seno e co-seno da posição angular, para cada eixo em que se encontram acoplado. O principal componente desta placa é o circuito integrado RDC 19220 (*Resolver to Digital Converter*), que transforma tais sinais numa palavra de 16 bits. Na placa se encontram instalados dois desses CIs, um para cada sensor.

A placa apresenta duas portas: uma para se comunicar com os dois *resolvers*, e outra para se comunicar com o computador e fontes de alimentação. Esta última é dividida em dois lados, que fornecem as posições no formato digital (16 *bits*) para os eixos, elevação (A) e azimute (B). A figura 7 apresenta um esquema básico desta placa.

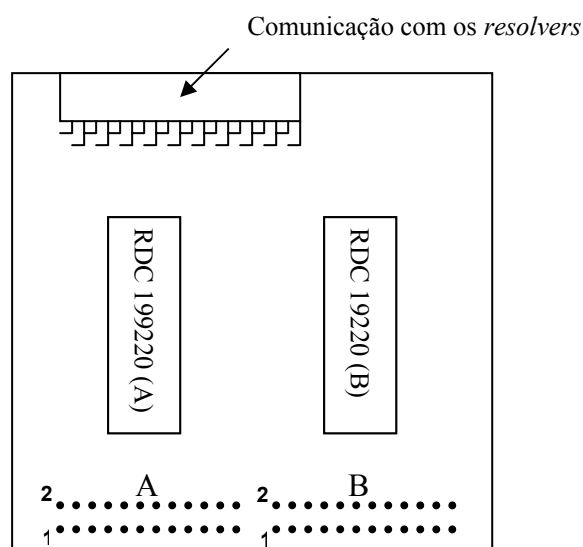


Figura 7: Esquema básico da placa SOTEREM 2266-1.

Os pinos 25A e 19B permitem controlar os instantes de leitura da posição da antena. Quando essas entradas se encontram em nível lógico alto (+5V), os dois RDCs 19220 ficam continuamente realizando o processo de conversão dos sinais analógicos. No entanto, o resultado dessas conversões não pode ser lido, porque os pinos de saída ficam com uma impedância alta. Em nível lógico baixo (0V), a conversão de dados é inibida, e

o resultado da última conversão disponibilizado para leitura (os pinos de saída ficam em baixa impedância).

Em virtude da grande quantidade de *bits* para cada posição, seriam necessários 32 canais digitais para a placa conversora AD/DA no módulo de controle. Além destes canais reservados para a leitura, outros ainda seriam utilizados na execução de algumas tarefas (acender LEDs, acionar módulo de potência, etc.). Com a finalidade de reduzir essa quantidade de canais, os 16 *bits* de cada posição (azimute e elevação) são ligados em paralelo, e depois lidos em dois blocos. Inicialmente o pino 25A é habilitado² e o 19B desabilitado, deixando o lado A com a saída de dados em baixa impedância, e o B em alta. No instante seguinte, os estados são invertidos e uma nova leitura executada.

Para realizar as conexões necessárias na placa SOTEREM com o computador e fontes de alimentação (+12V e +5V), a placa INPE-01 foi confeccionada. Ela é composta apenas por dois conectores (um DB20 e outro do tipo *phoenix*), e encontra-se acoplada a placa 2266-1 através das partes A e B. A figura 8 mostra uma foto das duas placas, uma sobre a outra, montadas no módulo de comando.

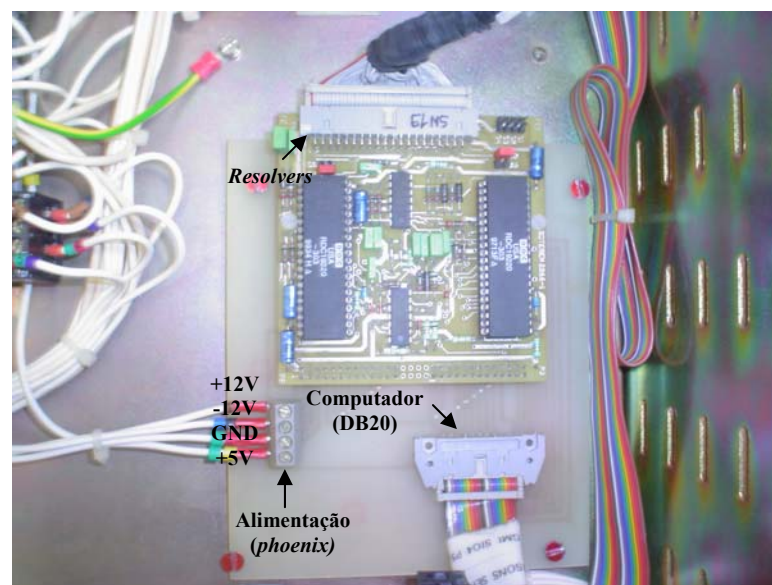


Figura 8: Vista superior da placa SOTEREM 2266-1 acoplada a placa INPE-01.

² Os pinos 25A e 19B são habilitados em nível lógico baixo.

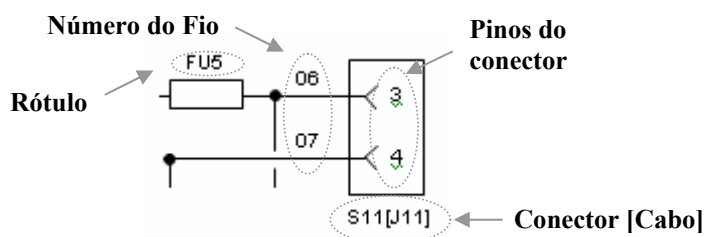
2.3.2 Circuitos de Comando

Todos os circuitos para acionamento do módulo de potência encontram-se no módulo de comando. Eles estão ligados a circuitos externos, responsáveis pelo sistema de segurança da estação (fim de curso e botão de emergência). A figura 9 apresenta a vista superior do módulo de comando.



Figura 9: Vista superior do módulo de comando.

Dentro do módulo, os fios são identificados por dois números³, e os seus componentes (fontes, relés, fusíveis, etc.) por rótulos. Os esquemas apresentados nesta seção utilizarão esta configuração para análise. Alguns dos fios terminam em conectores, que são devidamente identificados com sua referência e pinos utilizados. Sempre que um deles é encontrado, seu respectivo cabo é informado entre colchetes (por exemplo: S9[J9] – conector S9 e cabo J9). A figura 10 mostra um exemplo da representação adotada nos esquemas.



³ Exceto os fios L6, L7 e alguns dos fios ligados a *leds*, que são identificados por três números.

Figura 10: Exemplo de representação dos componentes nos esquemas.

A figura 11 apresenta o esquema geral de alimentação interna do módulo de comando. Quando a chave principal do módulo de comando é acionada, todos os seus contatos 3-4 são fechados (ver figuras 11 e 12), permitindo a alimentação das fontes AL1 e AL2. Conseqüentemente, a bobina do relé KA3 é também alimentada (figura 13) e seu contato 1-3 fechado (figura 11), pois a fonte AL2 passa a fornecer 24V aos seus terminais 2-10. Com a chave principal ligada, caso o botão de emergência não esteja pressionado (pinos 5 e 6 do conector S11 em curto), a bobina do relé KA1 é energizada⁴ (figura 12).

O contato B4-B5 referente à placa SOTEREM 2483 (ver figura 12) é responsável pelo acionamento do módulo de potência, e comutado apenas através do módulo de controle, por meio da placa conversora AD/DA. Se o fim de curso não estiver acionado (pinos 1 e 2 do conector S11 em curto) e B4-B5 fechado, a bobina KA2 é energizada⁵, fechando seus contatos 1-3 da figura 11 e 6-7 da figura 13. Dessa forma, o módulo de potência é ligado e o freio do motor elevação retirado.

A bobina do relé KA2 é desenergizada quando uma das seguintes condições ocorrer: fim de curso acionado, contato B4-B5 em aberto, ou bobina de KA1 desenergizada. A primeira ocorrerá quando a antena chegar em um de seus fins de cursos, provocando um circuito aberto entre os pinos 1 e 2 do conector S11. O segundo é de responsabilidade do módulo de controle, e o terceiro é provocado pela abertura da chave principal, ou pelo acionamento do botão de emergência. O *status* das bobinas KA1 e KA2 é transmitido ao módulo de controle, através dos pinos 5 e 18 do conector S7 (figura 14).

⁴ Os contatos 3-1 e 7-6 da figura 14 são fechados quando a bobina do relé KA1 é energizada.

⁵ Supondo a bobina do relé KA1 previamente energizada

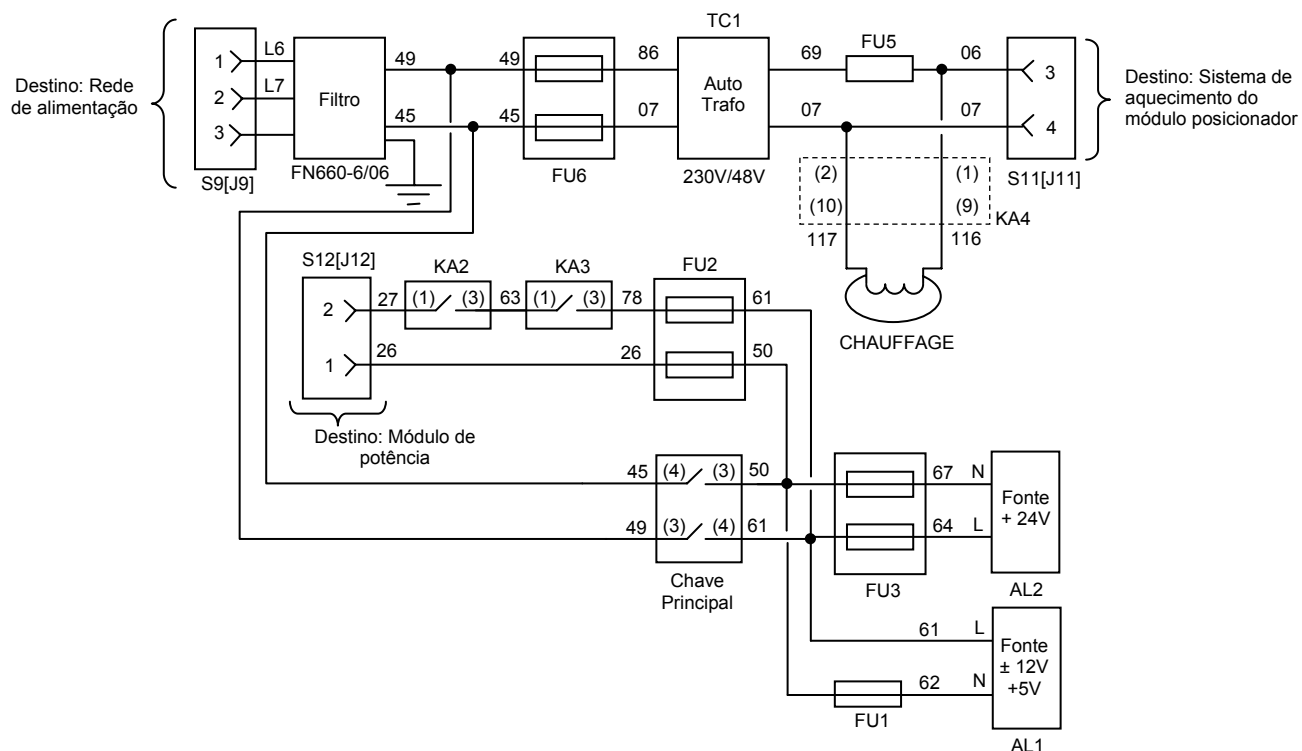


Figura 11: Circuito de comando referente a alimentação interna do módulo de comando.

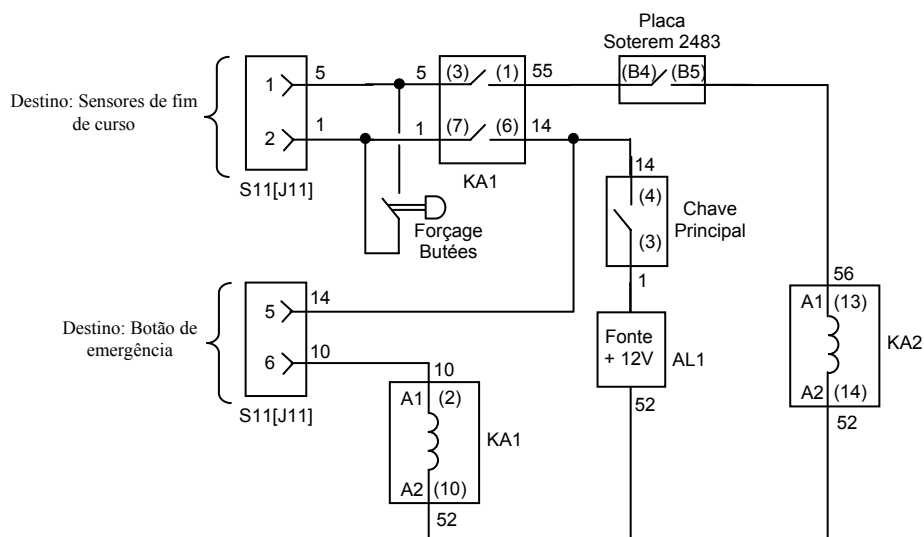


Figura 12: Circuito de comando referente a proteção do módulo de potência.

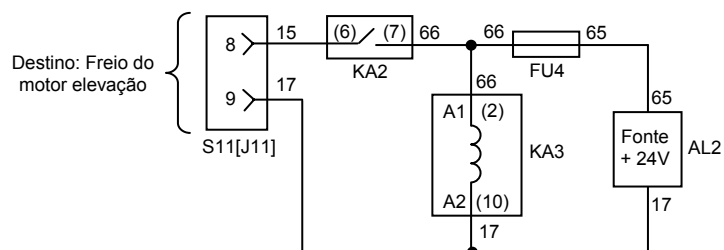


Figura 13: Circuito de comando referente ao freio do motor elevação.

A bobina do relé KA4 é energizada somente quando o botão *test voyants* for pressionado (figura 14), transferindo a alimentação do *led Chauffage* de 48V AC para 5V DC (figura 15). Com isso, seu contato 11-7 é fechado, sinalizando ao módulo de controle que o evento “teste de *leds*” foi solicitado pelo usuário. O computador como resposta, envia comandos para acender todos os *leds* do módulo de comando. Sua ligação com o módulo de controle é realizada através do pino 6, do conector S7, por onde é transmitido o estado do relé KA4.

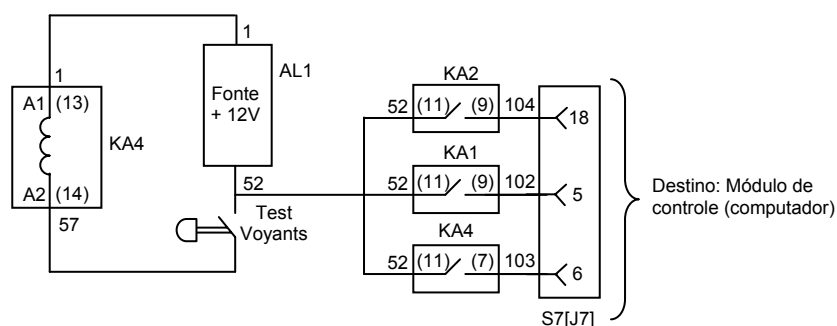


Figura 14: Circuito de comando referente ao evento “teste de *leds*”.

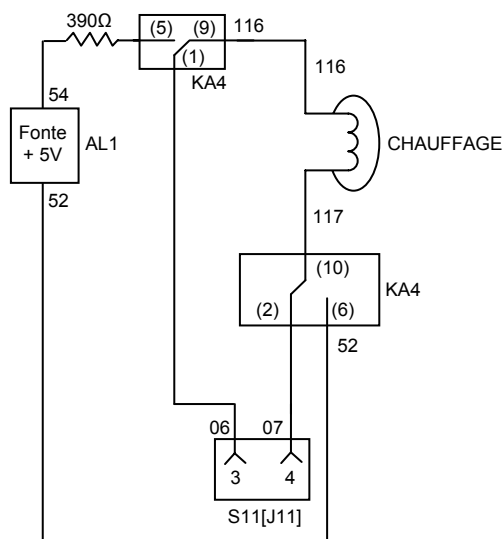


Figura 15: Circuito de comando referente a mudança na alimentação do *led Chauffage*.

Um dos componentes importantes do módulo de comando corresponde à placa SOTEREM 2483. Ela é composta basicamente por dois resistores, um relé, um

transistor e um diodo, dispostos de acordo com o esquema da figura 16. Sua função é permitir o acionamento do módulo de potência através do computador.

Uma das saídas digitais da placa AD/DA é ligada ao pino 23, do conector S7, e satura o transistor da placa 2483, quando seu nível lógico encontra-se em alto (5V). Dessa forma, a bobina do relé AG5013 é energizada, e o contato B4-B5 fechado. Isso possibilita o acionamento do módulo de potência, caso as demais condições sejam satisfeitas (KA1 energizada, por exemplo). Com o nível lógico baixo (0V), o transistor corta e a bobina do relé é desenergizada.

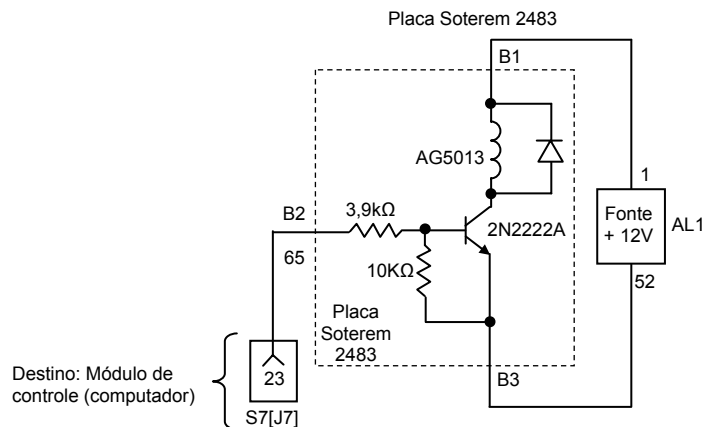


Figura 16: Circuito da placa SOTEREM 2483 dentro do módulo de comando.

2.4 Módulo de controle

Este módulo é composto pelo computador e pela placa conversora AD/DA (PCI 6025E) da *National Instruments*, que dispõe de 32 canais digitais para leitura (*input*) ou escrita (*output*), além de duas saídas analógicas. Dentre os canais digitais, 24 são fornecidos através do CI 82C55 (*Programmable Peripheral Interface - PPI*), dispostos em 3 portas (PA, PB e PC) de 8 canais cada. O *software* que realiza o a supervisão e controle da estação EMM-Natal pertence a este módulo.

CAPÍTULO 3

SOFTWARE DE SUPERVISÃO E CONTROLE

O objetivo principal do *software* de supervisão e controle (SSC) da EMM-Natal é movimentar a antena adequadamente, através das técnicas de controle (algoritmo PI), dentro das posições e horários fornecidos por um arquivo fonte. Para tal é necessário um ajuste nas rotas disponibilizadas em relação ao sistema de referência da antena, pois normalmente existe um *offset* entre ambos.

A utilização da placa AD/DA pelo computador é realizada através das bibliotecas do projeto *Comedi* que em conjunto com as bibliotecas da GNU e *ncurses*, compõem as ferramentas utilizadas na confecção do *software* de supervisão e controle. O *Comedi* é um conjunto de *drives* e bibliotecas para dispositivos de aquisição de dados, com suporte a cerca de 200 placas de diferentes fabricantes.

3.1 Estrutura do programa

O SSC foi desenvolvido utilizando-se *threads* para a execução das diversas tarefas propostas. São cinco as atividades realizadas pelo sistema: **monitoração e registro**, **impressão**, **apontamento**, **rastreio** e **interação com o usuário**. A figura 17 apresenta o esquema de criação das *threads* responsáveis por estas tarefas.

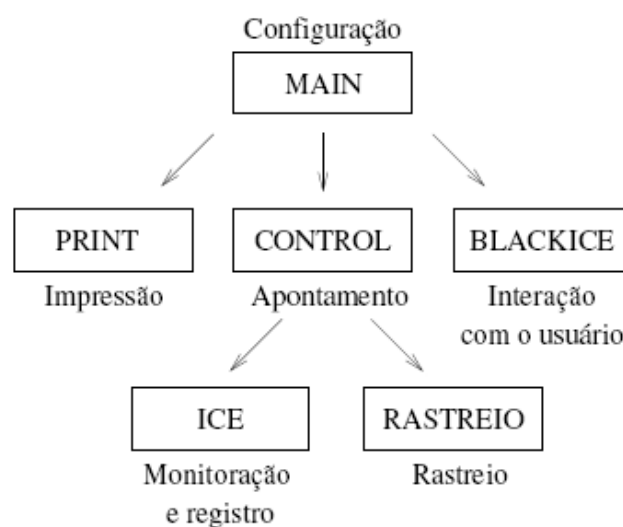


Figura 17: Esquema geral das *threads*

Inicialmente a função *main* faz as devidas configurações nos canais digitais da placa (escrita ou leitura), carrega o arquivo com as posições da antena (referências), e em seguida cria as *threads control*, *print* e *black ICE*. Apesar da *thread black ICE* ter sido criada, está encontra-se inativa no sistema, aguardando um sinal para iniciar suas atividades.

Após o estágio de configuração realizado pela função *main*, a *thread* de impressão passa a mostrar na tela a contagem regressiva para o início da passagem do satélite. Quando restam 60 segundos, a contagem é parada (não é mais exibida na tela) e o módulo de potência é acionado, além do respectivo *LED* que informa essa situação. Na sequência, a *thread* de apontamento (*control*) é criada, e passa a atuar, posicionando a antena no primeiro ponto desejado, de acordo com o arquivo de referências. A partir daí é apresentado ao usuário um conjunto de informações importantes, como a posição atual da antena, o valor dos sinais de controle, os erros para cada posição e as respectivas referências. Também é incluso o valor das partes integrativas de cada sinal de controle, para análise e aperfeiçoamento da técnica de *anti-reset windup*. A figura 18 apresenta um exemplo dessas informações na tela.

```
ELE=29.904364  AZ=100.069277  outvELE=0.044073  outvAZ=0.065797  
IELE=-0.013309  IAZ=-0.024230  erroELE=0.095636  erroAZ=-0.069277  
refELE=30  refAZ=100
```

Figura 18: Saída de dados do algoritmo de rastreamento.

Quando restam 10 segundos para a passagem do satélite, a *thread* de apontamento cria a *thread* de rastreamento, e em seguida se finaliza. As informações da figura 18 continuam a serem exibidas na tela, porém a uma taxa menor do que antes, em virtude do período de amostragem ser maior (1s) nesta fase.

A monitoração da estação EMM-Natal em relação a eventos inesperados é de responsabilidade da *thread ICE* (*Invasion Counter Electronics*). Os eventos previstos por este subsistema são: fim de curso acionado, botão de emergência acionado, teste de *LEDs* solicitado pelo usuário, e inversor ELEVACAO e/ou AZIMUTE com defeito ou desligado. Quando esta *thread* detecta que um desses eventos ocorreu, ela cancela a *thread* responsável pela impressão (*print*), a *thread* de apontamento (*control*), a *thread* de rastreamento (*rastreio*), e em seguida aciona o(s) *LED(s)* do módulo de comando referente ao evento ocorrido. Com isso, a rotina ICE ativa a *thread blackICE*, que será

encarregada de interagir com o usuário, informando a situação atual do sistema. Em seguida a *ICE* é finalizada. A figura 19 apresenta esta situação.

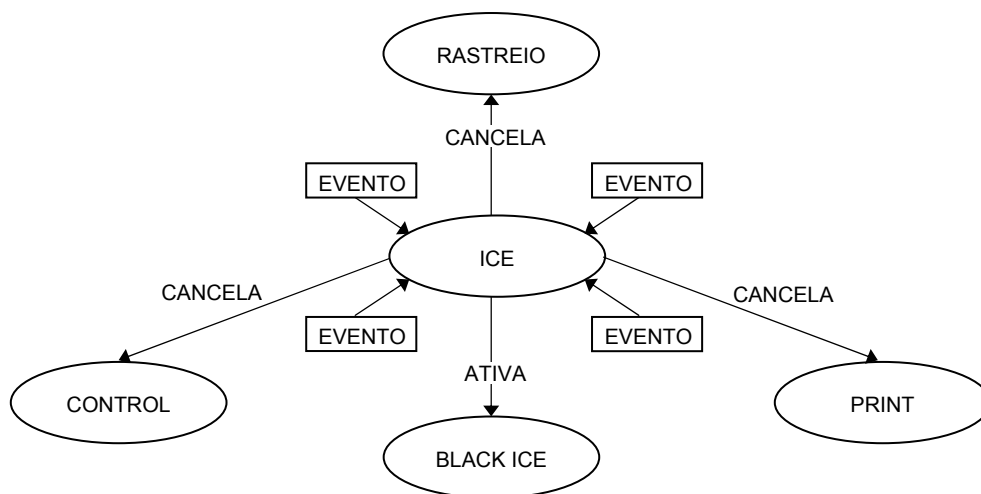


Figura 19: Esquema de ativação da *thread ICE*.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS OBTIDOS

As figuras 20, 21 e 22 apresentam respectivamente a referência, o erro, e o sinal de controle para o eixo azimuth, enquanto 23, 24 e 25, para o eixo elevação, todas referentes a uma passagem do satélite SCD-2. Observa-se que o erro entre a saída da planta e a referência é pequeno e está dentro das especificações de projeto (erro máximo permitido: 3 graus), não prejudicando a recepção de dados pela antena, apesar dos parâmetros do controlador ajustados empiricamente. Os maiores erros são observados em momentos em que a referência, dentro de um pequeno intervalo de tempo (ver figura 21, tempo 400 segundos), muda rapidamente.

A inclusão da parte derivativa no controlador digital deve reduzir esse erro, mas pode gerar picos no sinal de controle, em virtude da referência ser constante por partes (constante a cada intervalo de amostragem). Dessa forma, o controlador digital deverá ter uma estrutura PI-D, onde a parte derivativa não pertence ao canal direto, e consequentemente não atua mais no erro entre a saída da planta e a referência.

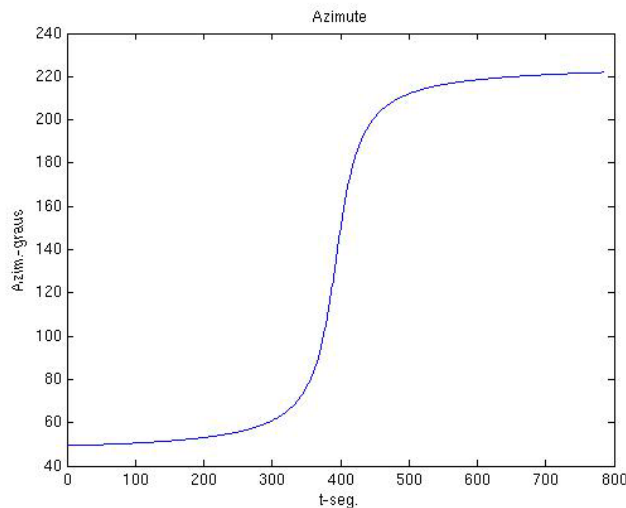


Figura 20: Referência para o eixo azimuth.

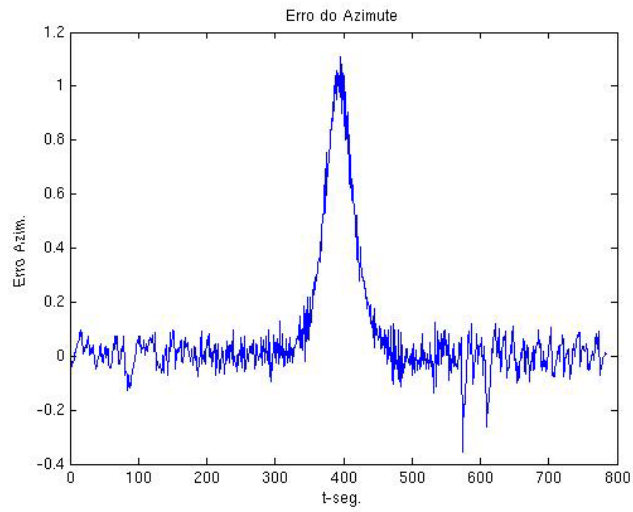


Figura 21: Erro para o eixo azimute.

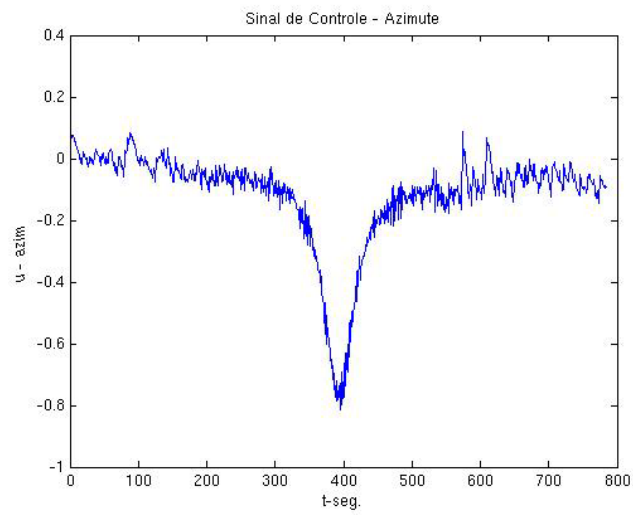


Figura 22: Sinal de controle para o eixo azimute.

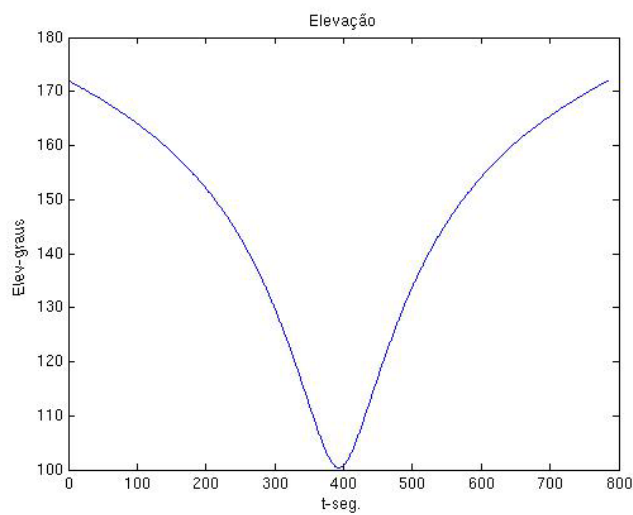


Figura 23: Referência para o eixo elevação.

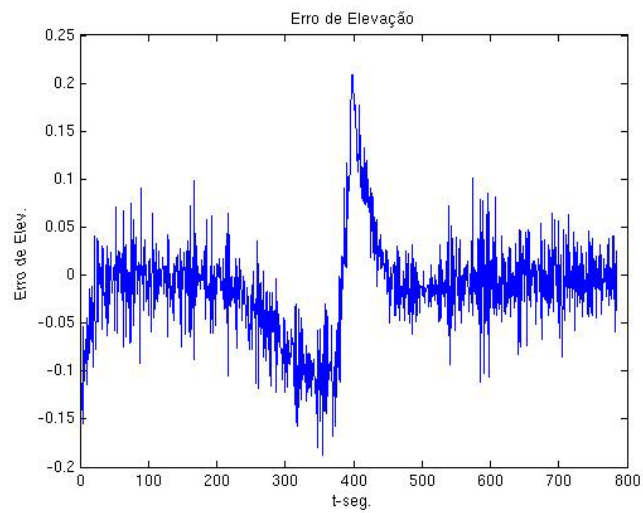


Figura 24: Erro para o eixo elevação.

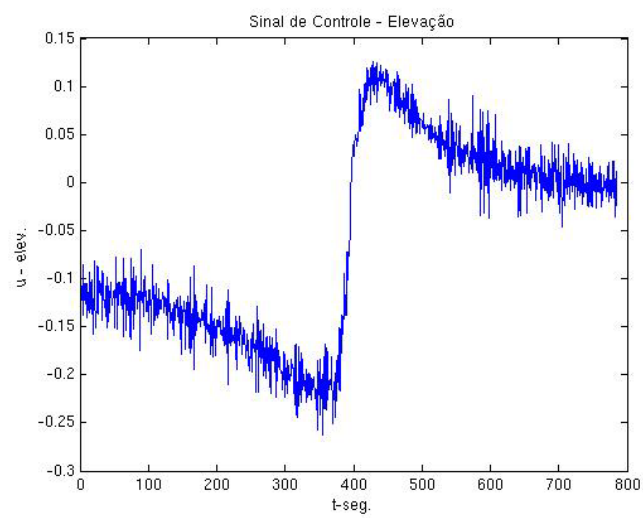


Figura 25: Sinal de controle para o eixo elevação.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o subsistema de controle e rastreo (SCR) da EMM-Natal. Algumas modificações são ainda necessárias, como a inclusão da parte derivativa no controlador e a modelagem da planta. Técnicas mais avançadas de controle também deverão ser testadas, dentre elas, o Controle Adaptativo por Modelo de Referência (MRAC), ou por Modelo de Referência e Estrutura Variável (VS-MRAC).

O próximo passo do projeto está centrado na apresentação da solução completa para a estação, com a finalidade de torná-la operacional aos demais funcionários da instituição. Dessa forma será especificada uma interface gráfica para o sistema, com o objetivo de contratar uma empresa especializada na confecção de *softwares* comerciais.

O projeto desta estação é de caráter multidisciplinar, abrangendo áreas como sistemas de controle, acionamento de máquinas, *softwares* livre, instrumentação, eletrônica digital, etc. Sua realização é fruto da cooperação entre o INPE e a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), no desenvolvimento de novas tecnologias na área aeroespacial.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Tocci, Ronald J., Widmer, Neal S., *Sistemas Digitais Princípios e Aplicações*, sétima edição, LTC, 2000.
- [2] Dorf, Richard C. , Bishop , Robert H., *Sistemas de controle modernos*, oitava edição, LTC, 2001.
- [3] Ogata, K., *Engenharia de controle moderno*, terceira edição, Prentice Hall, 1997.
- [4] Nise, Norman S., *Engenharia de Sistemas de Controle*, terceira edição, LTC, 2002.
- [5] Satry, S., *Adaptive control: stability, convergence and robustness*, Prentice Hall, 1989.
- [6] Ioannou, Petros A., Sun, J., *Robust adaptive control*, 1996, Prentice Hall.
- [7] Leroy Somer SMV UM Moteur autosynchrones – catalogue technique;
- [8] Leroy Somer UMV 4301 – Variateur de vitesse pour moteur asynchrones avec et sans retour et pour moteurs autosynchrones – installation et maintenance;
- [9] Leroy Somer UMV 4301 – Variateur de vitesse pour moteur asynchrones avec et sans retour et pour moteurs autosynchrones – Paramétrage et synoptiques;
- [10] GESPAC - Dual Parallel Interface Modulo (2x16 I/O) : GESPIA 2A & 2AW;
- [11] RDC-19220 & RD-19230 -Series Converters - Applications Manual MN-19220XX;
- [12] SYNCHRO/RESOLVER CONVERSION HANDBOOK;
- [13] S-band small satellite ground station description for SACI, 29/08/1997;
- [14] Nomenclature de maintenance de la station SOL SACI;
- [15] Notice technique positionneur SACI – SREM – 2639 – TN-0001, 10/09/1997;
- [16] Notice technique abaisseur 2255.2 MHz/70 MHz, 16/07/1997;
- [17] Amplificateur lineaire 2 GHz/50W, Référence: M20.40.70BR