



**DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTAÇÃO TERRENA (ET)  
PARA O NANOSATÉLITE CIENTÍFICO BRASILEIRO -  
NANOSATC-BR**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
PIBIC/INPE – CNPq/MCT**

PROCESSO Nº: 108616/2009-6

**Igor Freitas Fagundes - Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT**  
**Laboratório de Radiofrequência e Comunicações**  
**LRC/CRS/CCR/INPE – MCT**  
**Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais**  
**CRS/CCR/INPE – MCT**  
E-mail: igorfreitas@lacesm.ufsm.br

**Dr. Pawel Rozenfeld - Orientador**  
**Centro de Rastreamento e Controle de Satélites**  
**CRC/INPE – MCT**  
**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**  
**INPE - MCT**  
E-mail: pawel@ccs.inpe.br

**Santa Maria, junho de 2010.**



**RELATÓRIO FINAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO  
PROGRAMA: PIBIC/INPE - CNPq/MCT**

**PROJETO**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTAÇÃO TERRENA (ET)  
PARA O NANO-SATÉLITE CIENTÍFICO BRASILEIRO -  
NANOSATC-BR**

**PROCESSO Nº: 108616/2009-6**

**Relatório elaborado por:**

**Igor Freitas Fagundes - Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT**

E-mail: igorfreitas@lacesm.ufsm.br

**Dr. Pawel Rozenfeld – Orientador**

**Centro de Rastreo e Controle de Satélites – CRC/INPE – MCT**

E-mail: pawel@ccs.inpe.br

**Dr. Nelson Jorge Schuch - Co-orientador**

**Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais**

**CRS/CCR/INPE – MCT**

E-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br

**Prof. Dr. Natanael Rodrigues Gomes - Co-orientador**

**Depto. Eletrônica e Computação - DELC/CT-UFSM**

**Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria -**

**LACESM/CT - UFSM**

E-mail: natanael@lacesm.ufsm.br



## **DADOS DE IDENTIFICAÇÃO**

**Projeto: DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTAÇÃO TERRENA (ET)  
PARA O NANOSATÉLITE CIENTÍFICO BRASILEIRO - NANOSATC-BR**

**Processo CNPq Nº: 108616/2009-6**

**Bolsista:**

**Igor Freitas Fagundes**

Curso de Engenharia Elétrica - Centro de Tecnologia – CT/UFSM

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM.

**Orientador:**

**Dr. Pawel Rozenfeld**

Centro de Rastreamento e Controle de Satélites – CRC/INPE – MCT.

**Co-orientador:**

**Dr. Nelson Jorge Schuch**

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE – MCT.

**Co-orientador:**

**Prof. Dr. Natanael Rodrigues Gomes**

Depto. Eletrônica e Computação – DELC/CT – UFSM e Pesquisador do  
Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT – UFSM.

**Colaboradores/Acadêmicos:**

Guilherme Simon da Rosa, Fernando Landerdahl Alves, Tardelli Ronan Coelho Stekel, Lucas Lopes Costa, Lucas Antunes Tambara, William do Nascimento Guareschi. Alunos da Universidade Federal de Santa Maria que desenvolvem programas de Iniciação Científica no CRS/CCR/INPE – MCT.



**Local de Trabalho/Execução do projeto:**

**Laboratório de Radiofrequência e Comunicações – LRC/CRS/CCR/INPE – MCT.**

**Observatório Espacial do Sul – OES/CCR/INPE – MCT.**

Projeto executado no âmbito da parceria INPE/MCT – UFSM, através do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT – UFSM.



## Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



### Grupo de Pesquisa Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br



#### Identificação

#### Recursos Humanos

#### Linhas de Pesquisa

#### Indicadores do Grupo

#### Identificação

##### Dados básicos

**Nome do grupo:** Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br

**Status do grupo:** **certificado pela instituição**

**Ano de formação:** 1996

**Data da última atualização:** 29/05/2010 18:15

**Líder(es) do grupo:** Nelson Jorge Schuch  
Natanael Rodrigues Gomes

**Área predominante:** Ciências Exatas e da Terra; Geociências

**Instituição:** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

**Órgão:** Coordenação de Gestão Científica - CIE

**Unidade:** Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS

#### Endereço

**Logradouro:** Caixa Postal 5021

**Bairro:** Camobi

**Cidade:** Santa Maria

**Telefone:** 33012026

**CEP:** 97110970

**UF:** RS

**Fax:** 33012030

**Home page:** http://

#### Repercussões dos trabalhos do grupo

O Grupo - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS, GEOMAGNETISMO:INTERAÇÃO TERRA-SOL do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/INPE-MCT, em Santa Maria, e Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/INPE - MCT, Lat. 29°26'24"S, Long. 53°48'38"W, Alt. 488m, em São Martinho da Serra, RS, criado por Nelson Jorge Schuch em 1996, colabora com pesquisadores da: UFSM (CT-LACESM), INPE, CRAAM-Universidade P. Mackenzie, IAG/USP, OV/ON, DPD/UNIVAP e SEFET/GO, no Brasil e internacionais do: Japão (Universidades: Shinshu, Nagoya, Kyushu, Takushoku e National Institute of Polar Research), EUA ((Bartol Research Institute/University of Delaware e NASA (Jet Propulsion Laboratory e Goddard Space Flight Center)), Alemanha (University of Greifswald e Max Planck Institute for Solar System Research), Austrália (Australian Government Antarctic Division e University of Tasmania), Armênia (Alikhanyan Physics Institute) e Kuwait (Kuwait University). Linhas de Pesquisas: MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO, AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA, NANOSATC-BR. Áreas de interesse: Heliosfera, Física Solar, Meio Interplanetário, Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo, Aeronomia, Ionosferas, Aeroluminescência, Raios Cósmicos, Muons, Pequenos Satélites Científicos. Objetivos: Pesquisar o acoplamento energético na Heliosfera, mecanismos de geração de energia no Sol, Vento Solar, sua propagação no Meio Interplanetário, acoplamento com as magnetosferas planetárias, no Geoespaço com a ionosfera e a Atmosfera Superior, previsão de ocorrência de tempestades magnéticas e das intensas correntes



induzidas na superfície da Terra, Eletricidade Atmosférica e seus Eventos Luminosos Transientes (TLEs). As Pesquisas base de dados de sondas no Espaço Interplanetário e dentro de magnetosferas planetárias, e de modelos computacionais físicos e estatísticos. Vice-Líderes: Alisson Dal Lago, Nalin Babulau Trivedi, Otávio Santos Cupertino Durão, Natanael Rodrigues Gomes.

<b>Recursos humanos</b>	
<b>Pesquisadores</b>	<b>Total: 46</b>
<a href="#">Ademar Michels</a>	<a href="#">Jean Pierre Raulin</a>
<a href="#">Alan Prestes</a>	<a href="#">Joao Paulo Minussi</a>
<a href="#">Alicia Luisa Clúa de Gonzalez</a>	<a href="#">Jose Humberto Andrade Sobral</a>
<a href="#">Alisson Dal Lago</a>	<a href="#">Juliano Moro</a>
<a href="#">Antonio Claret Palerosi</a>	<a href="#">Lucas Ramos Vieira</a>
<a href="#">Barclay Robert Clemesha</a>	<a href="#">Mangalathayil Ali Abdu</a>
<a href="#">Caitano Luiz da Silva</a>	<a href="#">Marcelo Barcellos da Rosa</a>
<a href="#">Carlos Roberto Braga</a>	<a href="#">Marco Ivan Rodrigues Sampaio</a>
<a href="#">Cassio Espindola Antunes</a>	<a href="#">Marcos Vinicius Dias Silveira</a>
<a href="#">Clezio Marcos De Nardin</a>	<a href="#">Nalin Babulau Trivedi</a>
<a href="#">Cristiano Max Wrasse</a>	<a href="#">Natanael Rodrigues Gomes</a>
<a href="#">Cristiano Sarzi Machado</a>	<a href="#">Nelson Jorge Schuch</a>
<a href="#">Delano Gobbi</a>	<a href="#">Nivaor Rodolfo Rigozo</a>
<a href="#">Eurico Rodrigues de Paula</a>	<a href="#">Odim Mendes Junior</a>
<a href="#">Ezequiel Echer</a>	<a href="#">Osmar Pinto Junior</a>
<a href="#">Fabiano Luis de Sousa</a>	<a href="#">Otavio Santos Cupertino Durão</a>
<a href="#">Fábio Augusto Vargas dos Santos</a>	<a href="#">Pawel Rozenfeld</a>
<a href="#">Fernanda de São Sabbas Tavares</a>	<a href="#">Petrônio Noronha de Souza</a>
<a href="#">Fernando Luís Guarnieri</a>	<a href="#">Polinaya Muralikrishna</a>
<a href="#">Gelson Lauro Dal' Forno</a>	<a href="#">Rafael Lopes Costa</a>
<a href="#">Hisao Takahashi</a>	<a href="#">Rajaram Purushottam Kane</a>
<a href="#">Ijar Milagre da Fonseca</a>	<a href="#">Severino Luiz Guimaraes Dutra</a>
<a href="#">Jean Carlo Santos</a>	<a href="#">Walter Demetrio Gonzalez Alarcon</a>
<b>Estudantes</b>	<b>Total: 22</b>
<a href="#">Carlos Pinto da Silva Neto</a>	<a href="#">Igor Freitas Fagundes</a>
<a href="#">Cássio Rodinei dos Santos</a>	<a href="#">Lucas Antunes Tambara</a>
<a href="#">Claudio Machado Paulo</a>	<a href="#">Lucas Lopes Costa</a>
<a href="#">Dimas Irion Alves</a>	<a href="#">Lucas Lourencena Caldas Franke</a>
<a href="#">Edson Rodrigo Thomas</a>	<a href="#">Luciano Homercher Dalsasso</a>
<a href="#">Eduardo Escobar Bürger</a>	<a href="#">Nikolas Kemmerich</a>
<a href="#">Eduardo Weide Luiz</a>	<a href="#">Rubens Zolar Gehlen Bohrer</a>
<a href="#">Felipe Cipriani Luzzi</a>	<a href="#">Tardelli Ronan Coelho Stekel</a>
<a href="#">Fernando de Souza Savian</a>	<a href="#">Thalis José Girardi</a>
<a href="#">Guilherme Grams</a>	<a href="#">William do Nascimento Guareschi</a>
<a href="#">Guilherme Simon da Rosa</a>	<a href="#">Willian Rigon Silva</a>
<b>Técnicos</b>	<b>Total: 2</b>
Fernando Sobroza Pedroso - Graduação - \Outra Função	
Henrique Sobroza Pedroso - Graduação - Analista de Sistemas	



---

Linhas de pesquisa	Total: 4
<ul style="list-style-type: none"><li>• <a href="#">AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA</a></li><li>• <a href="#">Desenvolvimento de CubeSats - NANOSATC-BR</a></li><li>• <a href="#">MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO</a></li><li>• <a href="#">MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL</a></li></ul>	

---

Relações com o setor produtivo	Total: 0
--------------------------------	----------

---

Indicadores de recursos humanos do grupo	
Integrantes do grupo	Total
Pesquisador(es)	46
Estudante(s)	22
Técnico(s)	2



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



Linha de Pesquisa  
**Desenvolvimento de CubeSats - NANOSATC-BR**

Linha de pesquisa

Desenvolvimento de CubeSats - NANOSATC-BR

**Nome do grupo:** [Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br](#)

**Palavras-chave:** CubeSats; Desenvolvimento de Engenharias - Tecnologias; Miniaturização; Nanosatélites; Nanotecnologia; Pesquisa do Geoespaço;

**Pesquisadores:**

[Ademar Michels](#)  
[Alicia Luisa Clúa de Gonzalez](#)  
[Alisson Dal Lago](#)  
[Antonio Claret Palerosi](#)  
[Cassio Espindola Antunes](#)  
[Clezio Marcos De Nardin](#)  
[Cristiano Sarzi Machado](#)  
[Ezequiel Echer](#)  
[Fabiano Luis de Sousa](#)  
[Fernando Luís Guarnieri](#)  
[Ijar Milagre da Fonseca](#)  
[Jean Pierre Raulin](#)  
[Jose Humberto Andrade Sobral](#)  
[Lucas Ramos Vieira](#)  
[Nalin Babulal Trivedi](#)  
[Natanael Rodrigues Gomes](#)  
[Nelson Jorge Schuch](#)  
[Nivaor Rodolfo Rigozo](#)  
[Odim Mendes Junior](#)  
[Otavio Santos Cupertino Durão](#)  
[Pawel Rozenfeld](#)  
[Petrônio Noronha de Souza](#)  
[Rafael Lopes Costa](#)  
[Severino Luiz Guimaraes Dutra](#)  
[Walter Demetrio Gonzalez Alarcon](#)

**Estudantes:**

[Dimas Irion Alves](#)  
[Eduardo Escobar Bürger](#)  
[Fernando de Souza Savian](#)  
[Guilherme Grams](#)  
[Guilherme Simon da Rosa](#)  
[Igor Freitas Fagundes](#)  
[Lucas Antunes Tambara](#)  
[Lucas Lopes Costa](#)  
[Lucas Lourencena Caldas Franke](#)  
[Nikolas Kemmerich](#)  
[Rubens Zolar Gehlen Bohrer](#)  
[Tardelli Ronan Coelho Stekel](#)  
[William do Nascimento Guareschi](#)  
[Willian Rigon Silva](#)





**Árvore do conhecimento:**

Ciências Exatas e da Terra; Astronomia; Astrofísica do Sistema Solar;  
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Instrumentação Científica;  
Engenharias; Engenharia Aeroespacial; Engenharia Aeroespacial - Pequenos Satélites;

**Setores de aplicação:**

Aeronáutica e Espaço

**Objetivo:**

Pesquisas: Geoespaço e em Engenharias/Tecnologias: eletrônica, comunicações, mecânica, lançamento de pequenos satélites científico universitário - iniciação científica: CubeSat (100g-1Kg, 10x10x10cm), Nanosatélite (1Kg-10Kg); Carga útil: magnetômetro e detector de partículas; Desenvolvimentos: estrutura mecânica, computador-bordo, programas, estação terrena, testes/integração, sub-sistemas: potencia, propulsão, telemetria, controle: atitude, térmico, Vice-Líder: Otávio Santos Cupertino Durão



## **AGRADECIMENTOS**

Meus sinceros agradecimentos: (i) aos funcionários, servidores do CRS/CCR/INPE – MCT e do LACESM/CT – UFSM pelo apoio e pela infra-estrutura disponibilizada; (ii) ao Programa PIBIC/INPE - CNPq/MCT pela aprovação do Projeto de Pesquisa, que me permitiu dar os primeiros passos na iniciação científica e tecnológica, propiciando grande crescimento profissional; (iii) ao Coordenador Dr. José Carlos Becceneri e a Sra. Egídia Inácio da Rosa, Secretária do Programa PIBIC/INPE - CNPq/MCT, pelo constante apoio, alertas e sua incansável preocupação com toda a burocracia e datas limites do Programa para com os bolsistas de I. C. & T do CRS/CCR/INPE - MCT.

Agradeço ao meu orientador Dr. Pawel Rozenfeld e aos meus co-orientadores Dr. Nelson Jorge Schuch e Prof. Dr. Natanael Rodrigues Gomes pelo apoio técnico e incentivo para o desenvolvimento do Projeto de Pesquisa. Ainda gostaria de agradecer ao colega de laboratório Guilherme Simon da Rosa e demais alunos de Iniciação Científica pelas sugestões durante o desenvolvimento das atividades. Por fim, gostaria de agradecer aos radioamadores da região de Santa Maria, em especial ao radioamador Lauro Alves (PY3LA) por sugestões que contribuíram para o andamento do projeto.



## RESUMO

O Projeto de Pesquisa tem como objetivo definir a arquitetura para implementação da Estação Terrena de Rastreo e Controle (ET) para o Nanosatélite Científico Brasileiro (NanosatC-Br). A ET deverá ser instalada na sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRS/CCR/INPE – MCT), em Santa Maria, RS. Das informações do subsistema de comunicação de bordo do nanosatélite foram especificadas as principais características técnicas para ET do NanosatC-Br. Foram avaliadas duas soluções para implementação da ET: a primeira é a integração de uma ET completa adquirida de empresa especializada; a segunda é o emprego de equipamentos utilizados por radioamadores que serão integrados em laboratório de acordo com as especificações de projeto. Para a primeira solução foi avaliada a *Ground Station UHF/VHF/S-BAND*, com bandas de frequências: 144 – 146 MHz, 430 – 440 MHz, 2400 – 2402 MHz, produzida pela empresa Holandesa *Innovative Solutions In Space* (ISIS), a qual apresenta compatibilidade com o subsistema de comunicação de bordo por se tratar da mesma fornecedora, portanto, incluindo as bandas de frequências de radioamadores. Para a segunda solução foram especificados as antenas (UHF e VHF), o rotor e o rádio transceptor com as respectivas interfaces de controle por computador e aplicativos de rastreo de satélites. Solução que corresponde a uma arquitetura básica, pois não compreende a especificação de equipamentos para processamento de dados. Em razão da indisponibilidade dos equipamentos para implementação da ET e execução de testes de aceitação foram desenvolvidas atividades complementares. Foram desenvolvidas atividades de integração e testes dos equipamentos da *Professional HRPT SMART Station*, para a qual algumas imagens dos satélites NOAA poderão ser obtidas. Os testes e a especificação dos equipamentos contaram com a participação e colaboração de radioamadores da região de Santa Maria, permitindo troca de experiências e conhecimentos práticos referentes à radiofrequência.



## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>17</b>
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>19</b>
<b>REQUISITOS DA ESTAÇÃO TERRENA DE RASTREIO E CONTROLE DO PROJETO NANOSATC-BR</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1 Introdução</b> .....	<b>19</b>
<b>2.2 Missão NanosatC-Br- Clima Espacial</b> .....	<b>19</b>
<b>2.3 Subsistema de Comunicação de Bordo do NanosatC-Br</b> .....	<b>21</b>
2.3.1 Rádio Transceptor .....	21
2.3.2 Antenas de Bordo .....	23
<b>2.4 Características da Estação Terrena do NanosatC-Br</b> .....	<b>24</b>
<b>2.5 Estação Terrena UHF/VHF/S-BAND ISIS</b> .....	<b>26</b>
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>29</b>
<b>EQUIPAMENTO PARA CONSTRUÇÃO DE UMA ESTAÇÃO TERRENA DE RASTREIO DE SATÉLITES</b> .....	<b>29</b>
<b>3.1 Introdução</b> .....	<b>29</b>
<b>3.2 Especificação das Antenas</b> .....	<b>29</b>
3.2.1 Arranjos de Antenas Yagi-Uda Lineares .....	30
3.2.2 Arranjo de Antenas Yagi-Uda Cruzadas .....	39
<b>3.3 Especificação do Rotor</b> .....	<b>42</b>
<b>3.4 Especificação do Rádio Transceptor</b> .....	<b>48</b>
<b>3.5 Arquitetura da Estação Terrena do Projeto NanosatC-Br</b> .....	<b>53</b>
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>55</b>
<b>PROFESSIONAL HRPT SMART STATION</b> .....	<b>55</b>
<b>4.1 Introdução</b> .....	<b>55</b>
<b>4.2 Descrições dos Equipamentos e Aplicativos</b> .....	<b>55</b>
<b>4.3 Descrições das Atividades Desenvolvidas</b> .....	<b>57</b>
<b>4.4 Resultados Preliminares Obtidos</b> .....	<b>62</b>



<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>64</b>
<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>64</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>66</b>
<b>ANEXO A</b> .....	<b>68</b>
<b>ANEXO B</b> .....	<b>72</b>
<b>ANEXO C</b> .....	<b>73</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Representação visual do NanosatC-Br fornecida pela empresa holandesa ISIS .....	20
Figura 2.2 – Transceptor TRXUV1200A desenvolvido pela empresa ISIS .....	22
Figura 2.3 – Antenas do tipo fita para as faixas VHF e UHF desenvolvidas pela empresa ISIS.....	23
Figura 2.4 – Distribuição das antenas da Estação Terrena de Comunicação desenvolvidas pela empresa ISIS.....	28
Figura 3.1 – Características da antena Yagi-Uda de 7 elementos modelo 2M7 .....	31
Figura 3.2 – Características da antena Yagi-Uda de 12 elementos K1FO.....	31
Figura 3.3 – Características da antena Yagi-Uda de 12 elementos obtidas através do aplicativo MMANA-GAL utilizando como alimentador dipolo simples.....	33
Figura 3.4 – Diagramas de radiação da antena Yagi-Uda de 12 elementos obtidas através do aplicativo 4-NEC2 utilizando como alimentador dipolo simples .....	34
Figura 3.5 – Características da antena Yagi-Uda de 12 elementos obtidas através do aplicativo MMANA-GAL utilizando como alimentador dipolo dobrado.....	35
Figura 3.6 – Diagramas de radiação da antena Yagi-Uda de 12 elementos obtidas através do aplicativo 4-NEC2 utilizando como alimentador dipolo dobrado .....	35
Figura 3.7 – Características da antena Yagi-Uda de 10 elementos do Projeto Radioastronomia obtidas através do aplicativo MMANA-GAL para o alimentador dipolo simples.....	37
Figura 3.8 – Diagramas de radiação da antena Yagi-Uda de 10 elementos do Projeto Radioastronomia obtidas através do aplicativo 4NEC2 para o alimentador dipolo simples.....	37
Figura 3.9 – Características da antena Yagi-Uda de 10 elementos do Projeto Radioastronomia obtidas através do aplicativo MMANA-GAL para o alimentador dipolo dobrado.....	38
Figura 3.10 – Diagramas de irradiação da antena Yagi-Uda de 10 elementos do Projeto Radioastronomia obtidas através do aplicativo 4NEC2 para o alimentador dipolo dobrado.....	39
Figura 3.11 – Combinação de duas ondas linearmente polarizadas vertical e horizontal defasadas de 90° para obtenção de polarização circular.....	40
Figura 3.12 – Circuito para conexão de antenas lineares cruzadas para obtenção de polarização circular	40
Figura 3.13 – Balun 1:1 de núcleo de ferrite para conexão entre a antena e o cabo coaxial .....	41
Figura 3.14 – Dimensões dos seguimentos de linha $l_1$ e $l_2$ do estube simples projetado para casamento de impedância da antena do Projeto Radioastronomia.....	42
Figura 3.15 – Ilustração do aplicativo de determinação de órbitas e rastreamento de satélites Orbitron 3.71....	43
Figura 3.16 – Ilustração do aplicativo de determinação de órbitas Orbitron 3.71 e do drive WispDEE....	44
Figura 3.17 – Rotor G-5500 e a interface de controle por computador GS-232 da YAESU.....	45
Figura 3.18 – Montagem e instalação do Rotor G-5500 da YAESU.....	46



Figura 3.19 – Conexões de controle e potência do Rotor G-5500 e a Interface de Controle por Computador GS-232 da YAESU.....	48
Figura 3.20 – Variação da distância do NanosatC-Br a Estação Terrena em função do ângulo de elevação das antenas da ET .....	50
Figura 3.21 – Nível de potência recebida na Estação Terrena do NanosatC-Br em função do ângulo de elevação das antenas da ET .....	50
Figura 3.22 – Cálculo de enlace de comunicação de <i>downlink</i> e <i>uplink</i> para especificação do rádio transceptor da Estação Terrena do projeto NanosatC-Br.....	51
Figura 3.23 – Rádio transceptor Icom IC-910H e interface de comunicação CI-V CT-17 para Estação Terrena do projeto NanosatC-Br .....	52
Figura 3.24 – Arquitetura básica para Estação Terrena do projeto NanosatC-Br.....	54
Figura 4.1 – Dimensões da <i>Professional HRPT SMART Station</i> .....	55
Figura 4.2 – Informações Técnicas da Antena e LNA da <i>Professional HRPT SMART Station</i> .....	56
Figura 4.3 – Informações Técnicas do Receptor da <i>Professional HRPT SMART Station</i> .....	57
Figura 4.4 – Sistemas da <i>Professional HRPT SMART Station</i> (Conjunto 1).....	58
Figura 4.5 – Sistemas da <i>Professional HRPT SMART Station</i> (Conjunto 2).....	58
Figura 4.6 – Antena da <i>Professional HRPT SMART Station</i> Instalada no CEPSRM.....	59
Figura 4.7 – Conectores DB-9 fêmea e 7-PIN fêmea .....	59
Figura 4.8 – Antena da <i>Professional HRPT SMART Station</i> Instalada para Testes no CRS/CCR/INPE ...	62
Figura 4.9 – Imagem do CH2 do NOA 15 capturado durante o Processo de Alinhamento da <i>Professional HRPT SMART Station</i> Instalada para Testes no CRS/CCR/INPE.....	63
Figura A.1 – Dados para o projeto de antenas Yagi-Uda mostrando a relação entre a razão do diâmetro do elemento pelo comprimento de onda $\lambda$ e o comprimento do elemento para diferentes antenas .....	70
Figura A.2 – Gráfico mostrando o efeito do diâmetro do suporte no comprimento dos elementos .....	71
Figura B.1 – Características da antena Yagi-Uda cruzada de 8 elementos do radioamador PY2BSS obtidas através do aplicativo MMANA-GAL.....	72



## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Parâmetros Iniciais da Estação Terrena de Rastreo e Controle de Satélites do Projeto NanosatC-Br – Clima Espacial.....	25
Tabela 3.1 – Antenas Yagi-Uda desenvolvidas pelo radioamador PY2NI.....	30
Tabela 3.2 – Dimensões de uma antena Yagi-Uda de 12 elementos .....	32
Tabela 3.3 – Dimensões da antena Yagi-Uda de 10 elementos do Projeto Radioastronomia .....	36
Tabela 3.4 – Especificações do Rotor de Azimute e Elevação G-5500 da YAESU.....	47
Tabela 3.4 – Especificações da Interface de Controle por Computador GS-232 da YAESU.....	47
Tabela 3.5 – Especificações do Rádio Transceptor IC-910H da ICOM.....	53
Tabela 4.1 – Conexões diretas entre os conectores DB-9 e 7-PIN .....	60
Tabela 4.2 – Configuração das portas seriais e equipamentos conectados a Estação de Trabalho.....	61
Tabela A.1 – Comprimentos otimizados para os elementos de antena Yagi-Uda de seis comprimentos diferentes .....	69
Tabela B.1 – Dimensões da antena Yagi-Uda de 8 elementos do Radioamador PY2BSS.....	72





## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUÇÃO**

O Relatório tem por objetivo apresentar as atividades desenvolvidas e os resultados obtidos entre Agosto de 2009 e Junho de 2010 do Projeto de Iniciação Científica intitulado “Desenvolvimento de uma Estação Terrena (ET) para o Nanosatélite Científico Brasileiro – NanosatC-Br”. A partir deste projeto busca-se estabelecer as opções e arquiteturas para implementação de uma ET de rastreamento e controle de pequenos satélites, com o objetivo primário de estabelecer o enlace de comunicação com o nanosatélite do Projeto NanosatC-Br.

A Estação Terrena de Rastreamento e Controle do NanosatC-Br (ET) será implementada na sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRS/CCR/INPE – MCT), em colaboração com o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria (LACESM/CT – UFSM). A implementação desta ET têm o objetivo secundário de possibilitar o rastreamento de outros satélites que operam nas faixas de frequência VHF e UHF de radioamadores, tais como projetos de CubeSats de outras Universidades, proporcionando intercâmbio de experiências entre alunos de iniciação científica e radioamadores.

O Relatório está organizado em 5 Capítulos que buscam apresentar os resultados obtidos e as arquiteturas propostas, bem como os equipamentos para a implementação da ET do Projeto NanosatC-Br. No Capítulo 2 são apresentados os principais requisitos da ET de Rastreamento e Controle do NanosatC-Br em função das especificações iniciais do subsistema de comunicação de bordo do CubeSat. Ainda no Capítulo 2 é avaliada uma solução comercial importada para implementação da ET. No Capítulo 3 é avaliada a integração em laboratório de soluções comerciais a partir da especificação dos equipamentos principais (antenas, rotor e rádio transceptor) para a implementação de uma ET composta por equipamentos utilizados por radioamadores. No final do Capítulo 3 é apresentada uma proposta de arquitetura para a ET a ser implementada, sendo esta uma arquitetura básica, pois não compreende os equipamentos de processamento de



sinais de telemetria. No Capítulo 4 são apresentados os resultados parciais obtidos através de testes dos sistemas da *Professional HRPT SMART Station*, a qual esta sendo reestruturada e será capaz de receber imagens dos satélites NOAA. Por fim no Capítulo 5 são feitas as conclusões das etapas finalizadas e são apresentadas sugestões para a sequência do Projeto de Pesquisa.



## **CAPÍTULO 2**

### **REQUISITOS DA ESTAÇÃO TERRENA DE RASTREIO E CONTROLE DO PROJETO NANOSATC-BR**

#### **2.1 INTRODUÇÃO**

O capítulo tem por objetivo apresentar as especificações do subsistema de comunicação de bordo do satélite do projeto NanosatC-Br – Clima Espacial e por consequência estabelecer os requisitos da Estação Terrena a ser implementada no Centro Regional Sul de Pesquisa Espaciais (CRS/CCR/INPE – MCT) em Santa Maria - RS. As informações dos equipamentos de bordo foram obtidas junto ao endereço eletrônico da possível fornecedora dos equipamentos e podem sofrer alterações conforme especificações da Missão.

#### **2.2 MISSÃO NANOSATC-BR- CLIMA ESPACIAL**

Baseado no padrão CubeSat 1U, a Missão NanosatC-Br – Clima Espacial consiste em um Programa Integrado de Pesquisa Espacial com desenvolvimento de Engenharias, Tecnologias e Ciências Espaciais na forma do Nanosatélite Científico Brasileiro, o NanosatC-Br. A Missão tem como objetivo científico monitorar as regiões da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS) e do Eletrojato da Ionosfera Equatorial sobre o território Brasileiro (SCHUCH, 2008).

Como objetivos gerais busca-se a capacitação tecnológica das instituições nacionais que participam da Missão, além da capacitação de recursos humanos para a realização de pesquisa e desenvolvimento com instrumentação espacial, com concentração na melhoria da qualidade e do nível dos cursos das instituições envolvidas.

O Projeto NanosatC-Br vem sendo desenvolvido no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRS/CCR/INPE-MCT), em parceria com o Laboratório de

Ciências Espaciais de Santa Maria (LACESM/CT-UFSM). O Projeto envolve alunos de graduação dos cursos de Engenharias Elétrica e Mecânica, Ciência da Computação e Física sob a supervisão e orientação de pesquisadores, tecnólogos e professores do INPE e da UFSM.

No desenvolvimento do Projeto NanosatC-Br vêm sendo efetuados estudos dos subsistemas que compõem o nanosatélite com o objetivo de avaliar os equipamentos a serem adquiridos junto a empresas especializadas na produção de pequenos satélites. A integração do nanosatélite será feita pelos alunos de graduação envolvidos no projeto, e os testes possivelmente serão realizados no Laboratório de Integração e Testes (LIT), localizado na sede do INPE, em São José dos Campos - SP.

O NanosatC-Br deverá ser lançado em órbita baixa, de preferência com órbita de alta inclinação, com o objetivo científico de monitorar o campo geomagnético e a precipitação de partículas energéticas. O subsistema referente a carga útil, chamado Subsistema Magnetômetro, consistirá de um magnetômetro para medida da intensidade do campo magnético da Terra no espaço sobre o Território Brasileiro, em uma órbita entre 500 e 700 km de altitude. A confirmação da órbita a ser utilizada depende da negociação com o lançador, o qual ainda será definido.

A Figura 2.1 apresenta uma representação visual demonstrando a disposição das antenas do NanosatC-Br obtida junto a empresa holandesa ISIS (*Innovative Solutions In Space*), possível fornecedora de alguns subsistemas do nanosatélite.

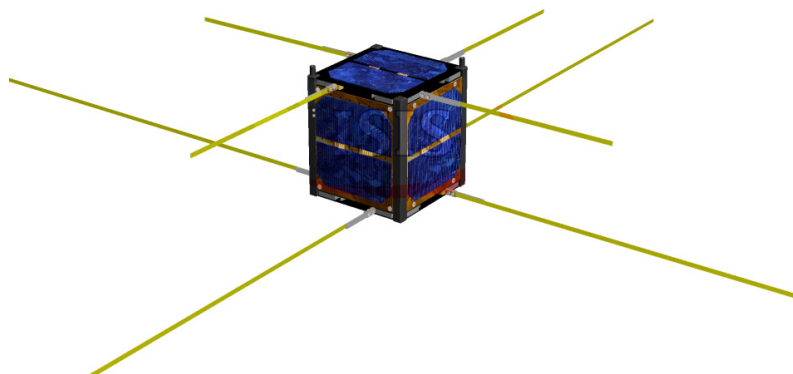


Figura 2.1 – Representação visual do NanosatC-Br fornecida pela empresa holandesa ISIS

Fonte: ISIS, 2009.

## 2.3 SUBSISTEMA DE COMUNICAÇÃO DE BORDO DO NANOSATC-BR

O subsistema de comunicação de bordo do Projeto NanosatC-Br deverá ser adquirido junto a empresa holandesa *Innovative Solutions In Space* (ISIS). A ISIS é uma empresa especializada na produção e fornecimento de soluções para projetos de pequenos satélites a qual foi formada inicialmente por participantes do projeto de lançamento do CubeSat Delfi-C3, da *Delft University of Technology*.

A compra de equipamentos comerciais para os subsistemas de bordo do NanosatC-Br tem como objetivo reduzir as possibilidades de falhas da primeira Missão, através da utilização de equipamentos já consolidados e com desempenho comprovado. A seguir são apresentadas as especificações iniciais dos equipamentos do Subsistema de Comunicação de Bordo do NanosatC-Br, as quais foram obtidas junto ao endereço eletrônico da empresa ISIS (2010).

### 2.3.1 Rádio Transceptor

O transceptor de bordo a ser adquirido é o transceptor modelo TRXUV1200A, desenvolvido pela ISIS e é semelhante ao utilizado no projeto do satélite Delfi-C3. Esse transceptor tem capacidade de operação *full-duplex*, *VHF downlink* e *UHF uplink*, de forma que acrescenta capacidade de telemetria, telecomando e *beacon* para a Missão através de uma única placa de circuito impresso. Além disso, o transceptor é compatível com o computador de bordo fornecido pela Clyde Space Ltd. EPS and Pumpkin inc. FM430-OBC, o qual deverá ser utilizado na Missão. A Figura 2.2 apresenta uma imagem do transceptor TRXUV1200A.

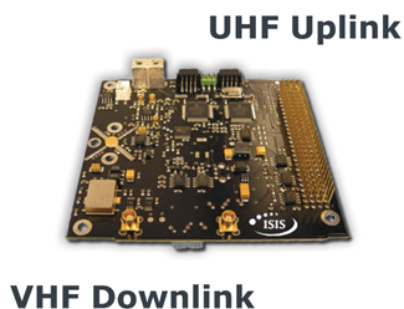


Figura 2.2 – Transceptor TRXUV1200A desenvolvido pela empresa ISIS

Fonte: <http://www.cubesatshop.com>

As principais características do transceptor são apresentadas abaixo:

1. Transmissor VHF:

- Faixa de frequência: 130-160MHz (Cristal controlado).
- Potência de transmissão: 300mW (pico), 150mW (média).
- Modulação: *Raised-Cosine Binary Phase Shift Keying* (BPSK).
- Taxa transferência de dados: 1200 bps.
- Protocolo: AX.25 (Outros protocolos disponíveis a pedido).
- Modo beacon CW (Morse).
- *Receiver loopback mode (single channel FM to Double Sideband transponder).*

2. Receptor UHF:

- Faixa de frequência: 400-450MHz (Cristal controlado).
- Modulação: *Audio Frequency Shift Keying* (AFSK), 1200Hz/2200Hz (Bell202).
- Taxa transferência de dados: 300-1200bps.
- Sensibilidade: -100dBm, para BER (Taxa de Erro de Bit) de  $10E-5$ .
- Comando de codificação AX.25 on-board.

Outras características importantes estão relacionadas à restrição de volume e potência impostas pelo padrão CubeSat, as quais são compatíveis conforme apresentado abaixo:

- Massa: 85g.
- Dimensões: 90x96mm, compatível com PC/104 PCB CubeSat.
- Potência: <1,7W (transmissor ligado), <0,2W (somente receptor ligado).

### 2.3.2 Antenas de Bordo

As antenas de bordo serão fornecidas pela empresa ISIS e consistem de um sistema de antenas distribuídas, formado por até quatro antenas tipo fita de no máximo 55cm, as quais são liberadas depois da inserção em órbita do satélite. A Figura 2.3 apresenta uma representação da disposição das antenas para comunicação nas faixas VHF e UHF.

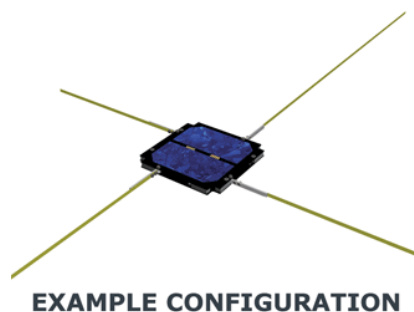


Figura 2.3 – Antenas do tipo fita para as faixas VHF e UHF desenvolvidas pela empresa ISIS

Fonte: <http://www.cubesatshop.com>

Dependendo da configuração, um ou dois rádios no CubeSat podem ser conectados ao sistema por meio de conectores de antenas miniaturizados. Além disso, a face superior do suporte do sistema da antena pode acomodar painéis solares.

O sistema da antena foi concebido para obter compatibilidade com os atuais componentes COTS (*Commercial Off The Shelf*) utilizados em projetos de CubeSats,



sendo compatível com sistemas de rádios UHF/VHF. Algumas especificações do sistema das antenas:

- Impedância:  $50\Omega$ .
- Configuração das antenas disponíveis: 1 turnstile, 2 dipolos, 1 dipolo e 1 monopolo ou 1 dipolo.
- Máxima potência: 0,5W (dipolo), 1W (turnstile), mais de 4W (monopolo).
- Inserção de perdas: 1,5dB.
- Faixa de frequência: 130-165MHz (VHF), 390-450MHz (UHF).
- Potência elétrica, nominal/*standby*: <50mW.
- Potência elétrica durante o funcionamento: 2W.
- Massa: <100g (depende da configuração das antenas).
- As antenas estão disponíveis para tensão de alimentação de 3,3V (5V, 8V e outras tensões sobre demanda).

## 2.4 CARACTERÍSTICAS DA ESTAÇÃO TERRENA DO NANOSATC-BR

Como apresentado no subitem anterior, o subsistema de bordo do satélite NanosatC-Br a ser adquirido será uma solução comercial, apresentando as especificações de faixas de frequência, modulação, potências e sensibilidade do transceptor pré-definidas. A Estação Terrena de Rastreamento e Controle do NanosatC-Br (ET) deverá atender inicialmente as especificações do subsistema de bordo e possibilitar adaptações do sistema para rastreamento de outros satélites CubeSats em um segundo momento. Para atender o segundo objetivo deve-se observar a compatibilidade do sistema a ser implementado com outros projetos que vem sendo desenvolvidos por outras universidades e a participação na *Global Educational Network for Satellite Operations* (GENSO).



A Tabela 2.1 apresenta as principais características da Estação Terrena de Rastreamento e Controle de Satélites do projeto NanosatC-Br de acordo com as especificações iniciais do projeto do subsistema de comunicação de bordo.

Tabela 2.1 – Parâmetros Iniciais da Estação Terrena de Rastreamento e Controle de Satélites do Projeto NanosatC-Br – Clima Espacial

<b>Descrição dos Parâmetros</b>	<b><i>Downlink</i></b>	<b><i>Uplink</i></b>
Faixas de Frequência de Operação	144-148MHz	430-440MHz
Potência do transmissor	-	<100W (emissão máxima radioamador Classe C)
Sensibilidade do Receptor	Determinada por cálculo de enlace	-
Taxa de transferência de dados	1200bps	300-1200bps
Modulação	<i>Raised-Cosine Binary Phase Shift Keying (BPSK)</i>	<i>Audio Frequency Shift Keying (AFSK)</i>
Protocolo de Comunicação	AX.25	AX.25

Duas são as possibilidades avaliadas pelo presente projeto de pesquisa para implementação da Estação no CRS/CCR/INPE - MCT em Santa Maria-RS:

- A aquisição de uma solução comercial completa, que observe as especificações iniciais do subsistema de bordo e a compatibilidade com a GENSO, de forma a elevar a confiabilidade do sistema de solo da Missão por se tratar de sistemas testados e com desempenho comprovado.
- A aquisição de equipamentos para a integração e desenvolvimento de soluções de sistemas de rastreamento em Laboratório, proporcionando desenvolvimento de conhecimentos pela equipe envolvida e integração



com os radioamadores locais, porém com o custo de redução de confiabilidade do sistema da Missão.

A seguir é apresentado uma estação comercial completa fornecida pela empresa holandesa ISIS que apresenta compatibilidade com o sistema de bordo do NanosatC-Br e com a GENSO, e é baseada na estação utilizada no projeto Delfi-C3. No próximo capítulo são apresentadas as especificações iniciais dos equipamentos para integração de uma Estação de Rastreo e Controle de Satélites, não sendo contemplados por esta análise os equipamentos para o processamento dos sinais de *downlink* e *uplink*.

## 2.5 ESTAÇÃO TERRENA UHF/VHF/S-BAND ISIS

A Estação Terrena de Comunicação UHF/ VHF/S-BAND foi projetada pela ISIS especificamente para estabelecer contatos com pequenos satélites, tais como CubeSats, em órbita baixa utilizando frequências destinadas a radioamadores. Esta Estação, para uso em ambiente universitário, tem seu projeto baseado na comprovada Estação Terrena de Rastreo e Controle da *Delft University of Technology* desenvolvida para o rastreo e comando do satélite Delfi-C3, a qual vem sendo utilizada com sucesso para fornecer suporte durante Missões de projetos de nanosatélites.

A ISIS pode fornecer uma versão compacta dessa Estação Terrena que contém todos dispositivos necessários para comunicação com pequenos satélites, apresentando as seguintes características (CUBESAT SHOP ISIS, 2010):

- Estação terrena UHF/VHF/S-Band, com antenas orientáveis, a qual pode de forma autônoma rastrear satélites selecionados usando um sistema de orientação de antenas.
- Instalação compacta do equipamento da estação terrena (exceto o sistema da antena) ajustado dentro de um *rack* simples 12U-19”.
- Apresenta possibilidade de operação remota através da internet.
- Compatibilidade com a *Global Educational Network for Satellite Operation* (GENSO).



- Antena Yagi VHF – ganho 12dBic (RHCP-LHCP comutável).
- Antena Yagi UHF – ganho 16dBic (RHCP-LHCP comutável).
- Antena com refletor parabólico Banda S – ganho 21dBic RHCP (faixa de frequência de 2400-2402MHz).
- Amplificadores VHF e UHF de baixo ruído.
- Proteção contra raios.
- Faixas de frequência: 144-146MHz, 430-440MHz e 2400-2402MHz, as quais podem ser estendidas sob solicitação.
- Rotor de azimute e elevação para cargas pesadas.
- Terminal Central de Controle (*Terminal Node Control* - TNC) para sinais modulados em AFSK, FSK e BPSK, com taxas de transferência entre 1200-9600bps, o qual utiliza protocolo AX.25.
- Fonte de tensão ininterrupta.
- E um computador com o aplicativo de rastreamento de satélites.

Por se tratar da mesma empresa que fornecerá o subsistema de comunicação de bordo há a garantia de compatibilidade entre o subsistema de bordo e o subsistema de solo, acelerando a implementação da Estação Terrena do projeto NanosatC-Br. As informações apresentadas são resumidas pois foram obtidas de informativos de venda no endereço eletrônico da ISIS. Acredita-se que informações mais detalhadas serão obtidas com o início das negociações para compra do sistema de solo.

A Figura 2.4 apresenta a disposição das antenas Yagi-Uda VHF e UHF, e da antena parabólica para Banda-S fixadas ao suporte do rotor da Estação Terrena da ISIS.



Figura 2.4 – Distribuição das antenas da Estação Terrena de Comunicação desenvolvidas pela empresa  
ISIS

Fonte: <http://www.cubesatshop.com>



## **CAPÍTULO 3**

# **EQUIPAMENTO PARA CONSTRUÇÃO DE UMA ESTAÇÃO TERRENA DE RASTREIO DE SATÉLITES**

### **3.1 INTRODUÇÃO**

O capítulo apresenta os fatores de projeto considerados para especificação dos equipamentos para montagem de uma Estação Terrena de Rastreo e Controle de Satélites, através de equipamentos a serem adquiridos junto ao Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria (LACESM/CT - UFSM). São abordados aspectos técnicos dos equipamentos, antenas, rotor e rádio transceptor, bem como aspectos práticos de desempenho observados em colaboração com radioamadores da União Santamariense de Radioamadores (USRA).

### **3.2 ESPECIFICAÇÃO DAS ANTENAS**

As antenas de recepção de sinais de satélites têm por características apresentarem polarização circular, elevado ganho e ângulos de meia potência entre 40° e 60° para utilização por radioamadores, a fim de facilitar o rastreo dos satélites. Por motivos principalmente relacionados à maior facilidade na construção, grande parte dos radioamadores utiliza antenas do tipo Yagi-Uda cruzadas, com variado número de elementos de acordo com as necessidades de ganho.

Diversos são os radioamadores que disponibilizam projetos práticos bem como aspectos de montagem de antenas Yagi-Uda cruzadas com aplicação a rastreo de satélites. Informações como dimensão dos elementos (refletor, alimentador e diretores), espaçamento entre os elementos e formas de casamento de impedância constam em tabelas e imagens, ficando limitadas a antenas já construídas, porém apresentando desempenho comprovado.



Para o desenvolvimento do projeto e especificação de antenas três possibilidades são apresentadas: (i) a compra de antenas fabricadas por empresas especializadas, (ii) o desenvolvimento de projetos e construção de antenas em Laboratório com participação de radioamadores ou (iii) o reaproveitamento das antenas do Projeto Radioastronomia.

### 3.2.1 Arranjos de Antenas Yagi-Uda Lineares

Para avaliar a compra de antenas de baixo custo através de uma colaboração com os radioamadores da USRA obteve-se a informação que a empresa do radioamador indicativo PY2NI localizada no estado de São Paulo desenvolve projetos qualificados e reconhecidos internacionalmente nas faixas de VHF e UHF. Alguns modelos comerciais que se enquadram nos objetivos do projeto são apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Antenas Yagi-Uda desenvolvidas pelo radioamador PY2NI

<b>Modelo</b>	<b>Fornecedor</b>	<b>Nº de elementos</b>	<b>Ganho</b>
7(2M7)	PY2NI	7	12,25dBi
12(K1FO)	PY2NI	12	14,65dBi

As características das antenas da Tabela 3.1 são apresentadas nas Figuras 3.1 e 3.2 e representam o comportamento das antenas como arranjos de antenas lineares. Adequações para utilização no rastreamento de satélites (polarização circular) podem ser desenvolvidas conforme informação disponibilizada no endereço eletrônico do radioamador PY2NI. Um primeiro contato com o radioamador foi efetuado via e-mail, porém não foi obtida resposta até a finalização do presente relatório.

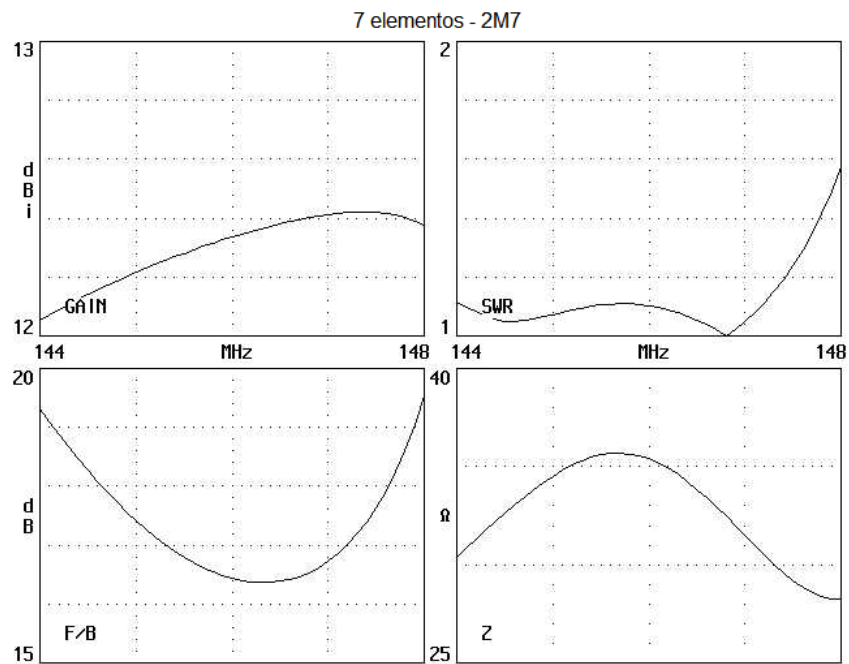


Figura 3.1 – Características da antena Yagi-Uda de 7 elementos modelo 2M7

Fonte: <http://www.nabla.com.br/py2ni>

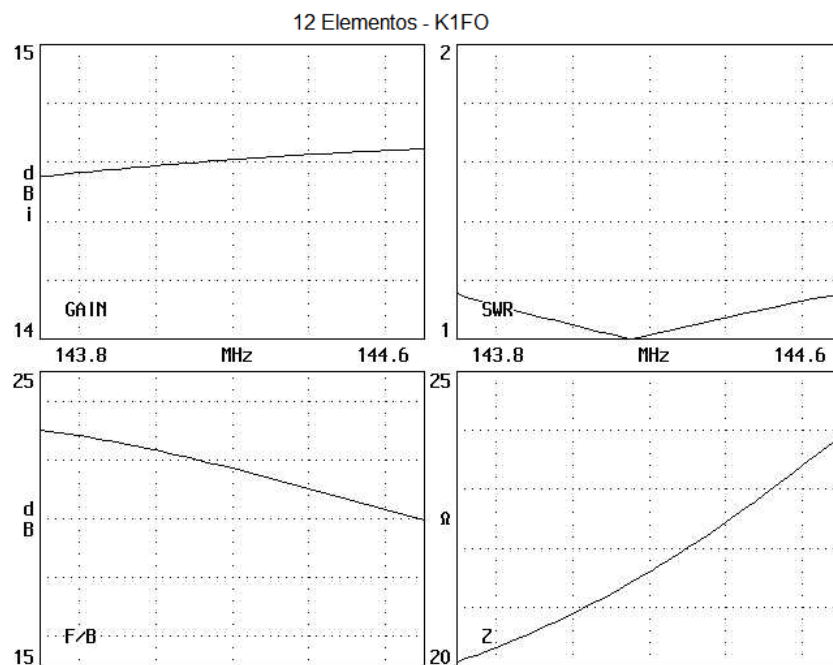


Figura 3.2 – Características da antena Yagi-Uda de 12 elementos K1FO

Fonte: <http://www.nabla.com.br/py2ni>

Para fins didáticos de projeto de antenas Yagi-Uda foi utilizado o método publicado no Relatório Técnico 688 do *National Bureau of Standards* (NBS), intitulado *Yagi Antenna Design* (1976). Este documento apresenta informações na forma de gráficos e tabelas, e tem o objetivo de facilitar o projeto prático de antenas de  $0,2\lambda$  a  $4,2\lambda$  de comprimento, para operação em HF, VHF e UHF.

As curvas permitem o projeto de antenas com seis diferentes comprimentos:  $0,4\lambda$ ;  $0,8\lambda$ ;  $1,2\lambda$ ;  $2,2\lambda$ ;  $3,2\lambda$  e  $4,2\lambda$ . Devem ser efetuados ajustes referentes à utilização de diferentes frequências e diâmetro dos tubos dos elementos e suporte. O ANEXO A apresenta passo-a-passo os procedimentos do projeto e os parâmetros de entrada utilizados. As dimensões obtidas para uma antena de 12 elementos são apresentadas na Tabela 3.2. Os elementos foram calculados supondo perfis de alumínio circulares de 3/8 de polegada e o perfil quadrado de alumínio do suporte de 1 polegada.

Tabela 3.2 – Dimensões de uma antena Yagi-Uda de 12 elementos

Elemento	Comprimento dos elementos	Espaçamento entre os Elementos
Refletor (R)	1,010m	R-A = 0,411m
Alimentador (A)	0,967m	A-D1 = 0,411m
Diretor (D1)	0,923m	D1-D2= 0,411m
Diretor (D2)	0,881m	D2-D3= 0,411m
Diretor (D3)	0,863m	D3-D4= 0,411m
Diretor (D4)	0,840m	D4-D5= 0,411m
Diretores (D5-D10)	0,824m	$D_{n-1}-D_n$ ( $6 \leq n \leq 10$ ) = 0,411m

Os diagramas de radiação horizontal (H) e vertical (V) obtidos através da simulação das antenas em arranjo linear utilizando dipolo simples, nos aplicativos MMANA-GAL e 4NEC2 são apresentados nas Figuras 3.3 e 3.4. As antenas simuladas



no aplicativo 4NEC2 tiveram os arquivos de definição (.nec) gerados com o auxílio do aplicativo SuperNEC 2.9, que apresenta uma interface gráfica que proporciona a edição e o aproveitamento de estruturas básicas pré-definidas (tais como antenas Yagi-Uda). As ferramentas utilizadas para simulação das antenas (MMANA-GAL e 4NEC2) são de distribuição livre e são desenvolvidas e utilizadas por radioamadores.

O ganho esperado para o arranjo linear era de 14,41dBi conforme especificado pelo método. O ganho obtido foi de 14dBi diferindo de 0,41dBi para a frequência central de projeto (146MHz), porém estando esse valor dentro da margem de precisão do método que é de 0,5dB. O ângulo de meia potência obtido foi de aproximadamente 40° e impedância de aproximadamente  $(22,9 + j19,5)\Omega$ .

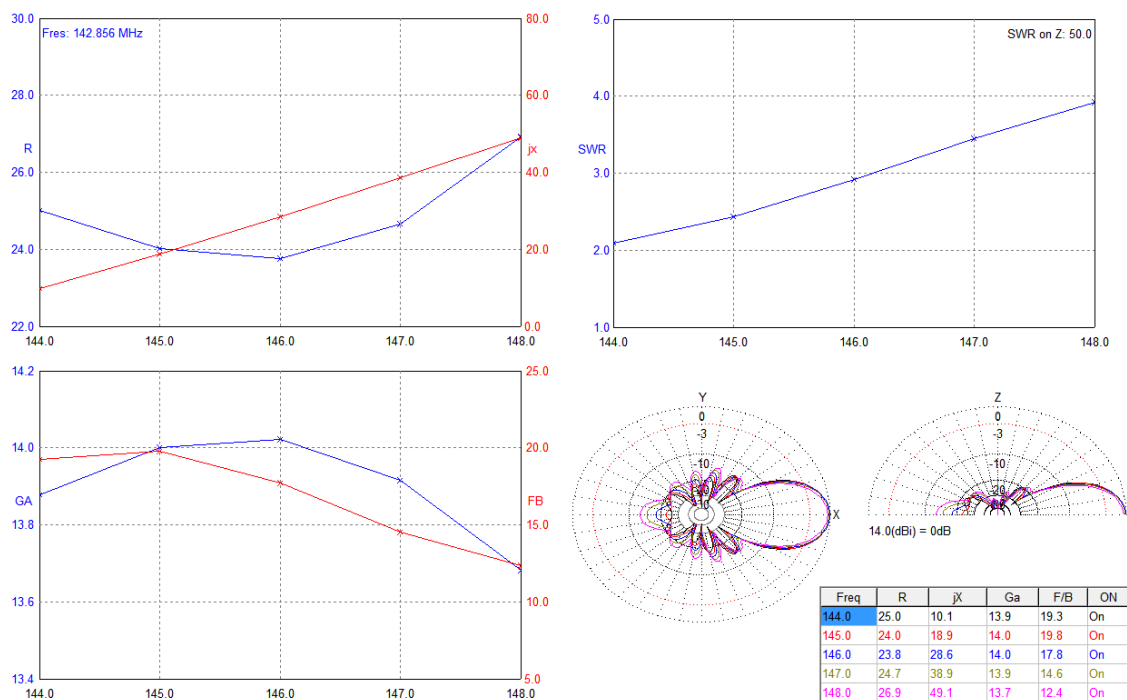


Figura 3.3 – Características da antena Yagi-Uda de 12 elementos obtidas através do aplicativo MMANA-GAL utilizando como alimentador dipolo simples

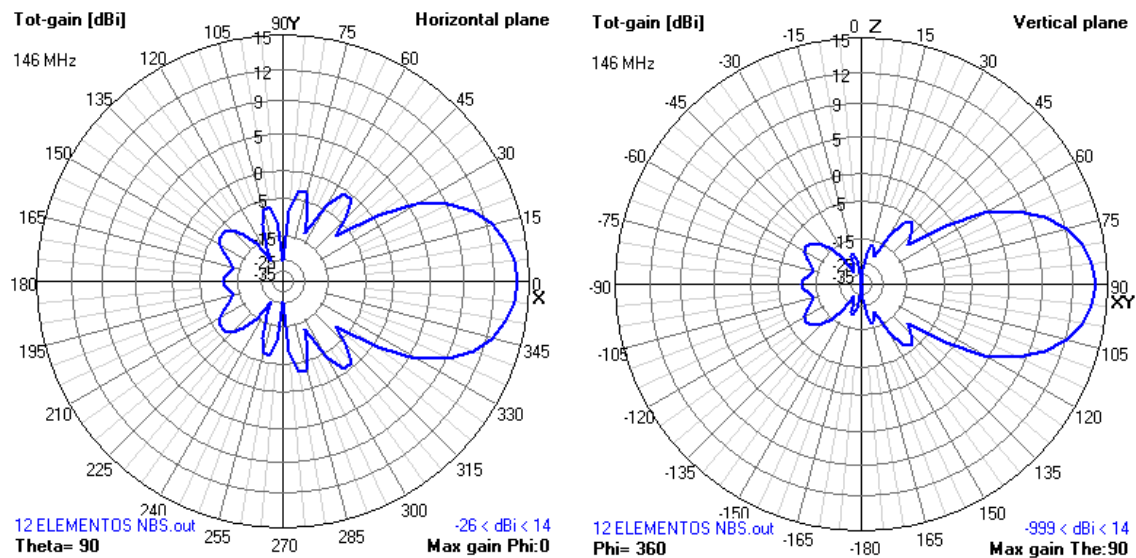


Figura 3.4 – Diagramas de radiação da antena Yagi-Uda de 12 elementos obtidas através do aplicativo 4-NEC2 utilizando como alimentador dipolo simples

Como o projeto prático da NBS apresenta as especificações considerando o alimentador um dipolo dobrado foram efetuadas simulações para observar a variação dos diagramas de radiação nessa configuração. Ainda busca-se obter um melhor resultado na simulação de antenas com dipolo dobrado, principalmente com relação à impedância e distorção dos lóbulos secundários.

Os valores de ganho e impedância encontram-se próximos ao esperado para a simulação no 4NEC-2 (Figura 3.6), onde o ganho obtido foi de 14dBi e a impedância de aproximadamente  $(113+j242)\Omega$ . Os resultados encontrados para o MMANA-GAL ainda não são satisfatórios e continuam sob avaliação, porém os resultados obtidos são apresentados na Figura 3.5.

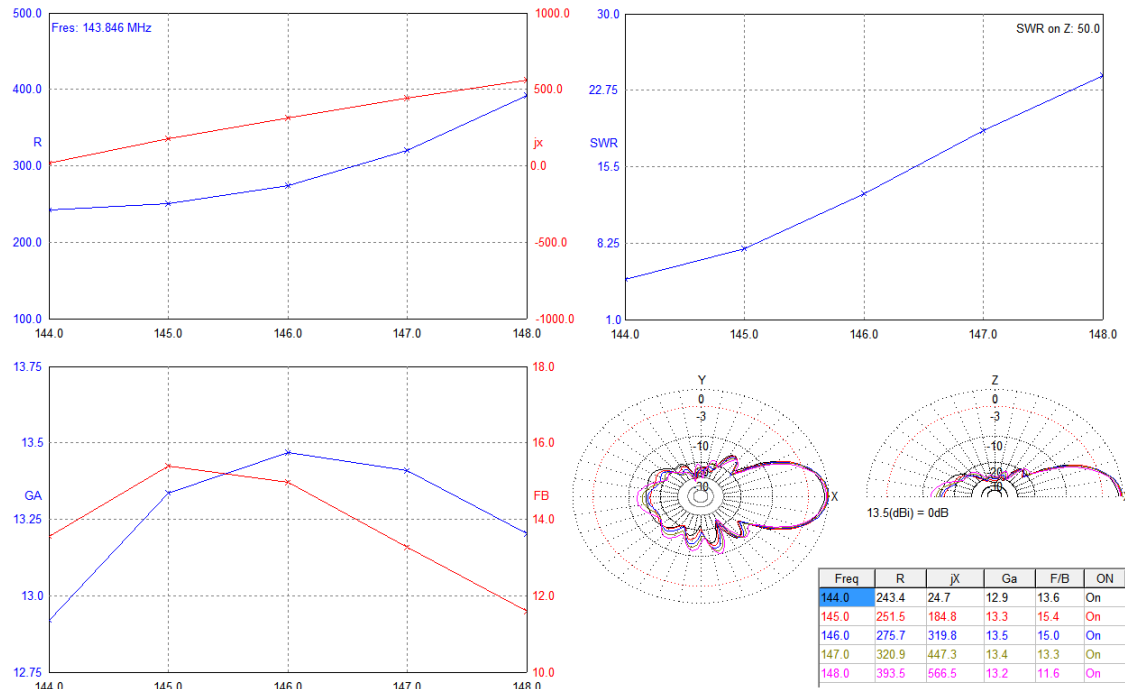


Figura 3.5 – Características da antena Yagi-Uda de 12 elementos obtidas através do aplicativo MMANA-GAL utilizando como alimentador dipolo dobrado

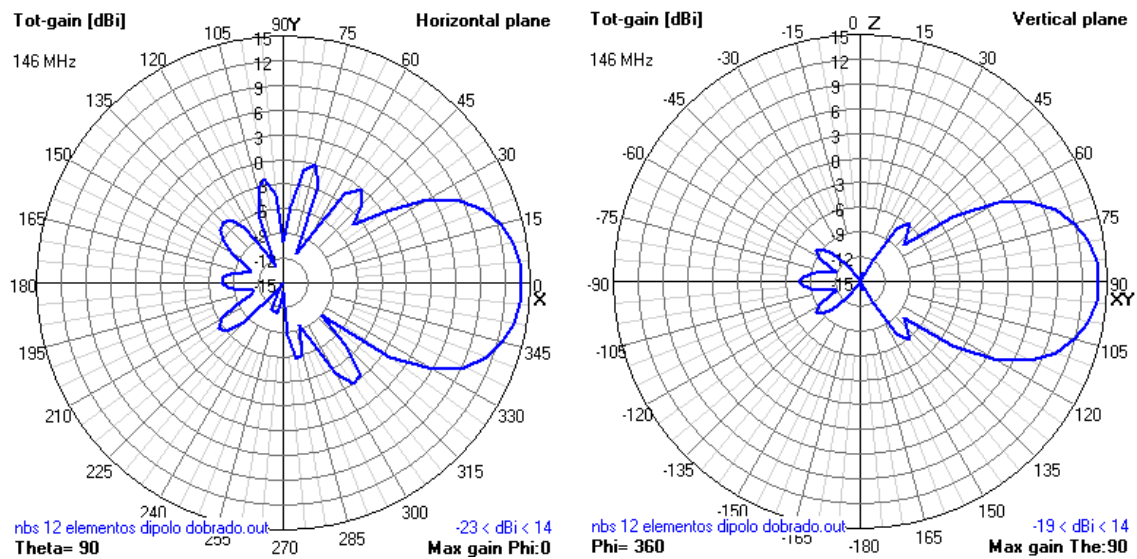


Figura 3.6 – Diagramas de radiação da antena Yagi-Uda de 12 elementos obtidas através do aplicativo 4-NEC2 utilizando como alimentador dipolo dobrado

Ainda referente ao desenvolvimento de antenas foram efetuadas simulações com o objetivo de estimar o desempenho das antenas do Projeto Radioastronomia para operação na faixa de frequência de satélites radioamadores em VHF (146MHz). As dimensões desta antena Yagi-Uda que utiliza 10 elementos e tem como alimentador um dipolo dobrado são apresentadas na Tabela 3.3. Os elementos são compostos de perfis circulares de alumínio de 3/8 de polegada e o suporte (boom) é um perfil quadrado de alumínio com 1 polegada.

Para observar o comportamento do arranjo com a variação do alimentador foram efetuadas simulações utilizando um dipolo simples e na sequência utilizando o dipolo dobrado. Os diagramas de radiação horizontal (H) e vertical (V) obtidos nos aplicativos MMANA-GAL e 4NEC2 são apresentados a seguir.

Tabela 3.3 – Dimensões da antena Yagi-Uda de 10 elementos do Projeto Radioastronomia

<b>Elemento</b>	<b>Comprimento dos elementos</b>	<b>Espaçamento entre os Elementos</b>
Refletor (R)	0,955m	R-A = 0,400m
Alimentador (A)	0,840m	A-D1 = 0,163m
Diretor (D1)	0,836m	D1-D2= 0,235m
Diretor (D2)	0,836m	D2-D3= 0,498m
Diretor (D3)	0,827m	D3-D4= 0,400m
Diretor (D4)	0,817m	D4-D5= 0,600m
Diretor (D5)	0,815m	D5-D6 = 0,600m
Diretor (D6)	0,810m	D6-D7 = 0,600m
Diretor (D7)	0,800m	D7-D8 = 0,425m
Diretor (D8)	0,793m	-

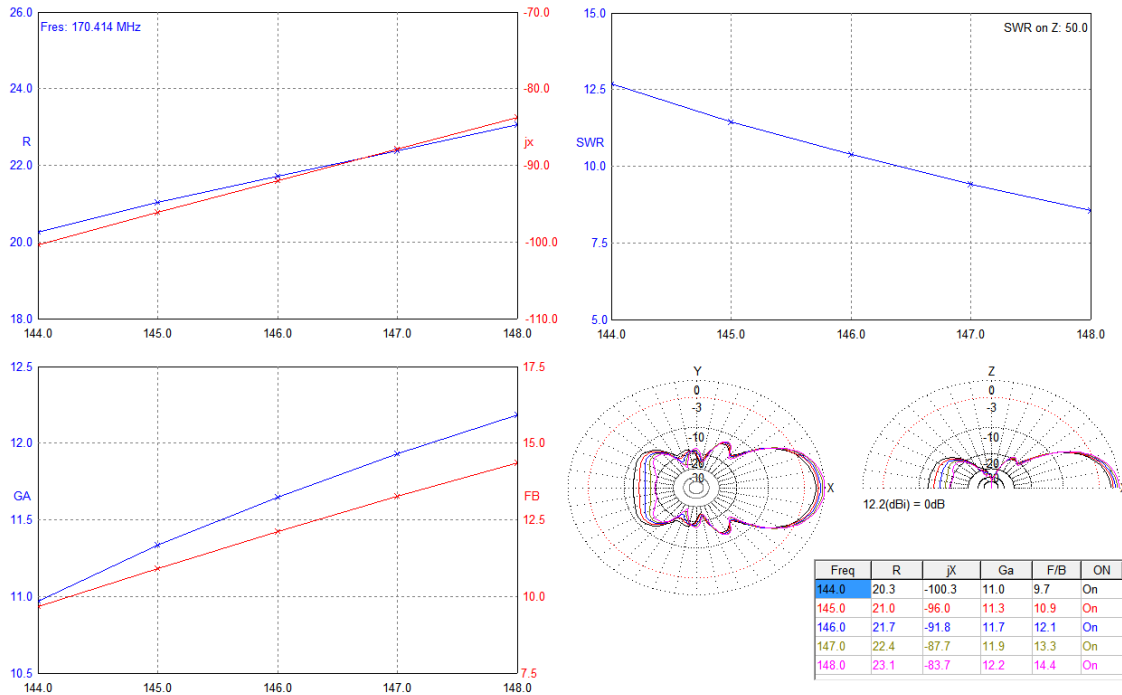


Figura 3.7 – Características da antena Yagi-Uda de 10 elementos do Projeto Radioastronomia obtidas através do aplicativo MMANA-GAL para o alimentador dipolo simples

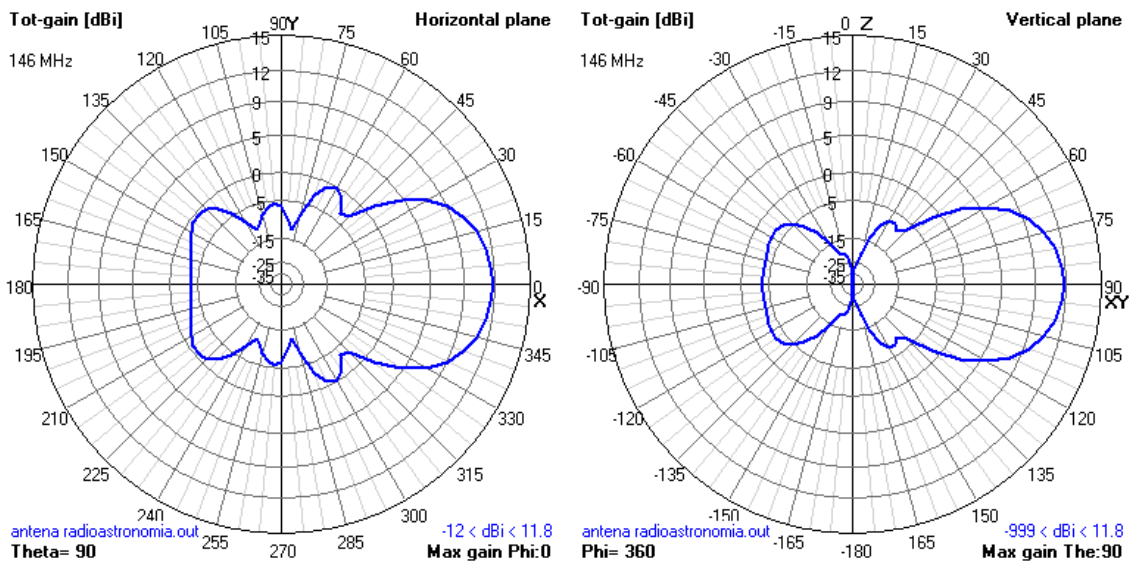


Figura 3.8 – Diagramas de radiação da antena Yagi-Uda de 10 elementos do Projeto Radioastronomia obtidas através do aplicativo 4NEC2 para o alimentador dipolo simples

O ganho obtido para a antena do projeto radioastronomia em arranjo linear foi de 11,7dBi e a impedância de aproximadamente  $(22-j93)\Omega$  para simulação com o dipolo simples com frequência central de 146MHz. O ângulo de meia potência encontrado foi de 50°. Este resultado possibilita o aproveitamento desta antena para o projeto da estação de recepção de satélites, pois apresenta resposta de ganho semelhante a antenas disponíveis comercialmente.

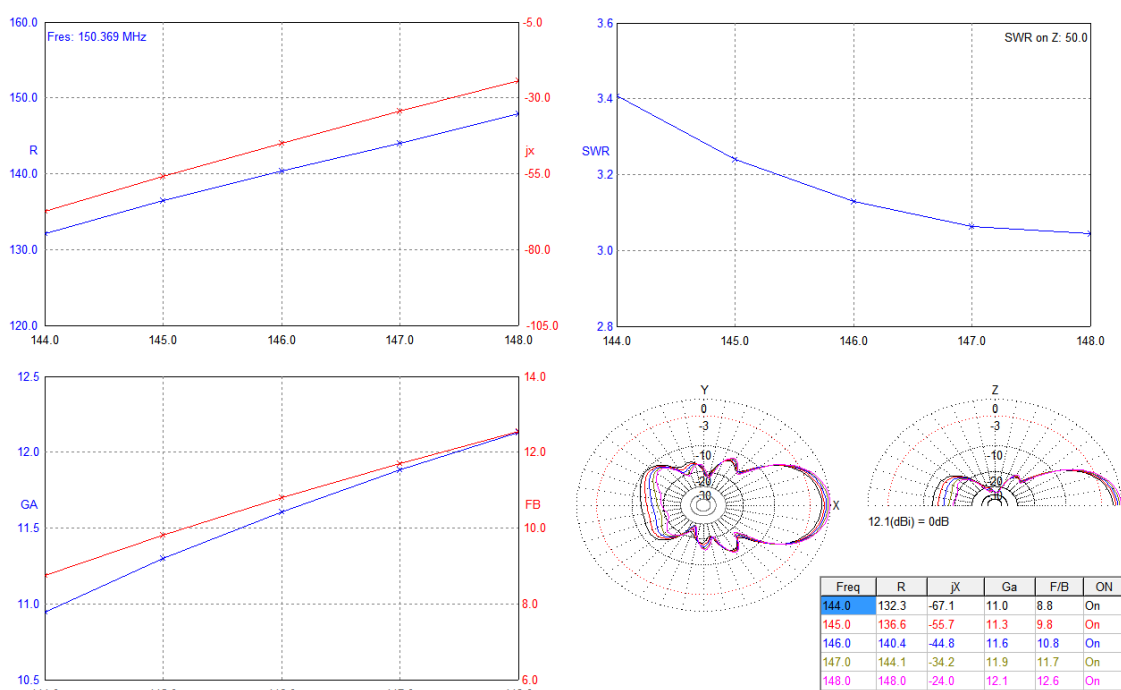


Figura 3.9 – Características da antena Yagi-Uda de 10 elementos do Projeto Radioastronomia obtidas através do aplicativo MMANA-GAL para o alimentador dipolo dobrado

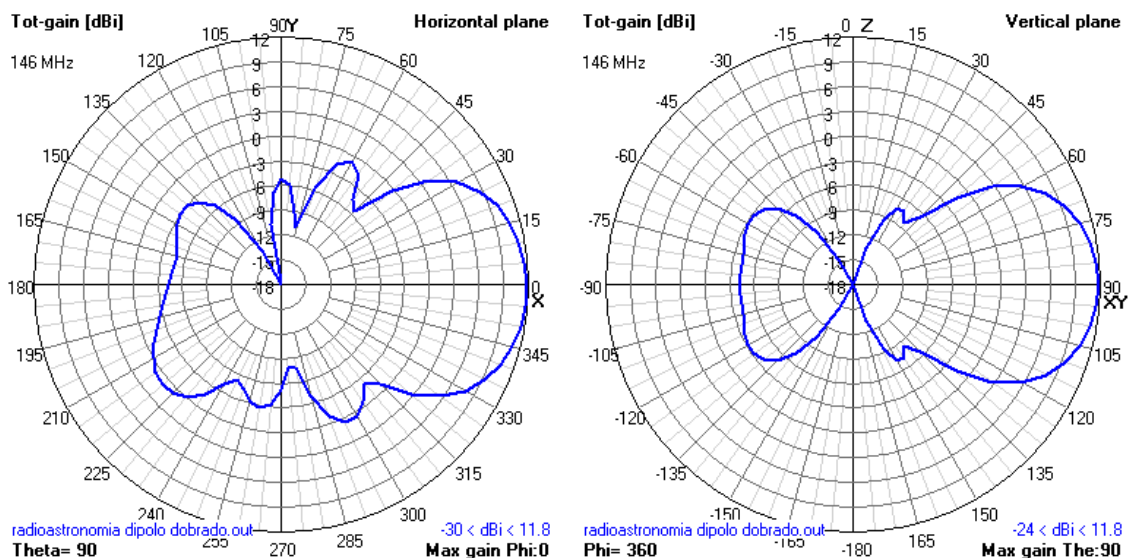


Figura 3.10 – Diagramas de irradiação da antena Yagi-Uda de 10 elementos do Projeto Radioastronomia obtidas através do aplicativo 4NEC2 para o alimentador dipolo dobrado

Observou-se que os ganhos obtidos utilizando o dipolo dobrado como alimentador são semelhantes ao dipolo simples, ocorrendo apenas uma distorção dos lóbulos secundários. Esta distorção foi atribuída ao elemento que compõe o dipolo dobrado (na definição do arquivo .NEC) o qual forma um ângulo de 90° com a orientação da antena. A impedância média obtida foi de aproximadamente  $(120-j113)\Omega$  para simulação com o dipolo dobrado com frequência central de 146MHz.

### 3.2.2 Arranjo de Antenas Yagi-Uda Cruzadas

A combinação de duas ondas linearmente polarizadas, uma vertical e outra horizontal, de mesma amplitude e eletricamente defasadas de 90° resulta em uma onda circularmente polarizada. A Figura 3.11 apresenta uma representação da combinação de duas ondas linearmente polarizadas, vertical e horizontal, defasadas de 90°.

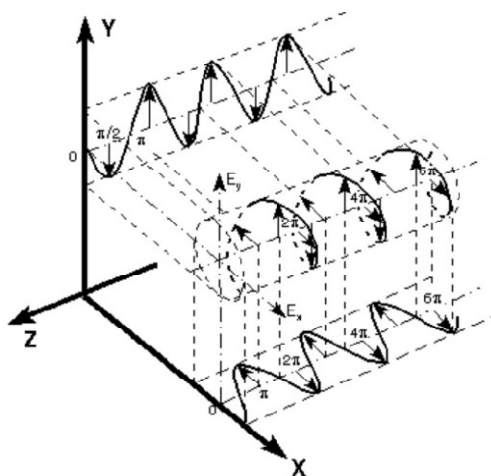


Figura 3.11 – Combinação de duas ondas linearmente polarizadas vertical e horizontal defasadas de  $90^\circ$  para obtenção de polarização circular

Fonte: <http://www.qsl.net>.

Conforme apresentado por PY4ZBZ existem dois métodos de obter-se polarização circular a partir de antenas Yagi-Uda: (i) colocar duas antenas cruzadas a  $90^\circ$  sem deslocamento longitudinal e alimentá-las com sinais defasados em  $90^\circ$ ; ou (ii) alimentar os dipolos em fase, porém deslocando um dos dipolos de  $\frac{1}{4}$  de onda ( $\lambda/4$ ) longitudinalmente na direção de propagação.

Uma opção para a conexão das antenas com arranjo lineares sem deslocamento dos elementos (método (i)) é apresentado na Figura 3.12, a qual possibilita a variação das polarizações circulares direita e esquerda. O cabo de  $\frac{1}{4}$  de onda de  $50\Omega$  fornece a diferença de fase necessária para obtenção da polarização circular.

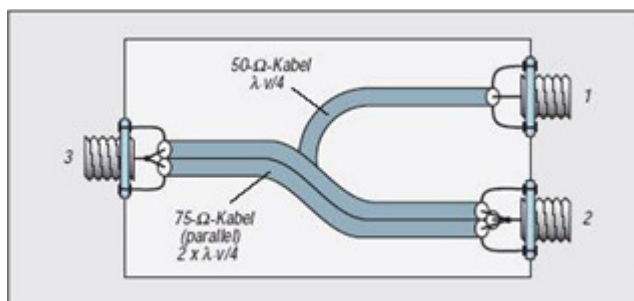


Figura 3.12 – Circuito para conexão de antenas lineares cruzadas para obtenção de polarização circular

Fonte: <http://www.qsl.net>.



O circuito para polarização circular apresentado na Figura 3.12 proporciona a obtenção das seguintes configurações:

- Polarização Circular Direita (*Right Hand Circular Polarization* – RHCP): conector plano horizontal em 1, conector plano vertical em 2 e conector para o transceptor em 3.
- Polarização Circular Esquerda (*Left Hand Circular Polarization* – LHCP): conector plano horizontal em 2, conector plano vertical em 1 e conector para o transceptor em 3.

Para utilização do circuito da Figura 3.12 é necessário que as antenas apresentem impedância de  $50\Omega$ . Para o presente projeto, a antena do Projeto Radioastronomia esta sendo ajustada para a frequência de 146MHz utilizando para o casamento de impedância o projeto de um estube simples e para o balanceamento um balun 1:1. Uma representação do balun utilizado é apresentada na Figura 3.13, o qual é a forma mais simples de conectar a antena (balanceada) e o cabo coaxial (desbalanceado).

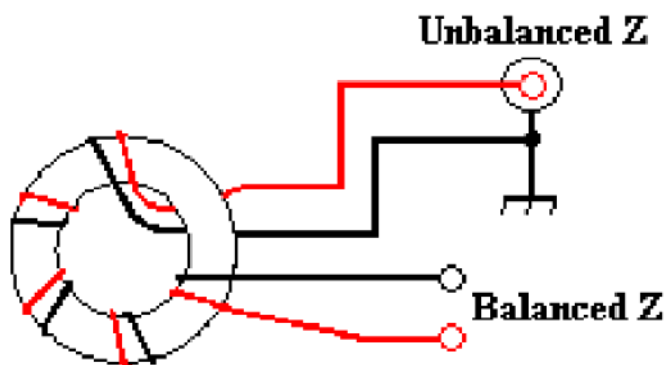


Figura 3.13 – Balun 1:1 de núcleo de ferrite para conexão entre a antena e o cabo coaxial

O projeto de um estube simples para o casamento de impedância foi desenvolvido com auxílio da Carta de Smith e considerando a impedância complexa da antena obtida em simulação no aplicativo 4NEC2, de  $(120-j113)\Omega$ . Este valor de impedância ficou próximo ao obtido através de medições práticas. As dimensões dos segmentos de linha  $l_1$  e  $l_2$  projetados são apresentadas na Figura 3.14.

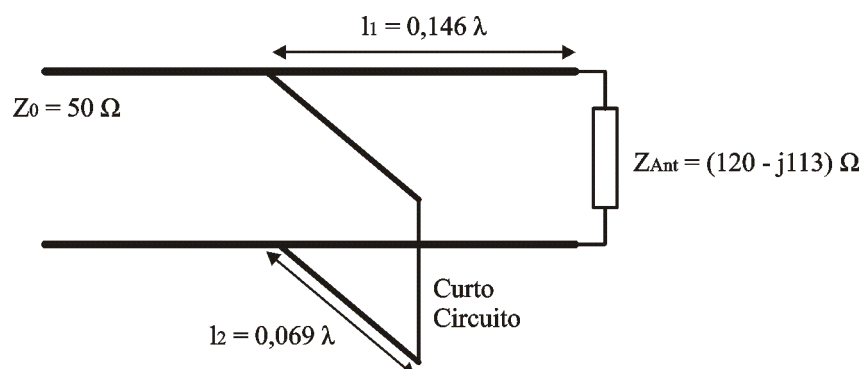


Figura 3.14 – Dimensões dos seguimentos de linha  $l_1$  e  $l_2$  do estubo simples projetado para casamento de impedância da antena do Projeto Radioastronomia

Uma antena do Projeto Radioastronomia está sendo montada a partir dos projetos apresentados e está sob testes e ajustes no Laboratório de Radiofrequência e Comunicações. Os resultados obtidos serão apresentados em trabalhos futuros, pois não foram concluídos até a finalização do presente relatório.

### 3.3 ESPECIFICAÇÃO DO ROTOR

A especificação do rotor deve levar em conta a necessidade de controle dos ângulos de elevação e azimute, além de possibilitar o controle de forma automática do sistema, proporcionando a ampliação da precisão do sistema de rastreamento dos satélites. Além disso, o sistema a ser implementado deve observar as características de baixo custo propostas pelo padrão de desenvolvimento de projetos de pequenos satélites do tipo CubeSat.

Como ferramenta para a previsão de órbita e o rastreamento dos satélites, através de uma pesquisa desenvolvida em parceria com alguns radioamadores da região de Santa Maria - RS (USRA), optou-se pela utilização do aplicativo Orbitron (versão 3.71). Este aplicativo foi desenvolvido por Sebastian Stoff para os propósitos de utilização de radioamadores e observadores como usuários de satélites de comunicação e meteorológicos. O aplicativo encontra-se disponível no endereço eletrônico do autor e

segundo os usuários é uma das ferramentas de previsão de órbita e rastreamento de satélites com maior facilidade de utilização disponível gratuitamente.

O Orbitron disponibiliza a previsão de órbita de diversas classes de satélites através da seleção e atualização de arquivos TLE (*Two Line Elements*). São calculados e disponibilizados para os usuários a partir da informação da localização geográfica da Estação Terrena os ângulos de azimute e elevação para o rotor, e a compensação de frequência para o Efeito Doppler para satélites de órbita baixa, conforme mostrado na Figura 3.15. Na imagem foi selecionado o CubeSat do projeto SuwissCube o qual encontrava-se em operação (abril, 2010).

Uma das vantagens desta ferramenta é o código aberto, o qual pode ser solicitado ao autor através do envio de um cartão postal da cidade do solicitante (radioamador ou estudante) interessado. Esta solicitação encontra-se sob avaliação junto aos bolsistas diretamente envolvidos com o sistema de solo da Estação Terrena do NanosatC-Br.

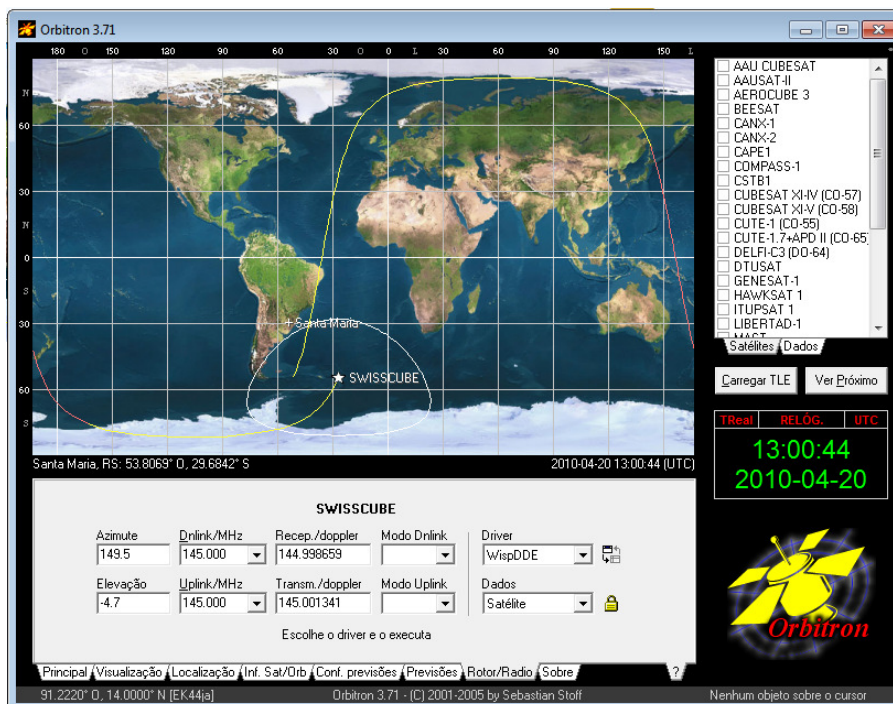


Figura 3.15 – Ilustração do aplicativo de determinação de órbitas e rastreamento de satélites Orbitron 3.71

Alguns aplicativos foram desenvolvidos e são disponibilizados por radioamadores para fazer a interface entre as informações do Orbitron e os equipamentos da Estação (rotor e rádio transceptor). Os aplicativos suportados pelo Orbitron, disponíveis na aba *Driver* Rotor/Rádio, são: Alarm, MyDEE, SpidAlfa e WispDEE. Estes drives fornecem a interface entre *software* e *hardware* para o controle e a operação dos principais modelos de rotores e rádios utilizados por radioamadores. A Figura 3.16 ilustra as informações do drive WispDEE a partir do satélite selecionado no Orbitron.

O WispDEE Client é um aplicativo para controlar rotores e rádios a partir de cálculos efetuados por um programa de rastreamento de satélites que opera em separado. O aplicativo trabalha em ambiente Windows e fornece uma maneira prática de transferir informações através de *Dynamic Data Exchange* ou DEE.

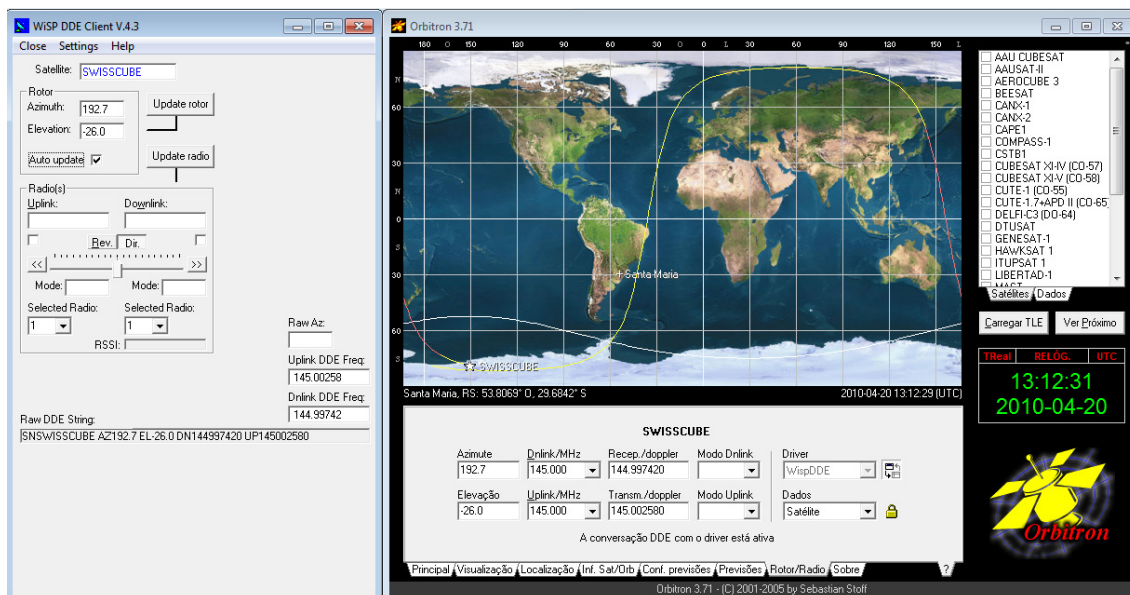


Figura 3.16 – Ilustração do aplicativo de determinação de órbitas Orbitron 3.71 e do drive WispDEE

Para especificar o rotor buscou-se identificar os principais modelos utilizados por radioamadores que apresentam suporte pelos drives já desenvolvidos de forma a facilitar a integração dos equipamentos. Outros fatores observados foram à precisão, a disponibilidade de interfaces para o controle por computador e o baixo custo.

Atendendo a estas características foi sugerido adquirir o rotor fabricado pela YAESU modelo G-5500 junto à interface de controle por computador GS-232, conforme apresentados na Figura 3.17. A interface GS-232 é suportada pelo driver WispDEE, de forma que poderia ser combinado com o Orbitron para o rastreo de diversos satélites.

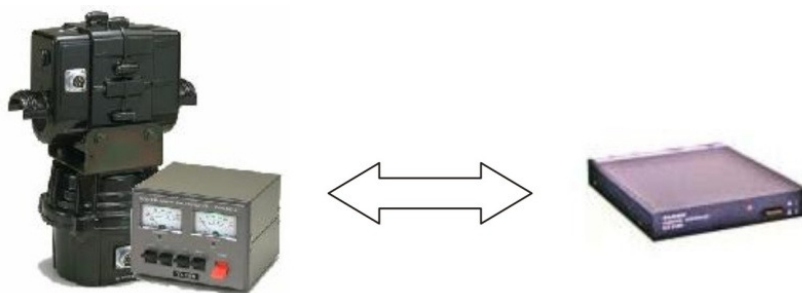


Figura 3.17 – Rotor G-5500 e a interface de controle por computador GS-232 da YAESU

Fonte: <http://www.yaesu.com>

Outro fator que influenciou na escolha foi à disponibilidade de um equipamento do mesmo modelo na sede do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) de São José dos Campos-SP, de forma que técnicos da instituição já possuem experiência com a utilização e configuração do equipamento.

O rotor Yaesu G-5500 fornece o controle dos ângulos de azimute (450°) e elevação (180°) de arranjos de antenas direcionais de médio e grande porte através de controle remoto proveniente da estação de rastreo de satélites (YAESU, 2010). Os rotores podem ser montados juntos sobre uma torre (suporte - MAST), conforme a Figura 3.18, ou independentemente com o rotor de azimute dentro de uma torre e rotor de elevação sobre a mesma.

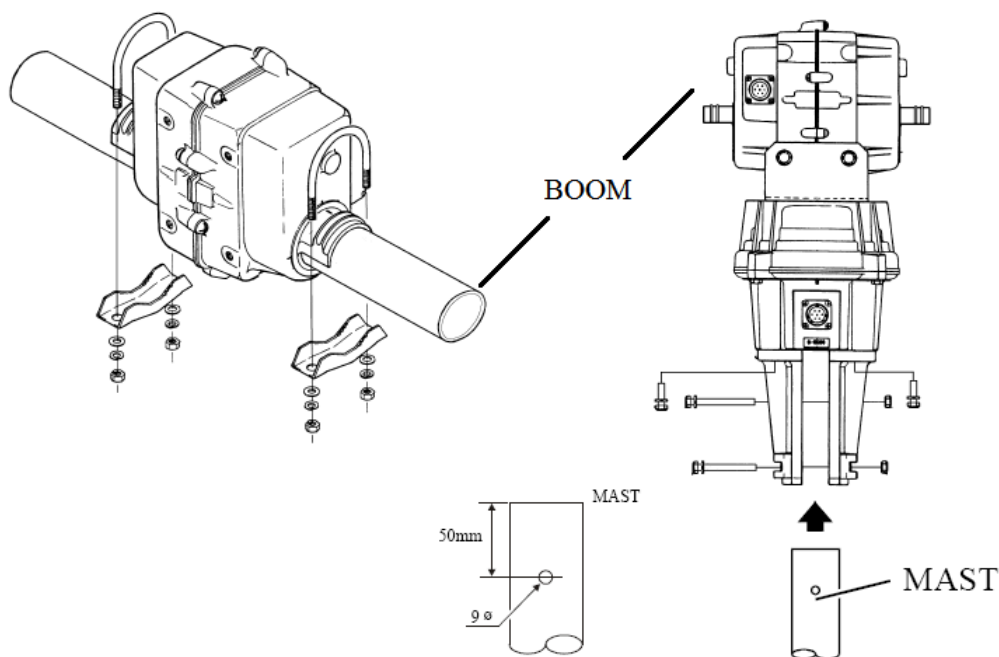


Figura 3.18 – Montagem e instalação do Rotor G-5500 da YAESU

Fonte: Manual de instruções rotor Yaesu G-5500.

O rotor pode acomodar duas antenas sobre o suporte (BOOM), as quais são fixadas nas partes finais do suporte, uma de cada lado do rotor. As principais características do rotor YAESU G-5500 e da interface para o controle por computador GS-232 são apresentadas nas Tabelas 3.4 e 3.5.

Tabela 3.4 – Especificações do Rotor de Azimute e Elevação G-5500 da YAESU

<b>Especificações rotor G-5500</b>	
Requerimentos de tensão	110 ou 220V (AC)
Tensão do motor	24V (AC)
Tempo aproximado de rotação (60Hz)	• Elevação (180°): 67s; • Azimute (360°): 58s
Torque de rotação	• Elevação: 14kgf·m; • Azimute: 6kgf·m
Torque de frenagem	• Elevação: 40kgf·m; • Azimute: 40kgf·m
Carga vertical	200kg
Acurácia de apontamento	±4% (elevação: ±7,2°; azimute: ±14,4°)
Superfície de arraste	1m <sup>2</sup>
Cabos de controle (não fornecidos)	2 x 6 condutores - #20 AWG ou maior
Diâmetro da torre (MAST)	38-63mm
Diâmetro do suporte (BOOM)	32-43mm
Pesos	Rotores: 9kg Controlador: 3kg

Fonte: Manual de instruções rotor Yaesu G-5500.

Tabela 3.4 – Especificações da Interface de Controle por Computador GS-232 da YAESU

<b>Especificações Interface de Controle por Computador</b>	
Requerimentos de potência	12V (DC), 110mA
Peso (aproximado)	380g
Comunicação serial	Níveis de tensão RS-232C Dados de 8bits (150-9600bauds)
Serial I/O	Conector 9-pin DB-9

Fonte: Manual de instruções interface de controle por computador Yaesu GS-232.

A Figura 3.19 apresenta a forma de ligação do Rotor G-5500 YAESU e a sua interface de controle por computador GS-232.

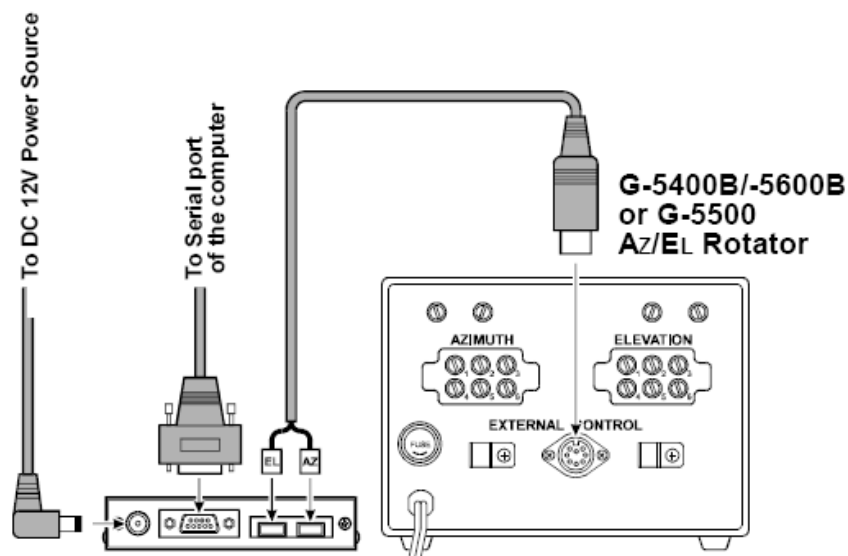


Figura 3.19 – Conexões de controle e potência do Rotor G-5500 e a Interface de Controle por Computador GS-232 da YAESU

Fonte: Manual de instruções interface de controle por computador Yaesu GS-232.

### 3.4 ESPECIFICAÇÃO DO RÁDIO TRANSCEPTOR

A especificação do rádio transceptor para montagem da Estação Terrena foi efetuada considerando uma análise de cálculo simplificado de enlace baseado no modelo de Propagação no Espaço Livre. A Equação 3.1 determina a potência recebida ( $P_r$ ) em função da distância ( $d$ ), a partir dos parâmetros do ganho da antena transmissora ( $G_t$ ), ganho da antena receptora ( $G_r$ ), potência transmitida ( $P_t$ ) e comprimento de onda do sinal ( $\lambda$ ).



As informações de subsistema de bordo (transceptor e antenas) consideradas na análise para a especificação dos equipamentos foram relativas à possível compra de um CubeSat junto a empresa holandesa ISIS.

$$P_r(d) = G_t G_r P_t \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (3.1)$$

Com referência a antena de recepção, optou-se por utilizar os ganhos obtidos com a simulação da antena do Projeto Radioastronomia, por se tratar do arranjo que obteve o menor ganho além de ser a antena disponível no Laboratório. A determinação do ângulo de elevação da antena, que determina a distância entre o satélite e a ET, conforme requisito para escolha do local de uma estação terrena deve estar entre 0° e 5°. Como não se dispunha de informações do mapeamento do ambiente (figura do horizonte), optou-se por dimensionar o sistema para o pior caso (ângulo de elevação 0°). A Equação 3.2 determina a distância do satélite a Estação Terrena (R) em função do ângulo de elevação da antena da ET ( $\varepsilon$ ) e da altitude de órbita do satélite (h), onde  $R_T$  é o raio da Terra.

$$R = \sqrt{(R_T + h)^2 - (R_T \cdot \cos \varepsilon)^2} - R_T \cdot \sin \varepsilon \quad (3.2)$$

O variação da distância entre o NanosatC-Br e a Estação Terrena, quando o mesmo está aproximando-se da ET, considerando o lançamento em órbita de 700km de altitude é apresentada na Figura 3.20. A variação da potência recebida pelo receptor, desconsiderando as perdas de conexão dos equipamentos da ET é apresentada na Figura 3.21 para o enlace de descida (*downlink*).

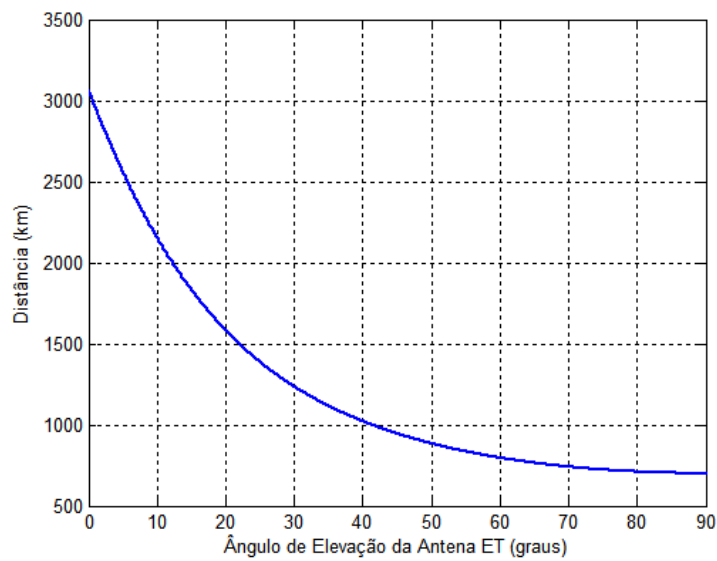


Figura 3.20 – Variação da distância do NanosatC-Br a Estação Terrena em função do ângulo de elevação das antenas da ET

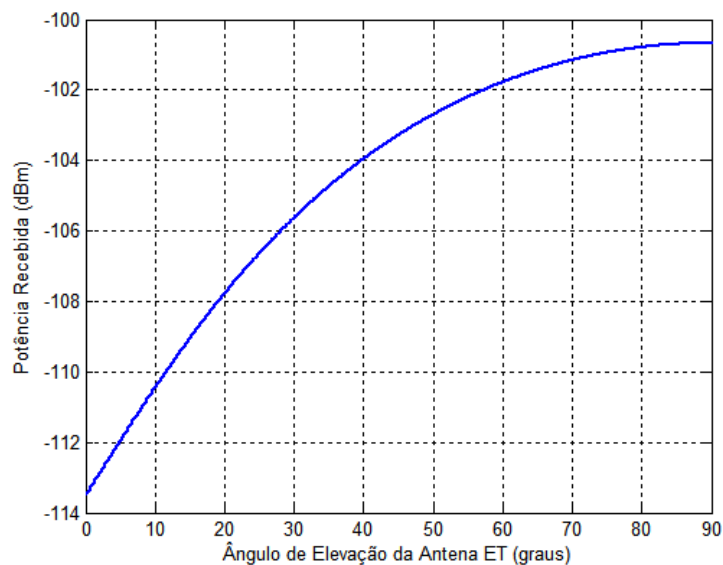


Figura 3.21 – Nível de potência recebida na Estação Terrena do NanosatC-Br em função do ângulo de elevação das antenas da ET

Para determinar o valor de referência para a sensibilidade do rádio foi adicionado um fator de desvanecimento de 10% (para os valores em dBm) para elevar a segurança do projeto. Dessa forma, conforme a análise proposta à sensibilidade mínima deverá ser de aproximadamente -125dBm.

Com referência a potência máxima de transmissão, em caso de operação de controle de um satélite foi estabelecido arbitrariamente a potência máxima de 100W. Esta potência foi estabelecida por se tratar da máxima potência de irradiação permitida para sistemas controlados por radioamadores da classe C, conforme regulamentos da ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações).

Porém uma análise foi efetuada para determinar a mínima potência a ser fornecida que possibilite o transceptor do satélite NanosatC-Br a receber os sinais de controle, uma vez que o satélite utilizará um transceptor com sensibilidade de -100dBm. O ganho da antena de solo UHF utilizado foi de 12dBi, conforme projeto disponibilizado por PY2BBS (ANEXO B).

A mínima potência a ser fornecida pelo receptor, considerando uma margem de desvanecimento de 10% (para valores em dBm) é de aproximadamente 50W. A Figura 3.22 apresenta os cálculos de enlace de comunicação de *downlink* e *uplink* para o Projeto NanosatC-Br.

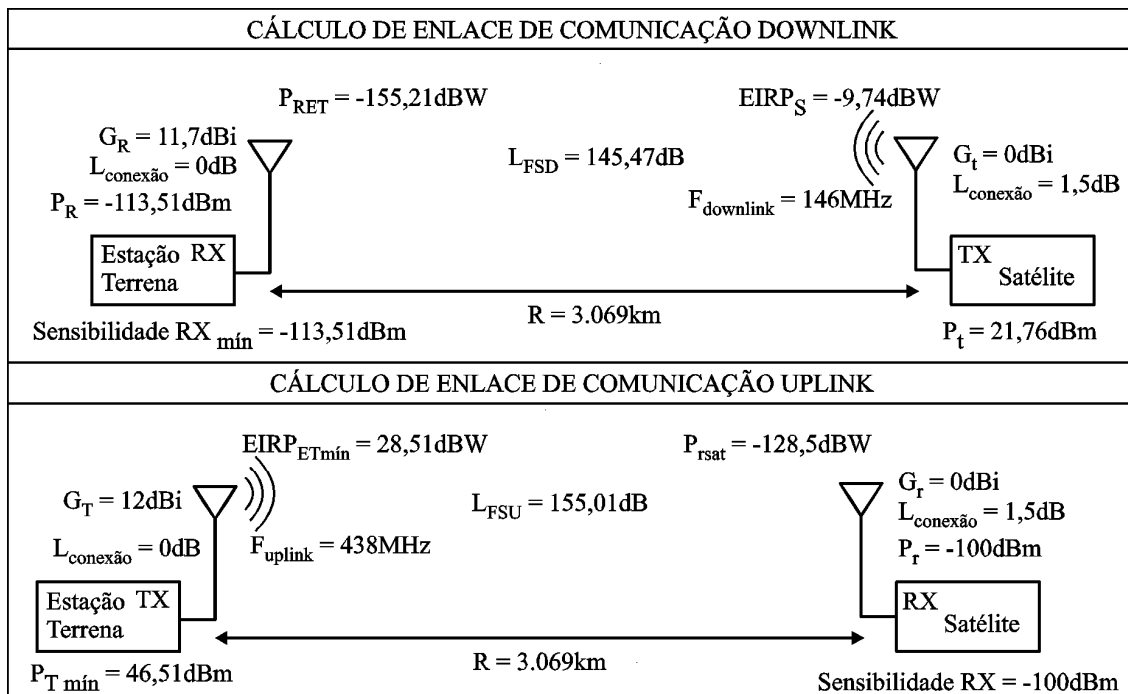


Figura 3.22 – Cálculo de enlace de comunicação de *downlink* e *uplink* para especificação do rádio transceptor da Estação Terrena do projeto NanosatC-Br

A partir das especificações mínimas obtidas com os cálculos de enlace de comunicação buscou-se desenvolver uma pesquisa dos principais rádios utilizados pelos radioamadores e projetos de outros CubeSats. Além das especificações de sensibilidade e potência de transmissão foram observadas as características de custo, disponibilidade no mercado nacional, bem como disponibilidade de interfaces para controle por computador. Contou-se novamente nesta etapa com algumas sugestões dos radioamadores locais.

Dentre os modelos observados o rádio transceptor Icom IC-910H foi selecionado, em conjunto com a interface de comunicação para controle por computador CT-17, conforme mostrado na Figura 3.23. Este rádio apresenta operação duplex nas faixas de frequência VHF e UHF de radioamadores, e tem a possibilidade de expansão através de um módulo para faixas de 1,2GHz (Banda S). Além disso, foi observado que este transceptor foi desenvolvido para operação de satélites por radioamadores e apresenta possivelmente suporte para operação via o driver WispDEE e o Orbitron. Esta hipótese não foi comprovada pois o drive exige a conexão do rádio transceptor ao computador de controle.

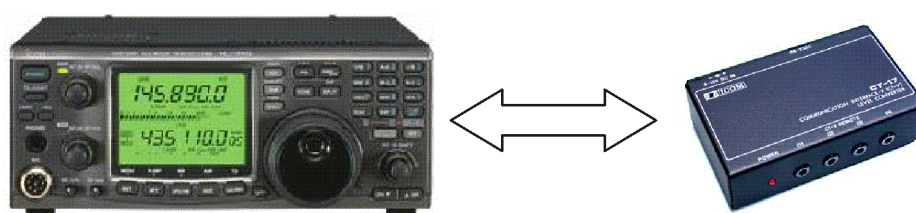


Figura 3.23 – Rádio transceptor Icom IC-910H e interface de comunicação CI-V CT-17 para Estação Terrena do projeto NanosatC-Br

Fonte: <http://www.icomamerica.com>

As especificações do rádio transceptor IC-910H são apresentadas na Tabela 3.5, observando em destaque as características de sensibilidade do receptor e potência de transmissão.

Tabela 3.5 – Especificações do Rádio Transceptor IC-910H da ICOM

<b>Especificações Rádio Transceptor IC-910H</b>	
Potência de Transmissão	144MHz: 5-100W 430MHz(440): 5-75W
Sensibilidade do receptor	SSB/CW (S/N 10dB): 0,11 $\mu$ V (-126dBm) FM (S/N 12dB): 0,18 $\mu$ V (-122dBm)
Modulação	SSB FM
Faixas de Frequência (modelo EUA)	TX: 144-148MHz e 430-440MHz. RX: 136-174MHz e 420-480MHz
Resolução de frequência	1Hz (mínima)
Conectores das antenas	SO-239 (50 $\Omega$ – VHF) Tipo-N (50 $\Omega$ – UHF)
Fonte de alimentação	13,8V DC $\pm$ 15%
Corrente drenada aproximada para 13,8V DC	Transmissor: 23,0A (máxima potência) Receptor: 2,0A ( <i>standby</i> ) 2,5A (máximo áudio)

Fonte: Manual de Instruções Rádio Transceptor IC-910H ICOM

### 3.5 ARQUITETURA DA ESTAÇÃO TERRENA DO PROJETO NANOSATC-BR

A partir das especificações dos equipamentos para montagem de uma Estação Terrena de Rastreamento, Recepção e Controle de satélites nas faixas VHF e UHF destinadas a radioamadores foi proposto um diagrama com a arquitetura básica da Estação Terrena de Rastreamento e Controle do NanosatC-Br (Figura 3.24). Esta análise considera os equipamentos e alguns aplicativos para o rastreamento dos satélites e interface, e não

contempla a análise de processamento de sinais a qual será uma etapa a ser desenvolvida na sequência do presente projeto ou através de outro projeto de pesquisa.

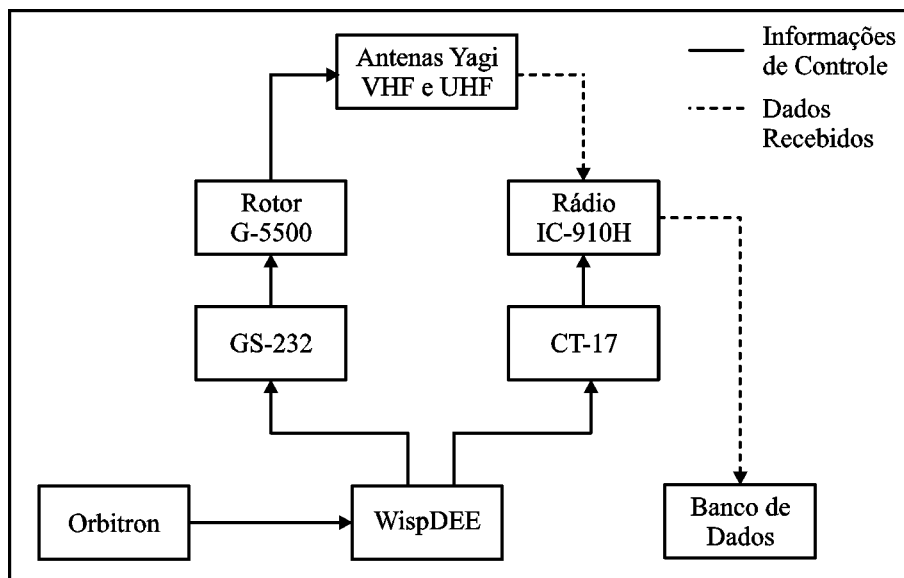


Figura 3.24 – Arquitetura básica para Estação Terrena do projeto NanosatC-Br

## CAPÍTULO 4

### PROFESSIONAL HRPT SMART STATION

#### 4.1 INTRODUÇÃO

O objetivo do capítulo é apresentar as atividades complementares de testes dos equipamentos da *Professional HRPT SMART Station* desenvolvidas durante o período de maio a junho de 2010. Este sistema permite o rastreamento de satélites NOAA e a captação de imagens HRPT, encontrando-se o sistema sob testes no CRS/CCR/INPE – MCT como é descrito na sequência do capítulo.

#### 4.2 DESCRIÇÕES DOS EQUIPAMENTOS E APLICATIVOS

A *Professional HRPT SMART Station* é um sistema que permite o rastreamento, recepção e processamento de imagens transmitidas pelos Satélites NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*). A *Professional HRPT SMART Station* é composta por uma Estação de Trabalho (*Workstation*), um Sistema Posicionador, um Sistema de Antena e um Sistema de GPS. As dimensões do conjunto Antena e Posicionador são apresentadas na Figura 4.1 e as informações Técnicas da Antena, LNA (*Low Noise Amplifier*) e Receptor HRPT nas Figuras 4.2 e 4.3.

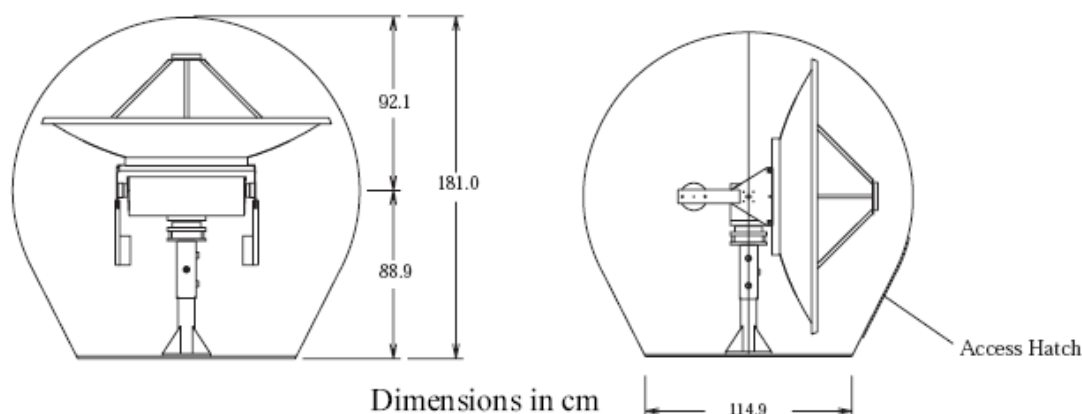


Figura 4.1 – Dimensões da *Professional HRPT SMART Station*

Fonte: SMARTech, 2010.

<b>SMART Antenna™ System: Professional Model 170R</b>	
Antenna Type: .....	Solid Parabolic Aluminum
Antenna Diameter: .....	1.5 meters (5.0 feet)
Gain: .....	26.7 dBi at 1700 MHz
Beamwidth: .....	8.2 degrees typical
Finish: .....	Low reflectance (8-10%) white powdercoat
Acquisition Elevation (10 <sup>-6</sup> BER).....	1.0 degrees
Azimuth Range: .....	720 degrees
Elevation Range: .....	180 degrees
Azimuth & Elevation Peak Torque: .....	170 Nm (125 ft.-lbs.)
Backlash (both axes): .....	0.15 degrees
Overall Positioning Accuracy: .....	0.3 degrees
Azimuth & Elevation Speed: .....	15 degrees/second
Protection: .....	Az/EI Limit Switches
Stowing: .....	Automatic to vertical position
Antenna/Positioner Weight: .....	113 kg (250 lbs.)
Winds (Survival & Operational) .....	200 km/hour (125 mph)
Tracking Control: .....	Internal microprocessor running SGP4 model
Antenna Interface: .....	RS-422
Radome: .....	Rigid, 2-piece, fiberglass construction
<b>Integrated Feed / LNA / Downconverter: IFD 1700</b>	
RF Input Frequency: .....	1690 - 1710 MHz
RF Input Bandwidth: .....	35 MHz (3 pole filter)
Image Rejection: .....	60 dB typical
Downconverter Gain: .....	45 dB typical
Downconverter Noise Figure: .....	0.8 dB (60K) typical
IF Output Frequency: .....	125.0 - 145.0 MHz
Power Requirements: .....	+12 to +16 VDC @ 500 mA max
Polarization: .....	RHCP (Dual RHCP / LHCP optional)
Frequency Stability: .....	+ / - 2 KHz typical
IF Output Connector: .....	type 'N' female
Environmental: .....	-30 to +60 degrees C
IF Cable Length: .....	Up to 100 meters

Figura 4.2 – Informações Técnicas da Antena e LNA da *Professional HRPT SMART Station*

Fonte: SMARTech, 2010.



<b>HRPT Receiver: BPSK 1700</b>	
IF Input Frequency: .....	120 - 170 MHz
IF Input Connector: .....	BNC Female
Bit Rate: .....	DC to 2.5 Mbps
Loop Bandwidth: .....	0.003% to 3.0% of center frequency
Capture Range: .....	3 X loop bandwidth
Image Rejection: .....	60 dB typical
IF Rejection: .....	60 dB typical
Adjacent Carrier Rejection: .....	1 dB maximum BER degradation
Parasitic Interference Rejection: .....	60 dB typical
Input Level: .....	-10 to -30 dBm (70mV to 7 mV @ 50 ohms)
Input Impedance: .....	50 ohms
Implementation Loss: .....	≤ 1 dB
Demodulator Type: .....	PSK & BPSK-PLL Demodulators
Output: .....	Clock and Data RS-422 (NRZ & Manchester)

Figura 4.3 – Informações Técnicas do Receptor da *Professional HRPT SMART Station*

Fonte: SMARTech, 2010.

O aplicativo SMARTrack instalado na Estação de Trabalho (Sistema Operacional MS Windows NT<sup>TM</sup> Server 4.0) fornece as funcionalidades de rastreamento dos satélites, controle do posicionador, aquisição de dados HRPT, agendamento de rastreios e processamento preliminar das imagens HRPT obtidas dos satélites NOAA. Este aplicativo ainda apresenta rotinas para execução de testes de calibração e comunicação dos dispositivos conectados a Estação de Trabalho.

### 4.3 DESCRIÇÕES DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Dois Conjuntos da *Professional HRPT SMART Station* estão disponíveis no CRS/CCR/INPE conforme apresentado nas Figuras 4.5 e 4.6. Os sistemas estão sendo reaproveitados e foram disponibilizados ao Pesquisador Dr. Ronald Buss de Souza a partir de projetos desativados por outras Instituições/Empresas.

A principal dificuldade para montagem e testes dos sistemas das Estações foi à indisponibilidade de documentação técnica dos equipamentos, com destaque para os itens referentes às conexões e diagramas dos circuitos de controle do posicionador. A principal referência disponível, um Guia de Instalação, apresentava apenas informações

para instalação dos equipamentos, testes de alinhamento e configuração do Sistema da Estação de Trabalho.



Figura 4.4 – Sistemas da *Professional HRPT SMART Station* (Conjunto 1)



Figura 4.5 – Sistemas da *Professional HRPT SMART Station* (Conjunto 2)

Os cabos de controle do posicionador e GPS, bem como os seus conectores encontravam-se sem condições de uso e foi necessário fazer a restauração e reaproveitamento para o desenvolvimento dos testes. De forma semelhante os cabos coaxiais de transmissão dos sinais de radiofrequência que conectam a antena ao receptor (*Short IF Cable* e *Long IF Cable*) foram reaproveitados.

Para obter as informações de conexão dos cabos de controle do posicionador e GPS uma visita técnica foi efetuada ao Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM - UFRGS), em Porto Alegre – RS, onde uma Estação semelhante encontra-se instalada conforme a Figura 4.6. Os detalhes das conexões são apresentados na Figura 4.7 e na Tabela 4.1.



Figura 4.6 – Antena da *Professional HRPT SMART Station* Instalada no CEPSRM

Fonte: DA ROSA et. al, 2010.

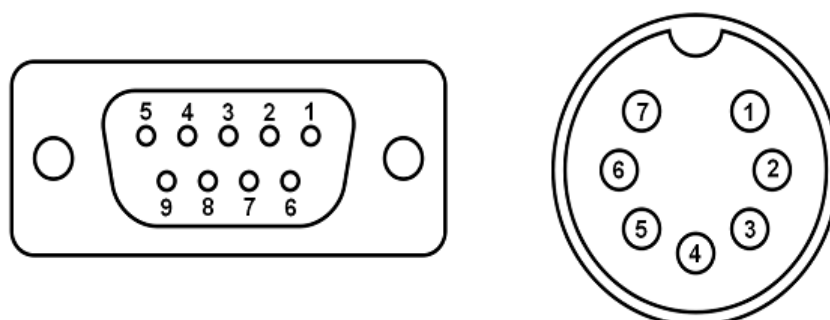


Figura 4.7 – Conectores DB-9 fêmea e 7-PIN fêmea

Fonte: DA ROSA et. al, 2010.

Tabela 4.1 – Conexões diretas entre os conectores DB-9 e 7-PIN

<b>Pinos do conector DB-9</b>	<b>Pinos do conector 7-PIN</b>	<b>Cor do fio</b>
1	3	Branco (Preto)
2	2	Preto (Branco)
3	4	Preto (Branco)
4	1	Vermelho
5	6	Desencapado
6	7	Preto (Branco)
7	Não usado	Não usado
8	Não usado	Não usado
9	5	Verde

Fonte: DA ROSA et. al, 2010.

A partir das informações de conexão os dois conjuntos de antenas foram montados para execução de testes no Laboratório de Radiofrequência e Comunicações, com a colaboração dos bolsistas do Laboratório de Mecânica Fina e do Laboratório de Computação Aplicada.

O primeiro conjunto de equipamentos testado (Conjunto 1) apresentava um receptor externo (MetCom DSP Receiver) o qual foi instalado junto a Estação de Trabalho. Ao iniciar o sistema foi necessário configurar as portas COM (seriais) do PC da Estação, as quais apresentavam endereços diferentes para o sistema operacional e para o aplicativo SMARTrack.

Após a configuração é necessário que o computador não seja reiniciado para manter a configuração estabelecida. Esta configuração deve ser efetuada toda vez que o sistema é iniciado sendo necessárias modificações apenas para o posicionador (COM 3). A Tabela 4.2 apresenta as configurações estabelecidas para as 4 portas seriais bem como os respectivos equipamentos conectados.

Tabela 4.2 – Configuração das portas seriais e equipamentos conectados a Estação de Trabalho

<b>Porta Serial</b>	<b>Endereço</b>	<b>Equipamento</b>
COM 1	03F8	Receptor
COM 2	02F8	-
COM 3	02E8	Posicionador
COM 4	E000	GPS

Após a execução dos testes de apontamento da antena a partir do aplicativo SMARTTrack verificou-se que o posicionador 1 não apresentava as respostas esperadas para os ângulos de azimute e elevação, sendo dessa forma substituído pelo posicionador 2 (conjunto completo antena/posicionador). O sistema de GPS não foi identificado pelo aplicativo SMARTTrack não ficando disponíveis as funcionalidades de atualização de tempo e localização. Estas atualizações poderão ser efetuadas através da internet conforme informações obtidas na visita ao CEPSRM.

O segundo conjunto de equipamentos testado (Conjunto 2) apresentou respostas positivas quanto ao seu funcionamento durante os testes de apontamento da antena (azimute e elevação). Um teste para rastreamento de uma passagem de um satélite NOAA foi estabelecido ainda no Laboratório, para o qual o sistema operou satisfatoriamente.

O sistema foi montado sobre o prédio do CRS/CCR/INPE, conforme a Figura 4.8, para possibilitar a execução da rotina de alinhamento necessária para calibração do sistema conforme exposto no Guia de Instalação (*SMARTech – Installation Guide*). A rotina de alinhamento é parte do SMARTTrack e esta localizada no diretório do aplicativo sendo executada através do arquivo Install.exe.

A rotina de alinhamento (Método Alinhamento #1) é uma sequência de rastreios de satélites que dura cerca de 24hs, através dos quais medições do nível de potência do sinal recebido são efetuadas com o objetivo de estimar o deslocamento angular do sistema da antena em relação ao norte. Correções de desvio de até 15° são efetuadas diretamente através de compensação pelo sistema de rastreamento. Um relatório da

calibração é disponibilizado pelo aplicativo em um arquivo de texto para acompanhamento do processo para cada passagem agendada de um satélite.



Figura 4.8 – Antena da *Professional HRPT SMART Station* Instalada para Testes no CRS/CCR/INPE

Durante a execução dos testes de alinhamento observou-se que o sistema oscilava entre momentos de correta operação e momentos de falha de comunicação com o posicionador da antena. Optou-se então por testar a Estação de Trabalho 1 operando com os Sistemas do Posicionador e Antena 2.

Após a montagem e conexão dos sistemas foi possível executar a rotina de alinhamento. Os equipamentos encontram-se sob testes na finalização do presente relatório e os resultados preliminares obtidos são apresentados no subitem seguinte.

#### **4.4 RESULTADOS PRELIMINARES OBTIDOS**

A rotina de alinhamento foi executada com o objetivo primário de estabelecer a calibração do posicionador, além do objetivo secundário de demonstrar que os equipamentos estavam operando de forma satisfatória. Conforme o Guia de Instalação

apenas após o processo de calibração será possível a aquisição de imagens através do aplicativo SMARTTrack.

Apesar disso, durante a execução da rotina de alinhamento foi possível captar a primeira imagem obtida do satélite NOAA 15 (Figura 4.9). Esta imagem foi captada automaticamente pelo sistema, pois a visada apresentava um ângulo de elevação superior a  $10^\circ$  bem como o nível de sinal era elevado. A imagem apresenta a área de interesse anteriormente definida no Aplicativo SMARTTrack.

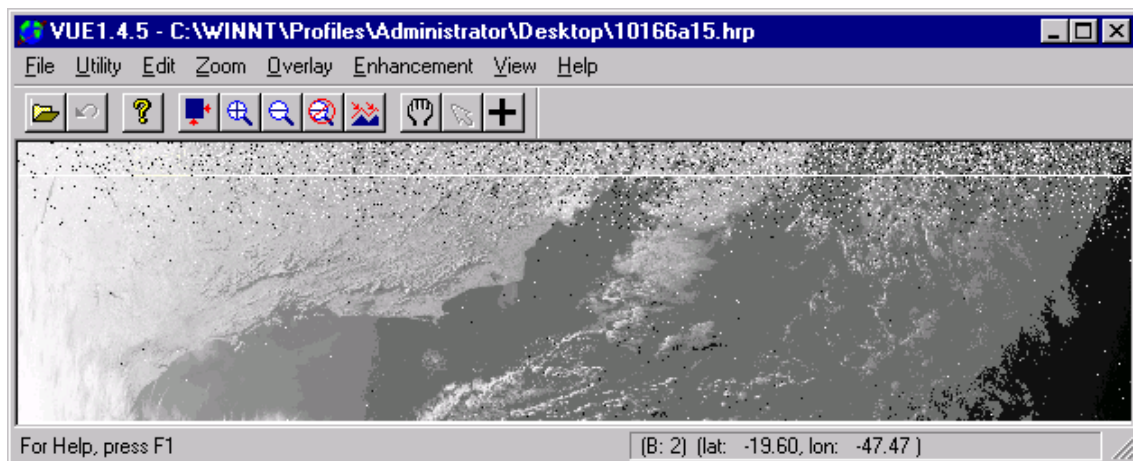


Figura 4.9 – Imagem do CH2 do NOA 15 capturado durante o Processo de Alinhamento da *Professional HRPT SMART Station* Instalada para Testes no CRS/CCR/INPE



## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÃO

Durante o segundo ano de execução do Projeto de Pesquisa intitulado “Desenvolvimento de uma Estação Terrena (ET) para o Nanosatélite Científico Brasileiro – NanosatC-Br”, foram especificadas e avaliadas as duas opções de implementação da ET de Rastreo e Controle de Satélites no CRS/CCR/INPE - MCT. Estas opções consistem (i) na aquisição de uma solução completa importada fornecida por uma empresa especializada, ou (ii) a aquisição de equipamentos utilizados por radioamadores que serão integrados em laboratório de acordo com as especificações de projeto.

Os requisitos da ET foram estabelecidos a partir das especificações iniciais do subsistema de comunicação de bordo, o qual será adquirido da empresa holandesa ISIS. As informações apresentadas referentes às faixas de frequência, modulação e protocolo de comunicação foram obtidas no endereço eletrônico da empresa e estão sujeitas a alterações conforme interesses da Missão.

A solução importada completa avaliada foi a *UHF/VHF/S-BAND Ground Station* fornecida pela empresa holandesa ISIS. As principais vantagens da utilização desta estação são a aceleração da implementação da ET do Projeto NanosatC-Br e a garantia de compatibilidade entre os subsistemas de comunicação de bordo e de solo por se tratar da mesma empresa fornecedora.

A solução a ser integrada a partir de equipamentos utilizados por radioamadores avaliada consiste na proposta de uma arquitetura básica, a qual não contempla os equipamentos ou soluções para o processamento de dados de telemetria e telecomando. As especificações apresentadas contemplaram os principais equipamentos, antenas, rotor e rádio transceptor, e as suas interfaces de controle por computador, bem como os aplicativos para o controle dos referidos equipamentos e para o rastreo de satélites (aplicativo de previsão de órbita). As principais vantagens da utilização destes equipamentos são o desenvolvimento de soluções de engenharia pela equipe envolvida





na integração dos equipamentos, a troca de experiências com os radioamadores da região de Santa Maria – RS os quais manifestaram interesse em participar do projeto, e o menor custo para aquisição dos equipamentos iniciais propostos no projeto.

Para elevar a confiabilidade do subsistema de solo esta sendo avaliada a proposta de instalação das duas soluções apresentadas, com o objetivo de desenvolver um sistema redundante de rastreamento de satélites. Desta forma as vantagens complementares apresentadas dos dois sistemas estariam combinadas, tornando possível a participação das Instituições envolvidas na GENSO.

Com referência as atividades complementares desenvolvidas durante o período do projeto foram apresentados os resultados preliminares obtidos nos testes da *Professional HRPT SMART Station* a qual esta sendo reestruturada e será instalada na sede do CRS/CCR/INPE – MCT. Os testes iniciais demonstraram que os equipamentos estão operando com algumas limitações, e os resultados finais dos testes serão apresentados na forma de um projeto com especificações e adequações para a instalação definitiva do equipamento.

As atividades propostas para a sequência do Projeto de Pesquisa estão relacionadas integração dos equipamentos e ao desenvolvimento dos testes de aceitação e qualificação dos dois sistemas a serem adquiridos. Estes testes serão desenvolvidos através do rastreamento de satélites de órbita baixa, tais como nanosatélites de outras Universidades ou satélites de comunicação de radioamadores como os satélites OSCAR da AMSAT.



## REFERÊNCIAS

BALANIS, C. A. **Antenna Theory: Analysis and Design**. New York: John Wiley & Sons, 1997. 941p.

CUBESAT SHOP - INNOVATIVE SOLUTIONS IN SPACE (ISIS). Disponível em: <<http://www.cubesatshop.com>>. Acesso em: 27 de abr. 2010.

DA ROSA, G. S et al. **Relatório de visita técnica a UFRGS**. Santa Maria, 2010. 18 p.

ICOM, INC. **Instruction Manual VHF/UHF All Mode Transceiver IC-910H**. Disponível em: <<http://www.icomamerica.com>>. Acesso em: 27 de abr. 2010.

ICOM, INC. **CT-17 Communication Interface V (CI-V) Level Converter Instruction Manual**. Disponível em: <<http://www.icomamerica.com>>. Acesso em: 27 de abr. 2010.

PY2BBS. **Antena de Polarização Cruzada by PY2BBS**. Disponível em: <[http://www.py2bbs.qsl.br/satellite\\_cross\\_yagi.php](http://www.py2bbs.qsl.br/satellite_cross_yagi.php)>. Acesso em: 21 de jun. 2010.

PA3GUO. **Cross-Yagis for Terrestrial and Satellite Work**. Disponível em: <<http://www.qsl.net>>. Acesso em: 26 de maio 2010.

PY4ZBZ. **Polarização de Ondas**. Disponível em: <<http://www.qsl.net>>. Acesso em: 26 de maio 2010.

SHUCH, N. J. et al. **Projeto Básico Missão NanosatC-Br - Clima Espacial: Versão Um**, 2008. 63 p.

SMARTech. **Specifications for SMART Station™ HRPT Professional (170R)**. Disponível em: <<http://www.ulrnc.org.ua/station/pro170r98pdf.pdf>>. Acesso em: 16 de jun. 2010.

SMARTech. **Professional HRPT SMART Station Instalation Guide Version 2.5**. SMARTech. 47 p.

VIEZBICKE, P. P. **Yagi Antenna Design**. NBS Technical Note 688, 1976. 30 p.



YAESU **Instruction Manual G-5500**. Disponível em: <<http://www.yaesu.com>>. Acesso em: 27 de abr. 2010.

YAESU. **GS-232A Computer Control Interface for Antenna Rotators**. Disponível em: <<http://www.yaesu.com>>. Acesso em: 27 de abr. 2010.



## ANEXO A

Descrição do método NBS de projeto prático das antenas Yagi-Uda.

Passo 1: Marcar o comprimento dos elementos dispostos na Tabela A1 sobre a curva (B) referente a antena Yagi-Uda de  $2,2\lambda$  de comprimento na Figura A1, os comprimentos representam o caso de  $d/\lambda=0,0085$ .

Passo 2: Marcar o ponto para a razão  $d/\lambda=0,0046$  sobre a curva (B) para a antena Yagi-Uda de  $2,2\lambda$  de comprimento na Figura A1, obtendo o comprimento do elemento diretor 1  $LD1=0,444\lambda$ .

Passo 3: Para a mesma razão  $d/\lambda=0,0046$ , determinar o comprimento compensado do refletor na curva (B),  $LR=0,485\lambda$ .

Passo 4: Medir a distância entre os pontos marcados para o diretor D1 até o diretor D2 na direção horizontal, para o caso de  $d/\lambda=0,0085\lambda$  marcados no Passo 1. Na sequência transpor esta distância a partir do ponto D1 determinado no Passo 2, e marcar este ponto sobre a curva dos diretores, obtendo o comprimento  $LD2=0,422\lambda$ . De forma semelhante são medidas as distâncias entre os demais elementos, obtendo os seguintes comprimentos:  $LD3=0,413\lambda$ ;  $LD4=0,402\lambda$ ;  $LD5-LD10=0,394\lambda$ .

Passo 5: Aos comprimentos estabelecidos do Passo 4 devem ter adicionados um fator de correção o qual leva em consideração o diâmetro do suporte e a frequência de operação, conforme a Figura A2. Para a relação  $D/\lambda=0,0104$ , conforme a curva da Figura A2, cada comprimento deve ser compensado por  $0,0068\lambda$ .

Os comprimentos dos elementos compensados são:  $LR=0,4918\lambda$ ;  $LD1=0,4508\lambda$ ,  $LD2=0,4288\lambda$ ;  $LD3=0,4198\lambda$ ;  $LD4=0,4088\lambda$ ;  $LD5-LD10=0,4008\lambda$ .

Tabela A.1 – Comprimentos otimizados para os elementos de antena Yagi-Uda de seis comprimentos diferentes

Diâmetro do elemento ( $d/\lambda$ ) = 0,0085 $f = 400\text{MHz}$ Espaçamento R-Alimentador = $0,2\lambda$		Comprimento da antena Yagi-Uda em função de $\lambda$					
		0,4	0,8	1,20	2,2	3,2	4,2
<b>Comprimento do refletor em <math>\lambda</math></b>		0,482	0,482	0,482	0,482	0,482	0,475
<b>Comprimento do diretor em função de <math>\lambda</math></b>	1°	0,424	0,428	0,428	0,432	0,428	0,424
	2°		0,424	0,420	0,415	0,420	0,424
	3°		0,428	0,420	0,407	0,407	0,420
	4°			0,428	0,398	0,394	0,407
	5°				0,390	0,394	0,403
	6°				0,390	0,390	0,398
	7°				0,390	0,386	0,394
	8°				0,390	0,386	0,390
	9°				0,398	0,386	0,390
	10°				0,407	0,386	0,390
	11°					0,386	0,390
	12°					0,386	0,390
	13°					0,386	0,390
	14°					0,386	
	15°					0,386	
<b>Espaçamento entre diretores em <math>\lambda</math></b>		0,20	0,20	0,25	0,20	0,20	0,308
<b>Ganho relativo ao dipolo de meia-onda em dB</b>		7,1	9,2	10,2	12,25	13,4	14,2
<b>Curva de projeto (ver Figura A1)</b>		(A)	(C)	(C)	(B)	(C)	(D)

Fonte: Adaptado de NBS Technical Note 488 - Yagi Antenna Design

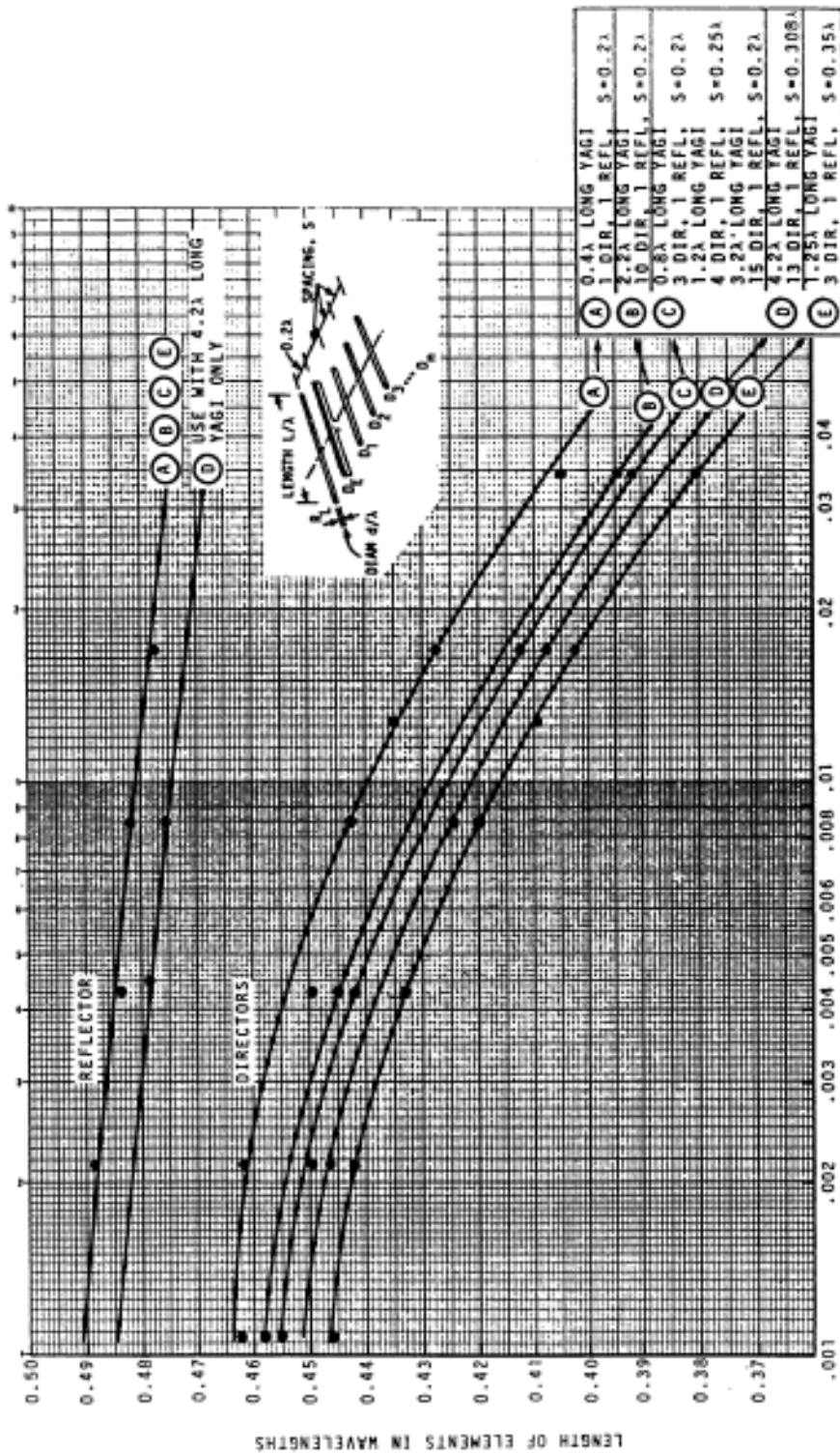


Figura A.1 – Dados para o projeto de antenas Yagi-Uda mostrando a relação entre a razão do diâmetro do elemento pelo comprimento de onda  $\lambda$  e o comprimento do elemento para diferentes antenas

Fonte: Adaptado de NBS Technical Note 488 - Yagi Antenna Design.

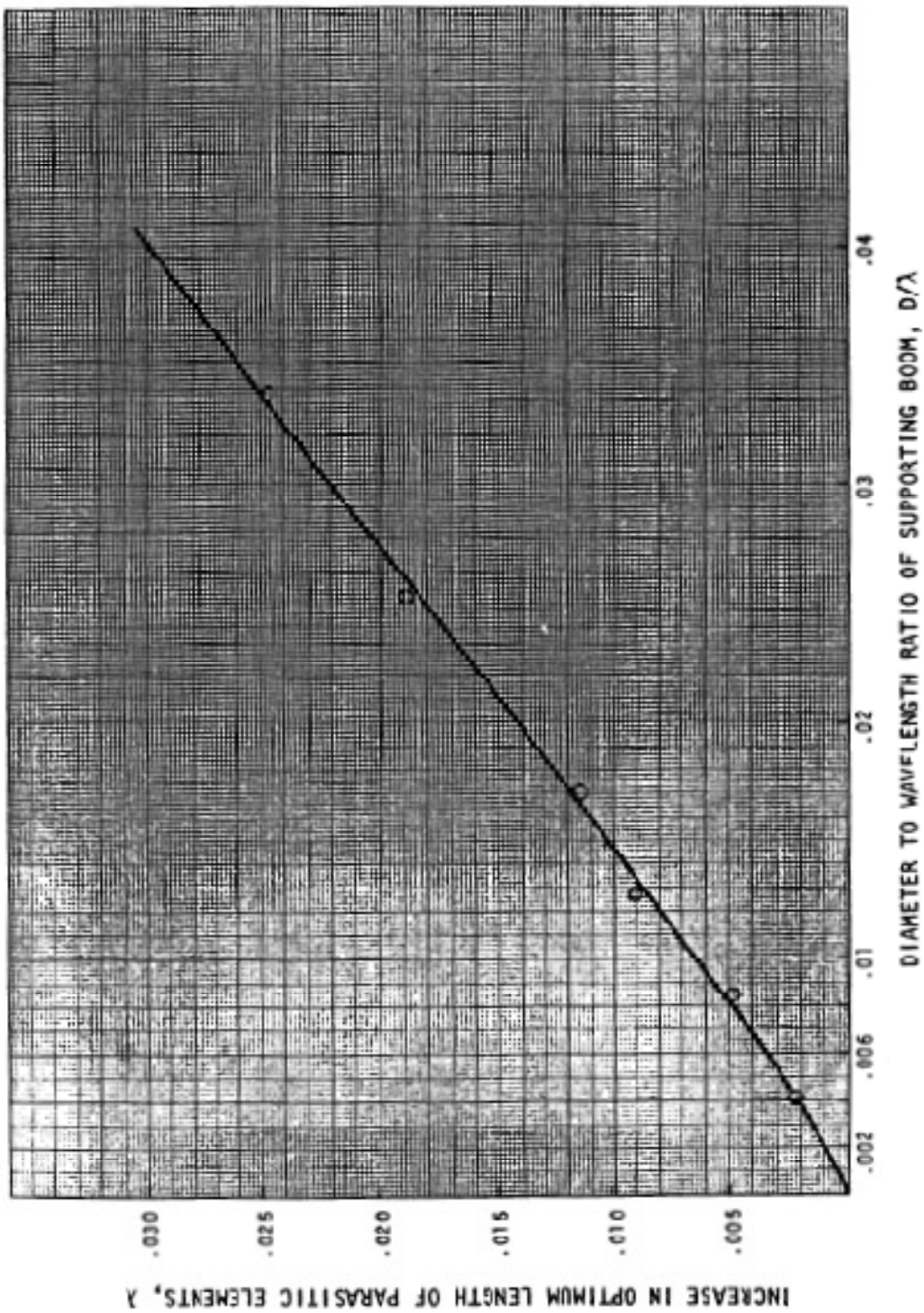


Figura A.2 – Gráfico mostrando o efeito do diâmetro do suporte no comprimento dos elementos

Fonte: NBS Technical Note 488 - Yagi Antenna Design.

## ANEXO B

Antena Yagi-Uda cruzada de polarização circular para faixa UHF do radioamador PY2BSS.

Tabela B.1 – Dimensões da antena Yagi-Uda de 8 elementos do Radioamador PY2BSS

Elemento	Comprimento dos elementos	Espaçamento entre os Elementos
Refletor (R)	0,334m	R-A = 0,192m
Alimentador (A)	0,318m	A-D1 = 0,053m
Diretor (D1)	0,302m	D1-D2= 0,125m
Diretor (D2)	0,298m	D2-D3= 0,152m
Diretor (D3)	0,2925m	D3-D4= 0,180m
Diretor (D4)	0,287m	D4-D5= 0,195m
Diretor (D5)	0,2865m	D5-D6 = 0,207m
Diretor (D6)	0,2815m	-

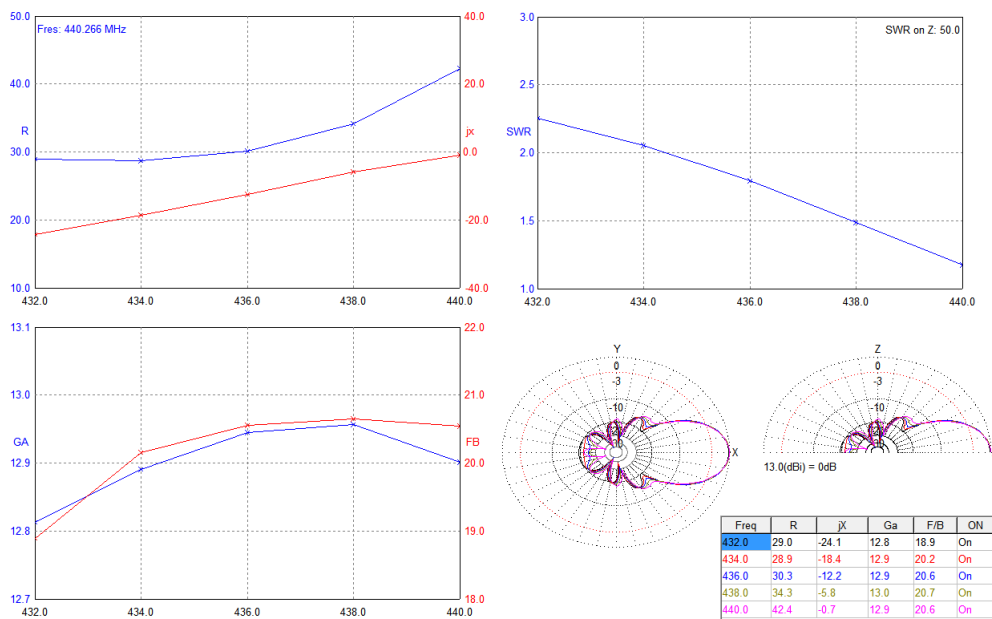


Figura B.1 – Características da antena Yagi-Uda cruzada de 8 elementos do radioamador PY2BSS obtidas através do aplicativo MMANA-GAL





## ANEXO C

Participação com apresentação de Trabalhos Científicos e publicação em anais de Congressos em 2009.

**Título:** PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE COMUNICAÇÃO DO NANOSATC-BR.

**Autores:** JASKULSKI, T.; FAGUNDES, I. F.; ROSA, G. S.; SCHUCH, N. J.; GOMES, N. R.; ROZENFELD, P.

**Evento:** XVII Jornadas de Jovenes Investigadores - Universidad, Conocimiento y Desarrollo Regional.

**Local:** Concordia, Entre Rios - República Argentina.

**Período:** 27 a 29 de outubro de 2009.

**Título:** DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTAÇÃO TERRENA (ET) PARA O NANO-SATÉLITE CIENTÍFICO BRASILEIRO NANOSATC-BR - SICINPE 2009.

**Autores:** FAGUNDES, I. F.; ROZENFELD, P.; SCHUCH, N. J.; GOMES, N. R.;

**Evento:** 24ª Jornada Acadêmica Integrada.

**Local:** Santa Maria, RS.

**Período:** 10 a 13 de novembro de 2009.

**Título:** ESPECIFICAÇÕES PARA A IMPLANTAÇÃO DA ESTAÇÃO TERRENA DE COMUNICAÇÃO DO PROJETO NANOSATC-BR.

**Autores:** FAGUNDES, I. F.; ROZENFELD, P.; SCHUCH, N. J.; GOMES, N. R.; ROSA, G. S.; JASKULSKI, T.

**Evento:** XXIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia.

**Local:** Joinville, SC.

**Período:** 16 a 18 de novembro de 2009.