



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

## **DESENVOLVIMENTO DO SERVOMECANISMO PARA POSICIONAMENTO DAS ANTENAS COLETORAS DOS PROJETOS RADIOASTRONOMIA E SISTEMA LOFAR**

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

Jean Paulo Guarnieri (RSU/CIE/INPE – MCT, Bolsista)  
E-mail: [jpguarnieri@lacesm.ufsm.br](mailto:jpguarnieri@lacesm.ufsm.br)

Dr. Nelson Jorge Schuch (CRSPE/INPE – MCT, Orientador)  
E-mail: [njschuch@lacesm.ufsm.br](mailto:njschuch@lacesm.ufsm.br)

Julho de 2006

## **DADOS DE IDENTIFICAÇÃO**

### Bolsista:

Jean Paulo Guarnieri  
Acadêmico de Engenharia Mecânica  
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

### Processo:

Processo CNPq Nº 101781/2004-0

### Orientador:

Dr. Nelson Jorge Schuch  
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT

### Co-Orientador:

Prof. Dr. Natanael Rodrigues Gomes – LACESM/CT – UFSM  
Laboratório de Radiofrequências e Telecomunicações – CRSPE/INPE – MCT

### Colaboradores/Acadêmicos:

Silvano L. Prochnow – Curso de Engenharia Mecânica – LACESM/CT – UFSM  
Viviane C. Marques – Curso de Engenharia Mecânica – LACESM/CT – UFSM  
Jean C. Daroit – Curso de Engenharia Mecânica – LACESM/CT – UFSM  
Cleomar P. da Silva – Curso de Engenharia Elétrica – LACESM/CT – UFSM

### Local de Trabalho/Execução do Projeto:

Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas – CRSPE/INPE – MCT.  
Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT/ UFSM  
Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT  
Laboratório de Metalurgia Física – CT/UFSM  
Laboratório de Soldagem e Materiais – LASOMET/CT/UFSM

---



## SUMÁRIO

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO _____	2
RESUMO _____	5
<b>CAPÍTULO 1 _____</b>	<b>6</b>
1.1 Introdução _____	6
1.2 Objetivos _____	7
1.2.1 Projeto Radioastronomia _____	7
1.2.2 Projeto LOFAR ( <i>Low-Frequency Array</i> ) _____	7
<b>CAPÍTULO 2 – PROJETO RADIOASTRONOMIA _____</b>	<b>9</b>
2.1 Histórico sobre Radioastronomia _____	9
2.2 Radiotelescópios _____	10
2.3 Componentes de um Sistema Coletor _____	11
2.3.1 Torre de Sustentação _____	12
2.3.2 Antenas Yagi _____	14
2.3.3 Estrutura H _____	16
2.3.4 Servomecanismo _____	17
<b>CAPÍTULO 3 – PROJETO LOFAR _____</b>	<b>21</b>
3.1 Histórico Sobre Radiotelescópios de Baixa Frequência _____	21
3.2 O Projeto LOFAR _____	24
3.2.1 Objetivos do Radiotelescópio _____	25
3.2.2 Características do LOFAR _____	26
3.3 Antenas Desenvolvidas Para o LOFAR _____	30
3.3.1 Antenas Para Baixa Frequência _____	30
3.3.1.1 Dipolo V–Invertido _____	30
3.3.1.2 Dipolo NLTA _____	32
3.3.2 Antenas Para Alta Frequência _____	34

---



<b>CAPÍTULO 4 – ATIVIDADES DESENVOLVIDAS</b>	<b>36</b>
4.1 Projeto Radioastronomia	36
4.1.1 Solda da Estrutura H	36
4.1.2 Suporte do Capacete de Proteção	39
4.1.3 Montagem das Estruturas Coletoras	40
4.2 Construção de Uma Antena Dipolo Para o Projeto LOFAR	41
4.2.1 Processo de Construção da Antena	41
4.2.2 Processo de Soldagem	43
4.2.2.1 Solda Por Brasagem	44
4.2.2.2 Soldagem das Antenas Dipolo	45
4.2.3 Análise de Metalografia do Material Utilizado nas Antenas do Radiotelescópio LOFAR	48
4.2.4 Montagem das Antenas do LOFAR	55
<b>CAPÍTULO 5 – OUTRAS ATIVIDADES</b>	<b>57</b>
5.1 Suporte Para Radiômetros	57
5.2 Desenho de Uma Antena Quadrifilar	59
5.2.1 Metodologia Para Desenho da Antena	60
5.2.2 Alteração das Características Geométricas	62
<b>CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO</b>	<b>66</b>
AGRADECIMENTOS	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
ATIVIDADES COMPLEMENTARES – PARTICIPAÇÃO E APRESENTAÇÃO EM CONGRESSOS E EM SEMINÁRIOS	69
ANEXO I	73

---





## RESUMO

Este Relatório visa descrever as atividades vinculadas ao Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, desenvolvidas pelo bolsista **Jean Paulo Guarnieri**, acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica, da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, durante o período de **Agosto de 2005 à Julho de 2006**, no Projeto “**Desenvolvimento do Servomecanismo para Posicionamento das Antenas Coletoras dos Projetos Radioastronomia e Sistema LOFAR**”, junto ao Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT. As atividades foram realizadas no Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas, em Santa Maria, RS, e no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS.

---

## CAPÍTULO 1

### 1.1 Introdução

Este Relatório tem como objetivo descrever as atividades realizadas junto ao Projeto Radioastronomia que visa à construção de um Radiointerferômetro Protótipo e o Sistema LOFAR, que é um radiotelescópio de baixas frequências, de 10 a 240 MHz. As atividades de ambos os projetos estão sendo desenvolvidas no Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas – LAMEC/CRSPE/INPE – MCT, em parceria com o Laboratório de Radiofrequência e Telecomunicações e no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS.

O Capítulo 2 apresenta uma extensa revisão bibliográfica referente à Radioastronomia, dando maior ênfase as partes componentes do Radiointerferômetro Protótipo. No Capítulo 3 encontra-se grande quantidade de informações pertinentes ao Sistema LOFAR – *Low Frequency Array*, bem como um histórico sobre radiotelescópios de baixas frequências, objetivos do LOFAR, características do projeto, tipo de antenas utilizadas e suas especificações.

Na Seção de atividades realizadas está descrito o que foi realizado no decorrer do período da bolsa. Estas atividades englobam a confecção de alguns componentes do Servomecanismo para movimentação das antenas de rastreio, e a soldagem das peças responsáveis pelo acoplamento da antena ao Servomecanismo, possibilitando dessa forma dotar as antenas de movimento. No projeto LOFAR foram estudadas e construídas antenas dipolo para a posterior instalação no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, possibilitando a realização de estudos de impedância e testes de campo, analisando assim, o comportamento das antenas para na faixa de frequências para a qual elas foram projetadas e construídas.

No final do Relatório são mostrados, os trabalhos apresentados pelo bolsista em congressos e seminários de Iniciação Científica e Tecnológica no período 2005/2006.

---

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Projeto Radioastronomia**

O objetivo do Projeto Radioastronomia é a construção de um Radiointerferômetro de Síntese de Abertura com a Rotação da Terra, operando em baixas frequências, 151,5 MHz. O Projeto está sendo desenvolvido no âmbito da parceria entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT e a Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, através do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM. O objetivo específico deste Relatório é o desenvolvimento de um mecanismo de movimentação das antenas coletoras do Radiointerferômetro. Este mecanismo chamado de Servomecanismo é um sistema de transmissão de potência e velocidade, composto de um servomotor comandado e um conjunto de engrenagens para a transmissão do movimento. Ele possui dois eixos, um de declinação e outro polar permitindo o movimento em dois graus de liberdade, altura e azimute. Associado aos servomotores está um sistema de engrenagens responsável pela redução do movimento, uma vez que o sistema deverá possuir uma velocidade angular final de rastreamento compatível com as velocidades de deslocamento das radiofontes observadas pelo conjunto.

### **1.2.2 Projeto LOFAR (*Low-Frequency Array*)**

Tem como objetivo promover a implantação de um sistema LOFAR (*Low Frequency Array*) no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS. O projeto está em fase inicial, onde está sendo feita uma varredura de frequências no Observatório para analisar possíveis interferências e a viabilidade de instalação de suas antenas no Observatório. O objetivo específico consiste em estudar o funcionamento e as características das antenas deste

---



radiotelescópio, e desenvolver uma antena dipolo semelhante a um modelo de estudo construído pelo *U.S. Naval Research Laboratory's* – NRL, que trabalhará na faixa de frequências de 10 a 90 MHz. Estas antenas serão confeccionadas no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT e serão instaladas no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT. A partir dos resultados obtidos, será estudada a possibilidade de implantação de uma unidade LOFAR no Sul do Brasil em convênio com outros países.

---

## CAPÍTULO 2

### PROJETO RADIOASTRONOMIA

#### 2.1 Histórico sobre Radioastronomia

Radioastronomia é o estudo de corpos celestes por meio das ondas de rádio naturais por eles emitidas.

Em 1930, Karl Jansky começou a observar ondas vindas do espaço na frequência de 20,5 MHz. Em 1938 Reber repetiu a experiência com ondas de 160 MHz.

Estes estudos nos revelam muitas coisas sobre o Sistema Solar, nossa própria Galáxia, Radiogaláxias, Quasares e Cosmologia Observacional, pois muitos fenômenos no Universo mostram-se melhor em uma porção do Espectro Eletromagnético, e pouco ou de modo nenhum em outras partes do Espectro. O céu visto aos “olhos” da radiofrequência difere do céu óptico. A parte mais clara está ao longo da Via Láctea, dez vezes mais forte do que o Sol, e esse têm intensidade muito variável.

Para fazermos nossas observações usamos ondas de rádio, pois nossa Atmosfera é transparente em determinados comprimentos de onda, de 300 nm - 700 nm, e às ondas de rádio com comprimentos de onda aproximadamente de 1 mm a 30 m. As ondas de rádio de curto comprimento de onda são absorvidas por moléculas na Atmosfera, e outros comprimentos de onda mais longos são refletidos pelas camadas de partículas carregadas na Ionosfera. Na alta Atmosfera a reflexão é a razão porque por muito tempo, os sinais da onda média e curta em rádio podem ser recebidos em torno do mundo. Para estudar outros comprimentos de onda: raios X, ultravioleta e infravermelho, são usados satélites com telescópios e detectores especiais.

Os sinais emitidos por radio-fontes podem ser recebidos nas partes mais distantes do Universo, entretanto eles sofrem uma grande atenuação, principalmente devido à dispersão de propagação em espaço livre, por isso há necessidade de

---

receptores sensíveis e softwares de computador para controle de telescópios e análise das imagens.

Estas técnicas são extensamente aplicáveis fora da Astronomia. Radioastronomia é, portanto, importante tanto para pesquisa pura como aplicada na formação e treinamento para cientistas e engenheiros.

## 2.2 Radiotelescópios

Um Radiotelescópio consiste em uma ou mais antenas de recepção direcional conectada a amplificadores muito sensíveis. A forma das antenas pode variar muito, onde muitas são parabólicas com superfícies muito precisas, outras têm a aparência às antenas da televisão. Na FIGURA 2.1 podemos observar uma das antenas do Protótipo Radiotelescópio do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS.

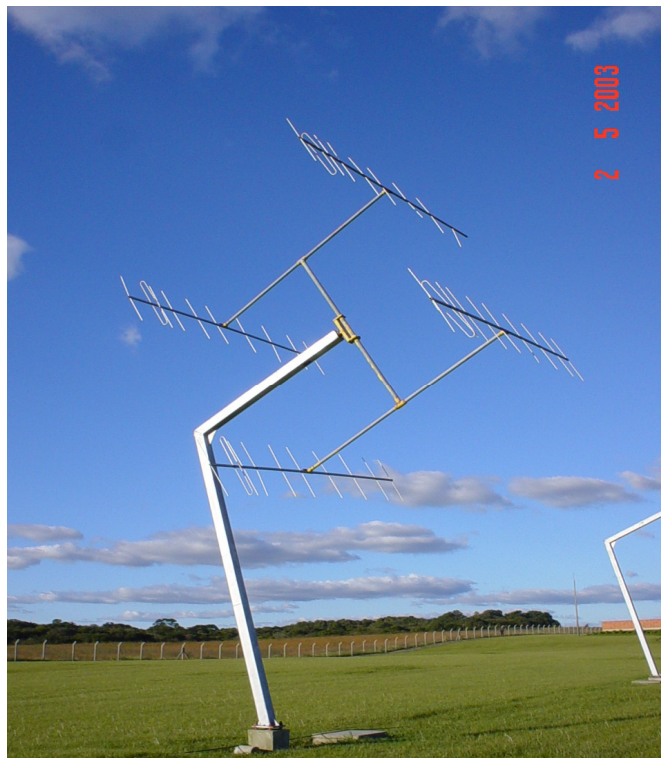


FIGURA 2.1 – Antena do Radiotelescópio no Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, RS.

A precisão desses telescópios depende da relação do tamanho do telescópio e do comprimento de onda da fonte de rádio a ser observada, a fim de fazer essa precisão ser a melhor possível o computador examina os dados, faz a correlação e através desses dados gera mapas de alta resolução usando técnicas de processamento de imagem.

### 2.3 Componentes de um Sistema Coletor

O Projeto inicial do Radiointerferômetro é de um sistema composto por 63 estruturas, mas nesta fase experimental o objetivo será montar 6 estruturas para realização de testes. Cada estrutura é composta por 4 antenas do tipo Yagi e dois motores posicionadores que movimentarão as antenas em ângulo de declinação e ângulo horário.

O princípio de funcionamento deste conjunto de antenas baseia-se na observação de uma rádio-fonte no espaço, determinada pelo usuário. A cada intervalo de tempo, deve-se fazer uma atualização da posição de cada antena, pois a fonte observada muda de posição com o passar do tempo. Esta variação denominada “movimento diurno”, é semelhante ao movimento do Sol, ou seja, 360 graus/dia. Isto justifica a existência dos motores em cada estrutura, que tem por funções fazer o posicionamento inicial para a fonte a ser observada e realizar um correto ajuste de posição das antenas em intervalos de tempos pré-determinados, de modo a acompanhar a fonte observada.

O controle de posição, entre outras tarefas, será realizado por computadores distribuídos na extensão da linha de base do radiointerferômetro.

O sistema coletor é composto basicamente por quatro partes, que são demonstradas na FIGURA 2.2.

- **Torre de Sustentação:** responsável pela sustentação de todo o conjunto da antena;
  - **Estrutura H:** onde serão fixadas as antenas Yagi;
  - **Antenas Yagi:** Responsáveis pela captação dos dados, e estão fixas nos braços da estrutura H;
-

- **Servomecanismo:** Responsável pela movimentação do conjunto, possibilitando rastrear novas fontes.

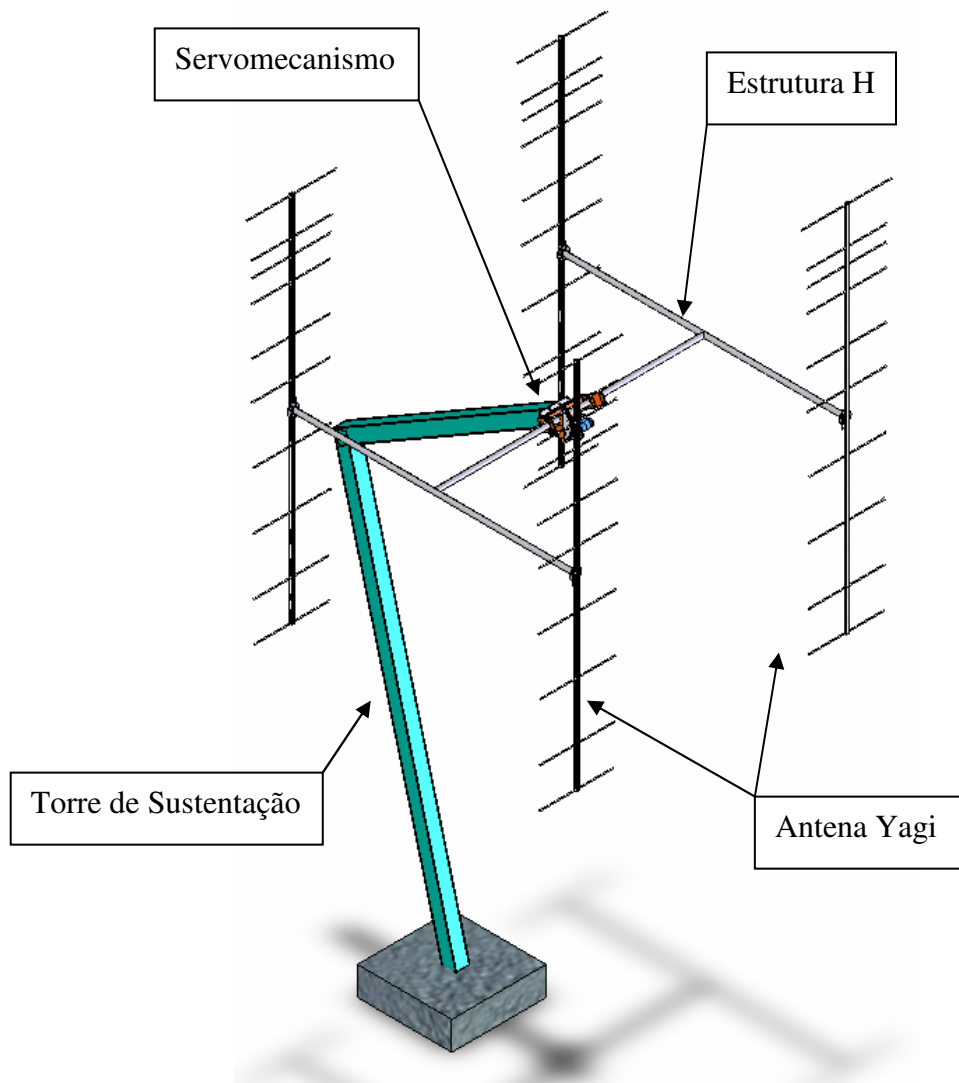


FIGURA 2.2 – Partes de um sistema coletor.

A seguir será apresentado um detalhamento mais específico de cada estrutura.

### 2.3.1 Torre de Sustentação

Para a construção do Radiointerferômetro, as torres foram desenvolvidas em montagem equatorial.



A montagem equatorial permite ao sistema o movimento de um só servomotor para o rastreamento de qualquer fonte. Primeiro determina-se o ajuste da declinação da fonte com o movimento de um servomotor. Após a fixação da declinação, movimenta-se o outro servomotor posicionando o sistema em – 6 horas, ângulo horário, e a partir daí é dado um pequeno incremento de deslocamento a cada instante para que o sistema possa acompanhar a fonte.

A estrutura com montagem equatorial é basicamente composta por dois segmentos: “A” e “B”, como mostra a FIGURA 2.3.

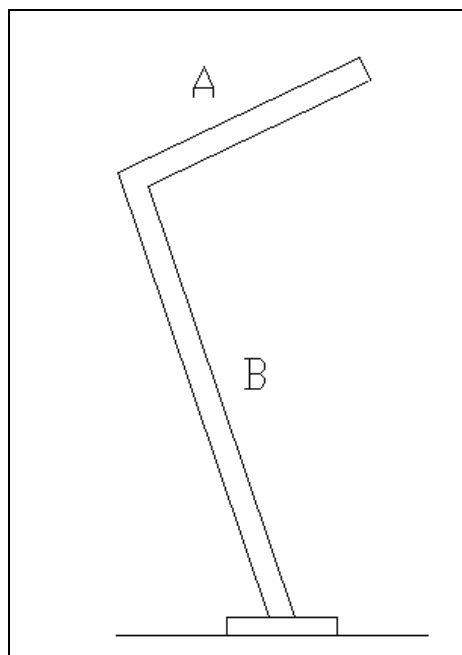


FIGURA 2.3 - Formato da torre de sustentação do Radiointerferômetro.

O segmento “A” está direcionado para o Pólo Sul Celestial, sendo que todas as fontes giram em torno deste ponto no céu, devido ao movimento de rotação Terrestre.

Para encontrarmos o pólo celestial, deve-se imaginar a projeção do equador e dos pólos no céu. Com isso, determina-se que o Pólo Sul Celestial encontra-se a uma altitude do horizonte igual à latitude geográfica do local onde se encontra. Como o Radiointerferômetro foi instalado em São Martinho da Serra, no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, e sua latitude é  $29^{\circ}41'$ , a inclinação do segmento “A” em relação ao horizonte deverá ser de  $29^{\circ}41'$ .

O segmento “B” da torre, que é fixo ao solo foi determinado com base na altura que o sistema coletor deve ter para que não sofra restrição de reflexão do solo, altura mínima de 3 metros, e com o propósito de se ter o centro de gravidade situado sob a sapata da estrutura.

A partir destas determinações, foi estipulado o comprimento do segmento “A”. Este comprimento foi encontrado mediante uma projeção dos movimentos das antenas e analisando o ponto crítico, ponto em que a antena fica mais próxima das torres. Fixamos a distância máxima em que a antena deveria se aproximar da torre em 30 cm e posteriormente foi determinado que o comprimento do segmento “A” fosse de 2,60 m.

Assim a altura da torre é de 5.70 m, o que respeita a condição de que a torre deveria ter no mínimo 3 m de altura para evitar problemas de reflexão do solo.

Para a construção das antenas o material empregado foi o aço, pois das três alternativas, aço, alumínio e concreto armado, o aço apesar de seu elevado peso específico, foi o que apresentou menos deformações devido a cargas aplicadas, sendo o único material que ficou dentro dos limites impostos de giro devido à força do vento.

A estrutura foi fabricada em aço 1040, com espessura  $\frac{1}{4}$  de polegadas, utilizando dois perfis em C com solda de topo, originando um perfil quadrado de 150 x 150 mm. Devido a sua exposição a ações climáticas a estrutura foi galvanizada e pintada.

### **2.3.2 Antenas Yagi**

Uma antena de meia onda horizontal é considerada um circuito ressonante. A largura da curva de resposta depende do tipo de construção da antena.

Quando a antena é feita em fio de cobre fino, ela se comporta como um circuito sintonizado muito seletivo, funcionando em uma faixa reduzida de frequência. À medida que o diâmetro dos condutores vai sendo aumentado em relação a seu comprimento total, a antena se torna menos seletiva em sua sintonia e passa a cobrir uma faixa mais ampla de frequências.

As antenas Yagi, em sua forma mais simples, são compostas por um elemento ativo ou emissor e elementos passivos: refletores e diretores.

O elemento emissor ao ser excitado por uma tensão  $V$  qualquer, gera uma distribuição de correntes que produz campo eletromagnético emitido em forma de onda. Os elementos passivos, apesar de não serem excitados diretamente, apresentam correntes induzidas pelo campo do elemento emissor, fortalecendo o campo total radiado pela antena. A função do elemento passivo refletor, de comprimento maior que o emissor e posicionado atrás desse, é refletir as ondas eletromagnéticas aumentando o campo eletromagnético e o ganho da Antena. O elemento diretor, de comprimento menor que o elemento emissor e posicionado a frente deste, tem como função aumentar o padrão de campo da antena em determinada direção, isto é aumentar o ganho da antena em uma direção fazendo-a uma antena direcional.

No caso do Radiointerferômetro que está em construção no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, cada conjunto coletor possui quatro antenas Yagi casadas em impedância.

A confecção da antena foi realizada com diferentes perfis de alumínio. Na barra central foi utilizado um perfil quadrado de 15 x 15 mm, no qual são realizados furos passantes para fixação do refletor, do emissor e dos diretores, que foram construídos utilizando um perfil circular de alumínio de 10 mm de diâmetro.

A posição e as distâncias dos elementos que formam a antena Yagi, podem ser vistos com mais detalhes na FIGURA 2.4.

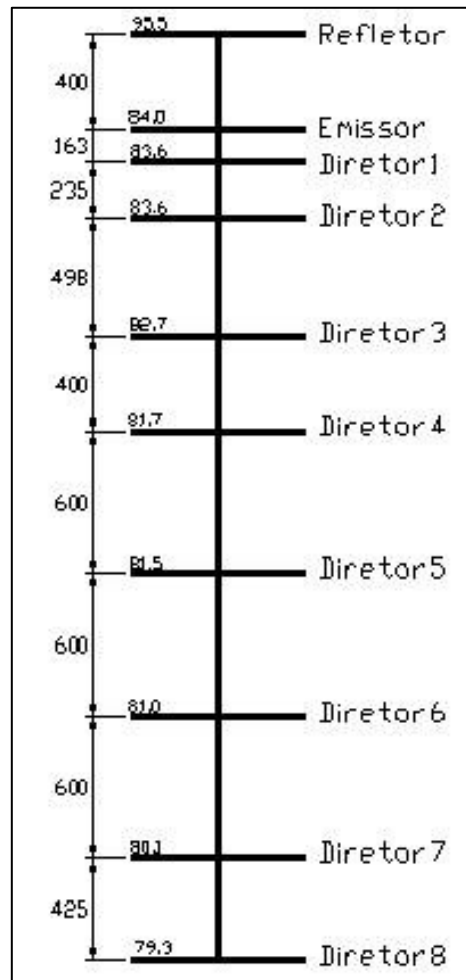


FIGURA 2.4 - Planta estrutural de uma antena Yagi.

### 2.3.3 Estrutura H

A estrutura H tem por finalidade transmitir o movimento do servomecanismo para as antenas Yagi.

As distâncias entre os elementos do H foram cedidas pelo *Cavendish Laboratory/Mullard Radio Astronomy Observatory – MRAC*, Cambridge – Inglaterra. A partir das distâncias foi feito o dimensionamento dos tubos de aço que fazem parte da estrutura.

A estrutura foi construída a partir de tubos de aço inoxidável para aumentar sua resistência à corrosão, e possuem diâmetros de 1 ½ polegadas na parte central do H, e diâmetros de 1 ¼ polegadas nas partes laterais. O comprimento da parte horizontal é de 2,860 metros, enquanto que nas partes verticais é de 3,000 metros. Na ponta de cada braço do H existe uma flange para que se faça a fixação das antenas Yagi na estrutura.

As dimensões da estrutura H são demonstradas na FIGURA 2.5.

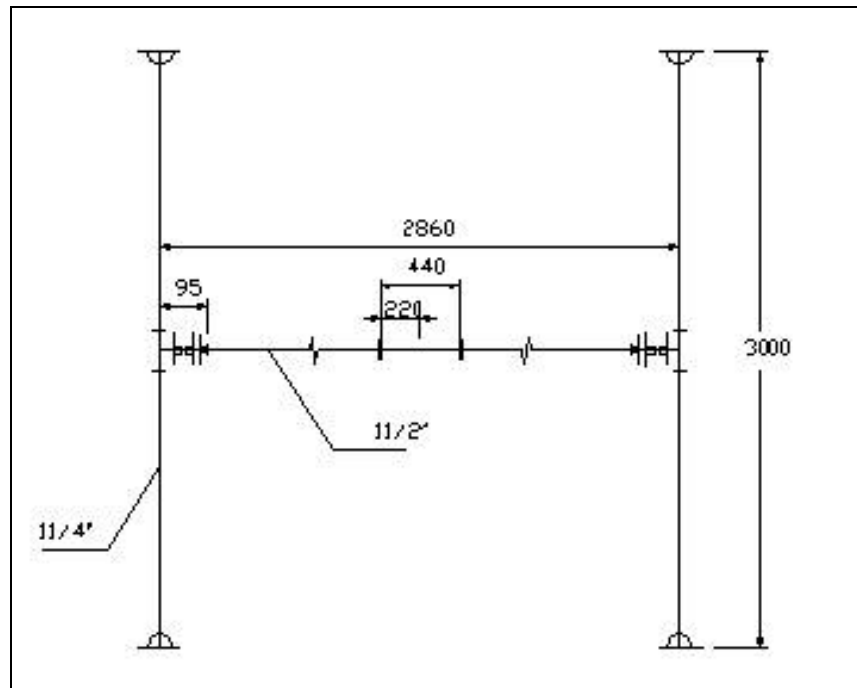


FIGURA 2.5 - Desenho representativo das dimensões da Estrutura H.

### 2.3.4 Servomecanismo

Para a realização do rastreamento de uma radio-fonte é necessário que o sistema possua pelo menos dois graus de liberdade, possibilitando executar movimentos que sejam compatíveis para compensar o movimento de rotação da Terra. O servomecanismo é um sistema desenvolvido para dotar as antenas do Radiointerferômetro de dois graus de liberdade, um no sentido de declinação e outro no sentido de ângulo horário. Outra finalidade deste sistema é efetuar a redução da

velocidade de rastreamento das antenas por meio de engrenagens, uma vez que a velocidade dos motores escolhidos está acima da velocidade desejada de 0.2 RPM.

O posicionamento do sistema será feito por meio de servomotores da marca *Zella Controls Ltda*, que possuem um pequeno tamanho, alto torque e baixa rotação. A característica de baixa velocidade de rotação angular é muito importante, pois além de possibilitar movimentos precisos para o rastreamento de fontes, os deslocamentos executados pelos motores após desligados serão menores, uma vez que todos os corpos em movimento possuem a tendência de se manterem em movimento pela Lei da Inércia.

O servomecanismo é composto por peças usinadas, com a seguinte função:

**Suporte Coroa de Declinação** – Estrutura que será soldada no eixo central da estrutura H, e servirá de suporte para a coroa de declinação;

**Prato Motor de Declinação** – Responsável pela fixação do motor de declinação;

**Prato Motor Polar** – Responsável pela fixação do motor polar;

**Braco Transversal** – Estrutura na qual serão soldados o prato do motor de declinação, o prato motor polar, e o eixo polar;

**Eixo Polar** – Estrutura passante pelo mancal do eixo polar e pela coroa do eixo polar, responsável por manter o movimento na direção polar;

**Mancal Eixo Polar** – Componente fixado na viga caixão, que tem por função manter centralizado o eixo polar;

**Suporte Engrenagem Polar** – Fixado à viga caixão para servir de apoio para a fixação da engrenagem polar;

**Bucha de Nylon** – Peça confeccionada em nylon, colocada sob pressão no mancal do eixo polar e na engrenagem polar, responsável por reduzir o desgaste devido ao movimento do eixo polar;

**Mancal de Declinação** – Mancal bipartido para o movimento da estrutura H no sentido de declinação.

Os componentes do servomecanismo descritos, podem ser vistos esquematicamente na FIGURA 2.7.

---

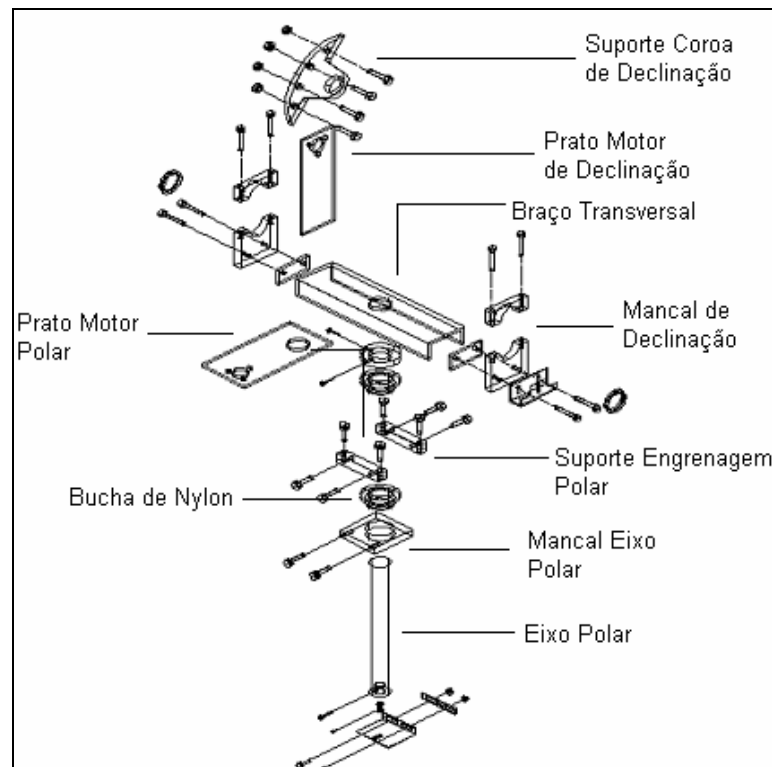


FIGURA 2.7 - Estruturas componentes do servomecanismo.

Além das estruturas apresentadas acima temos ainda as seguintes estruturas responsáveis pela transmissão do movimento:

**Pinhão** – Estrutura usinada em aço SAE 1045 possui 16 dentes e um diâmetro primitivo de 32 mm. Está fixada no eixo dos servomotores polar e de declinação, através de um parafuso passante. Possui perfeito encaixe com a engrenagem de declinação e polar;

**Coroa do Eixo de Declinação** – Originada de uma coroa de diâmetro primitivo de 320 mm e 160 dentes, está fixada ao suporte da coroa de declinação e através do servomotor de declinação possui um curso de  $+40^\circ < \delta < -90^\circ$ ;

**Coroa do Eixo Polar** – Originada de uma coroa de diâmetro primitivo de 320 mm e 160 dentes, está fixada a viga caixão através do suporte da engrenagem polar e é responsável pelo giro em torno do eixo polar. Ela proporciona ao servomecanismo acompanhar o movimento em ascensão reta ( $+6h < \alpha < -6h$ ) de uma fonte no espaço;

**Servomotor** – Suas características serão apresentadas na TABELA 2.1, sendo responsável pela movimentação do servomecanismo em dois graus de liberdade.

TABELA: 2.1 – Dados do motor RQ 53\*

PARK RQ 53	
<b>Fabricante</b>	<i>Zella Instrumentation &amp; Control Ltd</i>
<b>Modelo</b>	RQ 53
<b>Velocidade</b>	2,4 mpr = 0,4166 rpm
<b>Torque</b>	Até 230Kgf.cm = 22,62 N.m = 200Lbf.m
<b>Voltagem</b>	220/250 Volts AC
<b>Frequência</b>	50 Hz
<b>Consumo elétrico</b>	30 a 34 W

Fonte: (\*) Confeccionada a partir dos dados do catálogo da *Zella Motors*, Inglaterra.

Podemos observar as estruturas citadas acima, bem como seu posicionamento no sistema do servomecanismo na FIGURA 2.8.

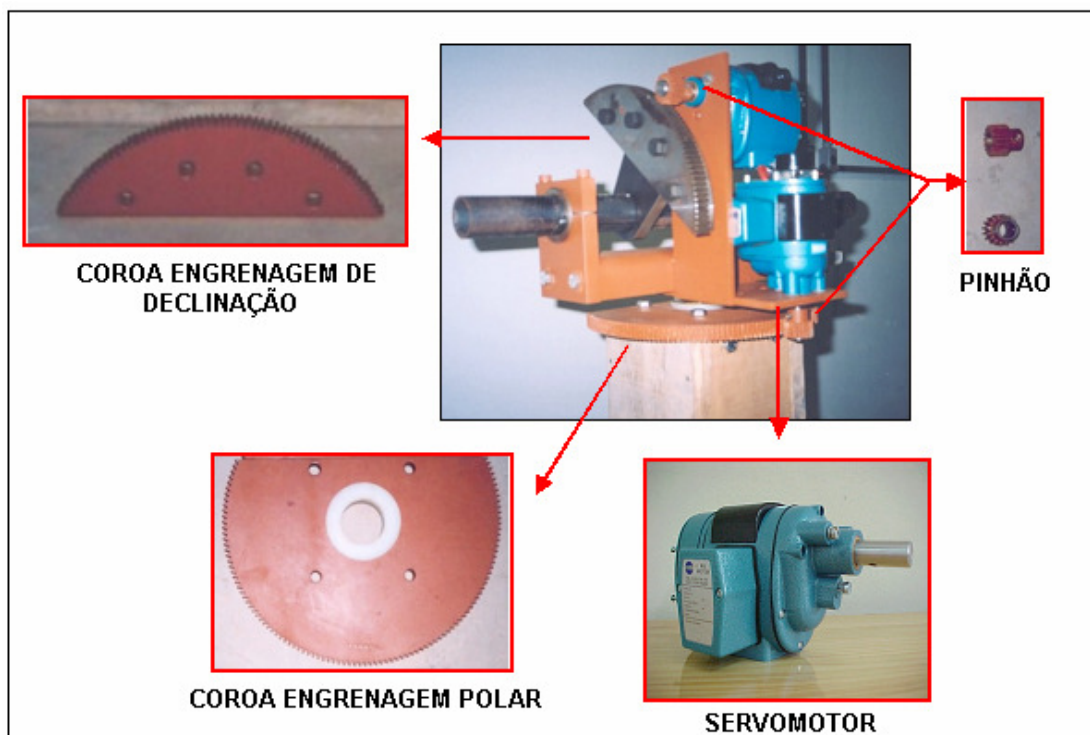


FIGURA 2.8 - Estruturas de transmissão de movimento do servomecanismo.



## CAPÍTULO 3

### PROJETO LOFAR

#### 3.1 Histórico Sobre Radiotelescópios de Baixa Frequência

Na Radioastronomia, baixas frequências geralmente se referem ao espectro abaixo dos 100 MHz. Historicamente esta banda tem recebido relativamente pouca atenção dos astrônomos. Isto é devido as grandes complicações impostas pela Ionosfera da Terra, a qual se torna cada vez mais refrativa e turbulenta abaixo de 100 MHz, e torna-se essencialmente opaca abaixo dos 10 MHz. As antenas as quais utilizam refletores de forma paraboloïdal, que são muito usadas como elementos interferométricos em altas frequências tornam-se inutilizáveis na faixa abaixo de 100 MHz.

Exemplos semelhantes a estas disposições que podem ser citados são: o dipolo de banda estreita na frequência de 22 MHz, desenvolvido na Inglaterra e ativo durante 1960; o UTR-2, uma construção de elementos dipolos, ditos “gordos” na faixa de 10-15 MHz construído na Ucrânia durante a década de 1970; e o *Clark Lake Teepee-Tee* – TPT, uma disposição de 15 – 125 MHz consistindo de antenas dispostas em uma espiral cônica, construído no Sul da Califórnia nos anos de 1970. O interesse na observação nestas frequências diminuiu em 1980, principalmente devido à resolução de imagens superiores que são possíveis em altas frequências.

Vários fatores têm contribuído para o ressurgimento do interesse da Radioastronomia de baixa frequência. Perto dos anos de 1990 uma técnica foi desenvolvida a qual aperfeiçoava drasticamente a habilidade dos astrônomos para suavizar os efeitos da Ionosfera em imagens de síntese de abertura, permitindo a resolução na escala inferior a arcos-minutos. Ao mesmo tempo a produção, custos e tecnologia para recebimento e processamento adequado dos sinais digitais de grandes

---

comprimentos de onda aperfeiçoaram drasticamente, tornando possível a construção de disposição de dipolos muito maiores que as tentativas feitas nas décadas de 60 e 70.

A próxima geração de grandes telescópios para Radioastronomia em frequências abaixo de 100 MHz consistirá de milhares de antenas dipolo de banda larga, como pode ser visto na FIGURA 3.1, onde cada antena é individualmente instrumentada com um receptor e todas são combinadas através da utilização de sinais digitais processados. Nestas baixas frequências, a sensibilidade de um telescópio é limitada pelo ruído Galáctico, e até mesmo simples dipolos devem procurar limitar este ruído para melhor captação da radiação eletromagnética emitida pelas estrelas no espaço.



FIGURA 3.1 – Sistema de antenas do Radiotelescópio de baixas frequências – LOFAR.

[<http://web.haystack.mit.edu/lofar/technical.html>]

No momento, no mínimo três novos projetos de grandes telescópios estão com projetos em andamento: um Telescópio de Baixa Frequência (*Low-Frequency Array* – LOFAR), agora em fase de prototipagem avançada na Holanda onde existem antenas instaladas, o Telescópio de Longo Comprimento de Onda (*Long Wavelength* – LWA), que esta sendo planejado para ser construído no Novo México, onde dois sistemas de protótipos estão sendo desenhados, e o Telescópio de Grande Área Mileura (*Mileura*

---

*Wide-Field Array* – MWA), planejado para ser construído no oeste da Austrália. Os dois últimos ainda são projetos, uma vez que a Holanda e a Alemanha, países que detinham os maiores recursos para a construção do radiotelescópio decidiram, sem o consenso de todos os países envolvidos, construir o radiotelescópio na Holanda, apesar de este não ser o local mais apropriado para este fim. Assim os radiotelescópios planejados para o Novo México e para a Austrália estão em fase de planejamento, uma vez que necessitam de muitos recursos dos países envolvidos.

Todos estes instrumentos requerem milhares de antenas, cada uma apresentando uma ampla largura de banda e o maior comprimento de onda possível. Estas antenas serão agrupadas em "estações", com diâmetros de aproximadamente 100 metros cada. Os sinais de cada estação serão digitalizados e a interferometria será executada entre as estações e não entre antenas. Cada estação funciona equivalente a um grande refletor, em forma de prato, como os utilizados em uma antena tradicional para altas frequências, em radiotelescópios de síntese de abertura, e neste nível são combinadas para formar imagens. O grandioso número de antenas requeridas torna essencial que cada antena tenha um custo o mais baixo possível, com fácil manufatura e instalação, e que sejam resistentes, não requerendo nenhuma manutenção.

Para alcançar grandes escalas de ajustes, telescópios anteriores como o UTR-2 e o TPT usaram antenas as quais tem forma inerente a grandes comprimentos de onda, em razão que a impedância final é quase constante até uma grande ordem de frequência. Por outro lado, antenas como estas – incluindo as do tipo dipolo “gordo” e as cônicas espirais – são mecanicamente complexas, com custo elevado, dificuldades para construção, e apresentam problemas para manutenção. Isto torna estas antenas inadequadas para uma disposição de antenas na escala de tamanho do LOFAR, LWA e MWA. Em contraste, dipolos de arames, ou fios, simples são mecanicamente bem adequados para o uso em grandes disposições de baixa frequência, mas apresentam uma largura de banda de estreita impedância. Mas por outro lado, esta não é uma limitação restrita em baixas frequências como é em altas frequências, isto porque o ruído Galáctico natural pode facilmente ser dominado pelo próprio ruído dos componentes eletrônicos acoplados a antena. Neste caso, o desempenho da antena é inaceitável somente se não houver casamento de impedância entre os terminais das antenas e os

---

componentes eletrônicos, fazendo com que as antenas não fiquem distante do limite de ruído Galáctico. Uma vez que, o sistema de antenas é minimamente afetado pelo ruído Galáctico, facilita o aprimoramento do nível de impedância, apresentando poucos efeitos na sensibilidade do instrumento. Como os ruídos Galácticos são frequências de bandas largas e estão distribuídos por todo o céu, o aprimoramento na sensibilidade de um telescópio pode então ser alcançada somente pela adição de antenas adicionais, aumentando a abertura efetiva. Deste modo, até mesmo o casamento de antenas ruins, assim como dipolos finos com pouca ressonância, devem apresentar uma melhor sensibilidade.

Este é o princípio básico de operação para antenas ativas eletricamente pequenas, as quais são comumente usadas em comunicação de HF (3-30 MHz), neste caso o ruído feito pelo homem desempenha a mesma função que o ruído Galáctico. Em 2000, foi mostrado que esta aproximação foi aplicada para Radioastronomia de baixas frequências. Porém, estes estudos não quantificaram os limites para esta aproximação, por exemplo, não foi deixado claro como a medida de desempenho da antena e dos componentes eletrônicos realmente limitavam a graduação do sinal, o qual poderia limitar o ruído Galáctico e sobre qual escala de frequências. Recentemente tem sido relatados desempenhos de limites de ruídos Galácticos, na escala de 10-50 MHz usando uma antena dipolo com um simples balun ativo. Isto confirma que o conceito é válido, mas regras de desenho e limites de performance ainda não existem.

### **3.2 O Projeto LOFAR**

LOFAR (*Low-Frequency Array*) ou Telescópio para o Novo Milênio é um radiotelescópio digital, que está sendo planejado para operar em baixas frequências, cobrindo regiões do espectro de 10-240 MHz.

Vários grupos de pesquisa estão a alguns anos trabalhando para desenvolver o conceito de “telescópio por software”, tais como o LOFAR. Dentre estes grupos pode-se incluir o Instituto SETI, com o seu *Allen Telescope Array* e uma equipe da Universidade do Estado de Ohio. O plano do LOFAR é o trabalho da Fundação

---

Holandesa para a Investigação em Astronomia – ASTRON, do Laboratório de Pesquisa da Marinha dos EUA e do Observatório Haystack, do Instituto de Tecnologia de Massachusetts.

Para seu desenvolvimento foram considerados locais como o Oeste da Austrália, a Holanda e o Sudoeste dos Estados Unidos. Embora a Austrália tivesse sido selecionada como o melhor sítio, o grupo holandês decidiu rescindir o projeto de construção neste local e construir o Radiotelescópio na Holanda, com o recebimento de um financiamento de 52 milhões de euros.

### **3.2.1 Objetivos do Radiotelescópio**

A finalidade do LOFAR é processar imensas quantidades de sinais "brutos" podendo dessa forma observar:

- Galáxias distantes e pré-galáxias;
  - Gás na Via Láctea;
  - Proeminências solares;
  - Raios cósmicos;
  - Explosões de raios-gama;
  - Raios Cósmicos Galácticos;
  - Fontes Transientes;
  - Tamanho de Radio-Galáxias;
  - Radio Aureolas;
  - Emissões térmicas e não térmicas próximas às galáxias;
  - Fontes Compactas extragalácticas;
  - Regiões HII;
  - Distribuição de gás ionizado nas estrelas;
  - Raios-X binários;
  - Pulsars;
  - Estrelas Nêutron;
  - Planetas Extra-Solares;
-

- Ejeções de massa coronal.

Poderá também, com os dados obtidos encontrar respostas, ou aprofundar pesquisas sobre:

- A época da reionização;
- A Física do colapso e da explosão (Big-Bang);
- Relações Sol-Terra;
- Evolução de galáxias e protogaláxias (Absorção de HI);
- Linhas de recombinação;
- Estudos de emissão solar passiva;
- Estudos Ionosféricos.

Um dos objetivos principais é procurar a radiação emitida pelo hidrogênio atômico que rodeou os primeiros objetos celestes, formados logo após o Big-Bang, podendo decifrar mistérios sobre como ocorreu à formação do Universo.

O LOFAR traz outras vantagens, podendo ser aplicado na Geofísica e na Agricultura de precisão. A rede de fibra ótica do LOFAR será usada para pesquisa detalhada do crescimento das culturas em conjunto com a mistura do solo, minerais e outros parâmetros. Ainda como outra vantagem, esta rede irá proporcionar o acesso à internet mais rápida do mundo, na Holanda.

### **3.2.2 Características do LOFAR**

Terá aproximadamente 25.000 pequenas antenas distribuídas em forma de cachos formando 100 estações distribuídas em uma espiral numa região de aproximadamente 350 quilômetros de diâmetro, como mostra a FIGURA 3.2. O sistema de transmissão de dados será através de fibra ótica, tornando possível ao sistema manipular terabits de dados por segundo. Este radiotelescópio possuirá uma agilidade muito grande em frequências, tornando possíveis observações simultâneas em mais de uma frequência.

---

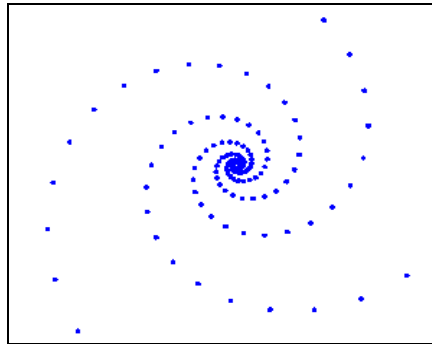


FIGURA 3.2 – Distribuição das estações em forma de espiral.

[\[http://web.haystack.mit.edu/lofar/technical.html\]](http://web.haystack.mit.edu/lofar/technical.html)

LOFAR utilizará dois tipos de antenas para duas faixas de frequências diferentes. Uma antena do tipo dipolo ativo que opera na faixa de frequência de 10-90 MHz e outra baseada na combinação de uma grade 4 x 4 de dipolos que opera na faixa de frequência de 110-240 MHz.

As antenas do LOFAR que foram construídas na Holanda possuem a forma de uma pirâmide, onde temos dois dipolos em V invertidos. Estes dipolos são fios de cobre que estão protegidos por uma estrutura de PVC, como mostrado na FIGURA 3.3. No topo temos o casamento do sinal dos dipolos e um amplificador. As antenas não apresentam partes móveis como é encontrado na maioria dos radiotelescópios de alta e baixa frequência, diminuindo, portanto seu custo de fabricação. Este fator é de fundamental importância, uma vez que o número de antenas a serem construídas é muito elevado, necessitando baixos custos para diminuir as despesas totais do projeto.



FIGURA 3.3 – Modelo de antena utilizado no LOFAR.



Para alcançar as metas de sensibilidade do Projeto LOFAR serão usadas de 10000 a 15000 antenas de cada tipo (10-90 MHz e 110-240 MHz). Estas serão agrupadas em "estações", como mostra a FIGURA 3.4, com diâmetros de aproximadamente 100 metros cada. Os sinais de cada estação serão digitalizados e a interferometria será executada entre as estações e não entre antenas.

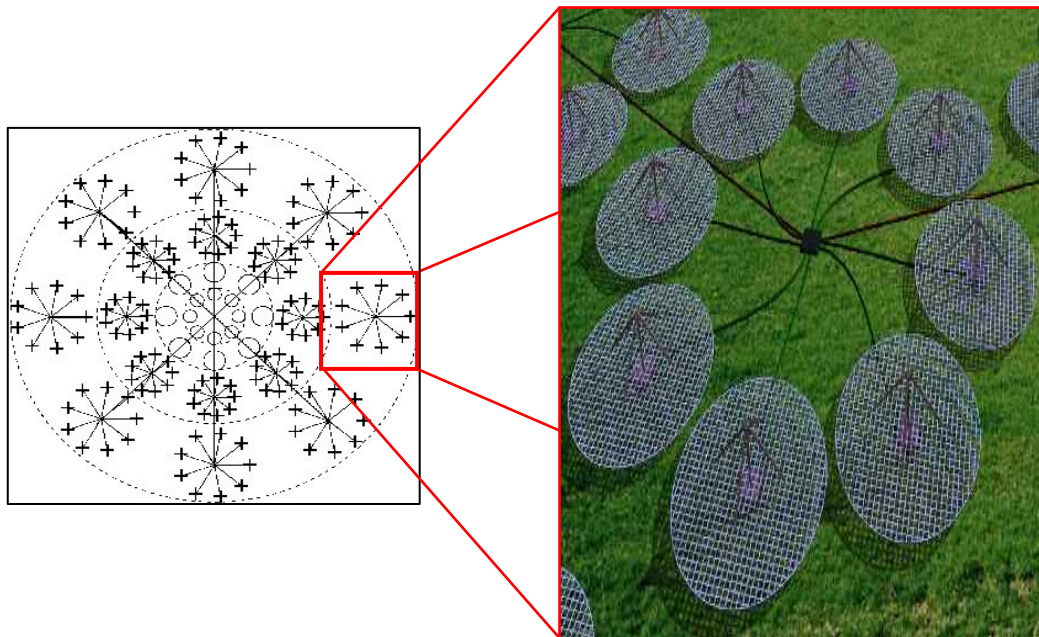


FIGURA 3.4 – Distribuição das antenas e estrutura de uma Estação LOFAR.

[\[http://web.haystack.mit.edu/lofar/technical.html\]](http://web.haystack.mit.edu/lofar/technical.html)

Através de Transformação de Fourier e filtros digitais, se reduzirá a frequência para 2 ou 4 MHz e os dados serão transportados através de fibras óticas até um FPGA.

Para produzir imagens de objetos astronômicos com alta fidelidade, os dados do LOFAR precisarão ser corrigidos, devido os efeitos de propagação da Ionosfera.

Para fazer isto haverá um sistema de interatividade entre as diversas estações, mostradas na FIGURA 3.4.

A FIGURA 3.5 nos mostra os caminhos dos raios de recepção de cada estação até a Ionosfera.



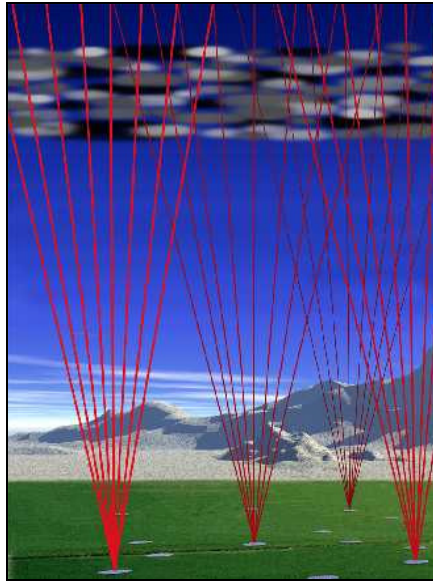


FIGURA 3.5 – Caminho dos sinais de observação de Estações individuais, permitindo alta precisão da tomografia da Ionosfera para calibração do sistema.

[\[http://web.haystack.mit.edu/lofar/technical.html\]](http://web.haystack.mit.edu/lofar/technical.html)

Segundo os pesquisadores a quantidade de informações processadas pelo radiotelescópio equivale a todo o tráfego telefônico recebido nos EUA a cada segundo. Sua complexibilidade esta mais nos computadores que processarão as informações e não tanto nos sensores. O resultado obtido com o processamento dos dados será equivalente a um radiotelescópio de 350 quilômetros de diâmetro.

Atualmente, a estação de testes iniciais do LOFAR consiste de 60 modestas antenas colocadas num campo relvado perto da vila de Exloo, na Holanda. Quarenta estações irão ser construídas numa área central de 320 hectares, seguidas por outras 20 maiores estações "remotas" num anel maior com mais ou menos 10 quilômetros de diâmetro. Finalmente, ainda outras 30 estações muito remotas irão ser construídas a uma distância não maior que 175 km do centro, bem dentro da Alemanha, para aumentar a sua resolução. O LOFAR, no entanto, pode não parar de crescer por aqui, com estações adicionais podendo ser colocadas por toda a Europa.

No dia 11 de Dezembro de 2005 foram feitas as primeiras franjas interferométricas na estação de testes. Desde estas datas foram adquiridas imagens da totalidade do céu mais detalhadas. Elas mostram grandes, mas tênues estruturas de

rádio, apenas alguns segundos depois da integração do sinal. Os engenheiros pensam que o aumento da escala do sistema não será um problema, pois esta técnica funciona bem com poucas antenas, não havendo dúvida que funcione com 15.000.

### **3.3 Antenas Desenvolvidas Para o LOFAR**

Várias configurações de antenas estão sendo estudadas para serem instaladas no LOFAR. Os modelos desenvolvidos, além de apresentarem bom desempenho eletrônico, devem possuir baixo custo e facilidade de fabricação, uma vez que serão necessários milhares de antenas para a construção de um telescópio de baixa frequência.

Como o LOFAR opera em duas faixas de frequência, de 10-90 MHz e da 110-240 MHz, foram desenvolvidos dois tipos de antenas, as quais foram chamadas de:

- Antenas para baixa frequência (*Low Frequency Antenas*) – LFA → 10-90 MHz
- Antenas para alta frequência (*High Frequency Antenas*) – HFA → 110-240 MHz

#### **3.3.1 Antenas Para Baixa Frequência**

Os tipos de antenas desenvolvidas para serem utilizadas para a captação de baixas frequências do LOFAR são as de dipolo em forma de V invertido e o dipolo NTLA.

##### **3.3.1.1 Dipolo V–Invertido**

Esta antena é o modelo que está sendo utilizado pelo LOFAR e foi desenvolvida pela Fundação Holandesa para a Investigação em Astronomia – ASTRON. Elas recebem ondas eletromagnéticas na faixa de 10-90 MHz e são de dupla polarização. Enviam informações para uma unidade receptora e amplificam os sinais através de um balun ativo. Estas antenas podem ser divididas em duas faixas de frequências, de 10-40

---

MHz e de 30-90 MHz, para facilitar a captação de sinais sem que haja interferência do ruído Galáctico.

Mecanicamente a antena é confeccionada na forma de uma pirâmide, apresentando dois dipolos em forma de V, os quais estão localizados em dois planos ortogonais. Sua estrutura é feita de tubos padrões de PVC, onde internamente se encontram fios finos de cobre de aproximadamente 2,5 mm<sup>2</sup>. Na parte inferior, localizado no chão pode-se colocar uma malha metálica para aumentar o rendimento. Na parte superior se encontra os receptores para as duas polarizações, juntamente com o balun para amplificação do sinal. Esta antena possui baixo custo de fabricação e pode ser vista na FIGURA 3.6

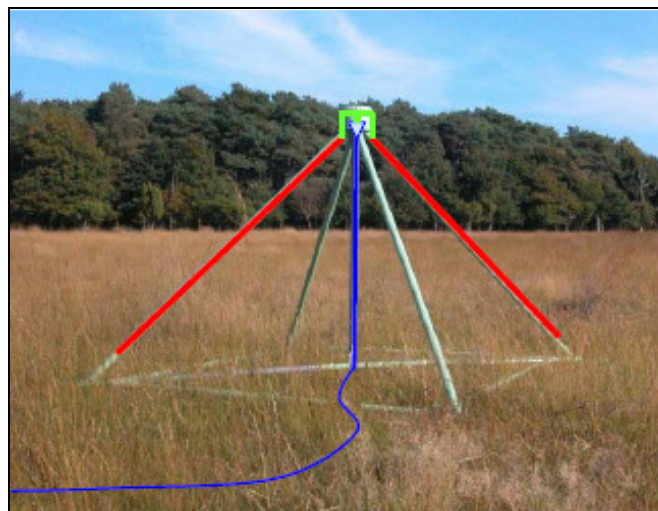


FIGURA 3.6 – Formato de uma antena dipolo V-Invertido.

[\[http://web.haystack.mit.edu/lofar/technical.html\]](http://web.haystack.mit.edu/lofar/technical.html)

Similar a antena de dipolo com V invertido foram feitas outras concepções. Um modelo estudado é de uma antena onde as hastes do V são construídas de tubos de cobre, com dimensões de ½ polegadas (12,7 mm) de diâmetro interno, 15,85 mm de diâmetro externo e uma espessura de 1,575 mm. Cada haste do dipolo tem um comprimento de 1,9 m, resultando em ressonância na frequência de aproximadamente 38 MHz. As dobras dos braços do V descem em um ângulo de 45° graus melhorando as características padrão, enquanto diminuem a impedância final para aproximadamente 50 ohm em ressonância. O desenho esquemático deste modelo está mostrado na FIGURA 3.7.

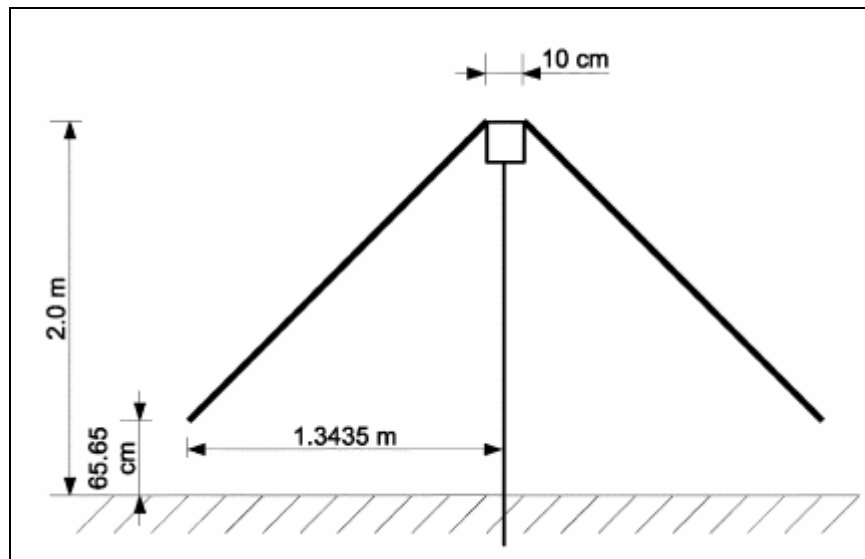


FIGURA 3.7 – Desenho das principais dimensões do dipolo V-Invertido confeccionado de tubos de cobre.

Realizando testes eletrônicos e considerando um cenário o mais próximo à realidade através da estipulação de algumas variáveis, foi verificado que esta antena entrou em ressonância na faixa de 26 – 53 MHz, na impedância de 50 ohms. Os resultados apresentados foram que a antena obteve uma estreita faixa de impedância em que foi obtido ressonância. Essa reduzida largura de banda útil pode estar relacionada com os efeitos de condução do solo, e pode ser melhorada com a utilização de uma malha de cabos na região abaixo da antena, modificando os efeitos de condutividade do solo.

### 3.3.1.2 Dipolo NLTA

Outra alternativa a ser utilizada pelos cientistas é o dipolo “gordo” desenvolvido pelo *U.S. Naval Research Laboratory’s* – NRL. Esta concepção visa aumentar o comprimento de banda útil de uma antena simples, através do aumento da área de frequência de impedância. Um conhecido método para melhorar a faixa de frequência de dipolos, é confeccioná-los “gordos”, isto é aumentar o irradiador em relação ao comprimento e a espessura. É conhecido que muito dos benefícios da espessura podem

ser alcançados pelo aumento da largura somente, resultando em antenas achatadas, mas amplamente irradiadoras. Esta estrutura pode ser aproximada por uma rede de cabos, acompanhando o desenho de um irradiador achatado, sendo um desenho de fácil construção e que apresenta baixo peso.

Na FIGURA 3.8, pode-se observar a forma desta antena desenvolvida e atualmente em uso no *U. S. Naval Research Laboratory's Low-frequency Test Array (NLTA)*, onde existem oito protótipos de elementos que estão sendo testados. Como os dipolos de V-Invertido, este dipolo é construído de tubos de cobre de 15,85 mm de diâmetro externo. Esta versão demonstrada na figura abaixo inclui uma segunda antena em ângulos ajustados para obter duas polarizações lineares.

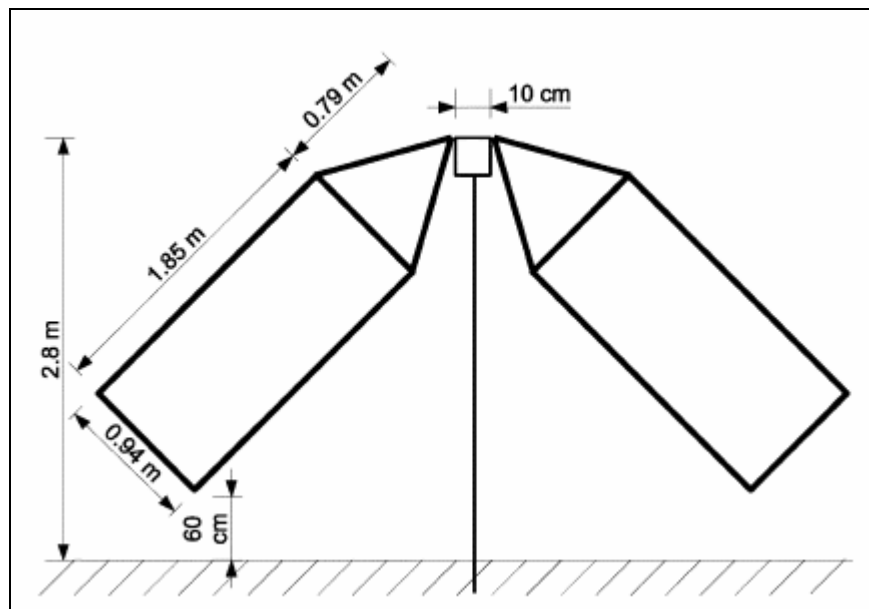


FIGURA 3.8 - Desenho das principais dimensões do dipolo NLTA.

Segundo dados do NRL, os custos para a construção desta antena são 125 dólares para o Balun, 225 dólares para a confecção das partes do dipolo e 160 dólares para a montagem, atingindo um custo total de 510 dólares.

### 3.3.2 Antenas Para Alta Freqüência

Antenas para alta freqüência de desenho original foram projetadas para cobrir a faixa de freqüência de 110 – 240 MHz. Foram desenvolvidas pelo MIT *Haystack Observatory*.

A disposição destas antenas possui 16 elementos de banda alta, com dupla polarização, onde os dipolos estão dispostos de forma não ortogonal. As antenas estão agrupadas em uma disposição compacta plana, com espaçamento entre as antenas de meio comprimento de onda em 140 MHz, como pode ser visto na FIGURA 3.9. Sua sensibilidade está associada com a área do coletor e com o sistema de temperatura, sendo afetada em ângulos maiores que 60° a partir do Zênite. Estas antenas podem ser guiadas eletronicamente de 0 a 60°.

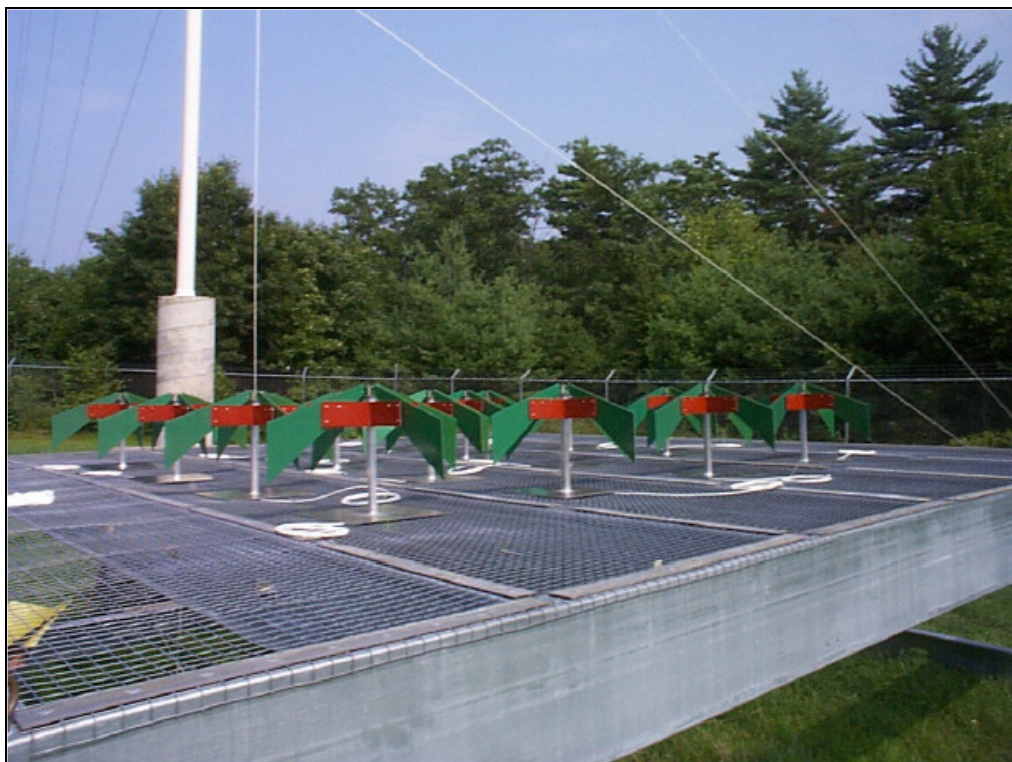


FIGURA 3.9 – Antenas projetadas para trabalhar na faixa de freqüência de 110 – 240 MHz do LOFAR.

[\[http://web.haystack.mit.edu/lofar/technical.html\]](http://web.haystack.mit.edu/lofar/technical.html)



O formato de disposição das antenas, em uma malha de 4 x 4 alinhada pode ser vista na FIGURA 3.10.

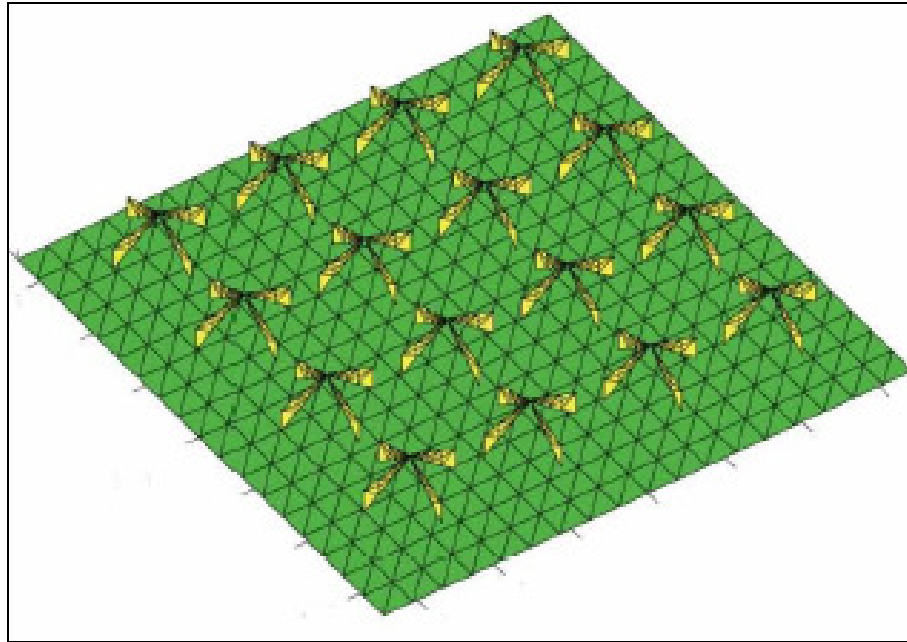


FIGURA 3.10 – Disposição das antenas de alta frequência.

[\[http://web.haystack.mit.edu/lofar/technical.html\]](http://web.haystack.mit.edu/lofar/technical.html)

Sob as antenas existe uma malha de fios de metal para diminuir os efeitos de condutividade do solo. Esta malha possui as dimensões de 4,8 m x 4,8 m estando elevada 1,5 m do solo.

Para a captação do sinal existe um amplificador de sinal, pelo fato de o ruído recebido ser menor que o ruído do céu.

Os custos para a construção de todas as 16 antenas, como estruturas, componentes elétricos, cabos, juntamente com sua instalação não ultrapassa os \$ 1000 dólares.

## CAPÍTULO 4

### ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

#### 4.1 Projeto Radioastronomia

Nos itens a seguir serão apresentadas as atividades pertinentes a parte final de construção do servomecanismo protótipo e a montagem das antenas do Projeto Radioastronomia.

##### 4.1.1 Solda da Estrutura H

Uma das atividades realizadas foi a soldagem das peças responsáveis pelo acoplamento da antena ao servomecanismo, possibilitando dessa forma dotar as antenas coletoras de movimento. Para este movimento é necessário que o pinhão acoplado ao servomotor do servomecanismo, esteja em contato com a engrenagem fixada no suporte da coroa de declinação que será soldado na estrutura H, como pode ser visto na FIGURA 4.1.

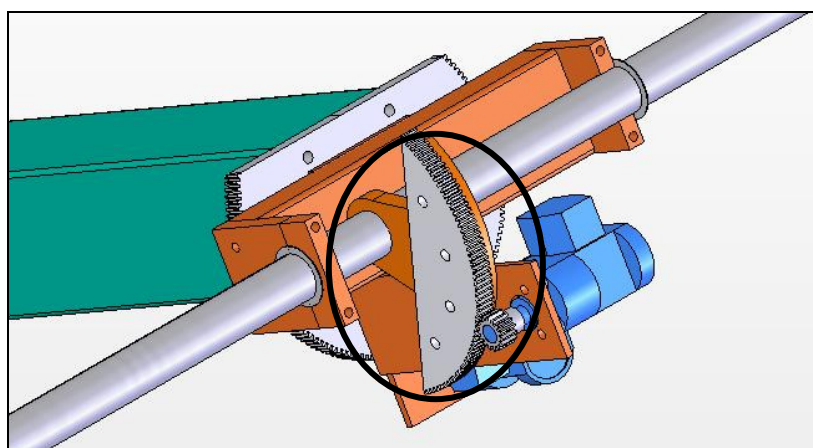


FIGURA 4.1 – Acoplamento do pinhão com a coroa declinação da antena.



Foram soldados dois anéis que são responsáveis por manter o eixo da antena centralizado entre os mancais de deslizamento do servomecanismo. As partes a serem soldadas podem ser vistas na FIGURA 4.2.

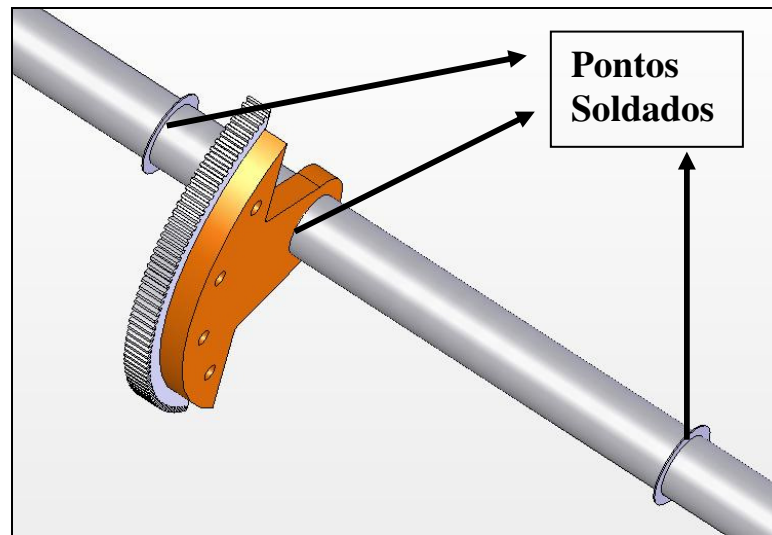


FIGURA 4.2 – Pontos que serão fixados por solda a toda volta.

O processo de soldagem foi realizado no Laboratório de Soldagem e Materiais – LASOMET/CT/UFSM. As peças a serem soldadas foram preparadas para remover óxidos das superfícies e no suporte da coroa de declinação foram feitos chanfros para melhor penetração da solda.

O processo utilizado foi a soldagem a arco com proteção gasosa tipo MIG (*Metal Inert Gás*). Nesse processo a união das peças metálicas é produzida pelo aquecimento destas com um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo metálico nu, consumível, e a peça de trabalho. A proteção do arco e da região da solda contra contaminação pela atmosfera é feita por um gás ou uma mistura de gases inertes. A alimentação do arame eletrodo é mecanizada, através de um alimentador motorizado. A manutenção do arco é garantida pela alimentação contínua do arame eletrodo, e o comprimento do arco é mantido aproximadamente constante pelo próprio sistema, independente dos movimentos do soldador. O calor gerado pelo arco é usado para fundir as peças a serem unidas e o arame eletrodo transferido para a junta, constitui o

material de adição. Com esse processo se obtém um cordão de solda com grande resistência a esforços mecânicos. As peças soldadas podem ser vistas na FIGURA 4.3.

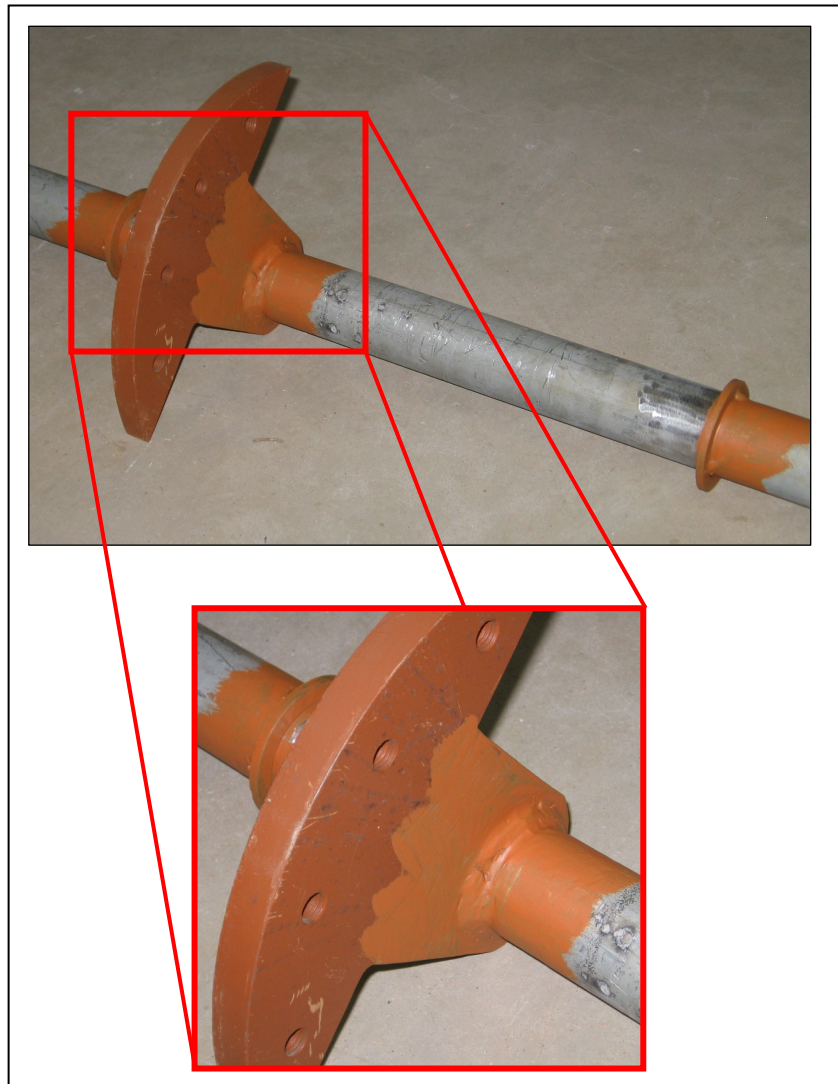


FIGURA 4.3 – Soldagem realizada no Laboratório de Soldagem e Materiais – LASOMET/CT/UFSM.

Na FIGURA 4.3 pode ser observado que foi obtido um cordão de solda sem falhas, resistente ao esforço a que será submetido. Pelo fato de, esta ser a única parte que liga o servomecanismo a antena, grandes forças estarão aplicadas nesse ponto.

Posteriormente, nas partes soldadas foi aplicado um tinta com propriedade anti-corrosiva com a finalidade de inibir a corrosão.

#### 4.1.2 Suporte do Capacete de Proteção

Para que fosse possível a instalação dos capacetes de proteção do servomecanismo foi desenvolvido um suporte para a capa de proteção. O suporte prenderá a capa ao servomecanismo por meio de parafusos. Ele possui um formato simples, onde a partir de uma chapa de aço de ¼” de polegadas, são realizadas duas operações de dobramento, em 45° cada.

Uma das partes do suporte será presa no mancal de declinação do servomecanismo e a outra na capa de proteção por meio de parafusos. A FIGURA 4.4 mostra o suporte de sustentação e a forma como ele é acoplado ao servomecanismo.

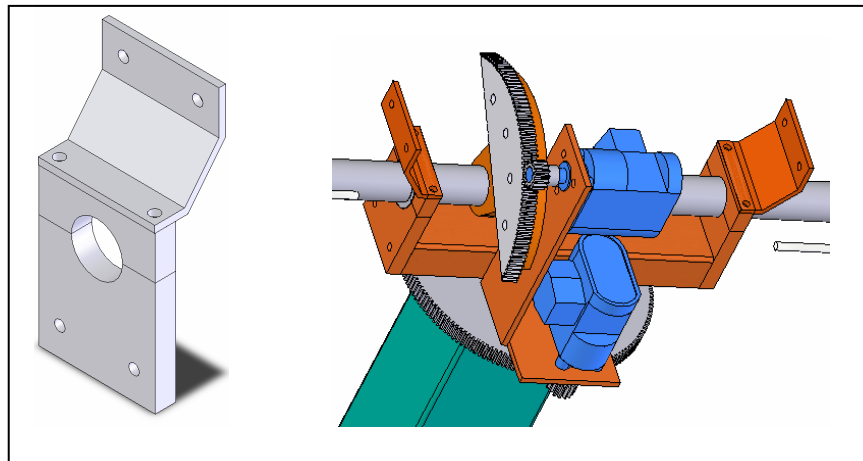


FIGURA 4.4 – Acoplamento do suporte de sustentação do capacete de proteção

Na FIGURA 4.5 pode ser visto um modelo do suporte construído no Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas – LAMEC/CRSPE/INPE – MCT.

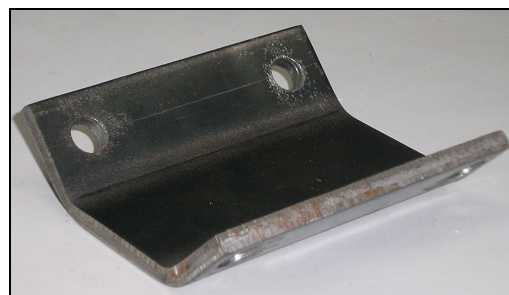


Figura 4.5 – Protótipo do suporte de sustentação.

### 4.1.3 Montagem das Estruturas Coletoras

Outra atividade foi a construção parcial de dois conjuntos coletores, no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT. A montagem consistiu em realizar a construção das antenas Yagi e da estrutura H, bem como a instalação das peças componentes do servomecanismo no topo das estruturas. Com a finalização da construção dos capacetes de proteção, brevemente os servomotores de acionamento poderão ser instalados, sem que existam danos na parte elétrica devido à exposição a intempéries climáticas.

Com a montagem das estruturas foi verificado que todas as partes integrantes foram bem projetadas, como pode ser observado na FIGURA 4.6.



FIGURA 4.6 – Vista Panorâmica de estruturas coletoras parcialmente montadas no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS.

## 4.2 Construção de Uma Antena Dipolo Para o Projeto LOFAR

Com finalidade de estudos científicos foi desenvolvida uma antena dipolo do tipo NTLA no Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas – LAMEC/CRSPE/INPE – MCT. O trabalho foi realizado juntamente com o Laboratório de Radiofrequência e Telecomunicações do CRSPE/INPE – MCT. As etapas da construção serão descritas a seguir.

### 4.2.1 Processo de Construção da Antena

Foram estudadas as características da antena, para avaliar os processos para a sua fabricação e o material a ser utilizado. As dimensões utilizadas foram as mesmas utilizadas pelo *U. S. Naval Research Laboratory's Low-frequency Test Array – NRL*. Foram compradas barras de cobre de 5/8” ou 15,85 mm de diâmetro externo para a confecção das antenas. O desenho de um dos braços a ser construído, juntamente com suas dimensões pode ser observado abaixo na FIGURA 4.7.

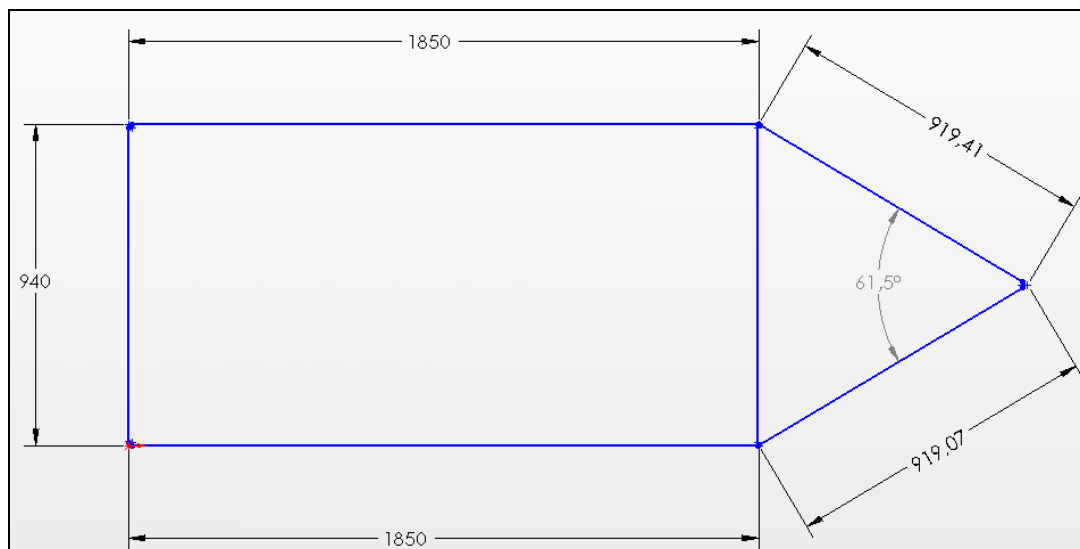


FIGURA 4.7 – Dimensões principais da antena dipolo construída no Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas – LAMEC/CRSPE/INPE – MCT.



Cada dipolo é composto por dois braços iguais ao desenho da FIGURA 4.7, sendo estes fixados por sua extremidade mais aguda a um poste de madeira, como mostrado na FIGURA 4.8. O ângulo de fixação das antenas será de  $45^\circ$  e suas extremidades serão colocadas separadas de uma distância de 10 cm. Em cada braço do dipolo será soldado um fio metálico juntando as duas antenas, fazendo o sinal passar por um amplificador para posteriormente ser analisado em um equipamento chamado Spectrum Analyser.

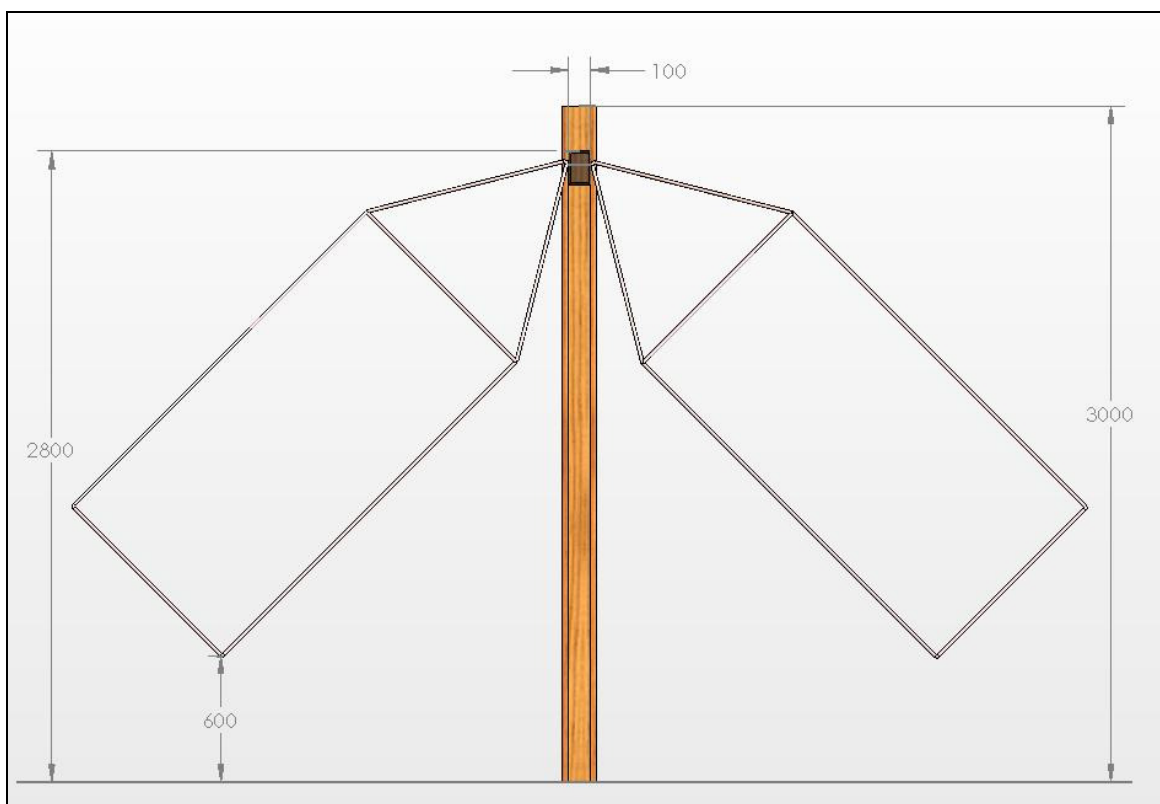


FIGURA 4.8 – Ilustração da montagem da antena protótipo de dipolo do LOFAR a ser instalada no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT.

Como comercialmente as barra de cobre são vendidas com um comprimento de 3 metros, as antenas foram construídas em várias partes, para posteriormente realizar a junção por um processo de soldagem. Dessa forma, foi estudada a melhor maneira de fazer a divisão das partes, otimizando material e posicionando os pontos de solda de

forma simétrica, para que estes pontos não sejam localizados próximos um dos outros, distribuindo melhor a tensão interna originada pela solda.

Para o processo de corte das barras foi utilizada uma esmerilhadeira. As dobras foram efetuadas manualmente, seguindo um gabarito para que os ângulos estivessem de acordo com as dimensões de projeto. A divisão em partes de cada antena está mostrada na FIGURA 4.9.

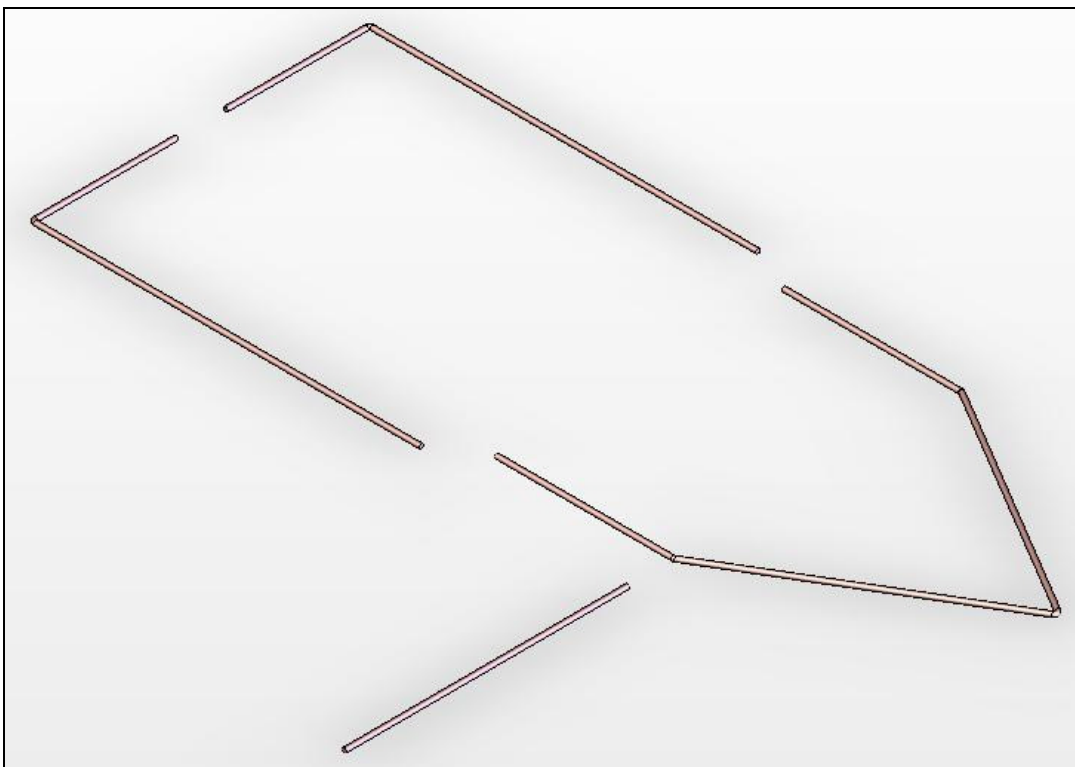


FIGURA 4.9 – Partes que compõem cada antena.

#### **4.2.2 Processo de Soldagem**

Para a união das partes foi utilizado um processo de soldagem chamado brasagem, para que a solda apresentasse resistência mecânica devido ao peso da estrutura, e boa condutividade elétrica. Este processo será mais bem explicado no item 4.2.2.1.

---

#### **4.2.2.1 Solda Por Brasagem**

O termo brasagem abrange um grupo de processos de união que produz a coalescência dos metais pelo aquecimento a uma temperatura adequada e pelo uso de metal de adição que tem um ponto de fusão abaixo da temperatura “solidus” do metal de base. Na brasagem, diferentemente da soldagem, o metal de base nunca é levado à fusão. Se o ponto de fusão do metal de adição é superior a 450° C, o processo é dito brasagem forte e, em caso contrário, é dito brasagem fraca.

Na brasagem o metal de adição preenche a junta por ação capilar, assim, para a realização de uma junta brasada com boa qualidade, é necessário que haja um perfeito molhamento das faces a serem unidas pelo metal de adição fundido. Para isto, é imprescindível que o metal de base esteja metalicamente limpo, isto é, que as superfícies estejam completamente isentas de óxidos, graxas etc. Faz-se isso normalmente por decapagem química ou mecânica. Ainda assim, os metais precisam ser protegidos durante o aquecimento por um fluxo ou uma atmosfera adequada.

Os fluxos usados se fundem a temperaturas inferiores às de fusão do metal de adição e atuam sobre as superfícies a serem unidas e áreas próximas, dissolvendo as camadas de óxido eventualmente formadas após a decapagem, permitindo assim que o metal de adição possa fluir livremente sobre as superfícies a serem unidas e aderir ao metal base.

A brasagem pode ser feita em atmosfera ativa, inerte ou sob vácuo, e o uso de atmosferas protetoras reduz a necessidade de limpeza após a operação, para eliminar da junta os materiais corrosivos dos fluxos.

As juntas brasadas são preenchidas por capilaridade e, para que este fenômeno ocorra de forma adequada, é necessário um controle rígido da distância de separação entre as peças. Se o espaçamento entre elas for muito pequeno, o preenchimento da junta é muito lento e pode ser apenas parcial. Espaçamentos exagerados também podem levar a tempos de preenchimento muito longos e à formação de bolhas de gás ou de inclusões de fluxo e óxidos.

---



A ligação entre metal de adição e metal de base se dá por difusão, com a formação de ligas intermetálicas na interface entre esses materiais, e é sólida e resistente.

Os processos de brasagem podem ser classificados de acordo com os métodos de aquecimento utilizados. Em termos industriais, os mais importantes são a brasagem por chama, em forno, por indução, por resistência, por imersão e por infravermelho.

Na brasagem por chama, que é o processo utilizado para a soldagem das antenas, o aquecimento é feito por uma ou mais tochas. Dependendo da temperatura e da quantidade de calor requeridos, o gás combustível pode ser o acetileno, propano e gás de rua. O metal de adição pode ser colocado previamente na junta ou alimentado manualmente, como na soldagem a gás. Para este processo o uso de fluxo é essencial.

Este processo de solda encontra hoje grande aplicação industrial, principalmente para peças finas, para união de peças tratadas termicamente e para união de materiais dissimilares.

#### **4.2.2.2 Soldagem das Antenas Dipolo**

A soldagem das antenas do LOFAR foi efetuada no Laboratório de Soldagem e Materiais – LASOMET/CT/UFSM. As partes a serem soldadas tiveram suas faces esmerilhadas, para haver um melhor contato facilitando a solda.

Cada antena apresentava cinco locais a serem soldados, como está mostrado na FIGURA 4.10.

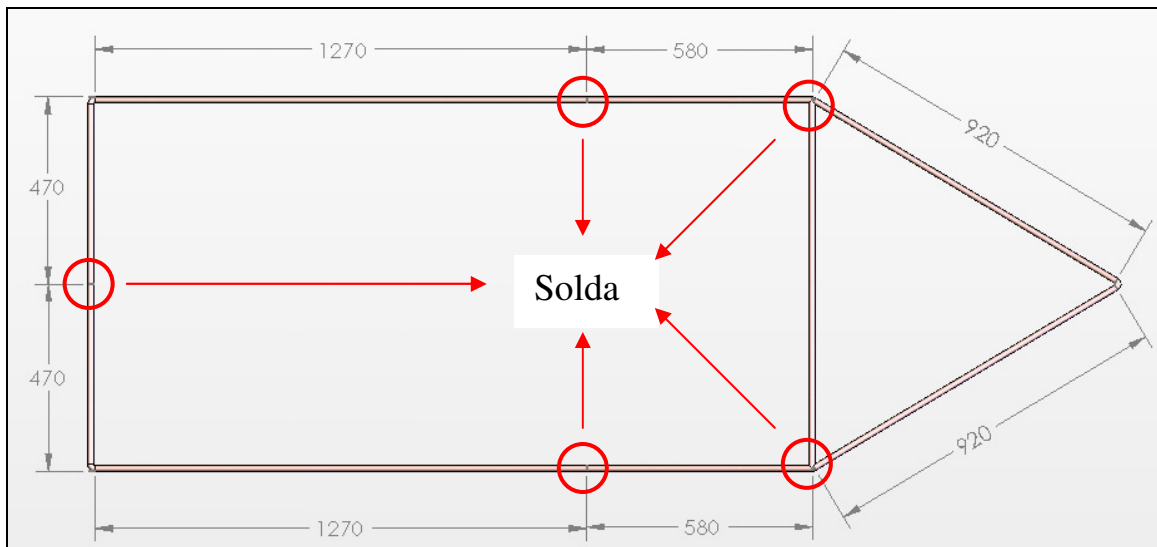


FIGURA 4.10 – Pontos de união por solda do Protótipo de antena LOFAR do CRSPE/INPE – MCT.

Como o processo a ser utilizado era a solda por brasagem, foi utilizado um maçarico de oxi-acetilênico, que através da sua chama aquecia a peça e fundia o eletrodo de adição. Pelo fato de o material ser supostamente cobre foi utilizado eletrodo de cobre com baixa porcentagem de Fósforo (BCuP), chamado comercialmente de FOSCOOPER, muito indicado para o cobre e suas ligas.

Para facilitar a soldagem foi utilizado um fluxo a base de cloretos e fluoretos que tinha por função impedir a formação de óxidos e facilitar a remoção de camadas já existentes. Este fluxo era aplicado sobre as superfícies a serem soldadas antes de começar o processo.

Durante a soldagem, foi verificado que não havia uma perfeita junção das partes utilizando eletrodo de cobre. Analisando o material, no Laboratório de Metalurgia Física – CT/UFSM como será mostrado no item 4.2.3, foi concluído que as barras não foram confeccionadas de cobre, mas apresentavam somente uma pequena camada exterior deste material sendo seu interior constituído de aço.

Apesar de o aço não ser um bom condutor de eletricidade como o cobre e o alumínio, foi feita a junção das peças para que fossem estudadas quais as características que a antena iria obter com aço revestido de cobre.

Assim para a soldagem da liga de aço foi utilizando o mesmo processo utilizado com as supostas barras de cobre, por critérios de resistência e facilidade de soldar. Dessa vez, o eletrodo de adição mais apropriado para o aço são os constituídos de liga de latão (RBCuZn). A junção entre as partes apresentou grande resistência e um cordão de solda com coloração amarelada, característica de ligas de adição de latão.

Uma amostra do aspecto do cordão de solda das antenas do LOFAR, utilizando eletrodo de latão, pode ser visto na FIGURA 4.11.

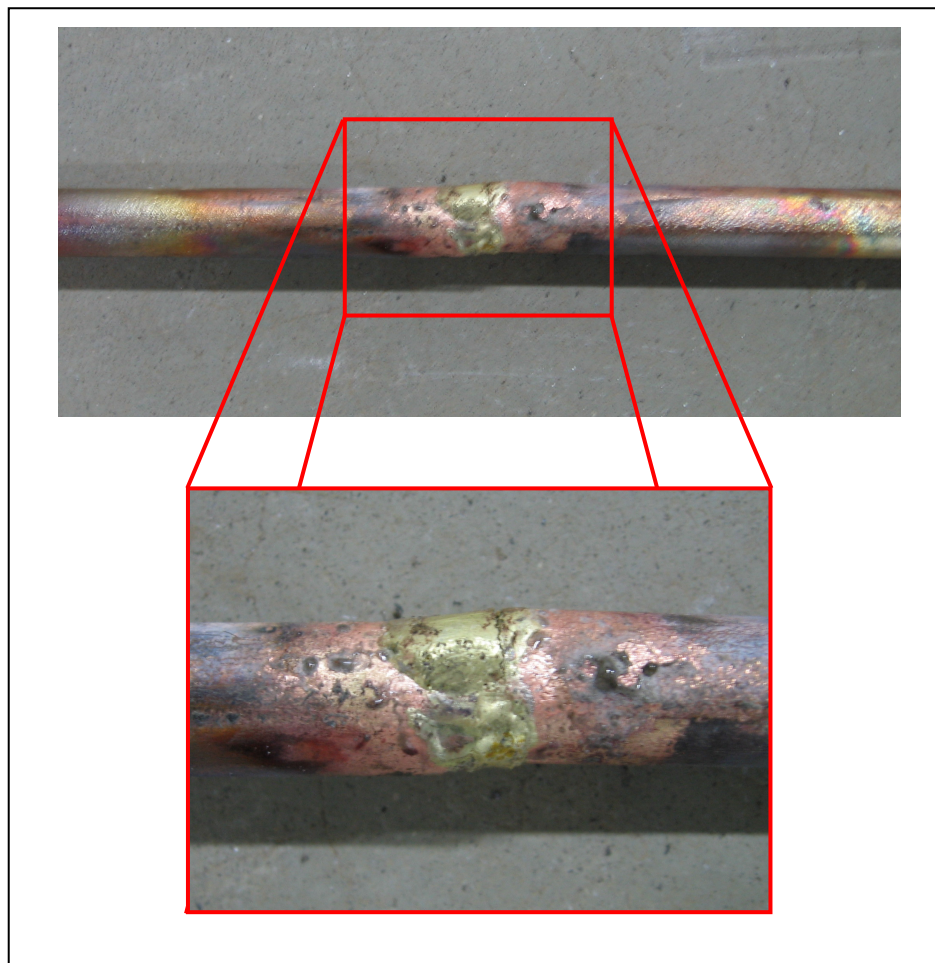


FIGURA 4.11 – Aspecto da solda realizada nas antenas do LOFAR.

### **4.2.3 Análise de Metalografia do Material Utilizado nas Antenas do Radiotelescópio LOFAR**

Devido ao fato de, durante o processo de soldagem ter sido verificado que o material das antenas do LOFAR não era totalmente feito de cobre foi realizada a análise metalográfica das supostas barras de cobre, para analisar qual material estava contido no seu interior, visto que apenas havia uma pequena camada de cobre na parte exterior. O procedimento foi realizado no Laboratório de Metalurgia Física – CT/UFSM.

Para a análise do material foi obtida uma amostra do material a partir das barras compradas. A face dessa amostra deve ser polida, até obter uma superfície espelhada isenta de riscos. Para facilitar o manuseio da amostra, pelo fato de esta ser de dimensões reduzidas, ela é envolvida por um polímero, denominado baquelite. Este processo utiliza um cilindro de aço com um furo no centro, dentro do qual é colocada a amostra e a baquelite em pó. Uma prensa hidráulica, como mostrada na FIGURA 4.12, é acoplada no furo do cilindro prensando o polímero, sendo a pressão controlada por um manômetro. Quando o ponteiro do manômetro não indica variação, significa que atingiu o maior grau de compactação das partículas de baquelite. Uma resistência elétrica em forma de uma camisa envolve o cilindro para que possa haver a fusão das partículas de plástico e formar uma liga homogênea. Nessa etapa deve-se observar a pressão, pois quando as partículas se fundem, elas ficam mais agregadas diminuindo a pressão. Deve-se então aumentar a pressão até que não haja mais variação no manômetro. Depois de alguns minutos retira-se a resistência elétrica e se coloca em volta do cilindro uma camisa de alumínio aletada, de forma que, devido ao material e ao aletamento é conseguida uma rápida refrigeração a ar do cilindro. Assim a amostra envolvida com baquelite pode ser retirada do interior do cilindro, e apresenta o aspecto mostrado na FIGURA 4.13, estando pronta para o processo de lixamento.

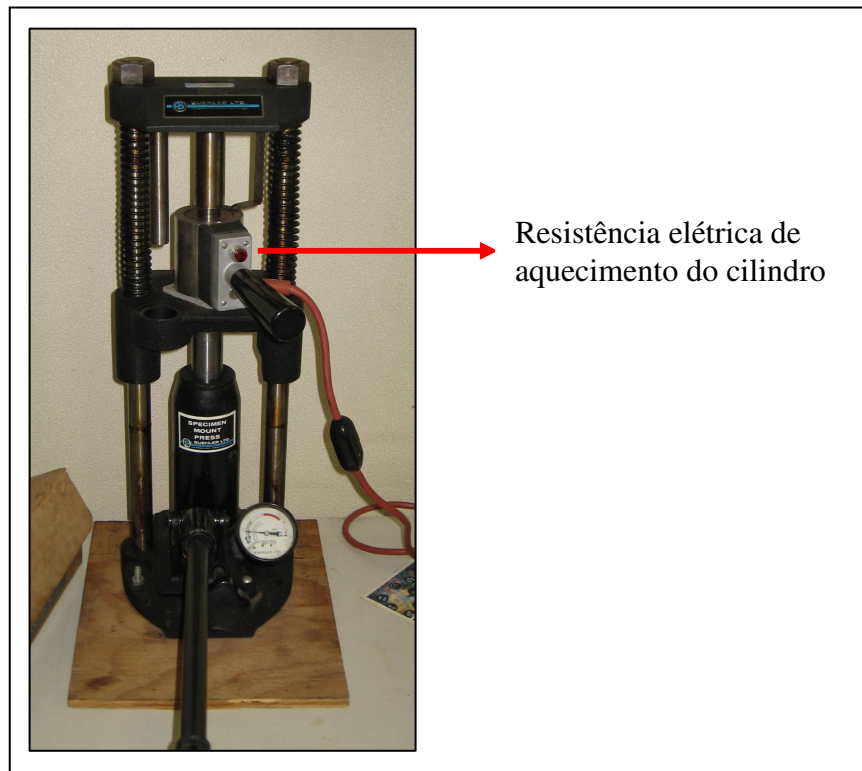


FIGURA 4.12 – Prensa hidráulica utilizada no processo de revestimento da amostra com baquelite.



FIGURA 4.13 - Amostra envolvida com baquelite.

No processo de lixamento a peça é friccionada contra uma lixa com água corrente, para a obtenção de uma superfície lisa e sem riscas. Para isso é começado com uma lixa de granulometria maior, de numeração 120, para posteriormente passarmos para as lixas de 200, 300, 400 e 600. À medida que aumenta a numeração diminui a

granulometria das lixas, dando um melhor acabamento para a peça. Este processo pode ser visualizado na FIGURA 4.14.

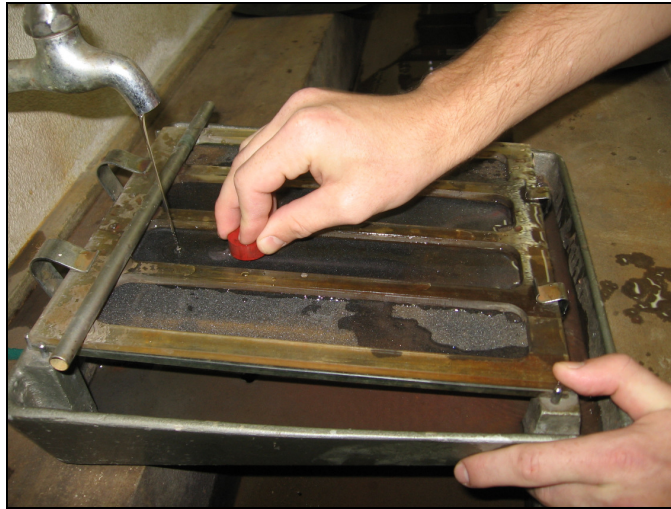


FIGURA 4.14 – Lixamento da amostra.

Na FIGURA 4.15 pode-se observar a amostra após passar por todas as séries de lixas, apresentando uma ampliação de 4x. Nesta ilustração é possível perceber a fina camada de cobre recobrindo o material interior, que pelo aspecto da amostra é aço. Assim, o passo seguinte será analisar a estrutura cristalina do metal para descobrir o teor de carbono deste aço.

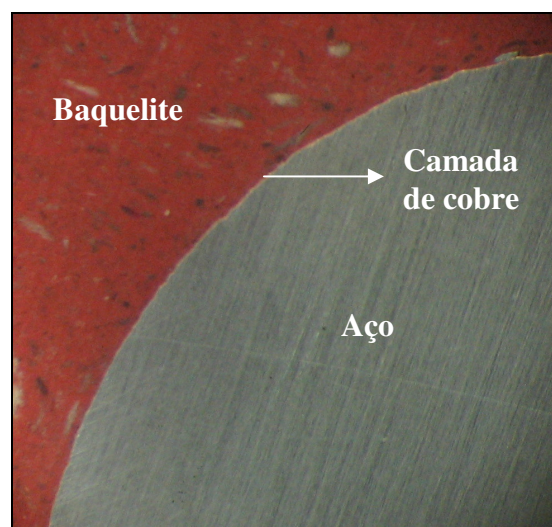


FIGURA 4.15 – Amostra de aço revestida com uma camada de cobre.



Para verificar a composição da estrutura cristalina do aço deve-se obter uma superfície polida. Para isso foi utilizada uma politriz marca STRUERS – DP9, como mostrada na FIGURA 4.16, a qual apresenta um disco rotativo recoberto por um feltro de polimento, onde é colocada pasta de diamante e álcool, possibilitando assim polir a superfície. Primeiramente foi utilizada pasta de diamante com granulometria (tamanho de grãos) em torno de  $3\mu$  (0,003 mm) e posteriormente pasta de diamante de  $1\mu$  (0,001 mm).



FIGURA 4.16 – Politriz marca STRUERS – DP9/ 300-600 rpm.

Para observação da peça foi utilizado um microscópio óptico como mostrado na FIGURA 4.17.



FIGURA 4.17 – Microscópio óptico modelo NEOPHOT 2.

Com a superfície perfeitamente polida, foi possível observar através de um microscópio óptico com ampliação de 250 a 400 vezes, a intersecção da camada de cobre com o aço, como mostrado na FIGURA 4.18. Foi revelada a existência de incrustações de sulfeto de manganês, que se forma devido à existência de enxofre nos aços. O sulfeto de manganês apresenta a forma de grãos alongados, aumentando a tendência à formação de trincas quando a material é submetido a esforços.

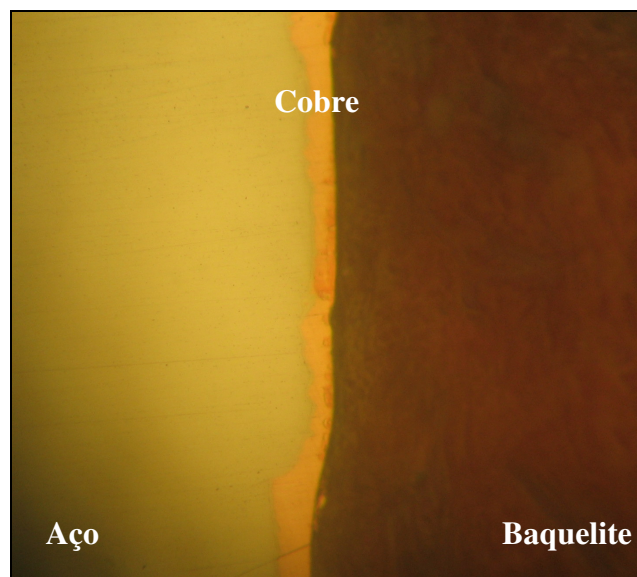


FIGURA 4.18 – Intersecção do aço com a camada de cobre.

Para ser possível observar através do microscópio a estrutura cristalina, os componentes e a geometria dos grãos do aço, deve-se atacar a amostra com ácido nítrico por cerca de 10 segundos, e após remover o ácido com álcool. Assim, como mostrado nas FIGURAS 4.19 e 4.20, observamos que o aço apresentava baixo teor de carbono, entre 8 e 10 %, uma vez que na sua estrutura foi encontrado grande quantidade de ferrita ( $\alpha$ ) e algumas pequenas partes de perlita, que é lamelas de ferrita ( $\alpha$ ) e cementita ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Nas imagens no microscópio os grãos maiores em cores claras representam a ferrita ( $\alpha$ ) que se forma em grande quantidade quando temos baixo teor de carbono, entre 8 e 10 %. Os pontos mais escuros são as partes denominadas de perlita que conferem características de resistência ao material.



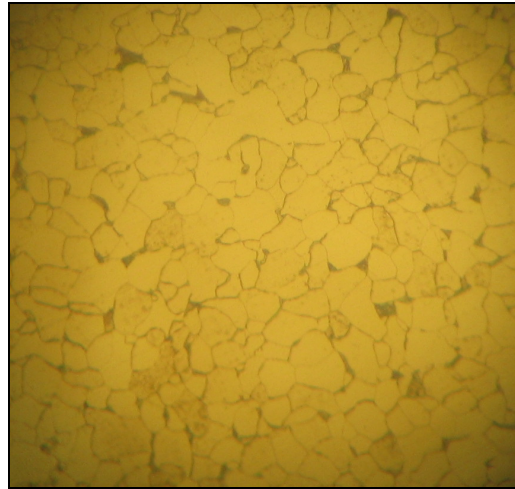


FIGURA 4.19 – Estrutura cristalina do aço, apresentando ferrita ( $\alpha$ ) e perlita, com ampliação de 250 a 400 vezes.

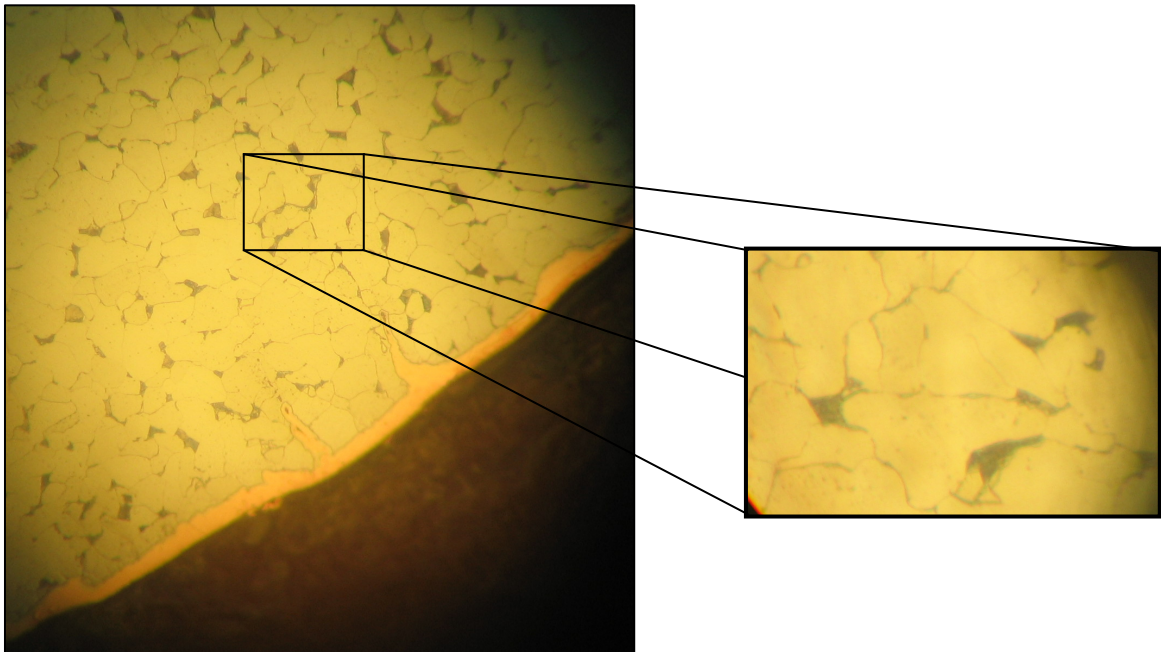


FIGURA 4.20 – Detalhes dos grãos de ferrita ( $\alpha$ ) e perlita e camada de cobre interligada a estrutura cristalina do aço.

O processo de formação desses grãos pode ser mais bem entendido observando um diagrama ferro-carbono, como mostrado na FIGURA 4.21.

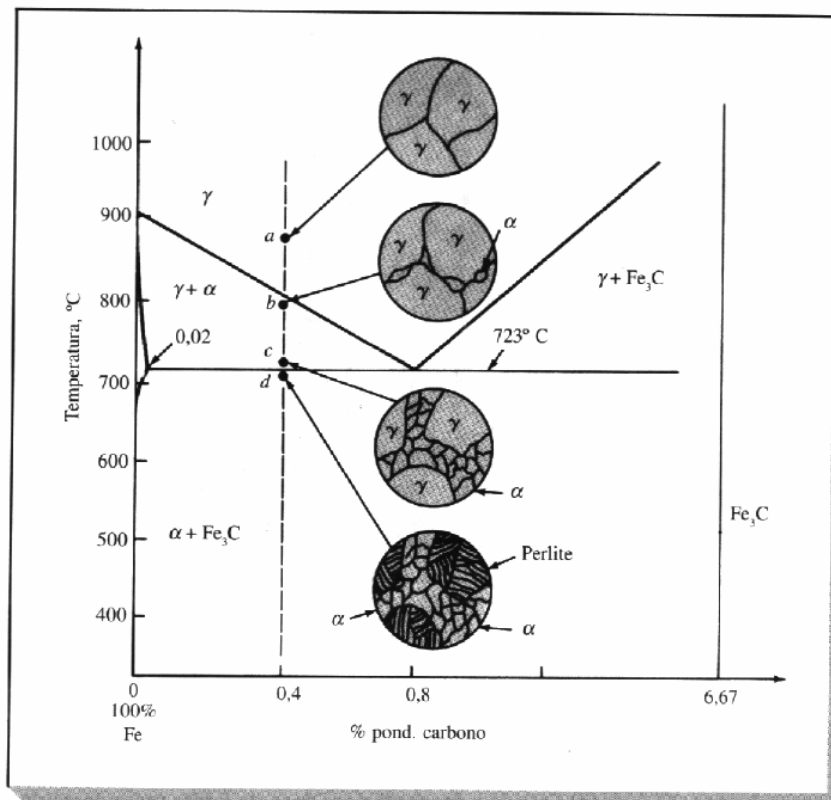


FIGURA 4.21 – Diagrama Ferro-Carbono mostrando a formação de ferrita ( $\alpha$ ) e perlita.

No diagrama da FIGURA 4.21, quando temos o resfriamento de um aço hipoeutetóide, ou seja, com teor de carbono inferior a 0,8%, a sua composição estrutural que inicialmente era de austenita ( $\gamma$ ), começa a se transformar em ferrita ( $\alpha$ ) à medida que a temperatura vai baixando. Quando a temperatura fica inferior a 720° C, a austenita ( $\gamma$ ) que não se transformou em ferrita ( $\alpha$ ), se transforma em perlita, que é uma estrutura composta de lamelas de ferrita ( $\alpha$ ) e cementita ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), com boas propriedades de resistência mecânica.

Para obter exatamente a quantidade de carbono no aço poderíamos para uma determinada área, calcular a porcentagem de área recoberta por grãos escuros e grãos claros e através da utilização do diagrama ferro-carbono obter a quantidade exata de carbono.

Como a baixa quantidade de perlita caracteriza um aço de baixo carbono, e comercialmente os aços de baixo carbono apresentam 8% de C, pode-se concluir que o

material em questão era um aço carbono com 8% de carbono (1008), apresentando pequenas inclusões de sulfeto de manganês conferindo características de maior fragilidade quando submetido a esforços, pois aumenta a tendência à formação de trincas. Na sua superfície exterior está presente uma fina camada de cobre.

#### **4.2.4 Montagem das Antenas do LOFAR**

As antenas construídas, apesar de não serem do material desejado, brevemente serão montadas no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS. As antenas serão sustentadas por uma torre de madeira e para a sua fixação no ângulo correto elas serão apoiadas por uma barra de PVC ou madeira fixada perpendicularmente ao poste central de madeira.

A parte eletrônica das antenas esta sendo desenvolvida pelo Laboratório de Radiofrequência e Telecomunicações do CRSPE/INPE – MCT, para posteriormente acoplar estes componentes a antena, possibilitando a realização de testes, analisando a sua impedância e os sinais que estão sendo captados.

Para fim de estudos científicos, será construído mais uma antena utilizando tubos de cobre de 15,85 mm e espessura de parede de 1,5 mm, que certamente apresentará melhores características elétricas que a antena desenvolvida, e será mais barata, menos pesada e com maior facilidade para a sua construção.

As antenas desenvolvidas no Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas – LAMEC/CRSPE/INPE – MCT, podem ser vistas na FIGURA 4.22. Na FIGURA 4.23, esta mostrado um desenho que ilustra como as antenas serão montadas.



FIGURA 4.22 – Antenas desenvolvidas no Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas – LAMEC/CRSPE/INPE – MCT.

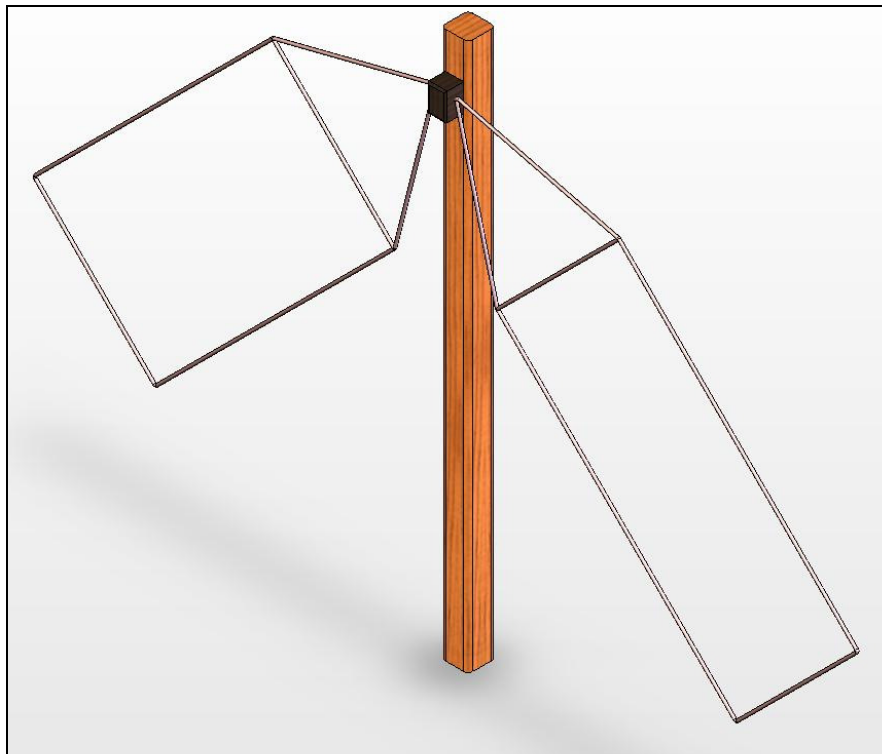


FIGURA 4.23 – Montagem das antenas dipolo do LOFAR.

## **CAPÍTULO 5**

### **OUTRAS ATIVIDADES**

Durante o este período foram realizadas outras atividades em parcerias com outros laboratórios do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT. Dentre estas atividades, se destacam o desenvolvimento de projeto e a construção de peças ou equipamento necessários a outros laboratórios.

#### **5.1 Suporte Para Radiômetros**

Esta atividade consistiu em projetar um suporte que permitisse elevar os equipamentos radiômetros para que estes não tivessem seu funcionamento interferido pela sombra de outros aparelhos, pelo fato de necessitarem da incidência de raios solares para a realização das medidas a que se destinam. Este atividade foi desenvolvida para o Laboratório de Troposfera, Estratosfera, Radiação Ultravioleta e Ozônio Atmosférico do CRSPE/INPE – MCT.

Foram discutidas qual a máxima altura que os radiômetros necessitariam e a área da superfície de elevação para a fixação do equipamento. A superfície tem um diâmetro de aproximadamente 25 cm e sua altura de elevação é de aproximadamente 20 cm. A elevação é simples, e realizada manualmente através de três fusos com porcas, dispostos em 120°.

O material utilizado para a superfície de elevação foi uma chapa de alumínio de 5 mm. Para o fuso e as porcas foi utilizado aço galvanizado. Um esquema mostrando como é o suporte pode ser visto na FIGURA 5.1

As porcas da parte inferior são responsáveis pela fixação na estrutura, enquanto que as porcas na parte superior proporcionam o movimento de elevação do equipamento, bastando para isso deslocar as três porcas na mesma altura.

---

A fixação do equipamento na superfície do suporte é realizada através de parafusos e o nível é ajustado através de um mecanismo do próprio equipamento.

O suporte foi instalado no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, na plataforma de equipamentos do Laboratório de Troposfera, Estratosfera, Radiação Ultravioleta e Ozônio Atmosférico e para que não houvesse reflexão da luz solar emitida sobre o suporte, este foi pintado de preto.

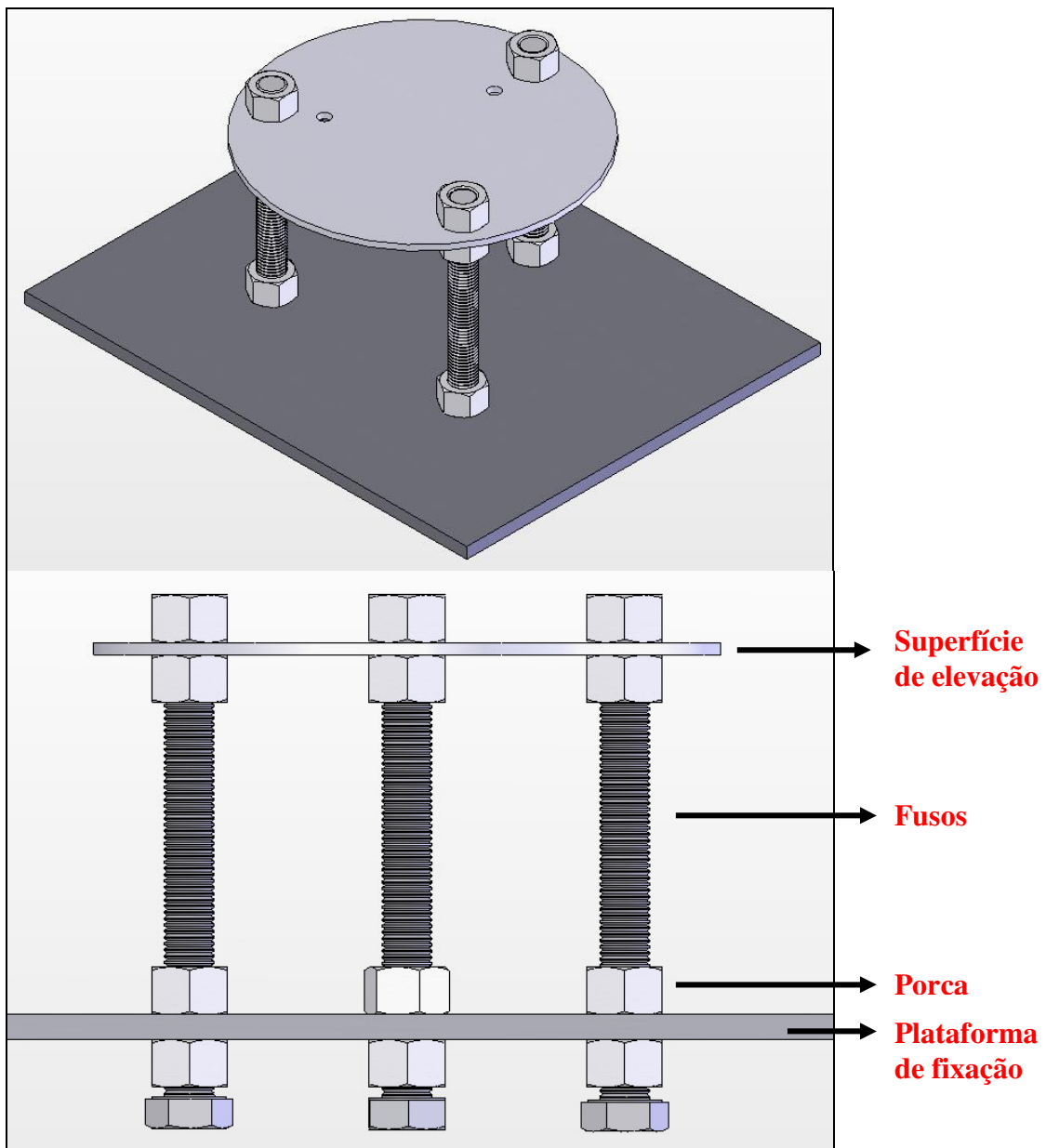


FIGURA 5.1 – Suporte de elevação dos radiômetros.



Um protótipo do suporte para radiômetros construído no Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas – LAMEC/CRSPE/INPE – MCT, pode ser visto na FIGURA 5.2.



FIGURA 5.2 – Protótipo do suporte para radiômetros.

## 5.2 Desenho de Uma Antena Quadrifilar

Esta atividade foi realizada juntamente com o Laboratório de Radiofrequência e Telecomunicações do CRSPE/INPE – MCT, e consistiu em desenhar por meio de software um modelo de uma antena quadrifilar, para posteriormente exportar o desenho para um software que analisa estruturas de alta frequência, realizando simulações e testes elétricos.

Essas antenas quadrifilares são muito utilizadas em satélites de coleta de dados, como o SCD-1, o SCD-2 e o CBERS-2, que foram desenvolvidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Esses satélites requerem antenas que forneçam uma cobertura quase omnidirecional, tanto na recepção, quanto na transmissão. Estas coberturas são obtidas montando pares de hélices quadrifilares com polarização circulares opostas nos painéis superior e inferior do satélite.

Pelo fato de o componente a ser desenhado possuir uma geometria complexa o desenho foi realizado no software *Solid Works*, que apresenta ferramentas de desenho mais avançadas. Posteriormente salvando o modelo no formato \*.IGES no *Solid Works* é possível exportar para o software de simulações elétricas HFSS – *High Frequency Structure Simulator*.

Um dos objetivos desta atividade era variar algumas características geométricas do desenho para realizar simulações elétricas na antena e analisar qual modelo apresentava melhor desempenho em funcionamento. Um modelo da antena a ser desenhada pode ser vista na FIGURA 5.3.

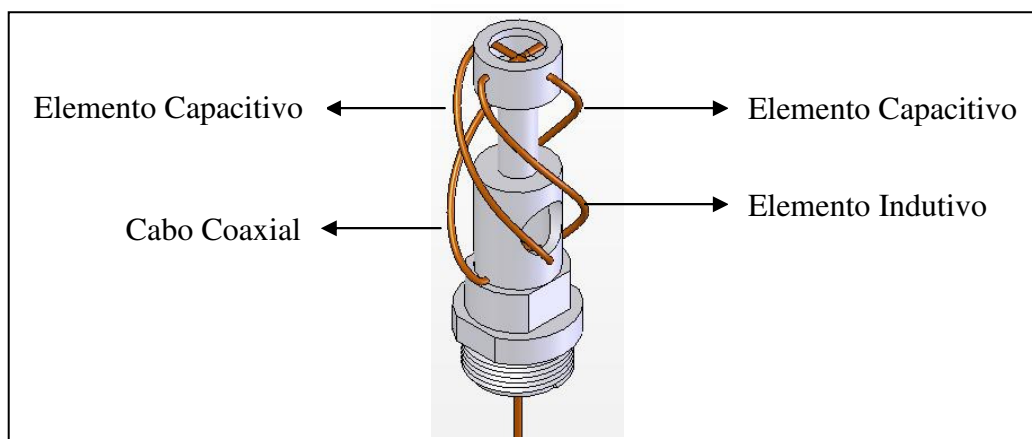


FIGURA 5.3 – Protótipo de uma antena quadrifilar.

### 5.2.1 Metodologia Para Desenho da Antena

Para o desenho da antena esta foi dividida em 4 partes como pode ser visto na TABELA 5.4. A estrutura da antena é feita de um polímero, enquanto que os elementos indutivo e capacitivo são feitos de fio de cobre. O cabo coaxial é composto por um cabo com três camadas, no interior um material condutor, no meio um isolante e no exterior uma capa de cobre.

Na montagem, o elemento indutivo é ligado ao cabo coaxial, enquanto que perpendicular a estes, estão dois elementos capacitivos ligados. Estes elementos estão



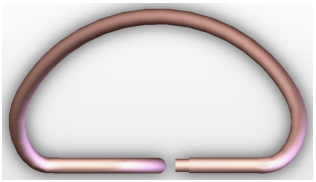



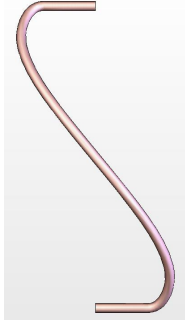
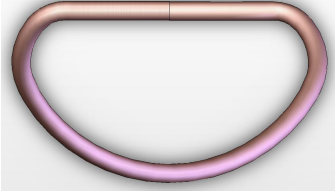


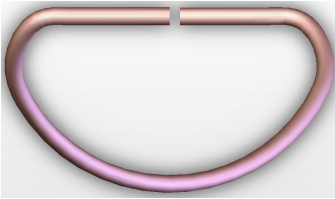
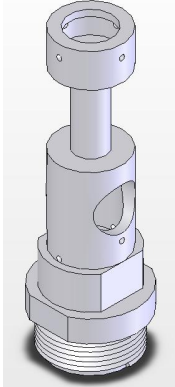
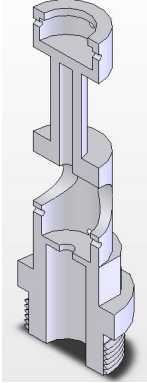
montados numa estrutura com furos passantes para os cabos, e com uma rosca na sua parte inferior para fixação.

Os elementos cabo coaxial, elemento indutivo e elemento capacitivo apresentam um formato de hélice de uma espiral, com um diâmetro definido, um ângulo de elevação e um comprimento igual e metade do passo. Estas características diâmetro, ângulo e passo da hélice são as características geométricas que serão alteradas para a realização de testes, levando em consideração que o comprimento de fio a ser utilizado deve ser mantido constante.

Devido à geometria do cabo coaxial, do elemento indutivo e do elemento capacitivo em forma de espiral com várias curvas, foi utilizado o comando do *Solid Works* chamado “*curve through xyz points*” que realiza uma curva através de pontos definidos. A partir das dimensões pré-estabelecidas para os componentes foi construída uma tabela de pontos que representavam a curva a ser desenhada. Quanto maior o número de pontos utilizados melhor será o formato da curva dos elementos. Nas partes em que existe uma linha reta, são utilizados vários pontos próximos para que o comando forme uma reta ao invés de uma curva. Depois desenhando um círculo com as dimensões do diâmetro do cabo utilizado em um plano perpendicular a linha que foi desenhada, e utilizando o comando “*swept boss/base*” é extrudado o círculo através da hélice. Assim são obtidos os desenhos em três dimensões dessas partes, que podem ser vistos na TABELA 5.1.

TABELA 5.1 – Partes que compõem a antena quadrifilar.

	Vista Isométrica	Vista Frontal	Vista Superior
<b>Cabo Coaxial</b> D = 22,6 P = 41,6 B = 49° 31'			

<p><b>Elemento Capacitivo</b></p> <p><math>D = 20,2</math></p> <p><math>P = 37,8</math></p> <p><math>B = 49^\circ 9'</math></p>			
<p><b>Elemento Indutivo</b></p> <p><math>D = 22,6</math></p> <p><math>P = 41,6</math></p> <p><math>B = 49^\circ 31'</math></p>			
	<b>Vista Isométrica</b>		<b>Corte Transversal</b>
<p><b>Estrutura da Antena</b></p>			

D = diâmetro da hélice em mm

P = metade do passo da hélice em mm

B = ângulo da hélice em graus

### 5.2.2 Alteração das Características Geométricas

Depois de desenhadas todas as partes das peças foi criado uma rotina para facilitar a alteração das características diminuindo o tempo necessário para esta atividade. Todos os pontos encontrados para o desenho da hélice, estavam relacionados



vez que, com o comprimento do fio constante, se aumentarmos o passo hélice, o raio diminui e o ângulo aumenta e caso contrário, se diminuir o passo da hélice, o raio aumenta e o ângulo diminui. Estas três variáveis estão interligadas através das equações de molas helicoidais que estão descritas abaixo:

$$l = \frac{n 2 \pi r}{\cos \beta} \quad (5.1)$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{P}{2 \pi r} \quad (5.2)$$

Onde:

L = comprimento do fio da hélice

N = número de espiras

R = raio da hélice

P = passo da hélice

$\beta$  = ângulo da hélice

Como o comprimento da hélice tem que ser constante, variando o passo será encontrado o ângulo da hélice e o raio como mostrado a seguir:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\operatorname{sen} \beta}{\cos \beta} \quad \rightarrow \quad \cos \beta = \frac{\operatorname{sen} \beta}{\operatorname{tg} \beta} \quad (5.3)$$

Substituindo (5.3) em (5.1), encontra-se:

$$l = \frac{n 2 \pi r \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{sen} \beta} \quad (5.4)$$

Colocando (5.2) em (5.4) temos:

$$l = \frac{n P}{\operatorname{sen} \beta} \quad (5.5)$$

Isolando P em (5.5), encontra-se:

---

$$P = \frac{l \operatorname{sen} \beta}{n} \quad (5.6)$$

Como neste caso, a hélice tem somente meia volta, então  $n = 1/2$ , assim:

$$P = 2l \operatorname{sen} \beta \quad (5.7)$$

Isolando  $\beta$  em (5.7) encontra-se:

$$\beta = \operatorname{arc} \operatorname{sen} \left( \frac{P}{2l} \right) \quad (5.8)$$

Isolando  $r$  em (5.1) e substituindo o valor obtido para  $\beta$  em (5.8), pode ser obtido o raio pela seguinte fórmula:

$$r = \frac{l \cos \beta}{\pi} \quad (5.9)$$

Com estas equações foram construídas as tabelas no *Microsoft Excel*, onde é necessário apenas informar a metade do passo desejado, que o programa informa o ângulo da hélice e a medida do raio. Na FIGURA 5.4, o campo *Comprimento da Hélice*, sempre é constante, variando apenas de elemento para elemento, e informa somente o comprimento para a hélice não sendo computados os comprimentos de fio para a construção das curvas após a espiral e das partes retas. O comprimento real de fio a ser utilizado para a construção de toda a peça, e não somente da hélice é informado no campo *Comprimento Correto*. A partir desses valores é construída a tabela de pontos X, Y e Z, e as linhas em que somente existem valores nulos, devem ser desconsideradas.

Inserindo estes valores no *Solid Works* é possível desenhar as espirais dos componentes, cabo coaxial, elemento capacitivo e elemento indutivo, nas dimensões corretas sem que haja variação no comprimento do fio da hélice.

## **CAPÍTULO 6**

### **CONCLUSÃO**

Com este Relatório foi possível demonstrar as atividades desenvolvidas junto ao Projeto Radioastronomia e ao Sistema LOFAR, no período de Agosto de 2005 à Junho de 2006. Foram descritas as principais características de funcionamento, os tipos de antenas e a finalidade de cada projeto.

Neste período foi feita uma extensa revisão bibliográfica referente ao sistema LOFAR, aprofundando conhecimento sobre as características do Projeto, para a construção de uma antena dipolo para recepção de sinais de baixa frequência. No Projeto Radioastronomia foram concluídas a confecção de alguns componentes que brevemente serão instalados no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT. O bolsista participou em outros projetos, dando suporte a outros laboratórios do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT.

Foi realizada a construção de um protótipo de antena dipolo para o LOFAR, onde o material empregado não apresentava as propriedades elétricas desejadas. Dessa forma, estão sendo feitos estudos, e em breve serão montadas novas antenas de material adequado possibilitando adquirir sinais com melhor qualidade.

O bolsista com estas atividades desenvolveu habilidades de pesquisa, tanto em trabalhos de grupo como individuais. O conhecimento adquirido nessas pesquisas bibliográficas e trabalhos técnicos de bancada e “campo”, são de grande importância, uma vez que estas atividades não são ministradas nas ementas das disciplinas do Curso de Engenharia Mecânica da UFSM. Estes estudos foram importantes para o crescimento profissional e pessoal do bolsista, tanto no aprimoramento técnico como no seu desenvolvimento em áreas de formação pessoal, como liberdades pessoais, auto-estima, autoconfiança, principalmente aprimorando suas habilidades de autodidatismo e liderança em trabalhos em grupo.

---

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer a meu orientador, Dr. Nelson Jorge Schuch pelo apoio prestado em todas as dificuldades encontradas no decorrer do trabalho. É importante ser mencionado que o Dr. Nelson Jorge Schuch, não mediu tempo e esforços para me orientar, mesmo com as severas dificuldades que a Direção do INPE/MCT submeteu o Projeto, não sendo alocada nenhuma vaga para Engenheiro na área de Mecânica ou Mecatrônica para nosso Laboratório.

Agradecimentos ao Prof. Dr. Natanael Rodrigues Gomes pelo apoio e co-orientação em muitos tópicos específicos de engenharia relacionados aos Projetos.

Não poderia deixar de mencionar, e agradecer a meus colegas e acadêmicos do curso de Engenharia Mecânica Silvano Lucas Prochnow, Viviane Cassol Marques e Jean Carlos Daroit e Engenharia Elétrica Cleomar Pereira da Silva que muito contribuíram no desenvolvimento das atividades.

Também gostaria de agradecer aos professores do Curso de Engenharia Mecânica, Aleir de Paris e Inácio Fontoura Limberger que me auxiliaram no projeto, nas partes de soldagem e de análise de materiais.

Meus sinceros agradecimentos a UFSM, ao LACESM, ao INPE e CNPq/MCT pela concessão da bolsa e ao Dr. José Carlos Becceneri, Coordenador do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, que oportunizou a continuar trabalhando em pesquisa científica, proporcionando um grande crescimento pessoal.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Shigley, J. E.; **Elementos de Máquinas**; Volume 1; Livro Técnico; Editora LTC Ltda.; Rio de Janeiro; RJ; 1984.

[2] Shigley, J. E.; **Elementos de Máquinas**; Volume 2; Livro Técnico; Editora LTC Ltda.; Rio de Janeiro; RJ; 1984.

[3] Marques, P. V.; Modenesi, P. J.; Bracarense, A. Q.; **Soldagem: Fundamentos e Tecnologia**; Editora UFMG; Belo Horizonte; MG; 2005.

[4] Ellingson, S. W. **Antennas for the Next Generation of Low-Frequency Radio Telescopes**; Universidade do Texas; IEEE Transactions on Antennas and Propagation, v. 53, n. 8, p.2480-2489, August 2005.

[5] Catálogo da Zella Instrumentation & Control Ltda.; Inglaterra.

[6] Relatórios anteriores do Projeto Radioastronomia.

[7] Páginas na rede internet:

1. <http://www.mrao.cam.ac.uk/telescopes/intro.html>
  2. <http://www.mrao.cam.ac.uk/surveys/6C/index.html>
  3. <http://www.lofar.org>
  4. <http://www.lofar.nl/>
  5. <http://www.haystack.mit.edu>
  6. <http://www.astron.nl>
  7. <http://www.nrl.navy.mil/>
-



## **ATIVIDADES COMPLEMENTARES – PARTICIPAÇÃO E APRESENTAÇÃO EM CONGRESSOS E EM SEMINÁRIOS**

Neste período foi possível para o acadêmico Jean Paulo Guarnieri elaborar e apresentar os seguintes trabalhos:

- **Título:**

***MODELAMENTO DIGITAL E TESTE DE RESISTÊNCIA DOS COMPONENTES INTEGRANTES DO PROJETO RADIOASTRONOMIA***

**Autores:**

**Jean P. Guarnieri;** Silvano L. Prochnow; Viviane C. Marques; Nelson J. Schuch.

**Evento:**

XX Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia – CRICTE 2005

**Local:**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE  
Foz do Iguaçu/PR

**Data:**

05 a 07 de Novembro de 2005

**Tipo de participação:**

Autor

---

- **Título:**

***PROJETO DO CAPACETE DE PROTEÇÃO DO SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO DAS ANTENAS COLETORAS DO PROJETO RADIOASTRONOMIA.***

**Autores:**

Silvano L. Prochnow; **Jean P. Guarnieri**; Viviane C. Marques; Nelson J. Schuch.

**Evento:**

XX Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia – CRICTE 2005

**Local:**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE  
Foz do Iguaçu/PR

**Data:**

05 a 07 de Novembro de 2005

**Tipo de participação:**

Co-Autor

- **Título:**

***TIRISTORES NO ACIONAMENTO DO MÓDULO DE POTÊNCIA PARA O SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO DO RADIOINTERFERÔMETRO PROTÓTIPO.***

**Autores:**

Rafael Fettermann Bertagnolli; **Jean Paulo Guarnieri**; Thiago Brum Pretto; Nelson Jorge Schuch.

**Evento:**

XX Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia – CRICTE 2005

---

**Local:**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE  
Foz do Iguaçu/PR

**Data:**

05 a 07 de Novembro de 2005

**Tipo de participação:**

Co-autor

- **Título:**

***TESTES DE RESISTÊNCIA DO SERVOMECANISMO  
COMPONENTE DAS ANTENAS DO PROJETO  
RADIOASTRONOMIA, UTILIZANDO SOFTWARE PARA  
MODELAMENTO DIGITAL.***

**Autores:**

**Jean P. Guarnieri;** Silvano L. Prochnow; Viviane C. Marques; Nelson  
J. Schuch.

**Evento:**

XX Jornada Acadêmica Integrada – JAI 2006

**Local:**

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM – Santa Maria/RS

**Data:**

08 a 10 de março de 2006

**Tipo de participação:**

Autor

---

- **Título:**

***ESTUDO DA NANOTECNOLOGIA APLICADA NA CONSTRUÇÃO DE SATÉLITES.***

**Autores:**

Silvano L. Prochnow; **Jean P. Guarnieri**; Viviane C. Marques; Otávio S. C. Durão; Nelson J. Schuch.

**Evento:**

XX Jornada Acadêmica Integrada – JAI 2006

**Local:**

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM – Santa Maria/RS

**Data:**

08 a 10 de março de 2006

**Tipo de participação:**

Co-Autor

- **Título:**

***ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS SISTEMAS DE POSICIONAMENTO GLOBAL GPS, GLONASS E GALILEO.***

**Autores:**

Viviane C. Marques; **Jean P. Guarnieri**; Silvano L. Prochnow; Otávio S. C. Durão; Nelson J. Schuch.

**Evento:**

XX Jornada Acadêmica Integrada – JAI 2006

**Local:**

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM – Santa Maria/RS

**Data:**

08 a 10 de março de 2006

**Tipo de participação:**

Co-Autor

---



## **ANEXO I**

Certificados obtidos na apresentação de trabalho em Congressos e Seminários de Iniciação Científica e Tecnológica.