



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

DESENVOLVIMENTO MECÂNICO DAS ANTENAS DIPOLO DO RADIOTELESCÓPIO DE BAIXAS FREQUÊNCIAS LOFAR.

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA PIBIC/INPE - CNPq/MCT

PROCESSO: 105428/2006-0

Jean Carlos Daroit – (UFSM, Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT)
E-mail: daroit@lacesm.ufsm.br

Dr. Nelson Jorge Schuch – (Orientador, CRS/CIE/INPE – MCT)
E-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br

Santa Maria, Julho de 2007.



DADOS DE IDENTIFICAÇÃO:

Bolsista:

Jean Carlos Daroit
Curso de Engenharia Mecânica
Centro de Tecnologia – CT/UFSM
Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria
LACESM/CT – UFSM
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Orientador:

Dr. Nelson Jorge Schuch
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE – MCT
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT
Santa Maria – RS

Co-Orientadores:



Prof. Dr. Natanael Rodrigues Gomes
Departamento de Eletrônica e Computação – DELC/CT – UFSM
Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM/CT – UFSM
Santa Maria – RS



Prof. Dr. Ademar Michels
Departamento de Engenharia Mecânica – DEM/CT – UFSM
Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM/CT – UFSM
Santa Maria – RS

Colaboradores – Acadêmicos:

Jean Paulo Guarnieri – LAMEC/CRS/CIE/INPE – MCT(1)
Silvano Lucas Prochnow – LAMEC/CRS/CIE/INPE – MCT(1)
Viviane Cassol Marques – LAMEC/CRS/CIE/INPE – MCT(1)
Cleomar Pereira da Silva – LRC/CRS/CIE/INPE – MCT(2)

Relatório Final de Atividades

Identificação		Recursos Humanos		Linhas de Pesquisa		Indicadores do Grupo									
  <p>Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil</p> <p>Grupo de Pesquisa Astrofísica - Radioastronomia</p> <p style="text-align: right;">Aguardando certificação da instituição ?</p>															
<p>Dados básicos</p> <p>Nome do grupo: Astrofísica - Radioastronomia</p> <p>Status do grupo: aguardando certificação pela instituição</p> <p>Ano de formação: 1988</p> <p>Data da última atualização: 14/06/2007 11:18</p> <p>Lider(es) do grupo: Nelson Jorge Schuch - nelson.schuch@pq.cnpq.br Natanael Rodrigues Gomes - natanael.gomes@lacedm.ufsm.br</p> <p>Área predominante: Ciências Exatas e da Terra, Astronomia</p> <p>Instituição: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE</p> <p>Órgão: Coordenação de Gestão Científica - CIE Unidade: Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS</p> <p>Endereço</p> <p>Logradouro: Caixa Postal 5021</p> <p>Bairro: Camobi CEP: 97110970</p> <p>Cidade: Santa Maria UF: RS</p> <p>Telefone: 33012026 Fax: 33012030</p> <p>E-mail: njschuch@lacedm.ufsm.br Home page: http://</p>															
<p>Repercussões dos trabalhos do grupo</p> <p>O Grupo de Pesquisa - Astrofísica e Radioastronomia do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CIE/INPE-MCT, em Santa Maria, RS, colabora com pesquisadores do INPE, CRAAM-Universidade P. Mackenzie, DIMI/ICB/USP e LACESM-UFSM. Linhas de Pesquisas: ASTROFÍSICA E RADIOASTRONOMIA, ANTENAS E MECATRÔNICA E ELETRÔNICA E RADIOFREQUÊNCIA. Áreas de interesse da Astrofísica: Sistema Solar, Galáctica e Extra-Galáctica; Cosmologia Observacional; Alta Energia; Partículas & Campos; Relatividade & Gravitação; Exobiologia; Instrumentação Radioastronômica; Objetiva a instalação de rádio-interferômetro de longa linha-de-base e estações do Sistema LOFAR no Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE-MCT, em São Martinho da Serra, RS, banda de frequência 10-240 MHz. Objetivos: Mapear o Hemisfério Sul, com superposição no Hemisfério Norte, comparando com os levantamentos; (Universidade de Cambridge-6C,7C,7C(G), NVSS(NRAO-VLA Sky Survey) e LOFAR, analisando a Esfera Celeste entre 10-240 MHz; Cosmologia Observacional, contagem de rádio-fontes a níveis fracos de densidades de fluxo em baixas frequências; Pesquisar fontes variáveis, como pulsares e radiofontes de natureza não sincrotrônica; Procura por radiofontes gigantes, radiogaláxias e por aglomerados de radiofontes, a exemplo de aglomerados de galáxias; Procura de radiofontes com o interior "morto", com lóbulos ativos; Procura de emissões no contínuo entre 110-240 MHz de regiões galácticas HI, complexas, não compactas; Procura de aglomerados e superaglomerados de galáxias, procura de evidência de matéria intergaláctica na forma de rádio-halos; Procura de variabilidade de radiofontes em baixas frequências; Mapear a Galaxia e as Nuvens de Magalhães entre 110 e 240 MHz; Pesquisar a Radiação Cômica de Fundo entre 110-240 MHz; Meio Interestelar; Radiação não-térmica de planetas - Júpiter; Vento Solar e Clima Espacial; Cintilação Interplanetária. Vice-Líderes: Natanael R. Gomes, Ademair Michels.</p>															
<p>Recursos humanos</p> <p>Pesquisadores Total: 11</p> <p>Ademar Michels Natanael Rodrigues Gomes - (líder)</p> <p>Alisson Dal Lago Nelson Jorge Schuch - (líder)</p> <p>Ezequiel Echer Norberto Ulisses de Vasconcellos Oliveira</p> <p>Jean Pierre Raulin Oimar Antonio Battistel</p> <p>José Williams dos Santos Vilas Boas Otávio Santos Cupertino Durão</p> <p>Marcelo Barcellos da Rosa</p> <p>Estudantes Total: 19</p> <p>Carlos Roberto Braga Nikolas Kemmerich</p> <p>Cleomar Pereira da Silva Rafael Lopes Costa</p> <p>Eduardo Cereetta Dalla Favera Roben Castagna Lunardi</p> <p>Jean Carlos Daroit Rodrigo Gerlach Silva</p> <p>Jose Fernando Thuorist Samuel Martins da Silva</p> <p>Lucas Lopes Costa Sandro Fettermann Bertagnoli</p> <p>Luzia Lux Lock Silvano Lucas Prochnow</p> <p>Marcelo dos Santos Zastawy Tardelli Ronan Coelho Stekel</p> <p>Marcos Vinicius Dias Silveira Tiago Jaskulski</p> <p>Micael da Silva Bacellar</p> <p>Técnicos Total: 3</p> <p>Anderson Pereira Colvero - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Eletrônica</p> <p>Eduardo Cereetta Dalla Favera - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Computação</p> <p>Kofili Ozaki - Graduação - Analista de Sistemas</p> <p>Linhas de pesquisa Total: 3</p> <ul style="list-style-type: none"> • Antenas e Mecatrônica • Astrofísica e Radioastronomia • Eletrônica e Radiofrequência <p>Empresas associadas ao grupo Total: 0</p> <p>Indicadores de recursos humanos do grupo</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>Integrantes do grupo</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pesquisador(es)</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>Estudante(s)</td> <td>19</td> </tr> <tr> <td>Técnico(s)</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table>								Integrantes do grupo	Total	Pesquisador(es)	11	Estudante(s)	19	Técnico(s)	3
Integrantes do grupo	Total														
Pesquisador(es)	11														
Estudante(s)	19														
Técnico(s)	3														

**Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil**

Linha de Pesquisa
Antenas e Mecatrônica

Linha de pesquisa

Antenas e Mecatrônica

Nome do grupo: [Astrofísica - Radioastronomia](#)

Palavras-chave: Antenas e Mecatrônica; Mecânica Fina; Sistemas de Automação; Sistemas de Controle; Sistemas de Robótica; Artefatos Espaciais; Sistemas de Servomecanismos;

Pesquisadores:
[Ademar Michels](#)
[Jean Pierre Raulin](#)
[José Williams dos Santos Vilas Boas](#)
[Natael Rodrigues Gomes](#)
[Nelson Jorge Schuch](#)
[Norberto Ulisses de Vasconcellos Oliveira](#)
[Otávio Santos Cupertino Duroso](#)

Estudantes:
[Cleomar Pereira da Silva](#)
[Jean Carlos Daroit](#)
[Lucas Lopes Costa](#)
[Rafael Lopes Costa](#)
[Rodrigo Gerlach Silva](#)
[Silvano Lucas Prochnow](#)

Árvore do conhecimento:
Engenharias: Engenharia Mecânica: Projetos de Máquinas; Controle de Sistemas Mecânicos;
Engenharias: Engenharia Elétrica: Medidas Elétricas, Magnéticas e Eletrônicas; Instrumentação; Instrumentação Eletromecânica;
Engenharias: Engenharia Mecânica: Antenas, Interferometria.

Setores de aplicação:
Aeronáutica e espaço

Objetivo:
Coordena pesquisas de Engenharia Mecânica, Mecânica Fina e Mecatrônica desenvolvendo tecnologias, antenas e equipamentos para sistemas integrados de radiointerferometria e Sistema LOFAR para instalação no Observatório Espacial do Sul. Atuação em sistemas: de antenas receptoras e/ou transmissoras, de automação, de controle, de servomecanismos complexos, de robótica, confecção de peças e de equipamentos radioastronômicos. Vice-Líder: Ademar Michels.

Local de Trabalho/Execução do Projeto:

- Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE – MCT, em Santa Maria, RS.
- Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS. No âmbito da Parceria: INPE – UFSM, através do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria.

Agência Financiadora:

Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq/MCT.

Laboratórios do CRS/CIE/INPE – MCT:

- (1) LAMEC – Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas.
- (2) LRC – Laboratório de Radiofrequência e Comunicações.



RESUMO

Este Relatório visa descrever as atividades vinculadas ao Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, desenvolvidas pelo bolsista **Jean Carlos Daroit**, acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica, do Centro de Tecnologia, da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, durante o período de **Agosto de 2006 à Julho de 2007**, no Projeto **“DESENVOLVIMENTO MECÂNICO DAS ANTENAS DIPOLO DO RADIOTELESCÓPIO DE BAIXAS FREQUÊNCIAS LOFAR.”**, junto ao Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE – MCT. As atividades foram realizadas no Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas e no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS.



ÍNDICE

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO:	1
RESUMO	4
CAPÍTULO I	9
1.1 INTRODUÇÃO	9
1.2 OBJETIVO.....	9
1.3 ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO.....	10
CAPITULO II	11
RADIOASTRONOMIA E RADIOTELESCÓPIOS	11
2.1 INTRODUÇÃO	11
2.2 RADIOASTRONOMIA	13
2.3 RADIOTELESCÓPIOS	14
2.3.1 <i>Histórico dos Radiotelescópios de Baixa Frequência</i>	15
2.3.2 <i>Características dos Radiotelescópios</i>	18
2.3.2.1 Interferometria.....	19
2.3.2.2 Síntese de Abertura	21
2.3.2.3 <i>Arrays</i>	21
CAPÍTULO III	23
LOFAR – <i>LOW FREQUENCY ARRAY</i>	23
3.1 PROJETO LOFAR	23
3.2 OBJETIVOS DE LOFAR	23
3.3 RADIAÇÃO DE RÁDIO DE BAIXA FREQUÊNCIA	25
3.4 CARACTERÍSTICAS DE LOFAR	26
3.5 ANTENAS DESENVOLVIDAS PARA O SISTEMA LOFAR	30
3.5.1 <i>Low Frequency Antennas</i>	30
3.5.1.1 Dipolo V-Invertido.....	31
3.5.1.2 Dipolo NLTA	32
3.5.2 <i>High Frequency Antennas</i>	33
CAPITULO IV	36
METODOLOGIA PARA A CONFECÇÃO DE ANTENAS DIPOLO DO PROJETO LOFAR	36
4.1 ANTENA DIPOLO NLTA	36
4.1.1 <i>Processo de Confecção da Antena</i>	36
4.1.2 <i>Estudo Metalográfico</i>	38
4.1.2.1 Procedimentos	39
4.1.2.2 Resultados	42
4.1.3 <i>Processo de Soldagem</i>	45
4.1.3.1 Procedimentos	45
4.1.3.2 Solda MIG/MAG.....	46
4.1.3.3 Resultados	47
4.1.4 <i>Montagem da Antena</i>	48
4.1.5 <i>Resultados Preliminares</i>	49
4.2 ANTENA DIPOLO NRL	50
4.2.1 <i>Processo de Confecção da Antena</i>	50
4.2.2 <i>Instalação da Antena</i>	51



CAPITULO V	53
CONCLUSÕES	53
AGRADECIMENTOS	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
ATIVIDADES COMPLEMENTARES – PARTICIPAÇÃO E APRESENTAÇÃO EM CONGRESSOS E SEMINÁRIOS.....	57
APÊNDICE A.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1. Padrão de Antena.	12
Fig. 2.2. Absorção das ondas eletromagnéticas causadas pela Ionosfera Terrestre.	14
Fig. 2.3. Disposição das antenas.	16
Fig. 2.4. (a) Efeito de difração ao passar por uma abertura,	19
(b) Padrão teórico de difração de uma fonte pontual.	19
Fig. 2.5. Princípio de funcionamento de um interferômetro.	20
Fig. 2.6. Esquema de um Interferômetro de duas antenas.	20
Fig. 2.7. Rotação aparente de uma área da Terra, formando uma abertura sintetizada.	21
Fig. 3.1. Disposição das antenas em estações formando uma espiral.	26
Fig. 3.2. Diâmetro da disposição das antenas de LOFAR.	27
Fig. 3.3. Propagação dos sinais entrantes na Ionosfera terrestre.	27
Fig. 3.4. Milhares de antenas dipolo simulam uma antena de prato com 350 Km de diâmetro.	28
Fig. 3.5. Disposição das antenas na Estação Central de LOFAR.	29
Fig. 3.6. Computador Central Bluegene, utilizado na Estação Central de LOFAR.	30
Fig. 3.7. Antena Dipolo V-Invertido.	31
Fig. 3.8. Antena Dipolo.	32
Fig. 3.9. Antena “Fat Dipole”.	33
Fig. 3.10. High Frequency Antennas em sua estrutura de montagem.	34
Fig. 3.11. Disposição das antenas de alta frequência.	35
Fig. 4.1. Braço da antena dipolo com suas dimensões principais.	37
Fig. 4.2. Montagem da antena dipolo de LOFAR.	37
Fig. 4.3. Partes componentes da antena.	38
Fig. 4.4. Prensa hidráulica utilizada no processo de revestimento da amostra.	39
Fig. 4.5. Amostra envolvida com baquelite.	40
Fig. 4.6. Lixamento da amostra.	40
Fig. 4.7. Amostra de aço revestida com uma camada de cobre.	41
Fig. 4.8. Microscópio óptico modelo NEOPHOT 2.	41
Fig. 4.9. Intersecção do aço com a camada de cobre.	42
Fig. 4.10. Estrutura cristalina do aço, com ampliação de 250 a 400 vezes.	43
Fig. 4.11. Detalhes dos grãos de ferrita (α) e perlita.	43
Fig. 4.12. Diagrama Ferro-Carbono mostrando a formação de ferrita (α) e perlita.	44
Fig. 4.13. Pontos de união por solda.	45
Fig. 4.14. Processo básico de solda.	46
Fig. 4.15. Equipamento para a soldagem manual.	47
Fig. 4.16. Antenas desenvolvidas no Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas – LAMEC/CRS/CIE/INPE – MCT.	48
Fig. 4.17. Fixação da antena dipolo de LOFAR.	49
Fig. 4.18. Resultado final da concepção da antena dipolo de LOFAR.	49
Fig. 4.19. Braço da antena NRL com suas dimensões.	51
Fig. 4.20. Ângulos internos dos braços da antena dipolo NRL de LOFAR.	51



Fig. 4.21. Montagem final da antena dipolo NRL..... 52
Fig. 4.22. Resultado final da antena dipolo NRL de LOFAR. 52

CAPÍTULO I

1.1 Introdução

Historicamente a radioastronomia de baixa frequência tem recebido pouca atenção devido as dificuldades impostas pela Ionosfera Terrestre. Nesse contexto, os radiotelescópios são de grande valia permitindo a possibilidade de estudo cósmicos na janela de rádio frequências que se amplia com o desenvolvimento completo da nova tecnologia empregada em LOFAR.

O Sistema LOFAR – *Low Frequency Array* é um radiotelescópio digital, em implantação na Holanda, na Europa, projetado para operar em uma faixa de rádio de baixas frequências (10-240 MHz).

A importância do desenvolvimento de antenas receptoras provém da necessidade de detectar o campo elétrico das ondas eletromagnéticas de modo coerente e com sensibilidade suficiente para coletar as pequenas variações do fluxo emitido pelas radiofontes. Para isso, visamos o desenvolvimento e a confecção experimental de dois protótipos de antenas dipolo, similares aos que são partes integrantes dos modelos desenvolvidos para o radiotelescópio LOFAR.

1.2 Objetivo

O Projeto tem como objetivo promover a implantação de um sistema, estação, LOFAR (*Low-Frequency Array*) no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS.

Para instalação do Sistema LOFAR faz-se necessário um estudo do funcionamento e das características desse novo radiotelescópio, bem como de suas partes integrantes, podendo ser citados os materiais utilizados, modelos, modos de confecção e disposição das antenas dipolo de LOFAR.

Para tal, utilizamos duas características construtivas distintas de antenas dipolo que trabalharão na faixa de frequências de 10 a 90 MHz. Estas antenas estão sendo confeccionadas no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE – MCT e serão instaladas no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE –

MCT. A partir dos resultados obtidos, em Santa Maria, RS, será estudada a possibilidade de implantação de uma unidade LOFAR no Sul do Brasil.

1.3 Organização do Relatório

O Relatório é dividido em cinco capítulos. No primeiro Capítulo é feita uma breve introdução, onde são relacionados os objetivos do Projeto. O segundo Capítulo apresenta conceitos de ondas eletromagnéticas, antenas, radioastronomia e radiotelescópios, bem como sua aplicação prática na idealização do Projeto LOFAR. O Capítulo III é utilizado para apresentar o Sistema LOFAR. Prototipagem e Confecção das Antenas dipolo de LOFAR são apresentados no Capítulo IV. No Capítulo V é feita a conclusão sobre o trabalho realizado, bem como, no Apêndice A são apresentados certificados de cursos e participações em congressos ocorridos durante o período de vigência da bolsa.

CAPITULO II

RADIOASTRONOMIA E RADIOTELESCÓPIOS

Neste capítulo apresentamos conceitos de ondas eletromagnéticas, antenas, radioastronomia e radiotelescópios, bem como sua aplicação prática na idealização do Projeto LOFAR.

2.1 Introdução

Para entendermos o princípio de funcionamento do radiotelescópio LOFAR, são necessários alguns conceitos básicos que regem as ondas eletromagnéticas, rádio, e como as antenas cumprem seu papel de captar uma onda livre no espaço conduzindo-a para a análise da qual se destina o Sistema LOFAR.

As ondas eletromagnéticas têm um importante papel na vida do ser humano, graças a ela que o Sol pode mover os processos naturais que dependem da luz e do calor gerados por ele. Além do Sol temos outras estruturas que emitem ondas eletromagnéticas: a radiação eletromagnética emitida por átomos de hidrogênio neutro que povoam o espaço interestelar da nossa galáxia; as emissões na faixa de radiofrequências dos *quasars* (objetos ópticos que se encontram a enormes distâncias de nós, muito além de nossa galáxia, e que produzem enorme quantidade de energia); pulsos intensos de radiação dos *pulsars* (estrelas pequenas cuja densidade média é em torno de 10 trilhões de vezes a densidade média do Sol); fontes terrestres de estações de rádio e de TV, sistemas de telecomunicações à base de microondas, lâmpadas artificiais, corpos aquecidos e muitas outras.

Essas ondas eletromagnéticas são tão importantes para a vida do homem, que a partir de sua descoberta por James Clerk Maxwell em sua teoria eletromagnética, passamos a ter preocupações em captar e transmitir ondas, tanto na Terra como para o espaço interestelar. Fazendo uso de antenas esse objetivo foi alcançado, pois elas possibilitaram através de uma estrutura geométrica cujo material construtivo permite livre movimentação a cargas elétricas, uma região de transição entre uma onda livre no espaço e uma onda guiada.

Para tal, as antenas possuem características próprias que delimitam sua eficiência e seu funcionamento. Dentre as tantas características empregadas para qualificar uma antena podemos citar as seguintes:

- ◆ Polarização: Define a direção do vetor campo elétrico do campo eletromagnético por ela irradiado com relação a um plano de referência.
- ◆ Padrão de Irradiação: Expressão analítica que define a intensidade normalizada do campo elétrico.
- ◆ Padrão de Antena: Resposta da antena em função da direção. Numericamente pode ser especificado em função da largura angular do lóbulo principal para um determinado nível. Isso pode ser visto na Fig. 2.1.

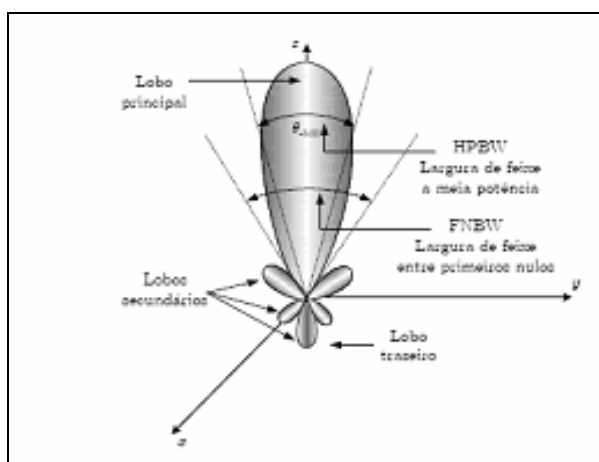


Fig. 2.1. Padrão de Antena.

Fonte: Diagrama de Radiação, 2007.

- ◆ Intensidade de Irradiação: Densidade sólido-angular de potência irradiada.
 - ◆ Diretividade: Índice numérico que mede a habilidade de uma antena em concentrar a absorção de potência incidente na direção de máxima irradiação (ou concentrar a potência irradiada na direção de máxima irradiação).
 - ◆ Ganho: Definido como a razão entre a máxima densidade superficial da antena e a densidade superficial de potência irradiada.
-

- ◆ Impedância de Entrada: É a resistência que a antena apresenta à linha de transmissão que a alimenta (Resistência de Radiação) e a estrutura de acoplamento que a une a essa linha (Resistência Própria).
- ◆ Abertura Efetiva: Área equivalente ou abertura equivalente através da qual a antena extrai a máxima energia possível de uma onda eletromagnética que sobre ela incida.
- ◆ Largura de Banda: Faixa de frequências que uma antena pode operar satisfazendo os mínimos parâmetros de desempenho.

Tendo levado em consideração todos estes parâmetros e características singulares de cada antena, LOFAR terá o desafio de coordenar o funcionamento de várias antenas operando em um conjunto *Array*. Um conjunto *Array* nada mais é que um número n de elementos (antenas transmissoras ou receptoras) localizados em uma região do espaço, a fim de somar os campos individuais de cada elemento de modo a maximizar o campo elétrico em um ponto de interesse.

2.2 Radioastronomia

Graças a grande importância do estudo das ondas eletromagnéticas provenientes do espaço, surge uma nova ciência, a Radioastronomia, que se detém ao estudo de corpos celestes, captando e analisando as ondas de rádio por eles emitidas.

Em 1930 Karl Jansky observou ondas na frequência de 20,5 MHz. Em 1938 Reber fez uma experiência com ondas de 160 MHz. Revelando muitas coisas sobre o Sistema Solar, nossa própria Galáxia, Radiogaláxias, *Quasars* e Cosmologia Observacional, esse estudo mostrou-se melhor em uma porção do Espectro Eletromagnético, e pouco ou de modo nenhum em outras partes do Espectro.

A realização das observações por meio de ondas de rádio possibilitou o estudo onde a atmosfera Terrestre 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. Ver Fig. 2.2. 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.

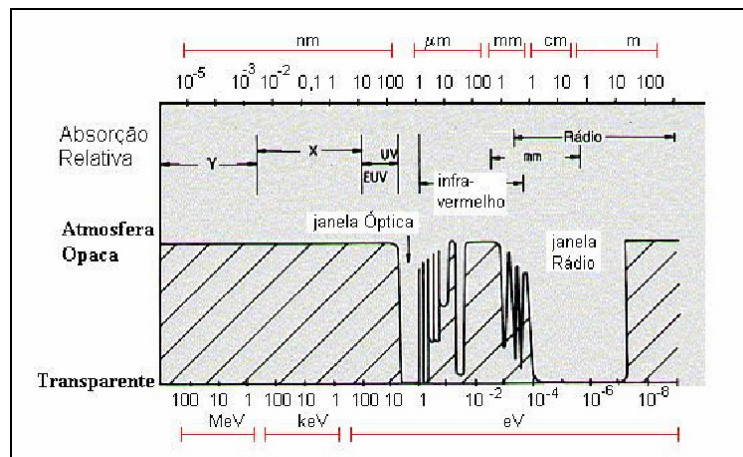


Fig. 2.2. Absorção das ondas eletromagnéticas causadas pela Ionosfera Terrestre.

Fonte: Fundamentos de Astronomia.

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.

2.3 Radiotelescópios

Um Radiotelescópio consiste em um receptor radiastronômico que detecta o campo elétrico captado de modo coerente, com sensibilidade suficiente para coletar pequenas densidades de fluxo das radiofontes cósmicas. Independente de seu tamanho e configuração, um radiotelescópio quando do tipo radio-interferômetro, usa grande

quantidade de pequenas antenas para simular uma única antena parabólica de grande porte, por exemplo.

2.3.1 Histórico dos 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 paraboloidal, 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 se 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 Fig. 2.3. 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.



Fig. 2.3. Disposição das antenas.

Fonte: ASTRON, 2006.

No momento, no mínimo três novos projetos de grandes telescópios estão com projetos em andamento: Telescópio de Baixa Frequência (Low-Frequency Array – LOFAR), agora em fase de prototipagem avançada na Holanda onde já existem antenas instaladas; Telescópio de Longo Comprimento de Onda (Long Wavelength – LWA), que está 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 onda e o maior possível comprimento de banda. 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 com 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 a não combinação de impedância entre os terminais das antenas e os componentes eletrônicos se tornem muito grandes, 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 alcançadas somente pela adição de antenas adicionais,

umentando 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 também 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 do desenho 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. Este breve histórico foi adaptado do Relatório Final PIBIB – 2006 de Jean Paulo Guarnieri.

2.3.2 Características dos Radiotelescópios

De um modo geral, os radiotelescópios com grandes superfícies coletoras são muito usados no estudo de fontes fracas, com tempos de observação relativamente curtos. São particularmente usuais na espectroscopia de fontes de pequeno tamanho angular; para o estudo de fenômenos rapidamente variáveis, tais como pulsares ou estrelas pulsantes; ou mesmo ocultações de fontes pela Lua, onde longos tempos de integração não são adequados para a resolução desejada.

Para se ter uma análise astronômica de boa qualidade, precisamos levar em consideração dois fatores que desempenham um papel importante na observação de objetos distantes: O poder de resolução (melhor nível de detalhamento) e sensibilidade (maior quantidade de radiação coletada em um menor tempo de exposição). Comparativamente a Fig 2.4.(a), podemos dizer que o obstáculo é a dificuldade imposta pela Ionosfera terrestre as ondas eletromagnéticas entrantes e a Fig 2.4.(b) é um padrão

teórico de difração de uma fonte pontual que pode ser captado no máximo poder de resolução de um radiotelescópio.

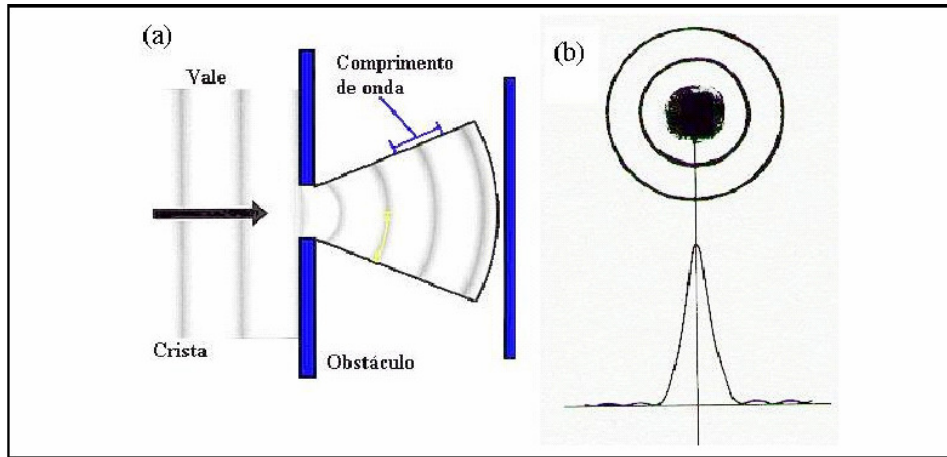


Fig. 2.4. (a) Efeito de difração ao passar por uma abertura,
(b) Padrão teórico de difração de uma fonte pontual.

Fonte: Fundamentos de Astronomia.

Em radioastronomia, para se obter um poder de resolução comparável com a resolução dos telescópios ópticos, os instrumentos devem ter dimensões exageradamente grandes, sem possibilidades de construção. Esse tipo de problema pode ser resolvido pelo uso da interferometria entre radio antenas separadas por grandes distâncias, proporcionando a mesma resolução angular que seria obtida com o uso de uma única antena, com diâmetro equivalente à separação entre os elementos do interferômetro.

2.3.2.1 Interferometria

O processo de interferometria nas observações astronômicas se dá pelo fato de cada antena receptora interagir de modo a formar franjas de interferência. Nas posições em que as cristas das duas ondas coincidem ocorre interferência construtiva e franjas brilhantes aparecem. Por outro lado, onde as cristas de uma onda encontram os vales de outra, a interferência é destrutiva, formando-se então franjas escuras. Ver Fig. 2.5.

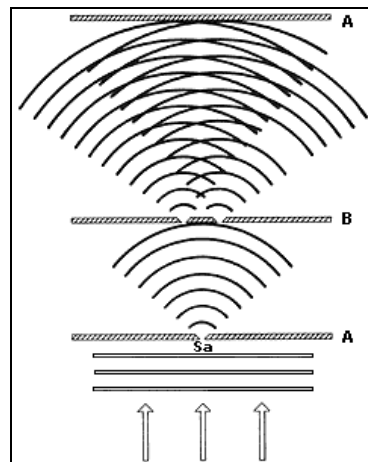


Fig. 2.5. Princípio de funcionamento de um interferômetro.

Fonte: Luz, óptica e ondas, 2007.

Pensando em um exemplo simples de duas antenas montadas sobre uma linha base e ligadas entre si por cabos de transmissão, quando a fonte passa pelo feixe da antena, a resposta de saída terá um aspecto de franja de interferência para cada uma delas, devido as ondas não chegarem em fase pelo movimento da Terra. Com isso, podemos determinar através do princípio básico de funcionamento do dispositivo de Michelson, o ângulo de posição da fonte, θ , a distância, D , entre as antenas e o comprimento, r , da defasagem da onda incidente, como mostrado na Fig. 2.6.

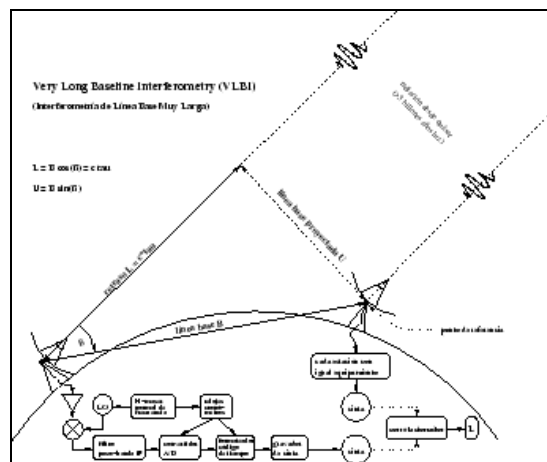


Fig. 2.6. Esquema de um Interferômetro de duas antenas.

Fonte: Sistemas de Medición, 2007.

2.3.2.2 Síntese de Abertura

A medida de visibilidade das franjas é uma função que envolve o produto de duas outras funções. Uma delas é a distribuição de brilho da fonte observada e a outra é dada pelo padrão de sensibilidade da antena, ou seja, o sinal depende tanto da estrutura da fonte quanto das posições relativas entre os elementos do interferômetro e a posição da fonte.

Assim, com um número suficiente de medidas da visibilidade, pode-se reconstruir a imagem da radio emissão do objeto, usando-se as propriedades das transformadas de Fourier. Uma maneira de se medir a visibilidade em várias posições diferentes é utilizar o método de Síntese de Abertura, ver Fig. 2.7., que aproveita o movimento de rotação da Terra para sintetizar uma grande área varrida.

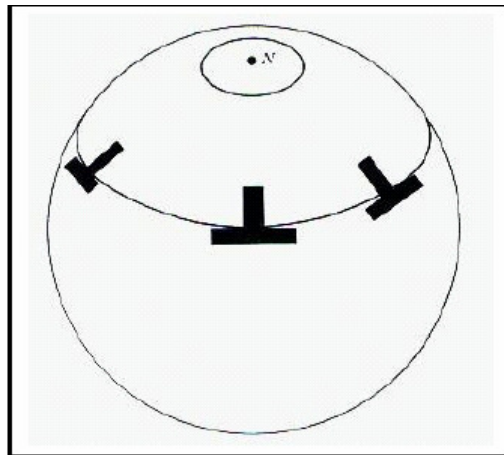


Fig. 2.7. Rotação aparente de uma área da Terra, formando uma abertura sintetizada.

Fonte: Telescópios, 2007.

2.3.2.3 Arranjo de Antenas (*Arrays*)

Um *array* pode ser conceituado como um conjunto de n irradiadores localizados em uma região do espaço, objetivando somar os campos individuais de cada irradiador, de modo a maximizar um ponto de interesse localizado em uma região do campo distante.

O problema de maximizar o campo irradiado em uma direção desejada foi por muito tempo resolvido através do uso de superfícies eletricamente refletoras, as quais tendem a atuar como espelhos ópticos focalizando o feixe. No entanto, a Teoria de Sistemas Adaptativos e com o aumento da capacidade computacional e a redução de custos dos microprocessadores, os *arrays* adquiriram grande vantagem sobre as antenas refletoras com seu diagrama de irradiação podendo ser totalmente determinado pela amplitude e fase das correntes de cada irradiador que o compõe.

CAPÍTULO III

LOFAR – *LOW FREQUENCY ARRAY*

Neste capítulo apresentaremos o Sistema LOFAR em todas as suas características, objetivos e tecnologias desenvolvidas para possibilitar sua implementação e desenvolvimento.

3.1 Projeto LOFAR

LOFAR – *Low-Frequency Array* é um Radiotelescópio digital, que está sendo planejado para operar em uma faixa do espectro de baixas frequências (10-240 MHz).

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

LOFAR é o resultado do 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 Holanda, Oeste da Austrália e 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 Objetivos de LOFAR

O grande objetivo de LOFAR, como o mais novo e poderoso radiotelescópio a ser implantado no mundo, é abrir uma nova janela de alta resolução do espectro eletromagnético na faixa de 10-240 MHz. Tendo a sensibilidade e definição espectral, suficientemente atingidas com LOFAR, serão possíveis diversos estudos fundamentais do Universo, bem como aprimorar as investigações do ambiente terrestre:

- ◆ No Universo muito distante ($7 < z < 10$), o LOFAR pode procurar pela assinatura produzida pela reionização do hidrogênio neutro. Esta mudança crucial da fase é predita para ocorrer na época da formação das primeiras Estrelas e Galáxias.
 - ◆ No Universo “formativo” distante ($1.5 < z < 7$), o LOFAR detectará as mais distantes galáxias maciças e estudará os processos pelo qual as estruturas do Universo (Galáxias, conjuntos e núcleos ativos) são formadas e sondam o gás intergaláctico.
 - ◆ No Universo próximo, o LOFAR traçará a distribuição tridimensional de raios cósmicos em nosso próprio campo magnético global e em Galáxias próximas.
 - ◆ No Universo de energias elevadas, o LOFAR detectará os raios cósmicos de energia ultra elevada e como ela perfura a atmosfera da Terra.
 - ◆ Dentro de nossa própria Galáxia o LOFAR detectará flashes da radiação de baixa frequência dos *pulsars* e eventos transientes de curta vida produzidos por fusão e interações estelares e procurará Júpiter, assim como, por planetas extrasolares.
 - ◆ Dentro de nosso Sistema Solar o LOFAR detectará ejeções maciças coronais do sol e fornecer mapas contínuos em grande escala do vento solar. Esta informação crucial sobre o tempo solar e seu efeito na terra, facilitarão previsões de custos e perigo de tempestades geomagnéticas.
 - ◆ Dentro do ambiente imediato da Terra, LOFAR traçará continuamente irregularidades na Ionosfera, detectando os efeitos de ionização, de explosões distantes de raios gama e prever os flashes de raios cósmicos que conduzem grande energia, cuja origem é indefinida.
 - ◆ Ainda dentro do ambiente terrestre, o LOFAR maximizará a produção e o lucro monitorando fatores ambientais para uma nova agricultura de precisão. Para isso são requeridas as previsões de tempo exatas, modelos e sensores para monitorar o crescimento e as pragas; e integração de ferramentas biológicas da tomada de decisão com informação dinâmica de mercado.
-

Outro importante fator local de LOFAR são as aplicações na Geofísica, em especial nas geociências, como arquivo de dados de vibrações sísmicas naturais, infra-sons, monitoramento da água do solo, monitoramento da pressão e temperatura e obtenção de imagens de fenômenos sísmicos por métodos passivos.

3.3 Radiação de Rádio de Baixa Freqüência

Para conseguir alcançar os objetivos descritos acima, LOFAR atuará em alguns dos mecanismos especiais que fazem com que tenhamos uma radiação incidente nas freqüências extremamente baixas. São eles:

- ◆ *Emissão do Synchrotron*: A radiação do *Synchrotron* é produzida pelos elétrons que movem-se perto da velocidade de luz em um campo magnético. Este é o mecanismo dominante da radiação encontrado na astronomia de rádio clássica. Isso porque, os objetos que emitem a radiação de rádio luminosa (por exemplo, Galáxias ativas distantes) são diferentes daquelas que emitem radiação térmica luminosa (por exemplo, estrelas e nebulosas brilhantes), o universo de rádio parece muito diferente do universo visível. As fontes do *Synchrotron* que serão observadas por LOFAR incluem os lóbulos e os jatos emissores pelos núcleos da maioria das Galáxias distantes, os raios cósmicos e os restos de super-novas produzidas por Estrelas em Galáxias normais.
 - ◆ *Emissão Coerente do Plasma e do Cyclotron*: É conhecida pela sua importância no Sol e em Júpiter, os dois objetos mais brilhantes no céu de rádio de baixa freqüência.
 - ◆ *Os Processos de Absorção*: Muitas fontes do *Synchrotron* têm os espectros que declinam agudamente no ponto baixo da radiofreqüência. Este declínio em baixas freqüências é geralmente atribuído à absorção da radiação *Synchrotron* emitida dentro do próprio objeto ou no trajeto entre o emissor e a Terra. Um estudo desta absorção pode fornecer o diagnóstico sobre as densidades, a geometria do gás, o plasma dentro das radiofontes, o ambiente circunvizinho e o trajeto entre a fonte emissora e a Terra.
-

O LOFAR examinará e monitorará o céu galáctico e extragaláctico em diversas frequências. Com a potencialidade original em observar simultaneamente um número de feixes sintetizados, será possível observar grandes áreas do céu com profundidades sem precedentes. Desde que a posição dos parâmetros espaciais que o LOFAR observará for território desconhecido, uma estimativa do número das fontes que LOFAR observará é baseada necessariamente em exames das pequenas regiões do céu que foram estudadas em algumas frequências mais elevadas.

3.4 Características de LOFAR

LOFAR terá aproximadamente 25.000 sensores, ou seja, pequenas antenas omnidirecionais de baixo custo, geofones, infra-sons e outros, distribuídos em forma de cachos em 100 estações formando uma espiral de 350 Km de diâmetro. Ver Fig. 3.1.

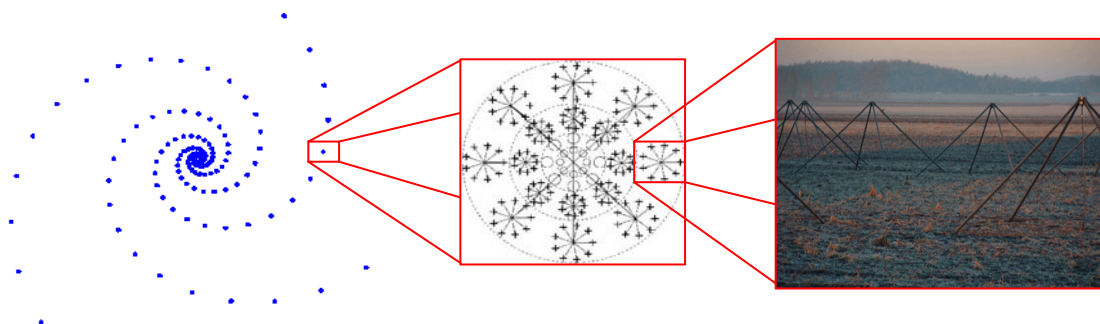


Fig. 3.1. Disposição das antenas em estações formando uma espiral.

Fonte: LOFAR, 2006.

Utilizará um conjunto de antenas de duas diferentes frequências em cada estação. Uma do tipo dipolo ativo que opera na faixa de 10 a 90 MHz e outra, em uma disposição de 4x4 antenas na frequência de 110 a 240 MHz.

Cada estação estará disposta em uma circunferência de 100 metros de diâmetro, como mostra a Fig. 3.2, e os dados coletados por ela serão digitalizados através da Transformação de Fourier e de filtros digitais, reduzindo o sinal a ser transportado para uma frequência de 2 a 4 MHz. Isso nos mostra que o funcionamento deste

radiotelescópio está baseado no processamento de dados interferométricos em cada estação, e não separadamente para cada antena.

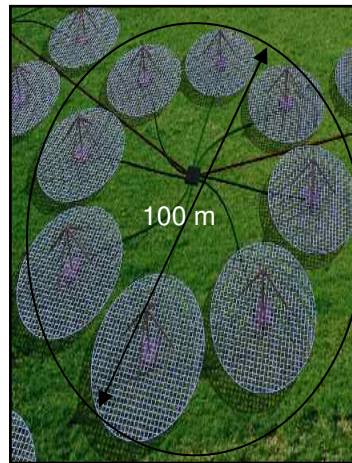


Fig. 3.2. Diâmetro da disposição das antenas de LOFAR.

Fonte: LOFAR, 2006.

Esses dados serão transportados por meio de fibra ótica, pelo fato deste possibilitar a transferência de terabits de dados por segundo e ocasionar uma impedância resultante final menor que os conhecidos cabos coaxiais, para um computador central que processará os dados entrantes.

Este computador central terá um importante papel na atuação de LOFAR, pois será ele que processará os sinais de cada estação por meio de estudos de interferometria entre as diversas estações que formam o radiotelescópio e a compensação dos sinais dispersos devido a propagação da Ionosfera existente na atmosfera terrestre, ver Fig. 3.3.

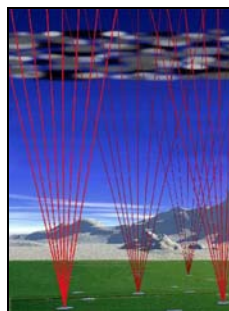


Fig. 3.3. Propagação dos sinais entrantes na Ionosfera terrestre.

Fonte: LOFAR 2006.

Ou seja, LOFAR será um “telescópio *software*” que simulará uma antena de prato de 350 Km de diâmetro em um supercomputador central, como mostra a Fig. 3.4.

Sendo assim, LOFAR possuirá uma grande agilidade nas faixas de frequência ao qual ele foi projetado para operar, tornando possíveis observações com grande sensibilidade em mais de uma faixa de frequência.

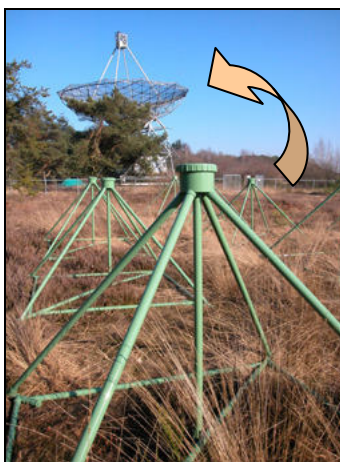


Fig. 3.4. Milhares de antenas dipolo simularão uma antena de prato com 350 Km de diâmetro.

Fonte: Dutch Space, 2007.

Atualmente, a primeira estação central de LOFAR (CS1) foi construída nos campos de Exloo, no nordeste dos Países Baixos durante o verão de 2006. 96 antenas de banda baixa foram distribuídas em 4 estações; 48 antenas foram colocadas em um campo central e 16 foram distribuídos em 3 estações em torno da estação central – formando uma linha de base de 450 metros. A Fig. 3.5. abaixo dá uma impressão de uma vista sobre a estação central. A instalação foi escolhida para permitir não somente testes do desempenho de uma única estação na largura total de faixa, mas também da simulação de LOFAR com 24 micro-estações com largura de faixa reduzida.



Fig. 3.5. Disposição das antenas na Estação Central de LOFAR.

Fonte: LOFAR, 2007.

A estação CS1 do protótipo de LOFAR começou a operar em outubro de 2006. Desde então, os dados fluíram ao BlueGene e estão sendo processados, armazenados e analisados, ver Fig. 3.6. Uma estação em Effelsberg começará produzir dados na primavera de 2007 e logo depois disso espera-se a primeira correlação de dados com CS1. Este ano, o projeto LOFAR espera terminar mais duas estações na Alemanha - perto de Potsdam e de Garching (Munich). Há umas plantas também bem-avanzadas para construir estações no Reino Unido, França e em outra parte da Alemanha, quando as demais possibilidades forem exploradas teremos estações também na Suécia, Itália e Polônia. Baseado na experiência que a estação CS1 adquiriu, o projeto LOFAR está preparando-se para a revisão crítica de projeto do sistema.



Fig. 3.6. Computador Central Bluegene, utilizado na Estação Central de LOFAR.

Fonte: LOFAR, 2007.

3.5 Antenas Desenvolvidas para o Sistema LOFAR

Vários grupos de pesquisa desenvolveram diversos protótipos de antenas para configurar este novo radiotelescópio, dentre eles podemos citar a Fundação Holandesa para a Investigação em Astronomia – ASTRON, *U.S. Naval Research Laboratory's* – NRL, MIT *Haystack Observatory*, entre outros.

Estes grupos desenvolveram modelos visando apresentarem bom desempenho eletrônico, baixo custo e facilidade de fabricação, uma vez que serão necessários milhares de antenas para a construção de um radiotelescópio de baixa frequência.

Como LOFAR opera em duas faixas de frequência, 10 a 90 MHz e 110 a 240 MHz, foram desenvolvidas duas classes de antenas denominadas, Antenas para Baixa Frequência (*Low Frequency Antennas* – LFA) e Antenas para Alta Frequência (*High Frequency Antennas* – HFA).

3.5.1 Antenas de Baixas Frequências - *Low Frequency Antennas*

Os protótipos desenvolvidos para esta faixa de frequência, basicamente são compostos por antenas de dupla polarização e um filtro ou balun ativo que filtra os ruídos gerados pelo sistema e amplifica os sinais entrantes. Para LOFAR foram desenvolvidos vários protótipos, como o dipolo V-Invertido, NTLA, NRL entre outras.

3.5.1.1 Dipolo V-Invertido

Esta antena é o modelo que está sendo utilizado por LOFAR e foi desenvolvida pela Fundação Holandesa para a Investigação em Astronomia – ASTRON. Elas recebem ondas eletromagnéticas na faixa de 10-90 MHz em dupla polarização, enviando informações para uma unidade receptora e amplificadora de 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 composta por tubos padrões de PVC, onde internamente se encontram fios finos de cobre de aproximadamente $2,5 \text{ mm}^2$. Na base inferior coloca-se uma malha metálica para aumentar o rendimento e diminuir a reflexão das ondas que incidem no solo. 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 Fig. 3.7.



Fig. 3.7. Antena Dipolo V-Invertido.

Fonte: ASTRON, 2007.

Similar a antena Dipolo V-Invertido foram feitas outras concepções. Um modelo estudado consiste em dois braços confeccionados de tubos de cobre com 15,85 mm de

diâmetro externo e uma espessura da parede de 1,575 mm. Cada haste do dipolo tem um comprimento de 1,9 m com ressonância final na frequência de ~ 38 MHz. Os braços da antena formam um ângulo de 45° graus com o zênite, melhorando as características padrão, enquanto diminuem a impedância final para aproximadamente 50 Ω em ressonância. O desenho esquemático deste modelo pode ser visto na Fig. 3.8.

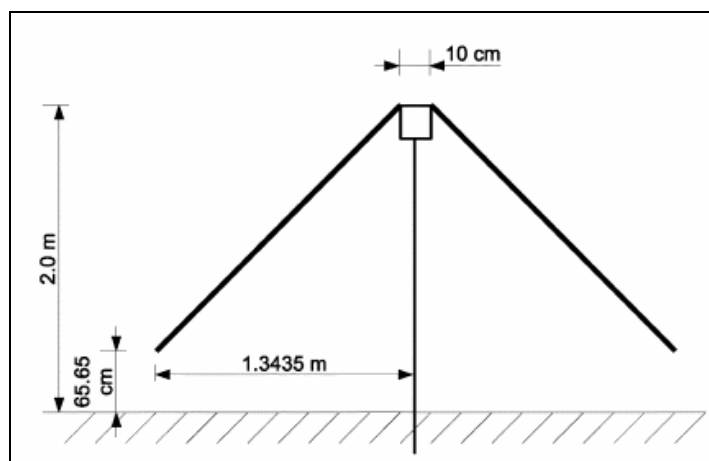


Fig. 3.8. Antena Dipolo.

Fonte: Ellingson, 2005.

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 Ω . Os resultados apresentados mostraram 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 assim, os efeitos de condutividade do solo.

3.5.1.2 Dipolo NLTA

Outra alternativa a ser utilizada pelos cientistas é o “*fat dipole*” 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. Também é conhecido que muito dos benefícios da espessura podem ser alcançados somente pelo aumento da largura, resultando em antenas achatadas e 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 Fig. 3.9., pode-se observar a forma desta antena desenvolvida e atualmente em uso no *U. S. Naval Research Laboratory's Low-frequency Test Array (NLTA)*. Como os dipolos V-Invertido, este dipolo é construído de tubos de cobre de 15,85 mm de diâmetro externo e 1,575 mm de espessura de parede. Com esta configuração otimizamos a antena para trabalhar na faixa de frequências de 10 – 100 MHz, sendo o casamento de impedância em 200Ω o mais indicado para manter a linearidade de funcionamento ao longo da faixa de interesse. Esta versão demonstrada na figura abaixo inclui uma segunda antena em ângulos ajustados para obter duas polarizações lineares.

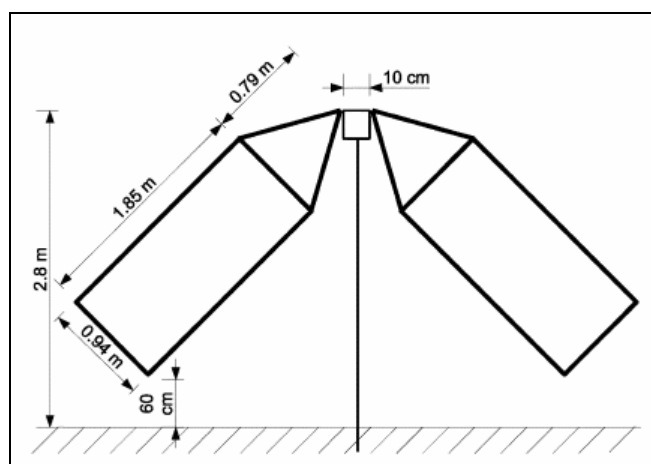


Fig. 3.9. Antena “Fat Dipole”.

Fonte: Ellingson, 2005.

3.5.2 Antenas de Altas Frequências - High Frequency Antennas

Com desenho original projetadas para cobrir a faixa de frequência de 110 a 240 MHz, estas antenas foram desenvolvidas pelo MIT *Haystack Observatory*.

Esta disposição 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 Fig. 3.10. Sua sensibilidade está associada com a área do coletor e com o sistema de temperatura, sendo também afetada em ângulos maiores que 60° a partir do zênite. Estas antenas podem ser guiadas eletronicamente de 0 a 60° .

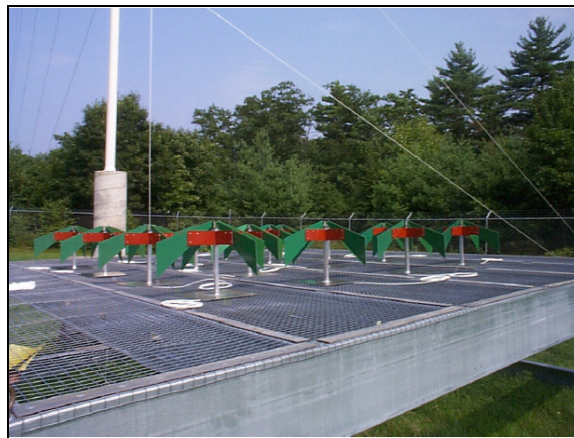


Fig. 3.10. *High Frequency Antennas* em sua estrutura de montagem.

Fonte: *Haystack Observatory*, 2007.

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, onde teremos as antenas dispostas alinhadamente em uma malha de 4x4, ver Fig. 3.11.

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

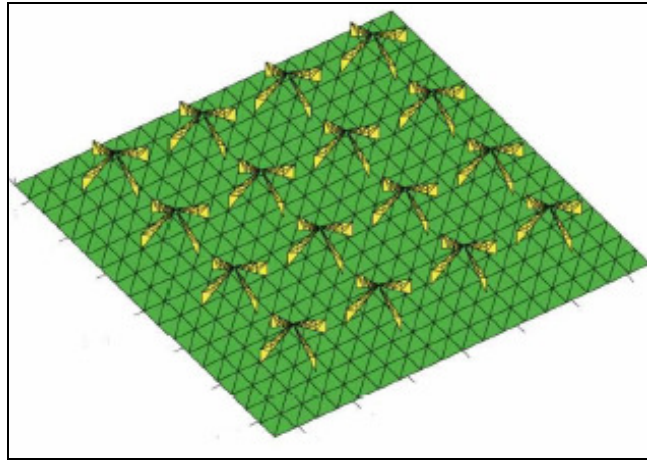


Fig. 3.11. Disposição das antenas de alta frequência.

Fonte: *Haystack Observatory*, 2007.

CAPITULO IV

METODOLOGIA PARA A CONFECÇÃO DE ANTENAS DIPOLO DO PROJETO LOFAR

Neste capítulo mostramos como foram realizadas as construções das antenas similares as do Projeto LOFAR, sua instalação e os resultados preliminares, possuindo adaptações de diversas citações e atividades que foram realizadas e apresentadas no Relatório Final PIBIC – 2006 de Jean Paulo Guarnieri.

4.1 Antena Dipolo NLTA

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

4.1.1 Processo de Confecção da Antena

Com um estudo prévio das características das antenas, optamos por um processo de construção simples devido a disponibilidade do material a ser utilizado. Para isso, foram compradas barras de cobre de 5/8” ou 15,85 mm de diâmetro externo e 3 metros de comprimento.

O embasamento técnico para a construção dos dois braços do dipolo foram adquiridos através das mesmas dimensões usadas pelo *U. S. Naval Research Laboratory's Low-frequency Test Array* – NRL, que pode ser visto na Fig. 4.1.

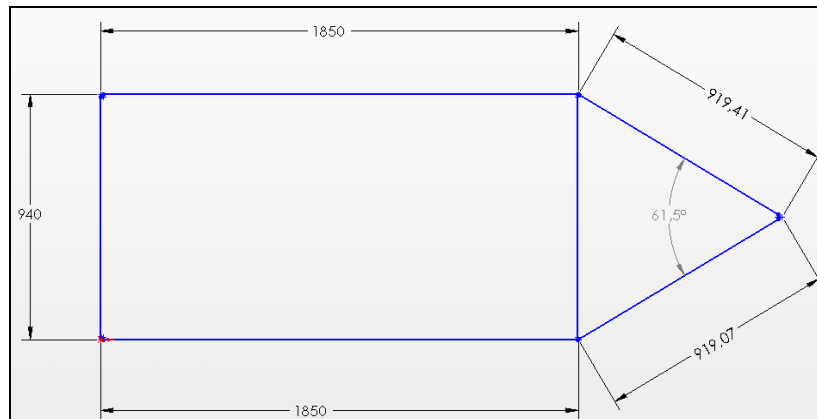


Fig. 4.1. Braço da antena dipolo com suas dimensões principais.

Fonte: Desenhado por Jean Guarnieri, 2006.

Cada dipolo é composto por dois braços iguais ao desenho da Fig. 4.1., sendo estes fixados por sua extremidade mais aguda a um poste de madeira, como mostrado na Fig. 4.2. O ângulo de fixação das antenas será de 45° e suas extremidades serão colocadas separadas por uma distância de 100 mm. Em cada braço do dipolo foram fixados os terminais de um cabo coaxial para enviar o sinal a um amplificador, que está sendo desenvolvido pelo Laboratório de Radiofrequência e Comunicação – LRC/CRS/CIE/INPE – MCT, para posteriormente ser analisado em um equipamento chamado *Spectrum Analyser*.

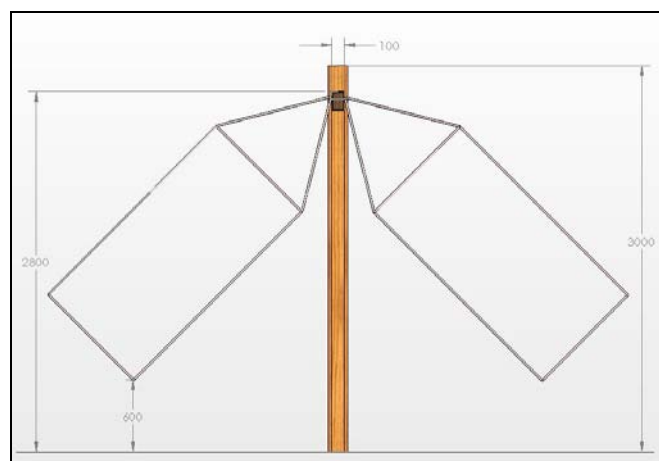


Fig. 4.2. Montagem da antena dipolo de LOFAR.

Fonte: Desenhado por Jean Guarnieri, 2006.

Como as barra de cobre são vendidas comercialmente com um comprimento de 3 metros, foram estudados diversas propostas para a confecção dos braços das antenas. Sendo a melhor solução, elas foram divididas em várias partes, visando a melhor distribuição das tensões resultantes do processo de solda a que os braços deveriam ser submetidos, otimizando da melhor forma o material e posicionando os pontos de solda de forma simétrica, para que estes pontos não sejam localizados próximos um dos outros.

No processo de corte 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 Fig. 4.3.

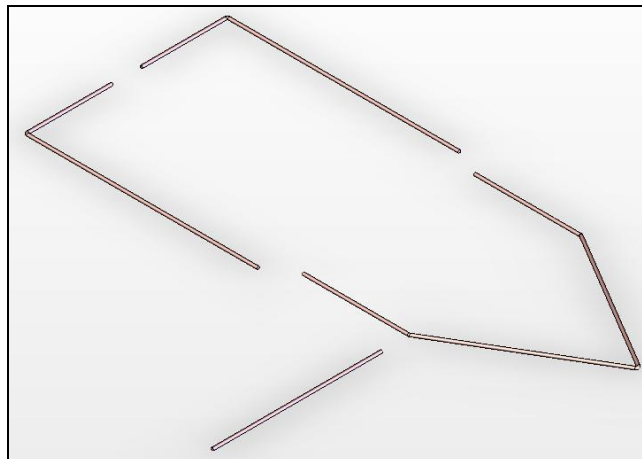


Fig. 4.3. Partes componentes da antena.

Fonte: Desenhado por Jean Guarnieri, 2006.

4.1.2 Estudo Metalográfico

Ao realizar o corte das barras de cobre, vimos que elas não eram compostas totalmente deste material. Em sua superfície havia uma pequena cobertura de cobre e em seu núcleo algo que se assemelhava com algum tipo de aço. Para desfazer essa

dúvida passamos para um estudo metalográfico que será descrito a seguir. O procedimento foi realizado no Laboratório de Metalurgia Física – CT/UFSM.

4.1.2.1 Procedimentos

Primeiramente retiramos uma amostra do material em uma serra circular dotada de um sistema de refrigeração, o qual possibilita manter a estrutura cristalina do material intacta.

O passo seguinte consta no embutimento da amostra em uma estrutura de baquelite para facilitar o manuseio da mesma, devido as suas reduzidas dimensões. Este processo consta de uma prensa hidráulica, ver Fig. 4.4., que possui um cilindro de aço no qual a amostra é colocada juntamente com o polímero. Após isto, o material é prensado até atingir uma pressão especificada no manômetro da prensa, e então o cilindro é envolvido por uma resistência elétrica que aquece e funde as partículas do polímero formando uma estrutura homogênea.

Mantendo a pressão constante em um patamar atribuído a melhor compactação da amostra, ela é resfriada em um processo de troca de calor natural com o auxílio de placas aletadas dissipadoras de calor. Feito isso, temos uma amostra resfriada e envolvida com baquelite homogêneo apresentando um aspecto coeso mostrado na Fig. 4.5.



Fig. 4.4. Prensa hidráulica utilizada no processo de revestimento da amostra.



Fig. 4.5. 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. Começamos 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 Fig. 4.6.

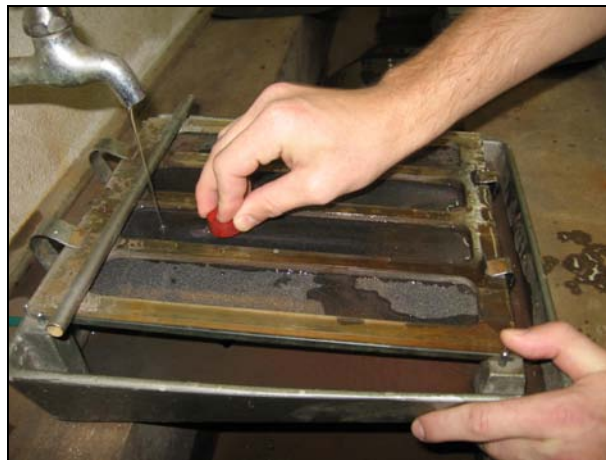


Fig. 4.6. Lixamento da amostra.

Na Fig. 4.7. 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 recobrando 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.

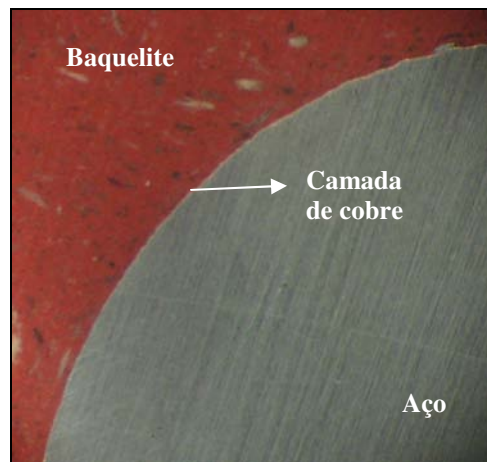


Fig. 4.7. Amostra de aço revestida com uma camada de cobre.

Para verificar a composição da estrutura cristalina do aço deve-se obter uma superfície polida. Para isso foi utilizada uma politriz marca STRUERS – DP9, 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 3μ (0,003 mm) e posteriormente pasta de diamante de 1μ (0,001 mm).

Para observação da peça foi utilizado um microscópio óptico como mostrado na Fig 4.8.



Fig. 4.8. Microscópio óptico modelo NEOPHOT 2.

4.1.2.2 Resultados

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 Fig.4.9. 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.

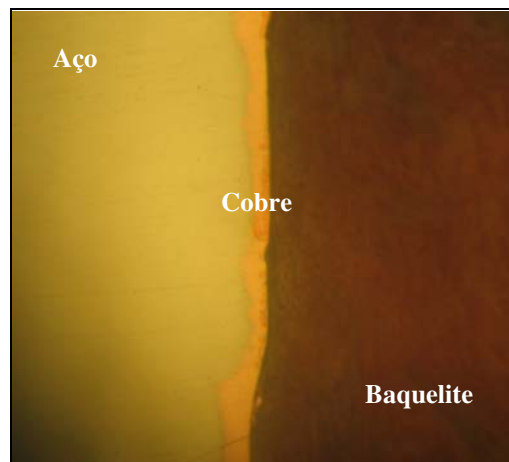


Fig. 4.9. Intersecção do aço com a camada de cobre.

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 Fig. 4.10. e 4.11., 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 (α) e algumas pequenas partes de perlita, que são lamelas de ferrita (α) e cementita (Fe_3C). Nas imagens do microscópio, os grãos maiores em cores claras representam a ferrita (α) 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.

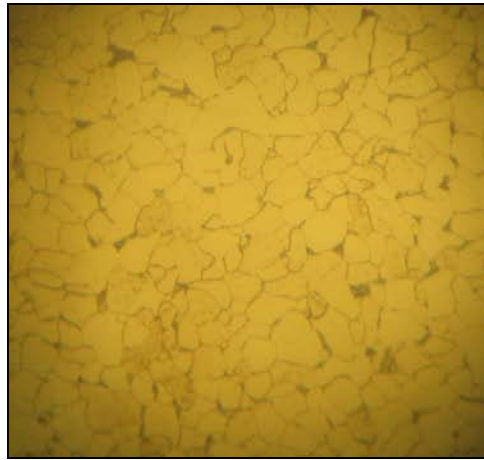


Fig. 4.10. Estrutura cristalina do aço, com ampliação de 250 a 400 vezes.

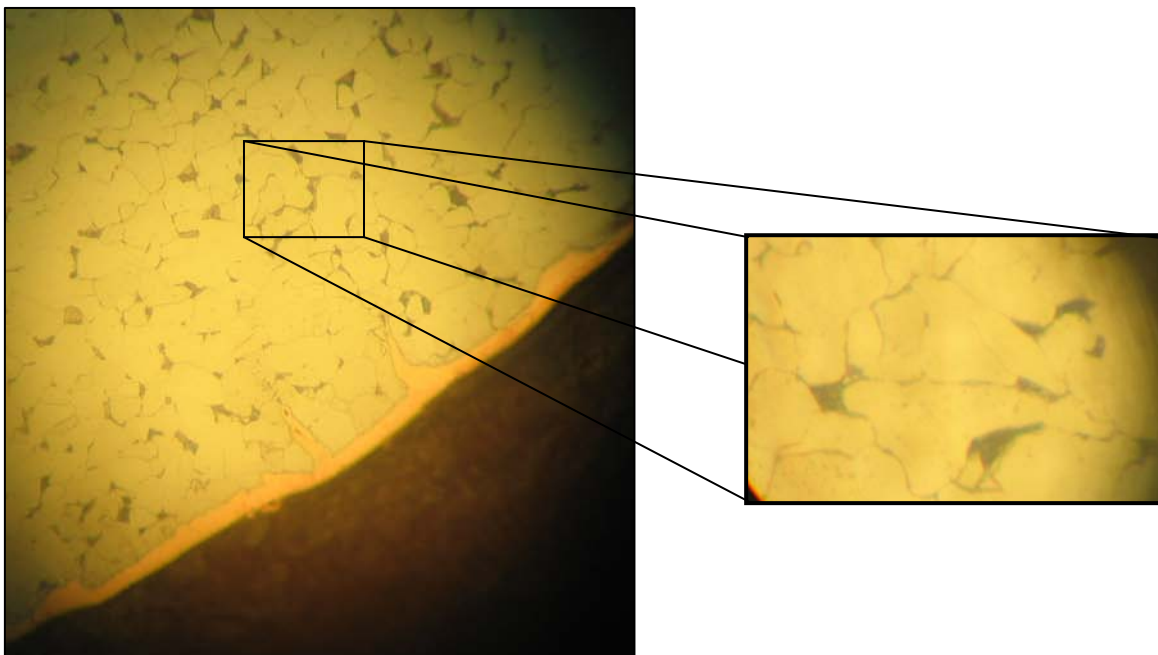


Fig. 4.11. Detalhes dos grãos de ferrita (α) e perlita.

O processo de formação desses grãos pode ser mais bem entendido observando um diagrama ferro-carbono, como mostrado na Fig. 4.12.

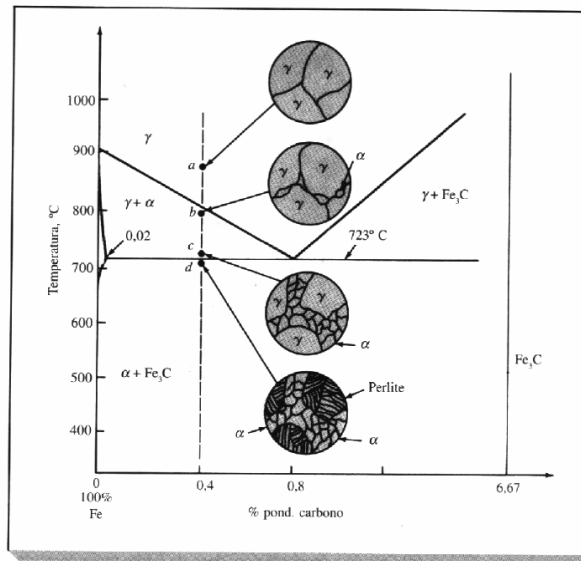


Fig. 4.12. Diagrama Ferro-Carbono mostrando a formação de ferrita (α) e perlita.

Fonte: Structure and Properties of Engineering Alloys, 1981.

No diagrama da Fig. 4.12., 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 (γ), começa a se transformar em ferrita (α) à medida que a temperatura vai baixando. Quando a temperatura fica inferior a 720° C, a austenita (γ) que não se transformou em ferrita (α), se transforma em perlita, que uma estrutura composta de lamelas de ferrita (α) e cementita (Fe_3C), 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.

4.1.3 Processo de Soldagem

Conhecida as características do material adquirido para a confecção das antenas dipolo de LOFAR, passamos ao processo de solda no Laboratório de Soldagem e Materiais – LASOMET/CT/UFSM.

4.1.3.1 Procedimentos

Após um estudo de distribuição de tensões resultantes da construção dos braços da antena dipolo de LOFAR, foi resolvido dividir a barra em cinco partes distintas para posterior processo de solda. Esses pontos podem ser vistos na Fig. 4.13.

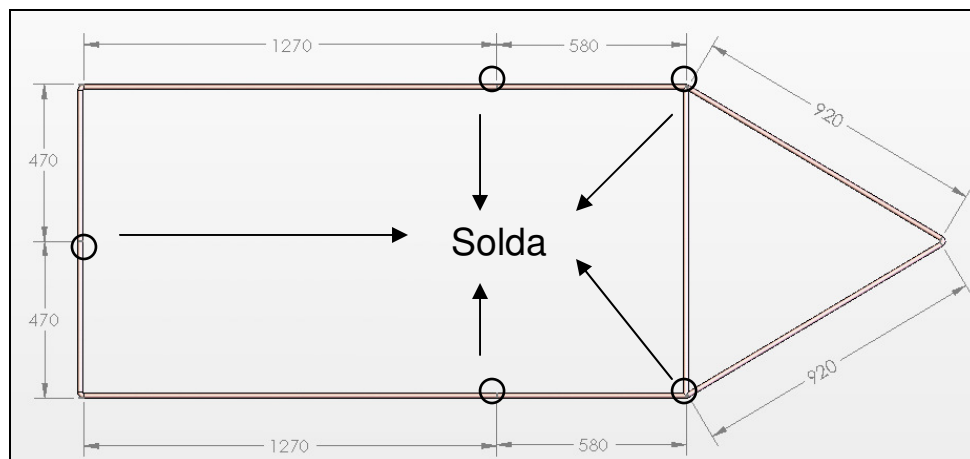


Fig. 4.13. Pontos de união por solda.

Fonte: Desenhado por Jean Guarnieri, 2006.

Visando melhor utilização das barras de cobre vendidas comercialmente com 3 metros de comprimento, cortamos as barras com um esmeril e dobramos manualmente cada pedaço, com o devido ângulo especificado em projeto.

Cada parte foi soldada a outra por um processo de solda MIG/MAG, o qual possui as características necessárias ao bom desempenho mecânico e elétrico a que as antenas foram previamente projetadas.

4.1.3.2 Solda MIG/MAG

Solda é um termo genérico aplicado à união de peças metálicas, por diversos processos, tendo como princípio transformar as superfícies de união em estado pastoso ou líquido, utilizando calor ou pressão.

O termo MIG (*Metal Inert Gas*) refere-se a processos de solda realizados com gases inertes e aplicáveis a materiais não ferrosos, tais como alumínio e suas ligas, cobre e níquel. Já o termo MAG (*Metal Active Gas*) refere-se a um processo de solda com proteção de gases ativos e é aplicável a materiais ferrosos, como aço carbono e aços de baixa liga.

Basicamente o processo de solda consiste em um arco elétrico entre a peça e um material de adição em forma de arame. Esse material de adição é composto especificamente para cada composição cristalina da peça a ser soldada. O arco elétrico de corrente contínua gerado entre a peça e o material de adição funde continuamente esse arame de adição à medida que este é alimentado à poça de fusão. O metal de solda é protegido da atmosfera pelo fluxo de um gás inerte ou por uma mistura de gases. A figura abaixo mostra a região de solda com sua respectiva nomenclatura.

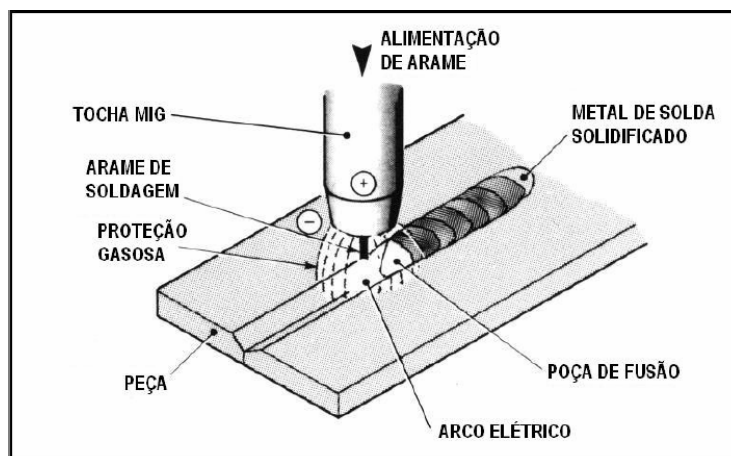


Fig. 4.14. Processo básico de solda.

Fonte: Soldagem MIG/MAG, 2004.

A solda pode ser realizada manual ou automaticamente em três processos de transferência de metal distintos: *short arc*, *dip transfer*, *microwire* a transferência ocorre

quando um curto-circuito elétrico é estabelecido; *spray arc* pequenas gotas de metal fundido são desprendidas da ponta do arame e projetadas por forças eletromagnéticas em direção à poça de fusão e *globular* ocorre quando as gotas de metal fundido são muito grandes e movem-se em direção à poça de fusão sob a influência da gravidade.

4.1.3.3 Resultados

A solda MIG foi realizada nos dois braços da antena pelo processo manual com uma máquina similar a exemplificada pela Fig. 4.15.

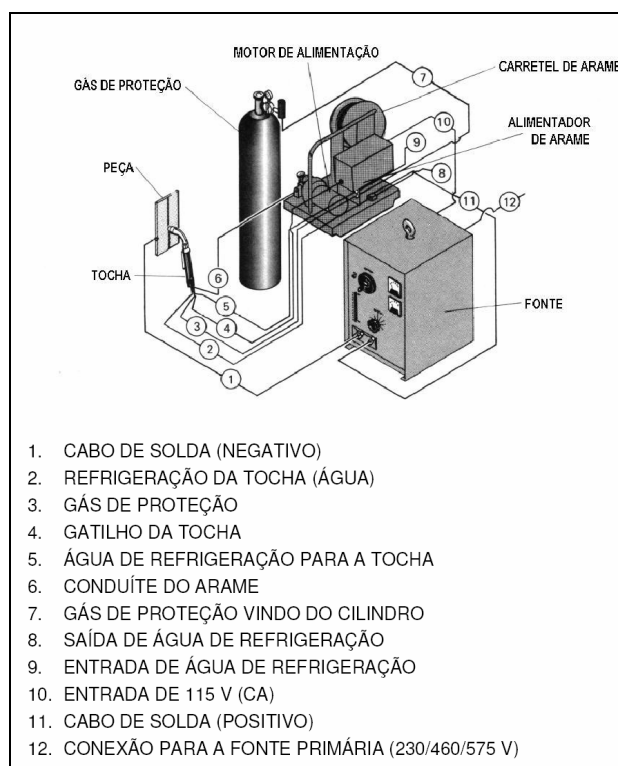


Fig. 4.15. Equipamento para a soldagem manual.

Fonte: Soldagem MIG/MAG, 2004.

O material de adição foi depositado pelo processo de curto-circuito. As características mecânicas inerentes a esse processo de solda ficaram dentro das expectativas construtivas, fazendo com que a resistência mecânica dos braços tenham um importante papel na estruturação e posicionamento da antena protótipo de LOFAR.

4.1.4 Montagem da Antena

A antena foi montada com seus braços fazendo um ângulo de 45° com o zênite, devido as melhores características de impedância de entrada. Para a sustentação dos braços da antena foi utilizado um poste de madeira e cordas, que deram fixação necessária para as especificações de projeto e para suportar as adversidades climáticas.

Para a condução do sinal, foi utilizado um cabo coaxial preso as antenas por abraçadeiras e isolados eletricamente por uma pasta de silicone.

Com fins de estudos eletro/eletrônicos preliminares, a antena foi instalada na laje superior do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais CRS/CIE/INPE – MCT. As antenas desenvolvidas no Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas – CRS/CIE/INPE – MCT, podem ser vistas na Fig. 4.16. Na Fig. 4.17, está mostrado um desenho que ilustra como as antenas serão montadas e na Fig. 4.18. temos a montagem final da antena.



Fig. 4.16. Antenas desenvolvidas no Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas – LAMEC/CRS/CIE/INPE – MCT.

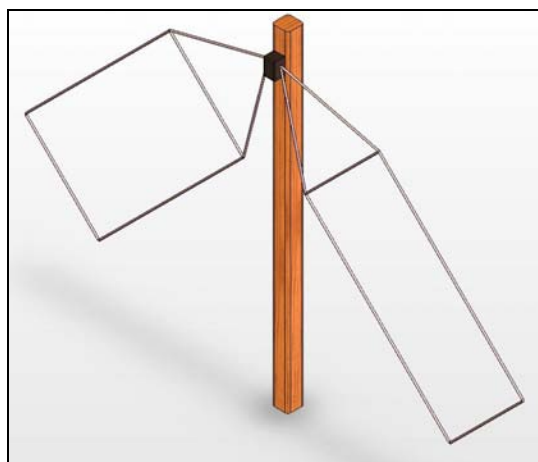


Fig. 4.17. Fixação da antena dipolo de LOFAR.

Fonte: Desenhado por Jean Guarnieri, 2006.



Fig. 4.18. Resultado final da concepção da antena dipolo de LOFAR.

Após todos os testes, a antena será instalada no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS.

4.1.5 Resultados Preliminares

Para verificar as condições finais de confecção da antena e suas características elétricas, adaptamos ao terminal do cabo coaxial um analisador de espectro. Com

resultado de impedância de entrada fora da especificação de projeto, a antena se mostrou levemente capacitiva.

Como método para correção e calibração dos sinais entrantes no analisador de espectro, o Laboratório de Radiofrequência e Comunicação – LRC/CRS/CIE/INPE – MCT está desenvolvendo um filtro denominado “antena ativa” para a correção da impedância de entrada, possibilitando assim o melhor funcionamento do analisador de espectro.

Demais resultados serão posteriormente estudados e, então poderemos ter uma melhor noção da estruturação mecânica e elétrica de novas antenas a serem desenvolvidas e aprimoradas no Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas – LAMEC/CRS/CIE/INPE – MCT.

4.2 Antena Dipolo NRL

Com finalidade de estudos científicos foi desenvolvido o segundo protótipo de antena dipolo de LOFAR no Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas – LAMEC/CRS/CIE/INPE – MCT. O trabalho foi realizado juntamente com o Laboratório de Radiofrequência e Comunicação – LRC/CRS/CIE/INPE – MCT. As etapas da construção serão descritas a seguir.

4.2.1 Processo de Confeção da Antena

Como uma segunda opção em modelagem de antenas dipolo confeccionadas para o Sistema LOFAR, as antenas NRL são construtivamente mais simples que as NLTA. Pela facilidade imposta dos modos construtivos da antena, que teve seu embasamento técnico adquirido através das mesmas dimensões usadas pelo *U. S. Naval Research Laboratory's Low-frequency Test Array* – NRL compramos o material necessário para a construção do mesmo. Suas medidas podem ser vistas na Fig. 4.19.

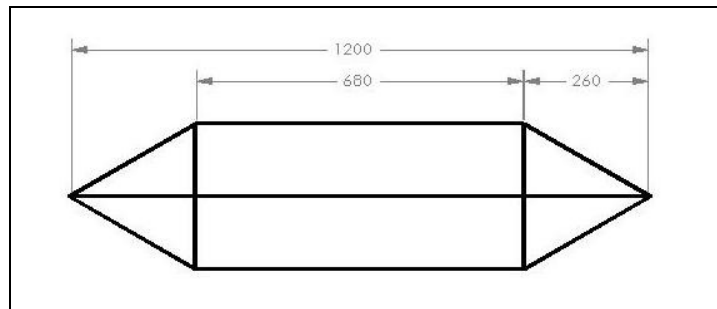


Fig. 4.19. Braço da antena NRL com suas dimensões.

Fonte: Desenhado por Jean Daroit, 2007.

Foram usados fios de cobre de 1,5 e 4 mm de diâmetro e as dobras foram feitas manualmente, seguindo um modelo com os ângulos equivalentes aos mostrados na Fig. 4.20.

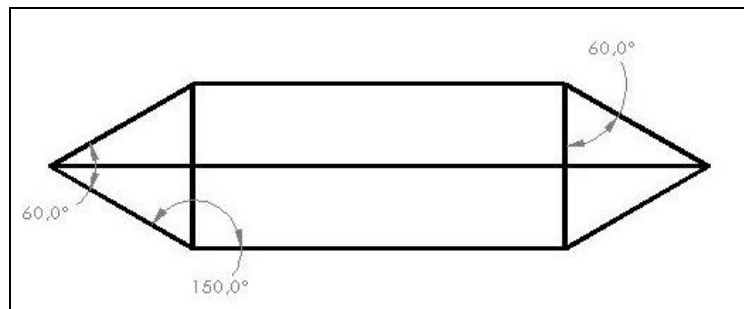


Fig. 4.20. Ângulos internos dos braços da antena dipolo NRL de LOFAR.

Fonte: Desenhado por Jean Daroit, 2007.

4.2.2 Instalação da Antena

Com um objetivo de atingir uma impedância de entrada de 50Ω , a antena será instalada em um poste central com uma angulação de 45° com o zênite. Por ter uma massa pequena, poderá ser sustentada por um tubo de PVC perpendicular ao poste, juntamente com uma fixação em sua parte superior, através de grampos isolados eletricamente. Na figura abaixo podemos ver como será instalada a antena dipolo similar a de LOFAR no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS.

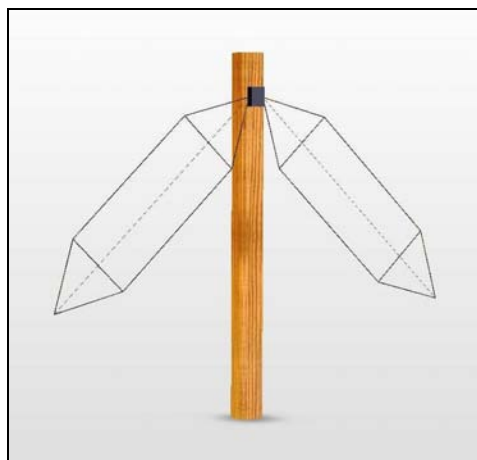


Fig. 4.21. Montagem final da antena dipolo NRL.

Fonte: Desenhado por Jean Daroit, 2007.

Com fins de estudos eletro/eletrônicos preliminares, a antena foi instalada na laje superior do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais CRS/CIE/INPE – MCT. A antena desenvolvida no Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas – CRS/CIE/INPE – MCT, pode ser vista na Fig. 4.22



Fig. 4.22. Resultado final da antena dipolo NRL de LOFAR.

CAPITULO V

CONCLUSÕES

Com este relatório podemos demonstrar as atividades realizadas no Projeto LOFAR, no período de Agosto de 2006 a Junho de 2007. Foram realizadas revisões bibliográficas sobre propagação das ondas eletromagnéticas, princípios de funcionamento de antenas lineares, dipolo e quadrupolo, conceitos e histórico da Radioastronomia, funcionamento de Radiotelescópios. Todos estes tópicos para o conhecimento do campo de atuação do Sistema LOFAR.

Para a construção das antenas, realizamos um estudo autodidata em relação ao *software* de projetos de engenharia Solid Works, que possibilitou a prototipagem computacional dos braços da antena dipolo de LOFAR. Foi realizada uma revisão bibliográfica sobre modos de soldagem, o que possibilitou a realização dos pontos de solda para a união dos componentes dos braços da antena.

Confeccionamos uma segunda concepção de antenas dipolo similar a de LOFAR, para verificar qual terá as melhores características de impedância de entrada e ruído, condizentes com o analisador de espectro.

Participando de trabalhos de pesquisa em grupo e individual, o bolsista desenvolveu habilidades interpessoais, como auto-estima, interatividade, espontaneidade, autoconfiança, autodidatismo e liderança. Isso possibilitou um engrandecimento pessoal e profissional nas grandes áreas de abrangência comportamental e na ciência das engenharias.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a meu Orientador, Dr. Nelson Jorge Schuch pelo apoio prestado ao desenvolvimento pessoal e científico a que experimentei nesse ano. Não poderia deixar de mencionar, e agradecer a meus colegas e acadêmicos do curso de Engenharia: Jean Paulo Guarnieri, Silvano Lucas Prochnow, Viviane Cassol Marques e Cleomar Pereira da Silva que muito contribuíram no desenvolvimento das atividades.

Gostaria de agradecer aos professores do Curso de Engenharia Mecânica, Prof. Dr. Aleir de Paris e Prof. Dr. Inácio Fontoura Limberger que me auxiliaram no projeto, nas partes de soldagem e de análise de materiais. Agradecer a Co-Orientação do Dr. Natanael Rodrigues Gomes, Professor Pesquisador do Departamento de Eletrônica e Computação do Centro de Tecnologia da UFSM – DELC e Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM.

Por fim, agradecimentos ao INPE e MCT/CNPq pela concessão da bolsa e ao Dr. José Carlos Becceneri, Coordenador do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, que oportunizou o trabalho de Iniciação Científica, proporcionando um grande crescimento pessoal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ellingson, S. W. **Antennas for the Next Generation of Low-Frequency Radio Telescopes**, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 53, N°. 8, 2005.
- [2] Stewart K. P. et al. **LOFAR Antenna Development and Initial Observations of Solar Bursts**, Journal Planetary and Space Science, pp. 1351-1355, Sep. 2004.
- [3] Boonstra, A. J.; Bregman, J. D.; Mohamoud, A. A. **A LOFAR Spectrum Monitoring: Dynamic Range and Spectral Occupancy Issues**, ASTRON, 2000.
- [4] Butcher, H. **LOFAR Project Explained**. ASTRON, pp. 01-04, Nov. 2003.
- [5] M.P. van Haarlem, **LOFAR Scientific Applications**, 1.00 version, Report ASTRON-LOFAR-00230, pp. 01-64, March 2001.
- [6] Marco de Vos, **LOFAR Phase I Baseline Specification**, 2.0 version, LOFAR-ASTRON-MEM-145, pp. 01-18, Sep. 2004.
- [7] Bruyn, A. G. de, et al. **Exploring The Universe With The Low Frequency Array**, 1.0 version, pp. 01-59, Sep. 2002.
- [8] Vieira, P. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Departamento de Engenharia de Electrónica e Telecomunicações e de Computadores, **Propagação II**, pp. 01-16. Lisboa.
- [9] De Castro, F.C.C. Franco P. R. G. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Elétrica, **Antenas**, Cap. I, IV, V. Porto Alegre.
- [10] Hetem G. Pereira J. Observatórios Virtuais, **Fundamentos de Astronomia**. Cap. IV, VI.
- [11] Fortes, C. **Soldagem MIG/MAG**, pp.01- 134, Ago. 2004.
- [12] **Solid Works 2006** User's Guide.
- [13] **Relatórios anteriores**.
- ◆ Páginas na rede internet:
- [14] **LOFAR – Low Frequency Array**. Disponível em: <http://www.lofar.org>
- [15] **ASTRON – Netherlands Foundation for Research Astronomy**. Disponível em: <http://www.astron.nl>
-

[16] **LOFAR – UK project**. Disponível em: <http://www.lofar-uk.org/>.

[17] **MIT – Massachusetts Institute of Technology**. Disponível em: <http://web.mit.edu/index.html>.

[18] **Diagrama de Radiação**. Disponível em: paginas.fe.up.pt/~ee99051/pstfc/imagens/dia.bmp

[19] **Luz, óptica e ondas**. Disponível em: html.rincondelvago.com/files/8/2/2/000168221.png

[20] **Sistemas de Medición**. Disponível em: www.wettzell.ifag.de/tigo/s/tigo_s/img37.gif

[21] **Telescópios**. Disponível em: www.astro.iag.usp.br

ATIVIDADES COMPLEMENTARES – PARTICIPAÇÃO E APRESENTAÇÃO EM CONGRESSOS E SEMINÁRIOS

Título: CONFECÇÃO DE PROTÓTIPOS DE ANTENAS DIPOLO

Autores: Daroit, J. C.; Guarnieri, J. P.; Marques, V. C.; Prochnow, S. L.; Silva, C. P.; Gomes, N. R.; Schuch, N. J.

Evento: XXI Jornada Acadêmica Integrada – JAI 2006.

Local: Universidade Federal de Santa Maria – UFSM – Santa Maria/RS.

Data: 28 a 30 de nov. 2006.

Título: COMPARAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO NA FAIXA DE FREQUÊNCIA DE 10 A 240 MHZ COM PROJETOS ANTERIORES E DETALHES CONSTRUTIVOS PARA ANTENAS SIMILARES ÀS DO SISTEMA LOFAR.

Autores: Silva, C. P.; Santos, D.; Daroit, J. C.; Pretto, T. B.; Gomes, N. R.; Schuch, N. J.

Evento: XXI Jornada Acadêmica Integrada – JAI 2006.

Local: Universidade Federal de Santa Maria – UFSM – Santa Maria/RS.

Data: 28 a 30 de nov. 2006.

Título: FACILIDADES E VANTAGENS OFERECIDAS PELO NOVO SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL, GALILEO.

Autores: Marques, V. C.; Guarnieri, J. P.; Daroit, J. C.; Prochnow, S. L.; Durao, O. S. C.; Schuch, N. J.

Evento: XXI Jornada Acadêmica Integrada – JAI 2006.

Local: Universidade Federal de Santa Maria – UFSM – Santa Maria/RS.

Data: 28 a 30 de nov. 2006.

Título: AS TENDÊNCIAS DA TECNOLOGIA ESPACIAL PARA O DESENVOLVIMENTO DE SATÉLITES MINIATURIZADOS.

Autores: Prochnow, S. L.; Daroit, J. C.; Guarnieri, J. P.; Marques, V. C.; Durao, O. S. C.; Schuch, N. J.

Evento: XXI Jornada Acadêmica Integrada – JAI 2006.

Local: Universidade Federal de Santa Maria – UFSM – Santa Maria/RS.

Data: 28 a 30 de nov. 2006.

Título: CONSTRUÇÃO DE ANTENAS DIPOLO SIMILARES AS DO LOFAR.

Autores: Daroit, J. C.; Guarnieri, J. P.; Prochnow, S. L.; Marques, V. C.; Gomes, N. R.; Schuch, N. J.

Evento: XXI Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica Em Engenharia, VI Feira de Protótipos.

Local: Universidade de Ijuí – Unijuí – Ijuí/RS.

Data: 04 a 06 de out. 2006.

Título: ESTUDO DE SUBSISTEMAS DE CONTROLE DE ATITUDE PARA APLICAÇÃO EM PEQUENOS SATÉLITES.

Autores: Prochnow, S. L.; Guarnieri, J. P.; Daroit, J. C.; Marques, V. C.; Durao, O. S. C.; Schuch, N. J.

Evento: XXI Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica Em Engenharia, VI Feira de Protótipos.

Local: Universidade de Ijuí – Unijuí – Ijuí/RS.

Data: 04 a 06 de out. 2006.

Título: ANÁLISE DE PROTÓTIPOS DE ANTENAS DIPOLO DESENVOLVIDAS PARA O PROJETO LOFAR.

Autores: Daroit, J. C.; Guarnieri, J. P.; Prochnow, S. L.; Marques, V. C.; Gomes, N. R.; Schuch, N. J.

Evento: Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia – SBGEA.

Local: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE – São José dos Campos/SP.

Data: 23 a 26 de out. 2006.

Título: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O PROJETO GALILEO E OS DEMAIS SISTEMAS GNSS.

Autores: Marques, V. C.; Daroit, J. C.; Guarnieri, J. P.; Prochnow, S. L.; Durao, O. S. C.; Schuch, N. J.

Evento: Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia – SBGEA.

Local: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE – São José dos Campos/SP.



Data: 23 a 26 de out. 2006.

Título: DESENVOLVIMENTO DE PEQUENOS SATÉLITES NO BRASIL.

Autores: Prochnow, S. L.; Daroit, J. C.; Guarnieri, J. P.; Marques, V. C.; Durao, O. S. C.; Schuch, N. J.

Evento: Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia – SBGEA.

Local: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE – São José dos Campos/SP.

Data: 23 a 26 de out. 2006.



APÊNDICE A

Certificados de trabalhos publicados em Congressos e Simpósios de Iniciação Científica de autoria e co-autora do bolsista, correspondente as atividades complementares realizadas no período vigente do Projeto de DESENVOLVIMENTO MECÂNICO DAS ANTENAS DIPOLO DO RADIOTELESCÓPIO DE BAIXAS FREQUÊNCIAS LOFAR.

21ª Jornada

Acadêmica Integrada

CERTIFICADO

Certificamos que,


JEAN CARLOS DAROIT

participou da 21ª Jornada Acadêmica Integrada da Universidade Federal de Santa Maria, nos dias 28, 29 e 30 de novembro de 2006, como APRESENTADOR (A) do trabalho

CONFECCÃO DE PROTÓTIPOS DE ANTENAS DIPOLO DO RADIOTELESCOPIO LOFAR



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA


Comissão Executiva
PRPGP/UFMS



21ª Jornada

Acadêmica Integrada

CERTIFICADO

Certificamos que,

VIVIANE CASSOL MARQUES

participou da 21ª Jornada Acadêmica Integrada da Universidade Federal de Santa Maria, nos dias 28, 29 e 30 de novembro de 2006, como APRESENTADOR (A) do trabalho

FACILIDADES E VANTAGENS OFERECIDAS PELO NOVO SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL, GALILEO



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA


Comissão Executiva
PRPGP/UFSM

21ª Jornada

Acadêmica Integrada

CERTIFICADO

Certificamos que,

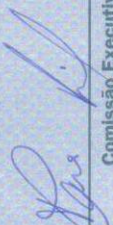
SILVANO LUCAS PROCHNOW

participou da 21ª Jornada Acadêmica Integrada da Universidade Federal de Santa Maria, nos dias 28, 29 e 30 de novembro de 2006, como APRESENTADOR (A) do trabalho

AS TENDÊNCIAS DA TECNOLOGIA ESPACIAL PARA O DESENVOLVIMENTO DE SATÉLITES MINIATURIZADOS



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA


Comissão Executiva
PRPGP/UFMS

CERTIFICADO

Certificamos que, **JEAN CARLOS DAROIT** participou do XXI Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia e 6^a. Feira de Protótipos, na condição de **APRESENTADOR**, referente ao trabalho intitulado “CONSTRUÇÃO DE ANTENAS DIPOLO SIMILARES AS DO LOFAR” realizado pela UNIJUI, no período de 04, 05 e 06 de outubro de 2006.

Ijuí (RS), 06 de outubro de 2006.

Maurício de Campos

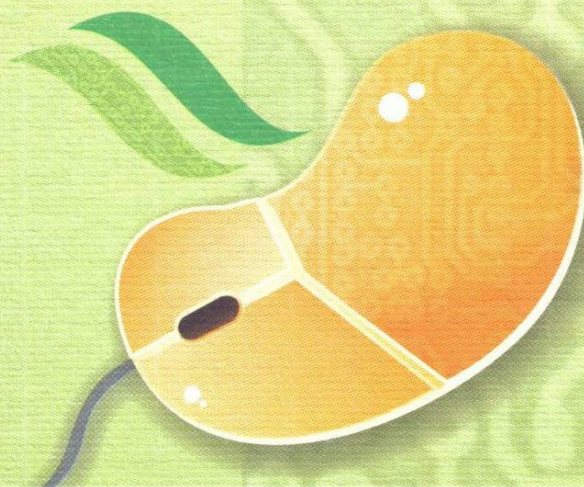
Prof. Maurício de Campos
Coordenador do CRICTE 2006

Edson Luiz Padoin

Prof. Edson Luiz Padoin
Chefe do Departamento de Tecnologia

Rudi Frantz

Dr. Rudi Frantz
Vice-Reitor de Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão



XXI Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia e 6^a Feira de Protótipos
CRICTE 2006



UNIJUI
UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

De Tec. - Departamento de Tecnologia

CERTIFICADO

Certificamos que, **SILVANO LUCAS PROCHNOW** participou do XXI Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia e 6ª. Feira de Protótipos, na condição de **APRESENTADOR**, referente ao trabalho intitulado “ESTUDO DE SUBSISTEMAS DE CONTROLE DE ATITUDE PARA APLICAÇÃO EM PEQUENOS SATÉLITES” realizado pela UNIJUI, no período de 04, 05 e 06 de outubro de 2006.

Ijuí (RS), 06 de outubro de 2006.

Maurício de Campos
Prof. Maurício de Campos
Coordenador do CRICTE 2006

Edson Luiz Padoin
Prof. Edson Luiz Padoin
Chefe do Departamento de Tecnologia

Rudi Frantz
Prof. Dr. Telmo Rudi Frantz
Vice-Reitor de Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão

XI Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia
VI Feira de Protótipos

CRICTE 2006

UNIJUI
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DeTec - Departamento de Tecnologia

SBGE A 2006
CERTIFICADO

Certificamos que JEAN CARLOS DAROIT participou do Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia, realizado em São José dos Campos de 23 a 26 de outubro de 2006, na qualidade de apresentador.


[Signature]
Hisao Takahashi
Presidente do Comitê Organizador


[Signature]
Inez Stágarini Batista
Vice-Presidente do Comitê Organizador Local

PROMOÇÃO **PATROCÍNIO** **APOIO**

SBGE A 2006 CERTIFICADO

Certificamos que VIVIANE CASSOL MARQUES participou do Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia, realizado em São José dos Campos de 23 a 26 de outubro de 2006, na qualidade de apresentador.

 **Hisao Takahashi**
Presidente do Comitê Organizador

 **Inez Staciarini Batista**
Vice-Presidente do Comitê Organizador Local

PROMOÇÃO

-
-
-

PATROCÍNIO

-
-
-
-

S B G E A 2 0 0 6
CERTIFICADO

Certificamos que SILVANO LUCAS PROCHNOW participou do Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia, realizado em São José dos Campos de 23 a 26 de outubro de 2006, na qualidade de apresentador.

Hisao Takahashi
Presidente do Comitê Organizador

Inez Staciarini Batista
Vice-Presidente do Comitê Organizador Local

PROMOÇÃO PATROCÍNIO APOIO