

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

## **MODELGEM DE HÉLICES COM PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO DE ESTRUTURAS EM ALTA FREQUÊNCIA**

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

**PROCESSO Nº. 107614/2003-0**

Luzia Lux Lock (UFSM, Bolsista PIBIC/CNPq)  
E-mail: [luzia@lacesm.ufsm.br](mailto:luzia@lacesm.ufsm.br)

Dr. Carlos Alberto Iennaco Miranda (DEA/ETE/INPE - MCT, Orientador)  
E-mail: [miranda@dea.inpe.br](mailto:miranda@dea.inpe.br)

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



**Junho de 2006**

## **DADOS DE IDENTIFICAÇÃO**

**Título:**

Modelagem de Hélices com Programas de Simulação de Estruturas em Alta  
Frequência

**Bolsista:**

Luzia Lux Lock

Acadêmica do Curso de Engenharia Elétrica

Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT – UFSM

Centro de Tecnologia – CT/UFSM

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

**Processo:**

105416/2005-6

**Orientador:**

Dr. Carlos Alberto Iennaco Miranda

Divisão de Eletrônica Aeroespacial – DEA/ETE/INPE - MCT

**Co-Orientador:**

Dr. Nelson Jorge Schuch

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT

**Colaboradores:**

Cleomar Pereira da Silva

Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica da UFSM

Diego dos Santos

Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica da UFSM

Jean Paulo Guarnieri

Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica da UFSM

Maiquel dos Santos Canabarro

Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica da UFSM

Thiago Brum Pretto

Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica – UFSM



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

- Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE - MCT  
Laboratório de Radiofrequência e Telecomunicações  
Laboratório de Eletrônica
- O presente trabalho de Pesquisa foi desenvolvido no âmbito da Parceria:  
INPE/MCT – UFSM, através do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa  
Maria – LACESM/CT – UFSM.



## **AGRADECIMENTOS**

Primeiro, agradeço a toda e qualquer energia ou força divina que tenha me impulsionado a desenvolver este Projeto e a não me desencorajar perante os obstáculos.

À minha mãe Beatriz e à minha irmã Luiza, que são minha família, por estarem sempre me apoiando e me dando o carinho e a atenção necessários em qualquer momento da minha vida.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, e ao coordenador do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica PIBIC/INPE - CNPq/MCT Dr. José Carlos Becceneri que proporcionou o suporte para a realização deste trabalho, permitindo a aluna seu desenvolvimento no campo técnico-científico.

Ao meu Orientador de Projeto de Pesquisa Dr. Carlos Alberto Iennaco Miranda, da DEA/ETE/INPE - MCT, em São José dos Campos, SP, pela ajuda e pelo tempo que dedicou para me orientar.

Ao Dr. Nelson Jorge Schuch, meu Co-Orientador e Coordenador da Ação de Implantação do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, em Santa Maria, pela leitura, sugestões de novos textos, e pelas sábias palavras de incentivo, procurando sempre que o melhor de cada pessoa seja por ela executado e vivenciado.

Aos colegas Diego, Thiago, Maiquel e Cleomar, do CRSPE/INPE – MCT, pelas discussões e sugestões para este Projeto e Relatório, e principalmente pela amizade e pelo incentivo que têm me dado. Em especial, gostaria de agradecer ao Acadêmico Jean Paulo Guarnieri, do Curso de Engenharia Mecânica da UFSM, que trabalha no Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas do LACESM/CT – UFSM, por ter me ensinado e ajudado no manuseio das ferramentas do software “Solid Works” e no desenho da Antena Quadrifilar.

Agradeço ao pessoal com que trabalhei diretamente e indiretamente, toda e qualquer ajuda, sugestão, ou mesmo incentivo foram de grande valia para a conclusão deste trabalho tanto do LACESM/CT – UFSM, como do CRSPE/INPE – MCT e da DEA/ETE/INPE – MCT.



## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| DADOS DE IDENTIFICAÇÃO .....                                 | 1  |
| LISTA DE FIGURAS .....                                       | 6  |
| RESUMO .....   | 7  |
| RESUMO .....   | 7  |
| CAPÍTULO 1 .....   | 10 |
| 1.1. INTRODUÇÃO .....  | 10 |
| 1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO .....                             | 10 |
| CAPÍTULO 2 .....   | 12 |
| MISSÃO ESPACIAL COMPLETA BRASILEIRA .....                    | 12 |
| 2.1. <i>Missão de Coleta de Dados</i> .....                  | 12 |
| 2.2. <i>Satélites de Coleta de Dados</i> .....               | 13 |
| CAPÍTULO 3 .....   | 15 |
| ESTUDO SOBRE ANTENAS .....                                   | 15 |
| 3.1. <i>Conceito Básico de uma Antena</i> .....              | 15 |
| 3.2. <i>Parâmetros das Antenas</i> .....                     | 15 |
| 3.2.1. Dimensões da Antena .....                             | 15 |
| 3.2.2. A Antena Isotrópica .....                             | 16 |
| 3.2.3. Polarização .....                                     | 16 |
| 3.2.4. Diagramas de Irradiação .....                         | 17 |
| 3.2.4.1. Planos do Diagrama .....                            | 18 |
| 3.2.4.2. Lóbulos em um Diagrama de Irradiação .....          | 18 |
| 3.2.4.3. Largura de feixe .....                              | 19 |
| 3.2.5. Diretividade .....                                    | 19 |
| 3.2.6. Ganho .....   | 20 |
| 3.2.7. Impedância .....                                      | 21 |
| CAPÍTULO 4 .....   | 22 |
| ANTENA HELICOIDAL .....                                      | 22 |
| CAPÍTULO 5 .....   | 24 |
| CONSTRUÇÃO DE UMA ANTENA QUADRIFILAR .....                   | 24 |
| 5.1. <i>Comunicação via Satélite</i> .....                   | 24 |
| 5.2. <i>Características Elétricas e Mecânicas</i> .....      | 24 |
| 5.3. <i>Princípio Básico de Operação</i> .....               | 25 |
| 5.4. <i>Informações Gerais sobre a Forma da Antena</i> ..... | 26 |
| CAPÍTULO 6 .....   | 30 |
| MODELAGEM DA ANTENA QUADRIFILAR .....                        | 30 |
| CAPÍTULO 7 .....   | 39 |
| CONCLUSÃO .....  | 39 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                             | 41 |



*Relatório Final de Atividades*

|  |    |
|--|----|
| APÊNDICE A .....   | 42 |
| <i>TÍTULOS E RESUMOS DE TRABALHOS APRESENTADOS</i> ..... | 42 |
| APÊNDICE B .....   | 51 |
| <i>PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA</i> .....             | 51 |
| APÊNDICE C .....   | 53 |
| <i>CERTIFICADOS</i> .....                                | 53 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Fig. 2.1 – Plataforma de Coleta de Dados instalada em terra (à esquerda) e em bóia oceanográfica (à direita).....                                 | 12 |
| Fig. 2.2 - Missão de Coleta de Dados, transmissão dos dados do satélite para a Estação de Recepção de Cuiabá do INPE – MCT.....                   | 13 |
| Fig. 2.3 – Satélite SCD-1, construído no INPE/MCT em São José dos Campos, SP. ....  | 13 |
| Fig. 3.1 – Sistema de coordenadas esféricas para um ponto de radiação do espaço livre.....  | 16 |
| Fig. 3.2 – Comparação entre o diagrama de radiação de uma antena qualquer nas plotagens polar – à direita, e retangular – à esquerda. ....        | 18 |
| Fig. 3.3 – Largura de feixe.....  | 19 |
| Fig. 4.1 – À direita, a geometria de uma antena helicoidal; à esquerda, a relação geométrica de uma espira retificada.....                        | 22 |
| Fig. 4.2 – Diagrama de irradiação de uma antena operando no modo normal, à esquerda, e no modo axial à direita.....                               | 23 |
| Fig. 5.1 – Antenas Quadrifilares para Satélite .....  | 24 |
| Fig. 5.2 – Padrão de uma antena quadrifilar de transmissão: a) circular polarizada; b) por dipolo rotativo.....                                   | 25 |
| Fig. 5.3 – Vistas da antena bifilar .....   | 26 |
| Fig. 5.4 – Balun revestido para Antena bifilar.....   | 26 |
| Fig. 5.5 – Balun Split Sheath para Antena Bifilar.....  | 27 |
| Fig. 5.6 – Balun Infinito para Antena Bifilar.....  | 27 |
| Fig. 5.7 – Antenas bifilares ortogonais idênticas com uma quadratura híbrida.....   | 28 |
| Fig. 5.8 – Antenas bifilares ortogonais idênticas com uma quadratura híbrida.....   | 28 |
| Fig. 6.1 – Projeto original do “Elemento Capacitivo”.....   | 30 |
| Fig. 6.2 – (a) Vista isométrica e (b) vista do plano “xy” da curva gerada no Solid Works pelos pontos encontrados para o elemento capacitivo..... | 32 |
| Fig. 6.3 – Elemento capacitivo, (a) vista do plano “yz”; e (b) vista do novo plano.....   | 33 |
| Fig. 6.4 – Vista de topo, plano “xz”, dos pontos 10 a 14 e os ângulos dos semicírculos onde eles se encontram. ....                               | 34 |
| Fig. 6.5 - Vista do plano “yz” e dos pontos 10 até 14.....  | 35 |
| Fig. 6.6 – Vistas isométrica e de topo do elemento indutivo.....  | 37 |
| Fig. 6.7 – Vistas isométrica e de topo do cabo coaxial.....   | 37 |
| Fig. 6.8 – Reforço Central em vista isométrica e de corte transversal.....  | 38 |
| Fig. 6.9 – Vistas isométrica, da direita e de frente da antena quadrifilar.....   | 38 |



## **LISTA DE TABELAS**

|   |    |
|---|----|
| Tabela 6.1 – Pontos em três dimensões do elemento capacitivo..... | 31 |
|---|----|

## RESUMO

Subsistemas de Coleta de Dados (DCS) e de Telecomunicações de Serviço (TMTC) 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. Os satélites SCD-1, SCD-2, bem como suas antenas, projetados e desenvolvidos pelo INPE/MCT, e o CBERS-2, projetado e desenvolvido através de uma Parceria Brasil-China, utilizam-se dessas antenas para realizar a telemetria e telecomando (TT & C) e transmissão de dados. Este Projeto visa a análise da antena quadrifilar fixada nos painéis superior e inferior do satélite, sendo os resultados comparados com os modelos utilizados nos satélites construídos pelo INPE/MCT anteriormente, para posterior otimização.

A antena quadrifilar utilizada para o subsistema (TT & C) é do tipo meia espira com meio comprimento de onda. Ela é composta de duas bifilares ortogonais em quadratura de fase. A bifilar é uma antena helicoidal de dois elementos, sendo cada elemento uma hélice com formato de meia espira e meio comprimento de onda. Como todas as antenas coaxialmente equilibradas, a antena bifilar requer um balun. O método utilizado foi o do “infinite balun”, que emprega um cabo coaxial semi-rígido como um dos elementos da bifilar. No ponto de alimentação o condutor central do cabo coaxial é soldado no fio oposto, cujo material é cobre. Essa conexão causa correntes iguais de fase oposta neste ponto. A relação de  $90^\circ$  de fase entre as bifilares requerida para produzir a quadrifilar pode ser alcançada pelo sistema self-phased ou pela utilização de circuito híbrido. No primeiro a diferença de fase de  $90^\circ$  desejada é obtida desenhando as bifilares ortogonais tal que uma bifilar seja maior, com uma frequência ressonante menor e, portanto, indutiva, enquanto a outra bifilar é menor e, portanto, capacitiva.

Utilizando um programa de desenho mecânico, como o “Solid Works”, pode-se estudar e redesenhar antenas no Laboratório de Radiofrequência e Comunicação do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – LRC/CRSPE/INPE – MCT, em Santa Maria, RS, que foram anteriormente projetadas à “mão livre”, de modo a ter-se um desenho em três dimensões, com melhor visualização. Posteriormente, é feita a interface entre o *software* de desenho mecânico e o “HFSS - High Frequency Structure Simulator”, responsável pela análise de estruturas em alta frequência. Os projetos das



antenas desenvolvidas pelo Instituto ainda não consideram os efeitos dos materiais utilizados nas estruturas das mesmas. Com o HFSS são efetuadas simulações a partir do desenho em três dimensões, e a mudança de parâmetros da antena, como o raio e o passo da espira, devem promover sua otimização e tornar a construção mais prática e vantajosa.

## CAPÍTULO 1

### 1.1. Introdução

O desenvolvimento deste Relatório é basicamente composto pelo desenvolvimento teórico sobre Antenas, seguido da modelagem e simulações com os *softwares* “Solid Works” e “HFSS”, respectivamente, atividades que foram desenvolvidas no Laboratório de Radiofrequência e Comunicação do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – LRC/CRSPE/INPE – MCT, em Santa Maria, RS.

O Capítulo 2 aborda a Missão Completa Brasileira, mostrando como funciona o esquema de captação de dados ambientais, desde sua estrutura em Terra, até a utilização de Satélites Brasileiros, buscando mostrar o valor de um Projeto que vise otimizar as antenas responsáveis pela transmissão e recepção do sinal destes Satélites.

No Capítulo 3 é apresentada uma síntese de revisão bibliográfica sobre Antenas, explicando o conceito básico de uma antena, assim como seus parâmetros.

No Capítulo 4 são estudadas as características das antenas helicoidais que são utilizadas na modelagem da quadrifilar. Apresentam-se comentários sobre a sua estrutura, as vantagens de sua implementação e seus modos de propagação.

No Capítulo 5 é discutida a construção da antena quadrifilar, mostrando os diferentes tipos de balun das bifilares, e os métodos para chegar à relação de 90° de fase entre as bifilares, requerida pela quadrifilar. Comparações entre estes são feitas e justifica-se a escolha feita para o projeto.

No Capítulo 6 mostram-se os passos para a modelagem da antena quadrifilar no programa “Solid Works”, tendo figuras comparando os desenhos antigos com os feitos nessa pela bolsista.

Finalmente, no Capítulo 7 é apresentada a conclusão do trabalho com uma análise geral dos resultados obtidos pelo bolsista.

### 1.2. Objetivos do trabalho

Os objetivos deste trabalho de Pesquisa foram realizar um estudo básico sobre Antenas, em especial de Antenas para Satélite e familiarizar-se com *softwares* de



Desenho Mecânico – onde se adotou o Solid Works – e *softwares* de Análise de Estruturas de Alta Frequência, com o HFSS. Buscou-se interpretar o Projeto da Antena Quadrifilar desenhado em duas dimensões, e fazer a modelagem da mesma no *software* Solid Works, onde o desenho da Antena é visualizado em três dimensões, com os respectivos materiais de cada componente da Quadrifilar. O objetivo é fazer a interface entre o programa de Desenho Mecânico e o HFSS, para as mudanças de parâmetros da Antena Quadrifilar e sua posterior otimização.

## CAPÍTULO 2

### MISSÃO ESPACIAL COMPLETA BRASILEIRA

#### 2.1. Missão de Coleta de Dados

A Missão de Coleta de Dados tem como objetivo fornecer ao país um Sistema de coleta de dados ambientais baseado na utilização de Satélites de Coleta de Dados – SCD's - e de Plataformas de Coleta de Dados - chamadas PCD's - distribuídas pelo território nacional. Os dados coletados vêm sendo usados para aplicações como: alimentar os modelos de previsão de tempo do CPTEC/INPE - MCT, estudos sobre correntes oceânicas, marés, química da atmosfera, planejamento agrícola, entre outras. Os satélites utilizados na Missão são o SCD-1, o SCD-2 e o CBERS-2.

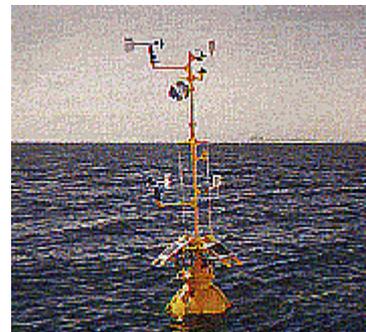


Fig. 2.1 – Plataforma de Coleta de Dados instalada em terra (à esquerda) e em bóia oceanográfica (à direita).

FONTE: [www.inpe.br/scd1/site\\_scd/fotos.htm](http://www.inpe.br/scd1/site_scd/fotos.htm)

As PCD's são pequenas estações automáticas geralmente situadas em locais remotos, tanto em terra, como em bóias oceanográficas na costa brasileira, ver Figura 2.1. Elas coletam os dados meteorológicos, ambientais e da química atmosférica, e os enviam para os satélites, que retransmitem para as estações receptoras do INPE/MCT, em Cuiabá e Alcântara, Figura 2.2. A partir daí os dados são enviados para o Centro de Missão, em Cachoeira Paulista, onde é feito o seu tratamento, para distribuição imediata aos usuários do sistema.

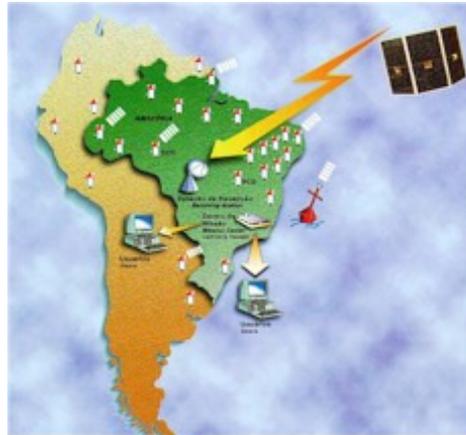


Fig. 2.2 - Missão de Coleta de Dados, transmissão dos dados do satélite para a Estação de Recepção de Cuiabá do INPE – MCT.

FONTE: [www.inpe.br/scd1/site\\_scd/scd1/missao.htm](http://www.inpe.br/scd1/site_scd/scd1/missao.htm)

## 2.2. Satélites de Coleta de Dados

Os Satélites de Coleta de Dados – SCD, são satélites equipados para captar e retransmitir os dados que são coletados pelas PCD's. O INPE/MCT é o responsável pela especificação, projeto, desenvolvimento, fabricação e operação desta série de satélites. Dois satélites foram colocados em órbita para essa Missão, o SCD-1 e o SCD-2, e espera-se o lançamento de um terceiro satélite para os próximos anos.

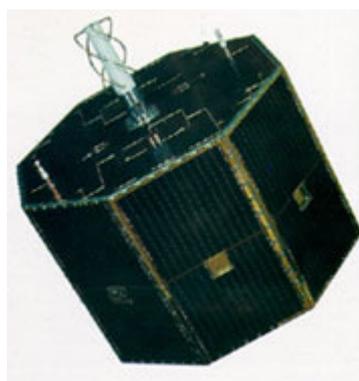


Fig. 2.3 – Satélite SCD-1, construído no INPE/MCT em São José dos Campos, SP.

FONTE: [www.inpe.br/scd1/site\\_scd/scd1/osatelite.html](http://www.inpe.br/scd1/site_scd/scd1/osatelite.html)

O SCD-1, que teve seu lançamento em fevereiro de 1993, superou sua expectativa de vida útil de um ano, estando em operação até hoje. O segundo satélite foi posto em



órbita em 1998, por meio de um veículo Pegasus, a partir do Cabo Canaveral e vem trabalhando de forma conjunta com o primeiro.

Ambos os satélites têm como carga útil principal um transponder de coleta de dados, o qual recebe os sinais emitidos pelas plataformas automáticas em terra através de antenas em UHF - monopolos no painel inferior e antena quadrifilar no painel superior - e os retransmite em tempo real na banda S para as estações de rastreamento. No SCD-2, a transmissão dos dados para estas estações é feita com maior eficiência se comparada ao seu antecessor, uma vez que são adotadas polarizações inversas para as Antenas Quadrifilares em banda S localizadas nos painéis superior e inferior, ao invés das duas Antenas de mesma polarização.

## **CAPÍTULO 3**

### **ESTUDO SOBRE ANTENAS**

Para a realização do Projeto, foi feito um estudo básico sobre Antenas, dando uma maior base para que a bolsista compreender o funcionamento da transmissão de sinais via satélite e para um melhor entendimento da modelagem e dos testes nos Softwares que seriam utilizados.

#### **3.1. Conceito Básico de uma Antena**

Pode-se definir uma antena como uma estrutura metálica associada a uma região de transição entre uma onda guiada e uma onda no espaço livre. A antena seria um transdutor de ondas que propagam em meios confinados, tais como cabos coaxiais, guias de onda, linhas bifilares, ou seja, linhas de transmissão e a propagação no espaço livre, que possui como meio de propagação o ar ou o vácuo.

#### **3.2. Parâmetros das Antenas**

Os parâmetros de uma antena podem qualificar de forma absoluta ou relativa a capacidade de concentrar energia em uma determinada direção. A seguir estão apresentados os principais parâmetros de uma antena e, para uma melhor compreensão se apresenta, alguns comentários sobre a antena isotrópica.

##### **3.2.1. Dimensões da Antena**

Existe uma proporção entre o comprimento da onda eletromagnética e o tamanho da antena: frequências altas implicam em antenas pequenas e frequências baixas implicam em grandes antenas. Porém, muitas antenas utilizam artifícios para melhorar a eficiência da antena ou para concentrar energia em uma dada direção, o que acaba anulando esta proporcionalidade. Um exemplo são as antenas de baixa frequência, que deveria ter grandes dimensões, mas, se a eficiência não for importante, seus tamanhos podem ser pequenos.

### 3.2.2. A Antena Isotrópica

A antena isotrópica é aquela que irradia igualmente em todas as direções. Considerando uma distância constante do irradiador isotrópico, a densidade de potência será sempre igual, e formará uma esfera com centro na antena isotrópica. Observa-se a Figura 3.1 a seguir, apresentada em coordenadas esféricas, que ilustra um ponto de radiação no espaço livre.

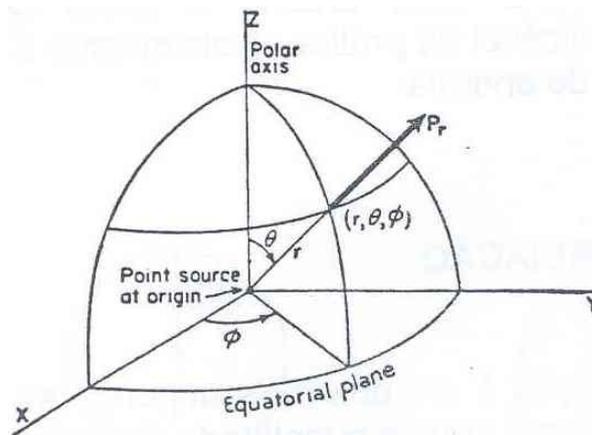


Fig. 3.1 – Sistema de coordenadas esféricas para um ponto de radiação do espaço livre.

FONTE: FLEMING, Wilton José. “Antenas”, Apostila do Centro de Desenvolvimento e Tecnologia – CEDETEC/INATEL.

Se o irradiador isotrópico estiver localizado na origem das coordenadas, qualquer ponto no espaço tridimensional pode ser definido como um vetor  $r$ ,  $\theta$ ,  $\phi$ , onde:

$r$  = distância ao centro

$\theta$  = ângulo em relação ao eixo  $z$

$\phi$  = ângulo em relação ao eixo  $x$

No caso da antena isotrópica, se o raio  $r$  for mantido, é possível considerar-se a densidade de potência constante em qualquer ponto sobre a superfície da esfera imaginária. Sendo assim, podemos usar essa antena como referência, comparando-a com outros tipos de antena.

### 3.2.3. Polarização

As distribuições de campo obtidas estão sujeitas a variação ao longo do tempo, assim, define-se polarização de uma antena pela orientação segundo a qual oscila, no tempo, o *vetor campo elétrico*. Em termos práticos, devido à importância da direção

máxima de radiação – lóbulo principal da antena - a polarização é definida em relação a esta direção.

Dependendo das amplitudes e fases das componentes ortogonais que compõem o campo elétrico total da onda irradiada, a polarização poderá ser linear, circular ou elíptica. Sendo assim, na direção principal de irradiação, a orientação do vetor campo elétrico, ao longo do tempo, definirá qual dos três tipos de polarização a antena terá.

### **3.2.4. Diagramas de Irradiação**

Diagramas de Irradiação são definidos como a representação gráfica da forma como energia eletromagnética se distribui no espaço, ver Figura 3.2. É uma maneira de visualizar e medir a densidade de potência irradiada pela antena em diversas direções existentes.

A confecção do diagrama de irradiação deve ser feita a uma distância mínima tal que as dimensões da antena possam ser desprezíveis em comparação à distância de medição. O diagrama pode ser obtido tanto pelo deslocamento de uma antena de prova em torno da antena que se está medindo, como pela rotação desta em torno do seu eixo, enviando os sinais recebidos a um receptor capaz de discriminar com precisão a frequência e a potência recebidas. Os resultados obtidos são geralmente normalizados, dando-se o valor de 0 dB ao máximo sinal.

Para a representação do Diagrama de Irradiação, se utiliza dois tipos de representação: a Polar e a Retangular. Ambos os diagramas irão representar a mesma grandeza – a intensidade de campos pelo o ângulo de observação, no entanto cada um possui seu uso em termos práticos. Por exemplo, o Diagrama Polar é mais usado para visualizar o comportamento da antena como um todo, mas não apresenta muita precisão para extrair dados, principalmente quando a antena possui características de irradiação muito direcionais.

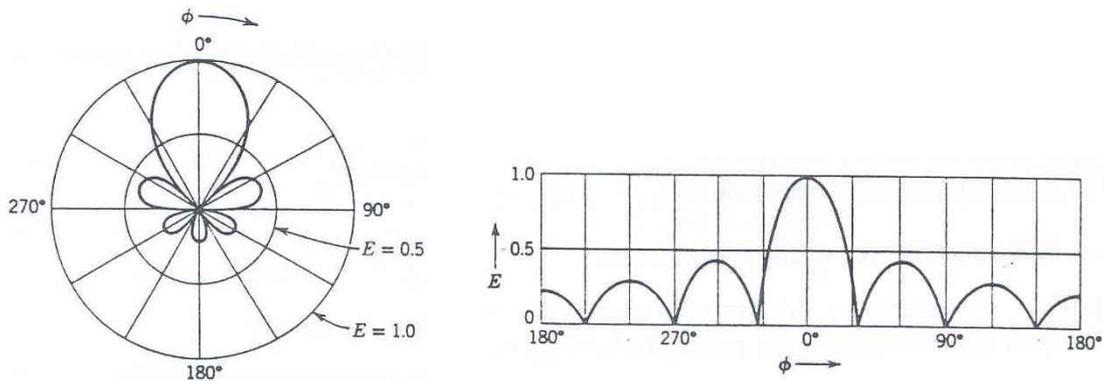


Fig. 3.2 – Comparação entre o diagrama de radiação de uma antena qualquer nas plotagens polar – à direita, e retangular – à esquerda.

FONTE: FLEMING, Wilton José. “Antenas”, Apostila do Centro de Desenvolvimento e Tecnologia – CEDETEC/INATEL.

### 3.2.4.1. Planos do Diagrama

O diagrama de radiação é representado graficamente em três dimensões, como mostrado na Figura 3.1. Usualmente estes diagramas tridimensionais são calculados, medidos e gravados em uma série de diagramas bidimensionais, tendo dois planos principais para a descrição destes diagramas: o plano horizontal, que contém o ângulo  $\phi$ , e o plano vertical, onde está o ângulo  $\theta$ .

Para o caso de polarização linear, o diagrama nos planos vertical e horizontal precisam ser associados à polarização da antena. Se uma antena irradia segundo o plano vertical, o diagrama vertical de radiação corresponderá ao gravado sobre o plano que contém o vetor campo elétrico e, por isso, designado de *diagrama em plano E*. Consequentemente, o diagrama horizontal de radiação é, analogamente, designado por *diagrama em plano H*, já que, em campo distante, os vetores campo elétrico e campo magnético são mutuamente ortogonais. Assim, uma antena que irradia segundo polarização horizontal terá seu diagrama horizontal representado em plano E, e o seu vertical indicado pelo diagrama em plano H.

### 3.2.4.2. Lóbulos em um Diagrama de Irradiação

A amostragem do diagrama deve dar-se em 360°, representado pelo plano polar ou retangular. Neste intervalo os períodos entre dois pontos de mínimo consecutivos

denominam-se lóbulos da antena, cujo de maior amplitude é chamado de lóbulo principal, que define o ganho máximo da antena, os demais são denominados secundários.

### 3.2.4.3. Largura de feixe

Quando a potência irradiada é concentrada em uma determinada região, formando o lóbulo principal, podemos definir o ângulo do diagrama de radiação onde a potência cai pela metade ou de 3 dB. A largura de feixe é definida por um plano, logo, algumas antenas possuirão várias larguras de feixe quando analisados diversos cortes no diagrama tridimensional, ver Figura 3.3.

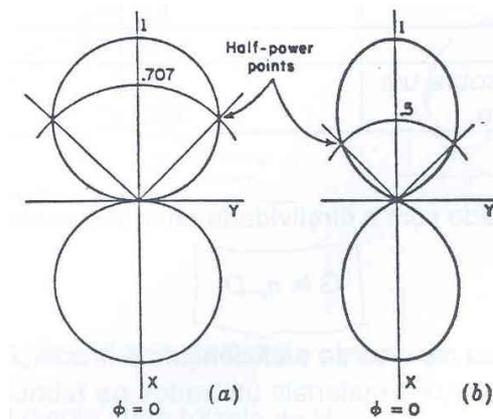


Fig. 3.3 – Largura de feixe.

FONTE: FLEMING, Wilton José. “Antenas”, Apostila do Centro de Desenvolvimento e Tecnologia – CEDETEC/INATEL.

### 3.2.5. Diretividade

Denomina-se diretividade a relação entre o campo irradiado pela antena na direção máxima de irradiação e o campo que seria gerado por uma antena isotrópica que recebesse a mesma potência.

Considerando uma antena irradiando um potencial total  $W$ , situada no centro de uma superfície esférica cujo raio  $r$  é muito maior que qualquer dimensão da antena, de modo que essa possa ser considerada como centrada em um ponto único. Denominando  $P$  como o valor médio da densidade de potência provocada pela antena à distância  $r$  e  $P_0$  como a densidade de potência da antena isotrópica, que está nas mesmas condições da antena em questão. A diretividade da antena em relação à isotrópica é

$$D = \frac{P}{P_0}. \quad (3.2.5-1)$$

A diretividade da antena define sua capacidade de concentrar a energia irradiada num determinado sentido. Sendo assim, quanto menor o ângulo de meia potência, e, portanto, mais estreito o lóbulo principal, maior será a diretividade da antena na direção de máxima irradiação.

A *potência total irradiada* por uma antena é dada pela integral de densidade de potência sobre uma superfície esférica  $S$ :

$$\oint_S P dS \quad (3.2.5-2)$$

Para a antena isotrópica resulta:

$$W = 4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot P_0, \quad (3.2.5-3)$$

de maneira que a diretividade é dada por:

$$D = \frac{4\pi \cdot r^2 \cdot P}{W} = \frac{4\pi \cdot r^2 \cdot P}{\oint_S P dS}. \quad (3.2.5-4)$$

Considerando-se que, em coordenadas esféricas tem-se  $dS = r^2 \sin\theta \cdot d\theta \cdot d\phi$ , resulta:

$$D = \frac{4\pi P}{\oint_S P \sin\theta \cdot d\theta \cdot d\phi} = \frac{4\pi P}{\oint_S P d\Omega}, \quad (3.2.5-5)$$

onde  $d\Omega$  corresponde ao elemento de ângulo sólido.

Porém, como a densidade  $P$  é uma função de ponto, podemos escrevê-la na forma de ponto:

$$P = P_{máx} \cdot p(\theta, \phi), \quad (3.2.5-6)$$

sendo  $P_{máx}$  o valor máximo e  $p(\theta, \phi)$  sua variação no espaço. Logo:

$$D = \frac{4\pi \cdot p(\theta, \phi)}{\oint_S p(\theta, \phi) d\Omega} \quad (3.2.5-7)$$

### 3.2.6. Ganho

A definição de diretividade é baseada inteiramente na forma de distribuição de potência da fonte, não estando especificado o rendimento da antena como fonte irradiante.

O ganho de uma antena é a expressão de quanto uma antena pode ser melhor do que a outra. Serve para escolher a antena que mais se presta ao serviço, por entregar mais potência ao meio ou maior quantidade de energia irradiada. É comum adotar-se uma antena como padrão e definir todas as demais em relação a este padrão. O padrão deve ser de fácil construção, o que permite comparações entre antenas que funcionam em diferentes frequências. Portanto, o ganho é o quociente da máxima intensidade de irradiação da antena de estudo pela máxima intensidade de irradiação de uma antena de referência, com a mesma potência de entrada.

$$\text{Ganho} = \frac{\text{Máxima intensidade de irradiação da antena de estudo}}{\text{Máxima intensidade de irradiação de uma antena de referência, com a mesma potência de entrada}}$$

Na indicação do ganho da antena, deve-se informar qual antena foi adotada como referência. Não é possível usar a fonte isotrópica como referência, pois ela não apresenta direção preferencial de irradiação já que distribui energia uniformemente.

O ganho pode ser entendido como o resultado da diretividade descontando as perdas. Ele está relacionado com a diretividade apenas por uma constante,  $\eta$ , que representa a eficiência de irradiação da antena, ou seja, a influência das perdas ôhmicas, dos materiais utilizados na fabricação e o casamento de impedância com o gerador.

$$G = \eta \cdot D \quad (3.2.6-1)$$

### **3.2.7. Impedância**

A impedância de uma antena é a relação entre a tensão e a corrente em seus terminais, consideradas amplitudes e fase das mesmas. Possui uma componente denominada de real devida à resistência ação associada às perdas por calor, e uma componente denominada de reativa que não contribui para o campo irradiado e impõe perdas nas Linhas de Transmissão.

Quando a antena for puramente resistiva, componente reativa igual ou próxima de zero, ela é dita ressonante. Para que uma antena funcione satisfatoriamente na sua faixa de operação ela deve trabalhar próxima à ressonância e com sua impedância o mais próxima possível da impedância normalizada do sistema.

## CAPÍTULO 4

### ANTENA HELICOIDAL

Antena helicoidal trata-se de um tipo de antena considerada de faixa de frequência larga, alto ganho, e relativa facilidade de fabricação. Suas duas maiores vantagens são: por ser de fácil alimentação – basta uma simples conexão de cabo coaxial; e pela sua polarização circular natural. A antena é constituída basicamente por um condutor na forma de helicóide operando em conjunto com um plano terra.

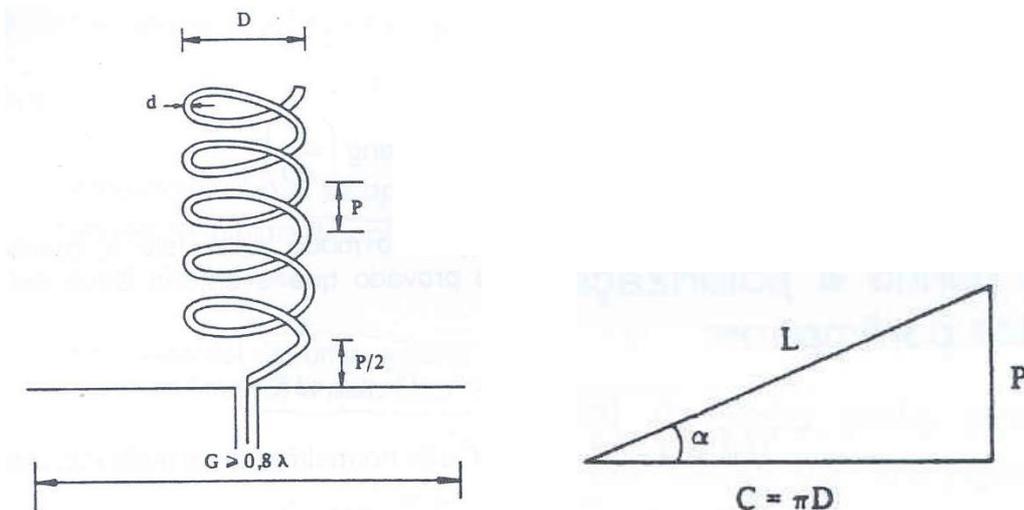


Fig. 4.1 – À direita, a geometria de uma antena helicoidal; à esquerda, a relação geométrica de uma espira retificada.

**FONTE: FLEMING, Wilton José. “Antenas”, Apostila do Centro de Desenvolvimento e Tecnologia – CEDETEC/INATEL.**

Da Figura 4.1, denotamos:

P – passo da espira

D – diâmetro da espira

G – plano terra

d – diâmetro do condutor, onde  $d = 0,02 \lambda$

L – comprimento da espira

$\alpha$  - ângulo de passo

Helicoidais podem radiar ondas eletromagnéticas em muitos modos de propagação, relacionados com as dimensões da antena. Os mais relevantes são: o modo

normal ou transversal, e o modo axial ou longitudinal. Estes modos relacionam-se com as dimensões da antena.

No modo normal a intensidade máxima de radiação ocorre no plano normal ao eixo da espiral, e o comprimento total da espiral,  $L_t = NL$ , tem que ser muito menor que o comprimento de onda na frequência de ressonância, ou seja,  $L_t \ll \lambda$ .

O modo axial possui a intensidade de radiação máxima na direção do eixo espiral, o diâmetro  $D$  e o passo  $P$  da hélice têm valores típicos iguais às frações do comprimento de onda.

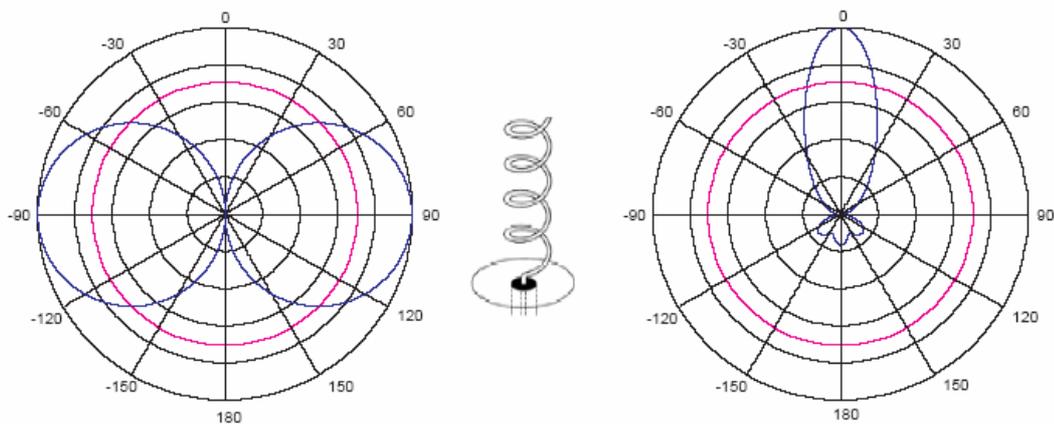


Fig. 4.2 – Diagrama de irradiação de uma antena operando no modo normal, à esquerda, e no modo axial à direita.

**FONTE: LIMA, Antonio Cezar de Castro. “Fundamentos de Telecomunicações – Teoria Magnética e Aplicações”, 2002, Apostila da Universidade Federal da Bahia**

## CAPÍTULO 5

### CONSTRUÇÃO DE UMA ANTENA QUADRIFILAR

Para comunicação via satélite, é comum serem usadas antenas quadrifilares em banda S, de sistema tipo *self-phased*, meia espira e meio comprimento de onda. É uma antena eletricamente pequena provendo polarização circular em torno de uma ampla região angular.

#### 5.1. Comunicação via Satélite

O sistema de comunicação via satélite requer uma cobertura omnidirecional para transmissão telemétrica e recepção de comando em altas frequências. Isso é realizado montando-se dois pares de quadrifilares nos lados opostos do satélite, ver Figura 5.1. Os dados de um teste padrão, de acordo com o modelo de escala das medições feitas da espaçonave, mostram que mais de 95% da esfera de cobertura de cada sistema de antenas tem um ganho maior do que o esperado – 15 dB relativos ao isotrópico circular.

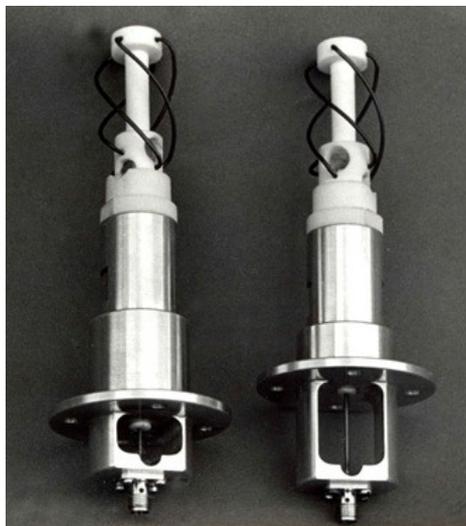


Fig. 5.1 – Antenas Quadrifilares para Satélite  
FONTE: DEA/ETE/INPE - MCT.

#### 5.2. Características Elétricas e Mecânicas

Possui um ganho, na direção do eixo, de 5 dB sobre a polarização circular. Um padrão típico de radiação é mostrado na *Figura 5.2.a)* onde a largura de feixe de

3dB é de aproximadamente  $114^\circ$ . A *Figura 5.2.b)* mostra as características da relação retiradas da antena quadrifilar pela transmissão por um dipolo rotativo. A relação axial é menor que 2 dB e 5 dB para cerca de  $30^\circ$  e de  $60^\circ$ , respectivamente. A quadrifilar é projetada para suportar as condições severas do lançamento e do ambiente espacial. Ambas as extremidades da quadrifilar são conservadas em discos de teflon para sustentar os delicados cabos durante o lançamento.

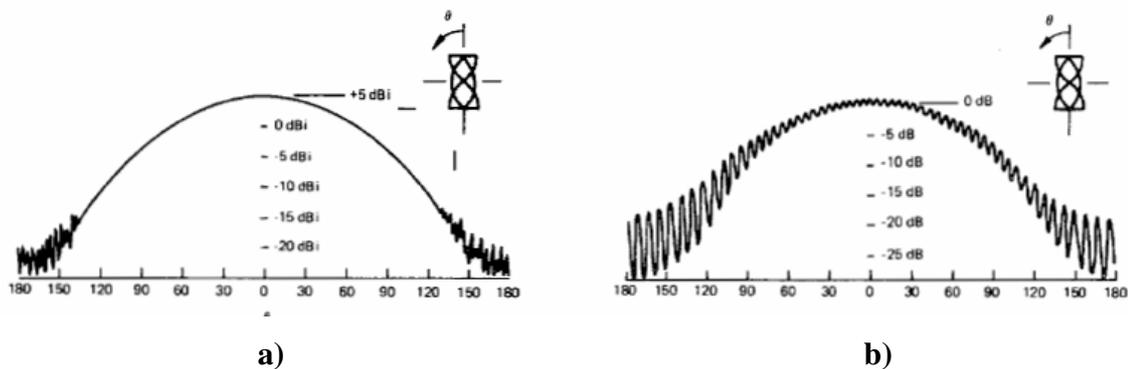


Fig. 5.2 – Padrão de uma antena quadrifilar de transmissão: a) circular polarizada; b) por dipolo rotativo.

**FONTE: BRICKER JR., Randolph W.; Rickert, Herbert H. “An S-Band Resonant Quadrifilar Antenna for Satellite Communication”.**

A quadrifilar é projetada para suportar as condições severas do lançamento e do ambiente espacial. Ambas as extremidades da quadrifilar são conservadas em discos de teflon para sustentar os delicados cabos durante o lançamento.

### 5.3. Princípio Básico de Operação

Para melhor entender o princípio de operação da quadrifilar, deve-se analisar a forma de seu componente. Em geral, uma quadrifilar é uma antena tipo helicoidal com quatro elementos, com estes possuindo uma fração de espira. Pode também ser descrita como dois bifilares ortogonais alimentados em fase de quadratura onde a bifilar é uma antena helicoidal de dois elementos. Uma antena bifilar de meia espira e meio comprimento de onda é mostrada na *Figura 5.3*. Cada bifilar produz um diagrama de radiação de forma toroidal. Duas bifilares ortogonais promovem um diagrama de polarização circular diretiva com a direção desse diagrama determinada pelo planejamento da fase entre bifilares.



Fig. 5.3 – Vistas da antena bifilar

**FONTE: BRICKER JR., Randolph W.; Rickert, Herbert H. “An S-Band Resonant Quadrifilar Antenna for Satellite Communication”.**

#### 5.4. Informações Gerais sobre a Forma da Antena

Serão apresentadas algumas técnicas satisfazer uma antena bifilar de meia espira e meio comprimento de onda, seguidas de dois métodos de planejamento da bifilar para produzir uma quadrifilar. Como com todas as antenas coaxialmente equilibradas, a antena bifilar requer um balun. A função do balun é distribuir correntes iguais de fase oposta do cabo coaxial de alimentação para os elementos da antena.

Três designs conhecidos de balun que podem ser aplicados para a bifilar: o *revestido*, o “*split sheath*” e o *infinito*. Os baluns, revestido e “*split sheath*”, se assemelham pelo fato de ambos serem alimentados por cabos axiais montados ao longo do eixo da bifilar. Em ambos os casos redes adicionais de casamento de impedância são necessárias para ligar o design do balun com a impedância bifilar e coaxial. As Figuras 5.4 e 5.5 mostram um balun revestido e um balun “*split sheath*”, respectivamente.

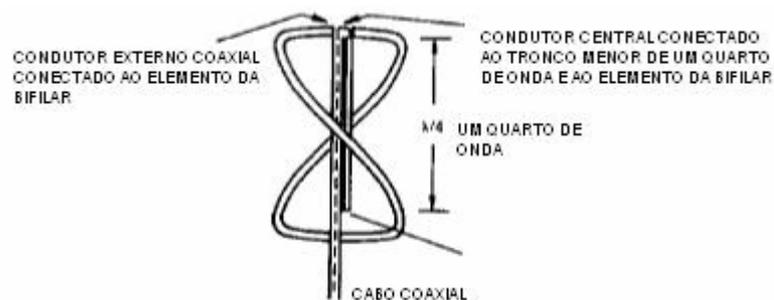


Fig. 5.4 – Balun revestido para Antena bifilar.

**FONTE: BRICKER JR., Randolph W.; Rickert, Herbert H. “An S-Band Resonant Quadrifilar Antenna for Satellite Communication”.**

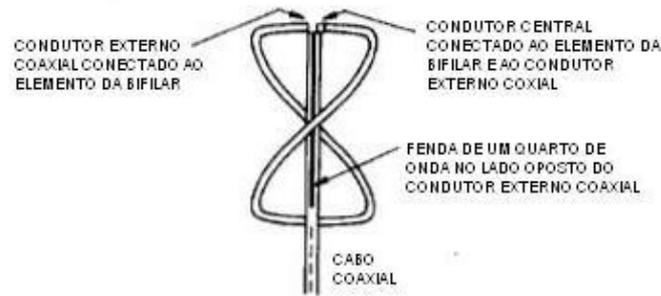


Fig. 5.5 – Balun Split Sheath para Antena Bifilar.

**FONTE: BRICKER JR., Randolph W.; Rickert, Herbert H. “An S-Band Resonant Quadrifilar Antenna for Satellite Communication”.**

O método do balun infinito, mostrado na Figura 5.6, emprega um cabo coaxial semi-rígido como um dos elementos da bifilar. No ponto de abastecimento o condutor central do cabo coaxial é soldado no fio oposto. Essa conexão causa correntes iguais de fase oposta para passarem no plano superior do cabo coaxial e unirem-se ao fio. Nenhum casamento de impedância adicional é necessário, pois o balun infinito não causa transformação de impedância.

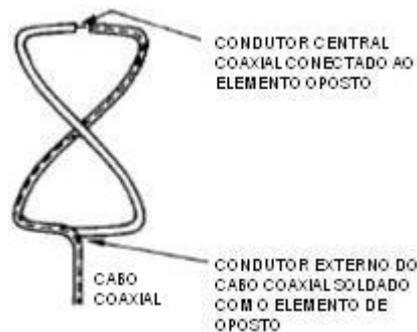


Fig. 5.6 – Balun Infinito para Antena Bifilar.

**FONTE: BRICKER JR., Randolph W.; Rickert, Herbert H. “An S-Band Resonant Quadrifilar Antenna for Satellite Communication”.**

Para a produção da antena quadrifilar precisa-se de uma relação de  $90^\circ$  de fase entre as bifilares, que pode ser alcançada igualmente por dois métodos. O método mais direto é alimentar duas bifilares ortogonais idênticas com uma quadratura híbrida, como é mostrado na Figura 5.6, usando um balun split sheath. Qualquer um dos três designs de balun previamente discutidos pode ser usado. A diferença de fase de  $90^\circ$  é realizada com o custo de perda de potência para o híbrido, adicionando o peso do híbrido ao sistema e precisando de dois cabos para alimentar as duas bifilares.

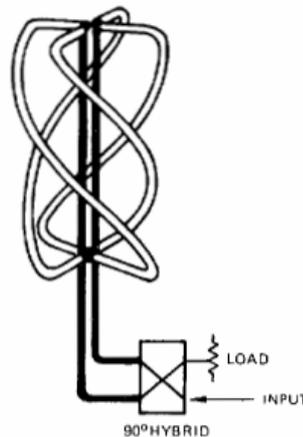


Fig. 5.7 – Antenas bifilares ortogonais idênticas com uma quadratura híbrida.

**FONTE: BRICKER JR., Randolph W.; Rickert, Herbert H. “An S-Band Resonant Quadrifilar Antenna for Satellite Communication”.**

O Segundo método é o self-phased. A diferença de fase de  $90^\circ$  desejada é obtida desenhando as duas antenas bifilares ortogonais, tal que uma seja maior que o comprimento na ressonância e, portanto, indutiva, enquanto a outra bifilar é menor e capacitiva. Este método requer apenas um cabo coaxial para a alimentação. Qualquer um dos três designs de balun pode ser usado. A Figura 5.7 mostra como a bifilar menor é conectada a maior, no ponto de alimentação. Essa conexão determina se a saída da quadrifilar é pela frente ou por trás. A fase entre as bifilares determina a direção padrão e o sentido da relação de fase de  $90^\circ$  determina por onde termina a radiação da quadrifilar.

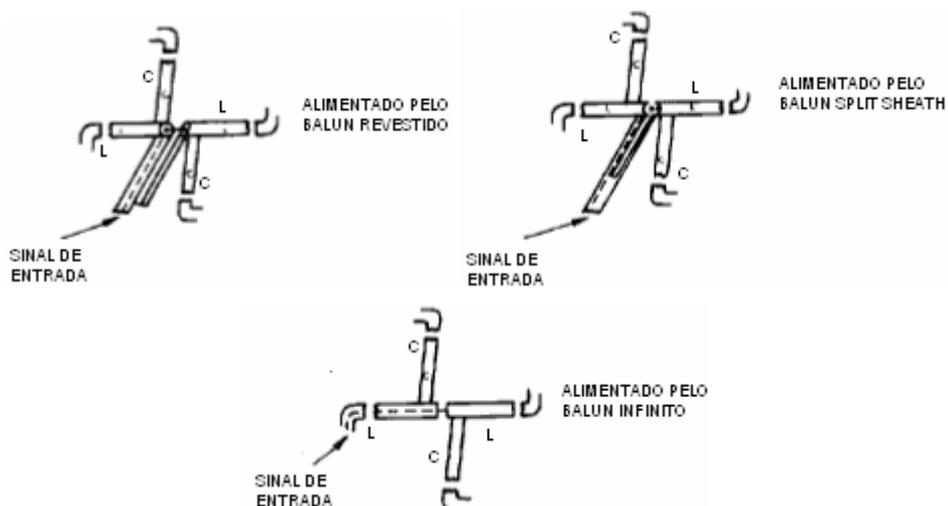


Fig. 5.8 – Antenas bifilares ortogonais idênticas com uma quadratura híbrida.

**FONTE: BRICKER JR., Randolph W.; Rickert, Herbert H. “An S-Band Resonant Quadrifilar Antenna for Satellite Communication”.**



A quadrifilar de banda-S, de meia espira e meio comprimento de onda desenhado para sistemas de satélites é alimentado pelo balun infinito e pelo sistema self-phased. Este método foi escolhido por ser o mais aplicável para aplicação espacial. A escolha pelo Balun infinito foi feita porque, diferente dos outros métodos de balun, o ajuste de impedância não é necessário, e também, pois ele elimina o peso de um membro axial, uma vez que o cabo coaxial é um dos elementos da antena. Preferiu-se o método self-phased porque o híbrido incluiria perdas e mais peso para o sistema, e ainda iria requerir duas linhas de alimentação para as bifilares.

## CAPÍTULO 6

### Modelagem da Antena Quadrifilar

A modelagem da antena quadrifilar foi realizada no CRSPE/INPE – MCT, com o *software* “Solid Works”. Trata-se de um programa de Desenho Mecânico ideal para desenhos de estruturas complexas como a estudada.

Como comentado anteriormente, estas antenas foram projetadas e desenvolvidas pelo INPE/MCT para o lançamento dos satélites SCD e o seu projeto não estava informatizado até o presente momento. Para conseguir isso, foi necessário o estudo dos desenhos feitos à “mão livre” e em duas dimensões, para redesenhá-lo em três dimensões no Solid Works.

Para conseguir fazer a transição para o programa, foi necessário organizar uma tabela de pontos em três dimensões para cada uma das hélices. Para achar esses pontos, foram feitas análises do projeto e usadas relações trigonométricas.

A seguir, será feita a demonstração dos passos que foram realizados para o desenho da hélice do elemento capacitivo. O mesmo raciocínio foi utilizado para os demais elementos da antena.

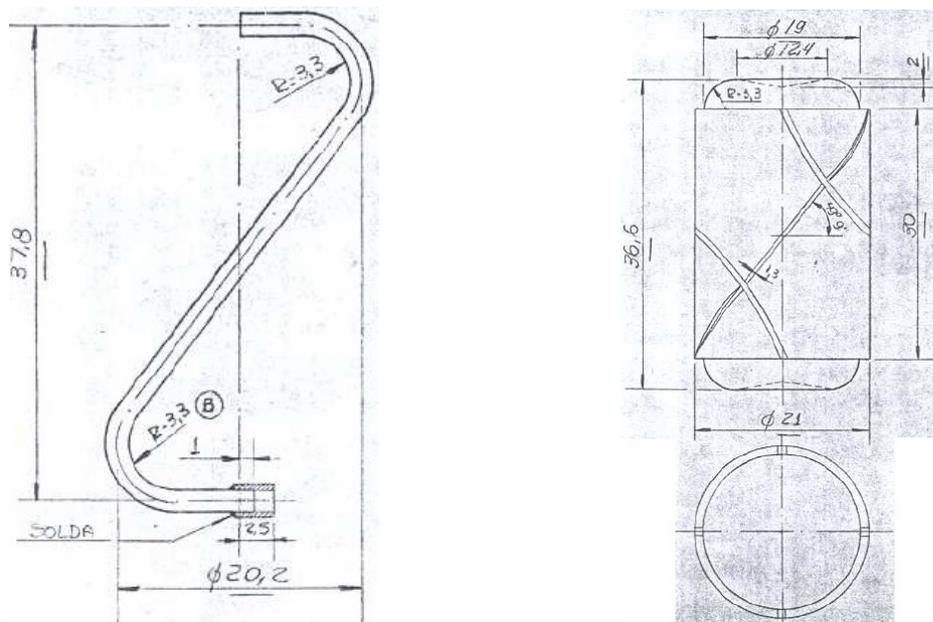


Fig. 6.1 – Projeto original do “Elemento Capacitivo”.

FONTE: Projeto da Antena Quadrifilar, pelo Dr. Carlos Alberto Ienaco Miranda, da DEA/ETE/INPE – MCT.

*Relatório Final de Atividades*

Analisando os desenhos em duas dimensões, podem-se retirar algumas informações importantes, como:

Diâmetro da hélice: 20,2 mm

Altura da hélice: 37,8 mm

Raio de dobramento do fio: 3,3 mm

Ângulo: 49° 9'

O raio de dobramento do fio tem a finalidade de evitar a danificação do cabo coaxial e foi adotado para todos os cabos. A figura 6.1 mostra o projeto original da hélice.

Com base nesses dados obtidos pelo desenho da figura acima se pôde encontrar os pontos. As figuras 6.2 e 6.3 mostram, respectivamente, a tabela de pontos do elemento capacitivo e a curva formada por eles.

Tabela 6.1 – Pontos em três dimensões do elemento capacitivo.

| Num. | X        | Y        | Z       |                           |
|------|----------|----------|---------|---------------------------|
| 1    | 0 mm     | 0 mm     | 0 mm    | Reta                      |
| 2    | 1 mm     | 0 mm     | 0 mm    |                           |
| 3    | 2 mm     | 0 mm     | 0 mm    |                           |
| 4    | 3 mm     | 0 mm     | 0 mm    |                           |
| 5    | 4 mm     | 0 mm     | 0 mm    |                           |
| 6    | 5 mm     | 0 mm     | 0 mm    |                           |
| 7    | 6 mm     | 0 mm     | 0 mm    |                           |
| 8    | 6,8 mm   | 0 mm     | 0 mm    | Curva de 3,3 mm<br>49° 9' |
| 9    | 9,1 mm   | 2,5 mm   | 2,15 mm |                           |
| 10   | 8,75 mm  | 6,3 mm   | 5,01 mm | 30°                       |
| 11   | 5,01 mm  | 12,6 mm  | 8,75 mm | 60°                       |
| 12   | 0 mm     | 18,9 mm  | 10,1 mm | 90°                       |
| 13   | -5,01 mm | 25,2 mm  | 8,75 mm | 60°                       |
| 14   | -8,75 mm | 31,5 mm  | 5,01 mm | 30°                       |
| 15   | -9,1 mm  | 35,28 mm | 2,15 mm | Curva de 3,3 mm<br>49° 9' |
| 16   | -6,8 mm  | 37,8 mm  | 0 mm    |                           |
| 17   | -6 mm    | 37,8 mm  | 0 mm    | Reta                      |
| 18   | -5 mm    | 37,8 mm  | 0 mm    |                           |
| 19   | -4 mm    | 37,8 mm  | 0 mm    |                           |
| 20   | -3 mm    | 37,8 mm  | 0 mm    |                           |
| 21   | -2 mm    | 37,8 mm  | 0 mm    |                           |
| 22   | -1 mm    | 37,8 mm  | 0 mm    |                           |
| 23   | 0 mm     | 37,8 mm  | 0 mm    |                           |

**FONTE:** Tabela construída pelos Acadêmicos Luzia Lux Lock e Jean Paulo Guarnieri, no CRSPE/INPE – MCT.

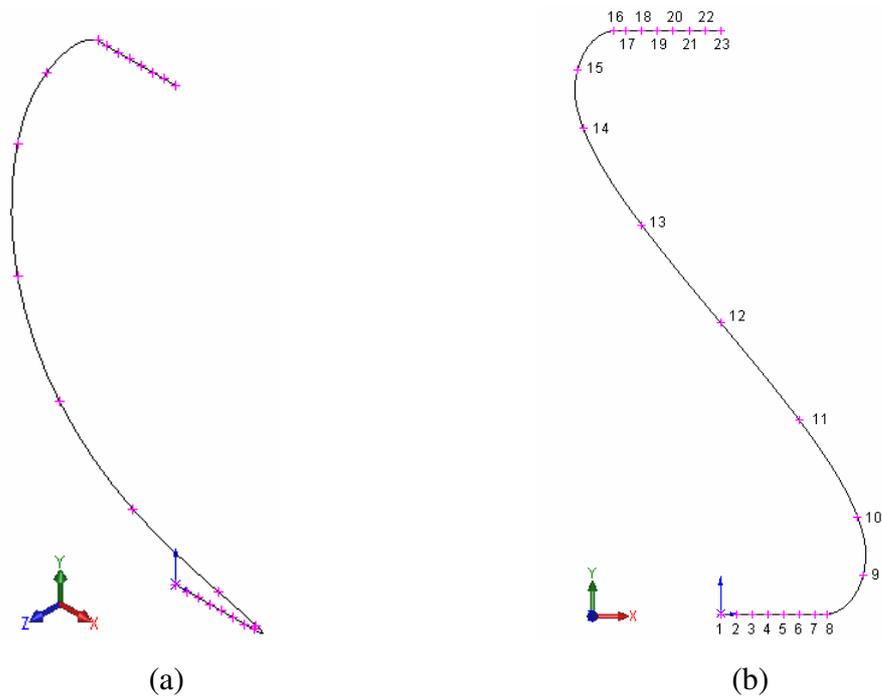


Fig. 6.2 – (a) Vista isométrica e (b) vista do plano “xy” da curva gerada no Solid Works pelos pontos encontrados para o elemento capacitivo.

**FONTE: Desenhado pelos Acadêmicos Luzia Lux Lock e Jean Paulo Guarnieri, no CRSPE/INPE – MCT.**

Os primeiros 7 pontos foram colocados para dar uma característica de reta para o começo do cabo, se tivessem menos pontos o programa tenderia a desenhar uma linha curva. Na Figura 6.4 (a) tem-se uma visualização do fio do plano “yz”, onde se pode enxergar o ângulo de  $49^{\circ} 9'$  e o raio de 3,3 mm. A seta indica o plano que foi escolhido para a visualização do primeiro ponto da curva de 3,3 mm. A Figura 6.4 (b) indica este novo plano. No primeiro ponto da curva, ponto 8 da Tabela 6.1, indicado na Figura 6.2, observa-se que a coordenada “x” é 6,8 mm, encontrado pela subtração do raio de 3,3 mm do raio da hélice. As outras coordenadas do ponto, como se percebe, são zero.

Logo:

$$P_8 = (6,8; 0; 0).$$

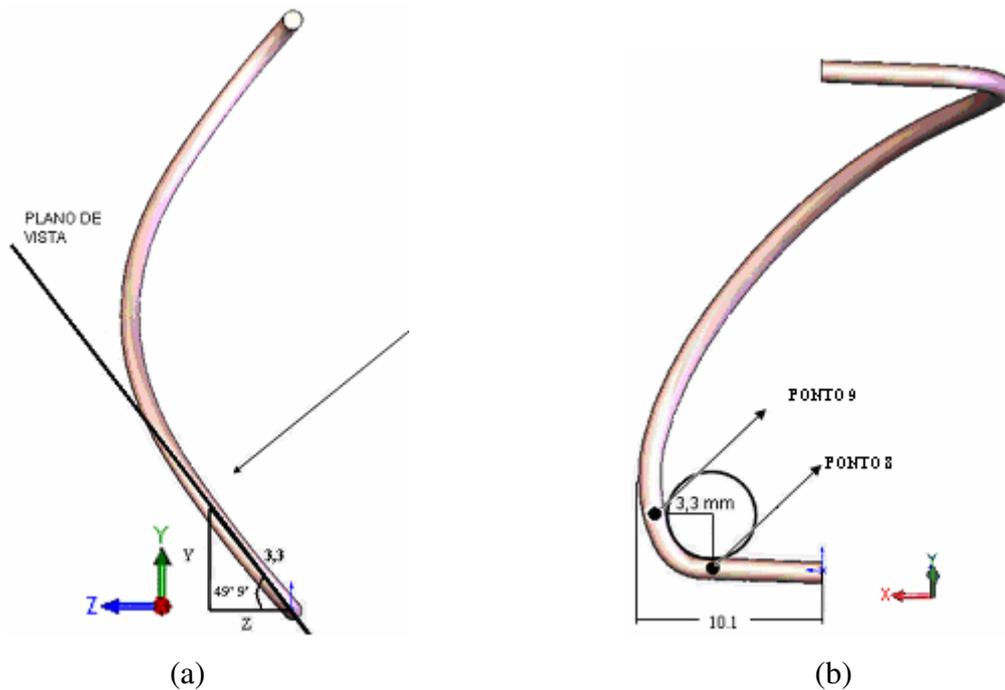


Fig. 6.3 – Elemento capacitivo, (a) vista do plano “yz”; e (b) vista do novo plano.

**FONTE:** Desenhado pelos Acadêmicos Luzia Lux Lock e Jean Paulo Guarnieri, no CRSPE/INPE – MCT.

A coordenada “x” do nono ponto percebe-se que é um pouco menos que o raio de 10,1 mm, por aproximação, adotou-se

$$X_9 = 10,1 - 1 = 9,1mm .$$

A altura Y da Figura 6.4 (a) é

$$Y_9 = \text{sen}(49^{\circ}9') \cdot 3,3 = 2,5mm ,$$

e o comprimento Z é

$$Z_9 = \text{cos}(45^{\circ}9') \cdot 3,3 = 2,15mm .$$

Assim, o ponto 9 ficará:

$$P_9 = (9,1; 2,5; 2,15).$$

Do ponto 10 ao 14, visualizou-se a hélice do plano “yz”, que seria uma vista à direita da hélice, e do plano “xz”, que visualiza o objeto do topo.

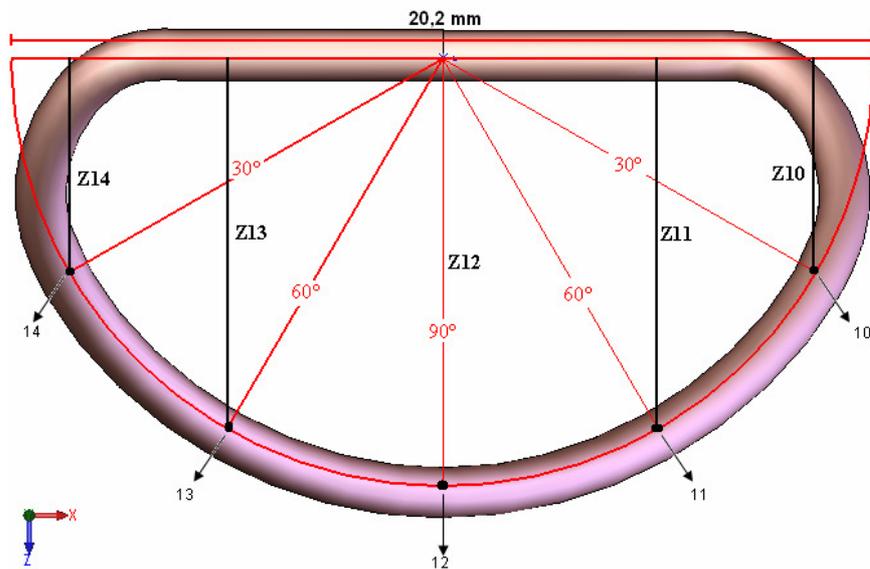


Fig. 6.4 – Vista de topo, plano “xz”, dos pontos 10 a 14 e os ângulos dos semicírculos onde eles se encontram.

**FONTE:** Desenhado pelos Acadêmicos Luzia Lux Lock e Jean Paulo Guarnieri, no CRSPE/INPE – MCT.

Sabe-se que o raio é de 10,1 mm, logo, a hipotenusa dos triângulos será sempre este valor. Então, fazemos:

$$Z_{10} = \text{sen}(30^\circ) \cdot 10,1 = 5,05\text{mm}$$

$$Z_{11} = \text{sen}(60^\circ) \cdot 10,1 = 8,75\text{mm}$$

$$Z_{12} = \text{raio} = 10,1\text{mm}$$

$$Z_{13} = Z_{11} = 8,75\text{mm}$$

$$Z_{14} = Z_{10} = 5,05\text{mm}$$

A partir destes cálculos, puderam-se achar os valores de X para estes pontos usando o co-seno:

$$X_{10} = \text{cos}(30^\circ) \cdot 10,1 = 8,75\text{mm}$$

$$X_{11} = \text{cos}(60^\circ) \cdot 10,1 = 5,05\text{mm}$$

$$X_{12} = \text{origem} = 0\text{mm}$$

$$X_{13} = -X_{11} = -5,05\text{mm}$$

$$X_{14} = -X_{10} = -8,75\text{mm}$$

É possível perceber que estes ângulos dividem em 6 partes iguais a hélice. Logo, para achar os valores da coordenada Y, é só pegar a altura inicial e dividi-la também em 6. A altura é de 37,8 mm, assim:

$$Y_{10} = \frac{37,8}{6} = 6,3mm$$

$$Y_{11} = \frac{37,8}{6} \cdot 2 = 12,6mm$$

$$Y_{12} = \frac{37,8}{6} \cdot 3 = 18,9mm$$

$$Y_{13} = \frac{37,8}{6} \cdot 4 = 25,2mm$$

$$Y_{14} = \frac{37,8}{6} \cdot 5 = 31,5mm$$

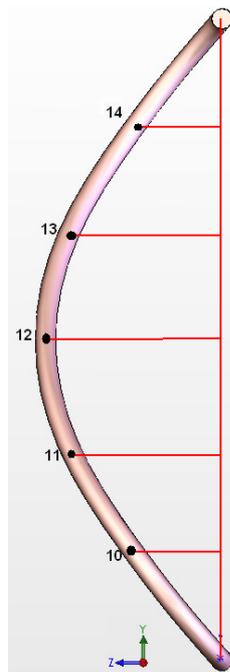


Fig. 6.5 - Vista do plano “yz” e dos pontos 10 até 14.

**FONTE:** Desenhado pelos Acadêmicos Luzia Lux Lock e Jean Paulo Guarnieri, no CRSPE/INPE – MCT.

Dessa maneira foram encontrados:

$$P_{10} = (8,75; 6,3; 5,05);$$

$$P_{11} = (5,05; 12,6; 8,75);$$

$$P_{12} = (0; 18,9; 10,1);$$

$$P_{13} = (-5,05; 25,2; 8,75);$$

$$P_{14} = (-8,75; 31,5; 5,05).$$

Na seqüência têm-se os pontos da curva de 3,3 mm e de ângulo de  $49^{\circ} 9'$  novamente. O raciocínio usado para eles é o mesmo que para os explicados anteriormente. A distância  $X_{15}$  é a mesma da  $X_9$ , porém, para o sentido oposto, logo:

$$X_{15} = -X_9 = -9,1mm .$$

Para o  $Y_{15}$  se pega a altura de 37,8 mm e subtraem-se os 2,5 mm na relação Pitágoras, resultando:

$$Y_{15} = 37,8 - 2,5 = 35,5mm .$$

A coordenada  $Z_{15}$  possui o mesmo valor da  $Z_9$  e é encontrada pelo mesmo método:

$$Z_{15} = \cos(45^{\circ}9') \cdot 3,3 = 2,15mm$$

Em conseqüência, o próximo ponto também é facilmente encontrado, resultando:

$$P_{15} = (-9,1; 35,5; 2,15);$$

$$P_{16} = (-6,8; 37,8; 0).$$

Os demais pontos foram feitos apenas para fixar a reta, mantendo-se as coordenadas  $y = 37,8$  mm e  $z = 0$  mm fixas, e aumentando-se um milímetro a cada ponto no eixo “x”. Dessa forma:

$$P_{17} = (-6; 37,8; 0);$$

$$P_{18} = (-5; 37,8; 0);$$

$$P_{19} = (-4; 37,8; 0);$$

$$P_{20} = (-3; 37,8; 0);$$

$$P_{21} = (-2; 37,8; 0);$$

$$P_{22} = (-1; 37,8; 0);$$

$$P_{23} = (0; 37,8; 0).$$

Analogamente, foram desenhados o cabo coaxial e o elemento indutivo, ilustrados na figura a seguir.

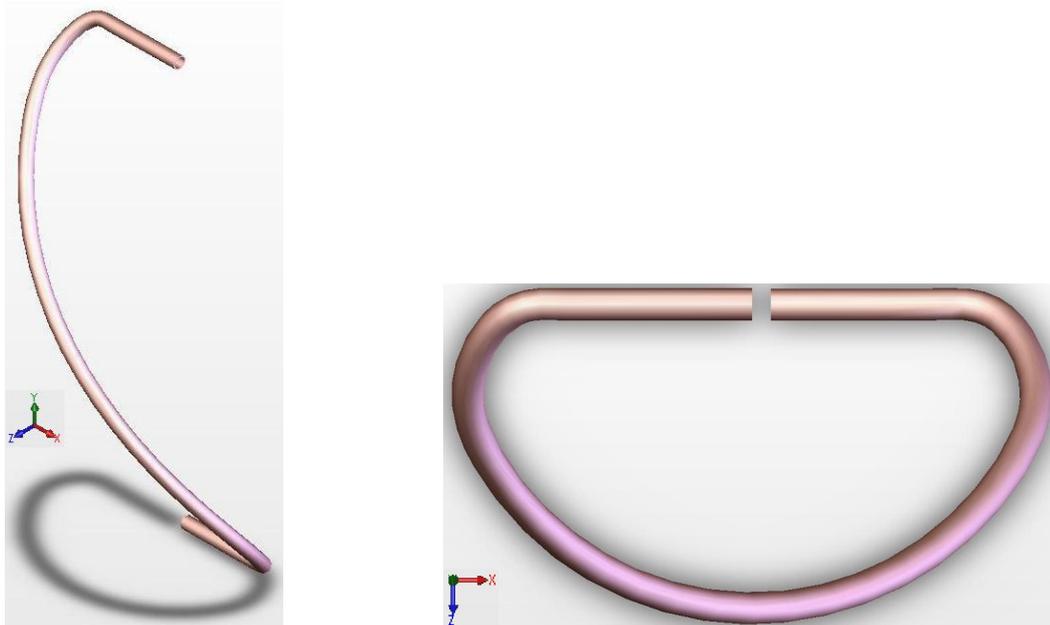


Fig. 6.6 – Vistas isométrica e de topo do elemento indutivo.

**FONTE:** Desenhado pelos Acadêmicos Luzia Lux Lock e Jean Paulo Guarnieri, no CRSPE/INPE – MCT.

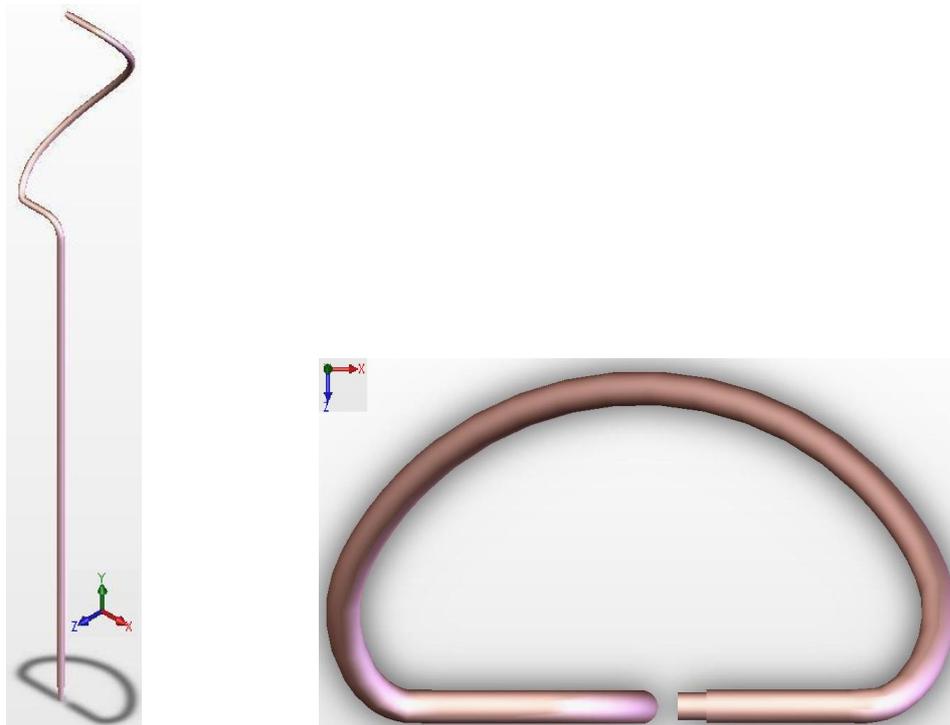


Fig. 6.7 – Vistas isométrica e de topo do cabo coaxial.

**FONTE:** Desenhado pelos Acadêmicos Luzia Lux Lock e Jean Paulo Guarnieri, no CRSPE/INPE – MCT.

Terminados os desenhos, foi feita a união dos cabos conforme o estudado no Capítulo 5, e encaixado num reforço central. As Figuras 6.8 e 6.9 mostram,

respectivamente, o desenho do reforço central usado para dar suporte aos cabos e a o resultado da antena quadrifilar.

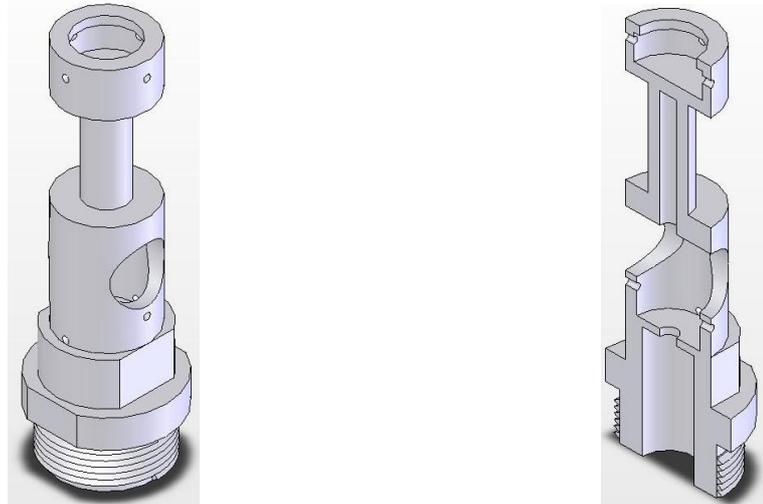


Fig. 6.8 – Reforço Central em vista isométrica e de corte transversal.

**FONTE:** Desenhado pelos Acadêmicos Luzia Lux Lock e Jean Paulo Guarnieri, no CRSPE/INPE – MCT.

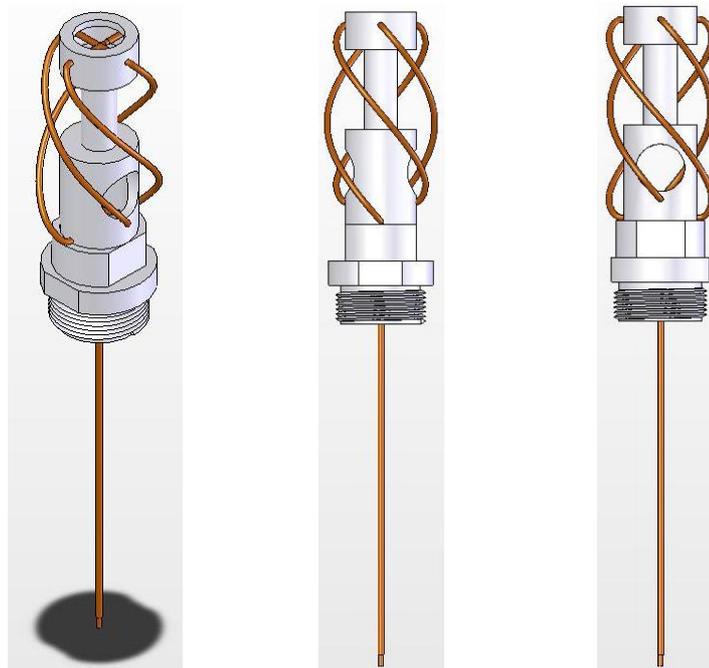


Fig. 6.9 – Vistas isométrica, da direita e de frente da antena quadrifilar.

**FONTE:** Desenhado pelos Acadêmicos Luzia Lux Lock e Jean Paulo Guarnieri, no CRSPE/INPE – MCT.

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSÃO

Subsistemas de Coleta de Dados (DCS) e de Telecomunicações de Serviço (TMTC) requerem antenas que forneçam uma cobertura quase omnidirecional, tanto na recepção, quanto na transmissão. As antenas compõem uma parte vital nos satélites e em suas aplicações. Uma transmissão de sinais realizada de forma correta e eficaz é de extrema importância para a aquisição de dados em estações terrenas, assim como para o controle e telemetria do satélite. As antenas quadrifilares são responsáveis por este trabalho nos satélites brasileiros e sino-brasileiros em órbita (SCD-1, SCD-2 e CBERS) e também nos satélites ainda em desenvolvimento. A cobertura obtida pelas antenas quadrifilares dá-se montando pares de hélices quadrifilares com polarização circulares opostas nos painéis superior e inferior do satélite. A antena quadrifilar utilizada para o subsistema (TT & C) é do tipo meia espira com meio comprimento de onda, composta de duas bifilares ortogonais em quadratura de fase.

A proposta deste Projeto foi de realizar uma revisão bibliográfica sobre antenas, estudo de *softwares* de desenho mecânico e de análise de estruturas em alta frequência; modelagem, mudança de parâmetros e simulações da antena quadrifilar utilizada para aplicação espacial. Para estes fins, a Acadêmica buscou conhecimento nas áreas de antenas, estudando suas características, sistemas de recepção e transmissão, com um maior enfoque no tópico de antenas helicoidais e posteriormente antenas quadrifilares. Realizou estudos de projetos de antenas quadrifilares desenhados à “mão livre” em duas dimensões. Aprendeu a utilizar as ferramentas do Software “Solid Works”, especializado em projetos de estruturas mecânicas e dessa forma, redesenhou as antenas em três dimensões com o auxílio deste *software*.

Assim como com o Solid Works, a Bolsista teve formação na utilização do programa “HFSS – High Frequency Structure Simulator”, um *software* especializado em estruturas de alta frequência. Foram feitos testes com a antena bifilar, porém, a análise requer mais amostras para se obter resultados expressivos. A Acadêmica, dentro de seus limites de conhecimento de antenas e dos ajustes da mesma, conseguiu obter bons resultados com os *softwares* e realizar a interface entre os programas com sucesso.



A Aluna teve bom desenvolvimento científico, adquirindo conhecimentos multidisciplinares, extracurriculares, desenvolvendo habilidades de pesquisa, planejamento e experimentação, tanto em trabalhos de grupo como individuais. Estas habilidades foram importantes para o crescimento profissional e pessoal da bolsista, com aprimoramento técnico e seu desenvolvimento em áreas de formação pessoal, aprimorando suas habilidades de liderança em trabalhos em grupo.

Finalmente, a Bolsista de Iniciação Científica do Programa PIBIC/INPE - CNPq/MCT, com o Projeto de Pesquisa desenvolvido no âmbito da Parceria INPE/MCT - UFSM, no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT, em Santa Maria, no Rio Grande do Sul, cumpriu com suas atividades propostas e obteve uma grande experiência técnica e científica no desenvolvimento desse Projeto de Pesquisa e com a elaboração do seu respectivo Relatório. Portanto, consideramos este Relatório, bem como as atividades propostas concluídos.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRICKER JR., Randolph W.; Rickert, Herbert H. “An S-Band Resonant Quadrifilar Antenna for Satellite Communication”.

MIRANDA, Carlos Alberto Iennaco. “Theoretical and Experimental Analysis of Quadrifilar Antennas for the First Brazilian Satellite”. In: DFVLR/CTA WORKSHOP ON ANTENNAS, PROPAGATION AND SCATTERING, 1987, São José dos Campos, 1987.

COSTA JR, Vicente de Paulo Damasceno da; MIRANDA, Carlos Alberto Iennaco. “Antena Banda S para Telemetria e Telecomando de Satélites. In: VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROONDAS E OPTOELETRÔNICA, 1994, Belém. Volume I, pp. 335-337.

BALANIS, Constantine A.. “Antenna Theory: Analysis and Design”, Second Edition, 1997, John Wiley & Sons, Inc.

ESTEVES, Luiz Cláudio. *Antenas* – “Teoria Básica e aplicações”, 1980, McGraw-Hill.

FLEMING, Wilton José. “Antenas”, Apostila do Centro de Desenvolvimento e Tecnologia – CEDETEC/INATEL.

LIMA, Antonio Cezar de Castro. “Fundamentos de Telecomunicações – Teoria Eletromagnética e Aplicações”, 2002, Apostila da Universidade Federal da Bahia – UFBA.



## APÊNDICE A

### TÍTULOS E RESUMOS DE TRABALHOS APRESENTADOS

O Apêndice A contém resumos/textos dos trabalhos apresentados, e de trabalhos que foram aceitos, mas que o evento ocorrerá posteriormente à entrega deste relatório. Trata-se de eventos nacionais e internacionais, de autoria e co-autoria do aluno, durante o período de vigência do Projeto de Pesquisa do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, desenvolvido no CRSPE/INPE – MCT, em Santa Maria, RS.

**EVENTO: Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia - CRICTE 2005** - Realizado de 05 a 07 de novembro de 2005, na Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE – Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil.

**1 - ANÁLISE E OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS DE ANTENAS DE HÉLICES QUADRIFILARES; Luzia Lux Lock, Carlos Alberto Iennaco Miranda, Diego dos Santos, Thiago Brum Pretto, Nelson J. Schuch.**

**2 - ANÁLISE DO DESEMPENHO DE ANTENAS OPERANDO NA BANDA - X PARA A SEGUNDA GERAÇÃO DOS SATÉLITES CBERS; Diego dos Santos, Carlos Alberto Iennaco Miranda, Luzia Lux Lock, Nelson J. Schuch.**

**3 - DESENVOLVIMENTO DE ANTENAS DIPOLO DO SISTEMA LOFAR PARA ESTUDO DE RÁDIO INTERFERÊNCIA NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL; Cleomar Pereira da Silva, Nelson J. Schuch, Maiquel S. Canabarro, Diego dos Santos, Luzia Lux Lock, Thiago Brum Pretto.**

**EVENTO: XX Jornada Acadêmica Integrada – JAI** - Realizado de 08 a 10 de março de 2006, na Universidade Federal de Santa Maria – UFSM – Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.



**4 - OTIMIZAÇÃO DE ANTENAS TIPO HÉLICE QUADRIFILAR PARA APLICAÇÃO ESPACIAL; Luzia Lux Lock, Carlos Alberto Iennaco Miranda, Diego dos Santos, Thiago Brum Pretto, Nelson Jorge Schuch.**

**5 - ÓPTICA FÍSICA APLICADA A SÍNTESE DE ANTENAS TIPO REFLETOR MOLDADO PARA OS SATÉLITES CBERS-3 E 4; Diego dos Santos, Carlos Alberto Iennaco Miranda, Luzia Lux Lock, Nelson J. Schuch.**

**EVENTO: 57th International Astronautical Congress 2006 – IAC 2006 – A ser realizado de 02 a 06 de outubro de 2006 – Valência, Espanha. À ser apresentado.**

**6 - ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF QUADRIFILAR ANTENNAS FOR BRAZILIAN SATELLITES; Luzia Lux Lock, Carlos Alberto Iennaco Miranda, Diego dos Santos, Thiago Brum Pretto, Nelson Jorge Schuch.**



## **ANÁLISE E OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS DE ANTENAS DE HÉLICES QUADRIFILARES**

Luzia Lux Lock, Diego dos Santos, Thiago Brum Preto, Carlos Alberto Iennaco Miranda, Nelson Jorge Schuch,  
luzia@lancesm.ufsm.br, Universidade Federal de Santa Maria

O Brasil possui um sistema de coleta de dados ambientais, com base na utilização de satélites e plataformas de coleta de dados (PCDs) distribuídas pelo Território Nacional. Os satélites SCD-1, o SCD-2 e o CBERS-2 desenvolvidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT trabalham coletando os dados das PCDs e os retransmitindo para as estações receptoras, em Cuiabá e Alcântara. Seus Subsistemas de Coleta de Dados (DCS) e de Telecomunicações de Serviço (TMTC) 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. Tendo em vista a aplicação em outros satélites em desenvolvimento, o objetivo deste projeto é realizar a análise e otimização dos parâmetros deste tipo de antena, levando em consideração os materiais utilizados em sua fabricação, bem como de sua estrutura. O Projeto prevê, no desenvolvimento das antenas, a modelagem e otimização, utilizando-se o método de elementos finitos em eletromagnetismo, incorporado em programas de simulação de estruturas em alta frequência.



## **ANÁLISE DO DESEMPENHO DE ANTENAS OPERANDO NA BANDA – X PARA A SEGUNDA GERAÇÃO DOS SATÉLITES CBERS**

Diego dos Santos, Carlos Alberto Iennaco Miranda, Luzia Lux Lock, Nelson Jorge Schuch, diego@lacesm.ufsm.br, Universidade Federal de Santa Maria

Um programa de cooperação foi assinado em 6 de julho de 1988 entre a China e o Brasil para desenvolver dois satélites de Observação da Terra. Esse programa conjunto de Satélites Sino-Brasileiros de Recursos Terrestres (CBERS), combina os recursos financeiros e de especialistas dos dois países, para estabelecer um sistema completo de sensoriamento remoto, que é competitivo e compatível com o presente cenário internacional. O programa CBERS foi concebido como modelo de cooperação horizontal e intercâmbio entre países em desenvolvimento. Com isto, o Brasil ingressou no seleto grupo de Países detentores da tecnologia de sensoriamento remoto, obtendo desta forma, uma poderosa ferramenta para monitorar seu território de dimensões continental, com satélites próprios, buscando consolidar autonomia no segmento de Observação da Terra. O Programa CBERS contemplou num primeiro momento dois satélites, CBERS-1 e 2, com o sucesso, ambos os Governos decidiram expandir o acordo e incluir outros dois satélites da mesma categoria, os satélites CBERS-3 e 4, como uma segunda etapa da parceria Sino-Brasileira. A participação Brasileira que antes era de 30%, passa a ser ampliada para 50%, o que leva o Brasil a uma condição de igualdade com a China. A Divisão de Eletrônica Aeroespacial, DEA/ETE/INPE – MCT, propôs um projeto com o Laboratório de Radiofrequência e Telecomunicações do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT, na área de Telecomunicações, para efetuar a análise e síntese de antenas do tipo refletor moldado para a transmissão dos dados na Banda – X, que serão aplicadas nos satélites CBERS-3 e 4. A metodologia a ser empregada será a Óptica Física Assintótica para o cálculo do campo espalhado pelo refletor e a otimização de sua superfície com métodos de otimização não lineares.



## **DESENVOLVIMENTO DE ANTENAS DIPOLO DO SISTEMA LOFAR PARA ESTUDO DE RÁDIO INTERFERÊNCIA NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL**

Cleomar Pereira da Silva, Maiquel dos Santos Canabarro, Diego dos Santos, Luzia Lux Lock, Thiago Brum Pretto, Nelson Jorge Schuch, cleomar@lacesm.ufsm.br, Universidade Federal de Santa Maria

Radiotelescópios são equipamentos projetados para observar os fenômenos cósmicos através do monitoramento do espectro eletromagnético dentro de uma determinada faixa de frequências. O Sistema LOFAR é um radiotelescópio digital que está sendo projetado e desenvolvido na Europa para trabalhar na faixa de frequências de 10 a 240 MHz. É composto por um conjunto de antenas dipolos omnidirecionais e por um computador central capaz de simular um telescópio físico de até 350 km de raio. No projeto planejado no âmbito da Parceria INPE - UFSM e em andamento no Observatório Espacial do Sul, OES/CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS, está sendo estudada a viabilidade de instalação de algumas antenas similares as do LOFAR. Estudos de rádio interferência vêm sendo realizados periodicamente no Observatório Espacial do Sul com o uso de antenas monopolos. O objetivo desta segunda etapa é adquirir o conhecimento necessário ao projeto e construção de um Sistema Protótipo similar ao Sistema LOFAR, com início na confecção de antenas dipolo similares as utilizadas pelo Sistema Europeu. Estas antenas servirão para a realização de um novo estudo de rádio interferência e comparação com os resultados anteriores. Como metodologia esta sendo efetuada uma revisão da literatura para obter informações atualizadas sobre as antenas que estão sendo utilizadas no Sistema LOFAR. Será escolhido um modelo de antena dipolo para a aquisição do nível de rádio interferência. O nível de rádio interferência assim obtido será comparado com o nível de rádio interferência obtido a partir de uma antena monopolo. A avaliação dos parâmetros da antena a ser construída será realizada com *Network Analyzer* e o *Spectrum Analyzer*. São esperados como resultados a consolidação de um modelo de antena dipolo eficiente na avaliação das características de rádio interferência do local. É importante termos dados atualizados a respeito do nível de rádio interferência no Observatório, visto que a instalação de antenas do Sistema LOFAR na região poderia servir de complemento à pesquisa, fornecendo informações sobre o Hemisfério Sul Celeste que não poderiam ser obtidas com a atual configuração do Sistema que está sendo instalado na Holanda, no Hemisfério Norte.



## **OTIMIZAÇÃO DE ANTENAS TIPO HÉLICE QUADRIFILAR PARA APLICAÇÃO ESPACIAL <sup>1</sup>**

Luzia Lux Lock <sup>2</sup>, Diego dos Santos<sup>3</sup>, Thiago Brum Preto<sup>4</sup>,  
Carlos Alberto Iennaco Miranda<sup>5</sup>, Nelson J. Schuch<sup>6</sup>

O estudo de antenas para aplicações em satélites é tecnologicamente relevante para o Brasil. O País possui a Missão de Coleta de Dados, cujo objetivo é fornecer um sistema de coleta de dados ambientais, com base na utilização de satélites e plataformas de coleta de dados (PCDs) distribuídas pelo Território Nacional.

Subsistemas de Coleta de Dados (DCS) e de Telecomunicações de Serviço (TMTC) requerem antenas que forneçam uma cobertura quase omnidirecional, tanto na recepção, quanto na transmissão. Estas coberturas são obtidas a partir da montagem de pares de hélices quadrifilares com polarizações circulares opostas nos painéis superior e inferior do satélite. Dessa forma, o Instituto Nacional de Pesquisa Espacial, INPE – MCT, o qual possui satélites próprios em órbita, tais como o SCD-1, SCD-2 e o CBERS 2, vem desenvolvendo projetos para otimizar os parâmetros deste tipo de antena. Neste projeto, está sendo realizado o estudo de antenas, em especial das quadrifilares, com modelagens por meio de programas como o Solid Works e o High Frequency Structure Simulator (HFSS). O objetivo é analisar e otimizar este tipo de antena, levando em consideração os materiais utilizados em sua fabricação, bem como de sua estrutura.

1 - Trabalho desenvolvido no Laboratório de Radiofrequência e Telecomunicações do CRSPE/INPE – MCT, em Parceria com o LACESM/CT – UFSM.

2 - Apresentador: Acadêmica do Curso de Engenharia Elétrica - LACESM/CT/UFSM

3 – Co-autor: Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica - LACESM/CT/UFSM

4 – Co-autor: Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica - LACESM/CT/UFSM

5 - Orientador: Dr. Pesquisador DEA/ETE/INPE – MCT, São José dos Campos, SP.

6 - Co-Orientador: Pesquisador e Coordenador da Ação 1275, PPA 2004-2007, do PNAE – Implantação do CRSPE/INPE – MCT.



## **ÓPTICA FÍSICA APLICADA A SÍNTESE DE ANTENAS TIPO REFLETOR MOLDADO PARA OS SATÉLITES CBERS-3 E 4<sup>1</sup>**

Diego dos Santos<sup>2</sup>, Luzia Lux Lock<sup>3</sup>, Carlos Alberto Iennaco Miranda<sup>4</sup>,  
Nelson J. Schuch<sup>5</sup>

O Programa CBERS nasceu de uma parceria inédita entre Brasil e China no setor técnico-científico espacial. Com isto, o Brasil ingressou no seleto grupo de Países detentores da tecnologia de sensoriamento remoto, obtendo desta forma, uma poderosa ferramenta para monitorar seu imenso território com satélites próprios de sensoriamento remoto, buscando consolidar autonomia neste segmento.

O Programa CBERS desenvolveu dois satélites de sensoriamento remoto, CBERS-1 e 2, e com o sucesso obtido, ambos os governos decidiram expandir o acordo e incluir outros dois satélites da mesma categoria, os satélites CBERS-3 e 4, como uma segunda etapa da parceria sino-brasileira.

Nesse projeto, a participação brasileira que antes era de 30 %, está sendo ampliada para 50%, o que leva o Brasil à uma condição de igualdade com o parceiro. A previsão de lançamento para o CBERS-3 é para 2008, e para o CBERS-4 em 2010.

Este trabalho, proposto pela Divisão de Eletrônica Aeroespacial, DEA/ETE/INPE – MCT, visa apresentar as bases de um novo projeto em desenvolvimento no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT. A primeira parte do projeto tem como objetivo a síntese e análise de uma antena do tipo refletor moldado, para a transmissão dos dados na Banda – X, nos satélites CBERS-3 e 4, utilizando-se a Óptica Física e Óptica Física Assintótica. O objetivo final é a comparação com resultados obtidos através de um modelo desta mesma antena desenvolvida na Divisão de Eletrônica Aeroespacial em São José dos Campos, onde se fez uso da Óptica Geométrica.

1 - Trabalho desenvolvido no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRSPE/INPE - MCT, em parceria com o LACESM/CT – UFSM

2 - Apresentador: Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica LACESM/CT - UFSM

3 - Co-autora: Acadêmica do Curso de Engenharia Elétrica LACESM/CT - UFSM

4 - Orientador: Dr. Pesquisador DEA/ETE/INPE - MCT

5 - Co-orientador: Coordenador da Ação 1275 PNAE, Implantação do CRSPE/INPE - UFSM



57th International Astronautical Congress 2006

Materials and Structures Symposium (C2.)  
Poster Session on Materials and Structures - Part I (P.1.)

Author: Mss. Luzia Lux Lock

Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria, LACESM/CT - UFSM and Centro  
Regional Sul de Pesquisas Espaciais, CRSPE/INPE - MCT, Santa Maria, Brazil,  
luzia@lacesm.ufsm.br

Dr. Carlos Alberto Iennaco Miranda

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) - MCT, São José dos Campos, Brazil,  
miranda@dea.inpe.br

Mr. Thiago Brum Pretto

Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria, LACESM/CT - UFSM and Centro  
Regional Sul de Pesquisas Espaciais, CRSPE/INPE - MCT, Santa Maria, Brazil,  
thiago@lacesm.ufsm.br

Mr. Diego dos Santos

Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria, LACESM/CT - UFSM and Centro  
Regional Sul de Pesquisas Espaciais, CRSPE/INPE - MCT, Santa Maria, Brazil,  
diego@lacesm.ufsm.br

Mr. Nelson Jorge Schuch

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRSPE/INPE - MCT, Santa Maria, RS, Brazil,  
njschuch@lacesm.ufsm.br

## **ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF QUADRIFILAR ANTENNAS FOR BRAZILIAN SATELLITES**

### Abstract

Data Collecting (DCS) and Service Telecommunication (TMTC) systems require antennas that provide omni-directional coverage, in reception and transmission. Such coverage is obtained mounting for each system, a pair of quadrifilar helices on opposite sides of the satellite with right and left hand circularly polarization respectively. The Satellites SCD-1, SCD-2, as well their antennas, designed and developed by National Institute for Space Research – INPE/MCT, and CBERS-2, designed and developed through a partnership between Brazil and China, use this type of antenna to accomplish the telemetry transmission and command (TTC) and data transmission. This paper presents analysis and optimization of quadrifilar antennas, and the results compared with the models used on the satellites constructed by INPE. The quadrifilar antenna is composed by two orthogonal bifilares fed in phase quadrature. The bifilar used is a two elements helical antenna. Each element is a half-turn, half-wavelength helix. As with all coaxially fed balanced antennas the bifilar requires a balun. The method used was the “infinite balun” which employs a semi-rigid coaxial



cable as one of the elements of the bifilar. At the feed point the center conductor of the coax is soldered to the opposite wire, whose material is copper clad steel. The balun's function is to distribute equal currents of opposite phase to flow on the outer surfaces of the coaxial cable and adjoining wire. The 90 degree phase relationship between bifilars needed to produce the quadrifilar can be achieved by the self-phased method. The desired 90° degree phase difference is obtained by designing the orthogonal bifilars such that one bifilar is larger relative to the desired resonant frequency length and, therefore, inductive while the other bifilar is smaller and, therefore, capacitive. The antennas project developed by INPE, haven't considered the effects of the materials used on their structure. With the modeling of this antenna, using the Solid Works Software®, and doing the simulation with the High Frequency Structure Simulator® (HFSS) software, the parameters are adjusted for the antenna optimization, thus becoming, more practical and advantageous the construction of the antenna.



## **APÊNDICE B**

### **PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**

Neste anexo está apresentado o Projeto correspondente à bolsa de Iniciação Científica do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT:

**Nome do Orientador:**

Carlos Alberto Iennaco Miranda

**C.P.F.:**

851544908-00

**Título do Projeto:**

“Modelagem de Hélices com programas de simulação de estruturas em alta frequência (HFSS)”.

**Palavras-chaves:**

1. Antenas
2. Antenas para Satélites
3. Hélices Quadrifilares

**Área do conhecimento:**

1. Engenharias
2. Engenharia Aeroespacial
3. Antenas para Satélites

**Objetivos Específicos:**

O INPE projetou e desenvolveu hélices quadrifilares para os satélites SCD-1, SCD-2 e CBERS 1 & 2. O objetivo do trabalho é a análise e otimização de parâmetros deste tipo de antena, levando em consideração os materiais utilizados em sua fabricação, bem como de sua estrutura.



### **Metodologia:**

1. Equação Integral
2. Elementos Finitos

### **Plano de Trabalho da Bolsista:**

1. Modelagem de Hélices Quadrifilares em programas tipo Solid Works.
2. Estudo dos Fundamentos de Antenas.
3. Estudo de antenas lineares.
4. Introdução ao método de Elementos Finitos em eletromagnetismo.
5. Interface dos programas Solid Works e HFSS (High Frequency Structure Simulator).
6. Análise de Antenas.

### **Cronograma de Atividades**

Julho/2005 à Janeiro/2006 - Estudo dos Fundamentos de Antenas e Antenas Lineares.

Julho/2005 à Outubro/2005 - Modelagem de Hélices Quadrifilares em programas tipo Solid Works.

Novembro/2005 à Janeiro/2006 - Interface de programas.

Fevereiro/2006 à Julho/2006 - Análise de antenas tipo Hélice Quadrifilar com HFSS.

### **Resultados Esperados:**

1. Familiarização com programas de Desenho Mecânico e Análise de Estruturas em Alta Frequência;
2. Estudo de Antenas para Satélites;
3. Análise de antenas tipo Hélice Quadrifilar e comparação com resultados dos modelos utilizados nos satélites construídos pelo INPE.

### **Referência Bibliográfica:**

1. Balanis, Constantine A., “Antenna Theory: Analysis and Design”, Second Edition, 1997, John Wiley & Sons, Inc.
2. Silvester, P. P., Ferrari, Ronald, “Finite Elements for Electrical Engineers”, Cambridge University Press, Third Edition, 1996.



## **APÊNDICE C**

### **CERTIFICADOS**

Este Apêndice C apresenta os certificados dos trabalhos apresentados como autor em eventos dos quais a aluna participou durante o período de vigência da Bolsa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, no CRSPE/INPE – MCT, em Santa Maria.

O certificado do Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia - CRICTE 2005 não foi entregue à bolsista, pois a aluna tinha que prestar serviço para a Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica - UFSM. A apresentação foi feita pelos co-autores.

**CERTIFICADO**

O Centro de Engenharias e Ciências Exatas da  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Confere o Presente certificado à

**DIEGO DOS SANTOS**

por ter participado e apresentado o trabalho:

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE ANTENAS OPERANDO NA BANDA – X PARA  
A SEGUNDA GERAÇÃO DOS SATÉLITES CBERS**

no XX Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia -  
CRICTE 2005, realizado nos dias 05, 06 e 07 de novembro de 2005  
no Campus da UNIOESTE/Foz do Iguaçu.

*Roberto Lotero*

Prof. Roberto Cayetano Lotero, Dr.  
Presidente Comissão Organizadora XX CRICTE

**CRICTE 2005**  
XX CONGRESSO REGIONAL  
DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA  
V FEIRA DE PROTÓTIPOS  
5 a 7 de novembro - Foz do Iguaçu

Realização:  
  
unioeste  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná

**CRICTE  
2005**

XX CONGRESSO REGIONAL  
DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA  
V FEIRA DE PROTÓTIPOS  
5 a 7 de novembro - Foz do Iguaçu

# CERTIFICADO

O Centro de Engenharias e Ciências Exatas da  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Confere o Presente certificado à

**CLEOMAR PEREIRA DA SILVA**

por ter participado e apresentado o trabalho:

**DESENVOLVIMENTO DE ANTENAS DIPOLO DO SISTEMA LOFAR PARA  
ESTUDO DE RÁDIO INTERFERÊNCIA NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO  
SUL**

no XX Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia -  
CRICTE 2005, realizado nos dias 05, 06 e 07 de novembro de 2005,  
no Campus da UNIOESTE/Foz do Iguaçu

Realização:



**unioeste**  
Universidade  
Estadual do Oeste do Paraná

Prof. Roberto Cayetano Lotero, Dr.  
Presidente Comissão Organizadora XX CRICTE



Certificado



Certificamos que

LUZIA LUX LOCK  
CARLOS ALBERTO IENNACO MIRANDA  
DIEGO DOS SANTOS  
NELSON JORGE SCHUCH  
THIAGO BRUM PRETTO

Participou da XX Jornada Acadêmica Integrada da UFSM,  
nos dias 8, 9 e 10 de março de 2006, com o trabalho

OTIMIZAÇÃO DE ANTENAS TIPO HÉLICE  
QUADRIFILAR PARA APLICAÇÃO ESPACIAL

Comissão Executiva

Março de 2006

