



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**DESENVOLVIMENTO E CONTROLE DO SERVOMECANISMO  
PARA POSICIONAMENTO DAS ANTENAS COLETORAS DO  
PROJETO RADIOASTRONOMIA**

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

**PROCESSO Nº 109151/2003-8**

Jean Paulo Guarnieri (UFSM, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: [jpguarnieri@lacesm.ufsm.br](mailto:jpguarnieri@lacesm.ufsm.br)

Dr. Nelson Jorge Schuch (CRSPE/INPE, Orientador)

E-mail: [njschuch@lacesm.ufsm.br](mailto:njschuch@lacesm.ufsm.br)

**Santa Maria, Maio de 2004**



## Dados de identificação:

### Bolsista:

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

### Processo:

109151/2003-8

### Orientador:

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

### Colaboradores:

Prof. Ademar Michels – CT/UFSM  
Fabio André Gubiani  
Rafael Hoff Sobroza  
Viviane Cassol Marques

### Local de Trabalho/Execução do projeto:

Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas – LAMEC/CRSPE/INPE  
–MCT  
Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT/ UFSM  
Observatório Espacial do Sul – OES/INPE–MCT



## ÍNDICE

<b>1. APRESENTAÇÃO</b>	<b>5</b>
<b>2. INTRODUÇÃO</b>	<b>6</b>
<b>3. OBJETIVOS DO PROJETO</b>	<b>7</b>
<b>4. O RADIOINTERFERÔMETRO</b>	<b>8</b>
<b>5. DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO</b>	<b>8</b>
<b>6. COMPONENTES DAS ANTENAS</b>	<b>9</b>
6.1 Torres de Sustentação	10
6.2 Antenas	12
6.2.1 Desenvolvimento Teórico	12
6.2.2 Antena Horizontal	12
6.2.3 Composição das Antenas	14
6.3 Estrutura “H”	15
6.3.1 Torque no Conjunto Antena + “H”	16
6.3.1.1 Torque para o movimento de variação do ângulo horário	17
6.3.1.2 Torque para o movimento de variação da declinação	18
6.4 Servomecanismo de Rastreo	19
6.4.1 Composição do Servomecanismo	19
<b>7. SISTEMA DE REDUÇÃO</b>	<b>22</b>
7.1 Transmissões por Engrenagens	23
7.2 Engrenagens	23
7.2.1 Engrenagens Cilíndricas	23
7.2.2 Método de Fellows	25
7.3 Dimensionamento das Engrenagens	25
7.4 Determinação das Forças Atuantes no Sistema	26
7.4.1 Tensões no Dente	26
7.4.2 Cálculo da Potência do Motor	28
7.4.3 Estimativa do Tamanho da Engrenagem	30



7.4.3.1 Escolha do Número de Dentes	30
7.4.3.2 Módulo das Engrenagens	31
7.4.3.3 Comparação entre vários Módulos	31
7.4.3.4 Velocidade na Circunferência Primitiva	32
7.4.3.5 Fator de Velocidade Barth	32
7.4.4 Cálculo da Carga Transmitida	33
7.4.5 Largura do Denteado	33
7.4.5.1 Recalculo da Tensão Admissível	34
7.4.5.2 Coeficiente de Segurança	34
7.4.6 Tensões de Fadiga nos Dentes	35
7.4.6.1 Concentração de Tensões	35
7.4.6.2 Fator Geométrico	37
7.4.7 Cálculo das Engrenagens no Sistema Métrico	37
7.4.7.1 Valores Iniciais	38
7.4.7.2 Cálculo do Pinhão e da Coroa	38
<b>8. SISTEMA DE CONTROLE E AQUISIÇÃO DE DADOS</b>	<b>39</b>
8.1 Aips ++	41
<b>9. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS</b>	<b>42</b>
9.1 Montagem de Servomecanismos	42
9.2 Testes dos Servomotores RQ 53	44
9.3 Montagem das Antenas Yagi	45
9.4 Capa Protetora do Servomecanismo	46
<b>10. CONCLUSÃO</b>	<b>47</b>
<b>11. AGRADECIMENTOS</b>	<b>48</b>
<b>12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>49</b>
<b>13. ATIVIDADES COMPLEMENTARES – PARTICIPAÇÃO E APRESENTAÇÃO EM CONGRESSOS E EM SEMINÁRIOS</b>	<b>50</b>
<b>14. ANEXOS</b>	<b>51</b>



## **1. APRESENTAÇÃO**

O presente trabalho relata as atividades desenvolvidas durante o período de Março a Maio de 2004 junto ao Projeto Radioastronomia. O Projeto Radioastronomia esta sendo desenvolvido no âmbito do convênio entre Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE/MCT e a Universidade Federal de Santa Maria UFSM, através do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM, e visa dotar a Região Sul do País, de infraestrutura, como laboratórios e áreas adequadas a pesquisas e execução de atividades didáticas e científicas, com a construção de um Radiointerferômetro de Síntese de Abertura com a Rotação da Terra, operando em baixas frequências, 151.5 MHz. As atividades foram realizadas no Laboratório de Antenas, Mecatrônica e Mecânica Fina e no Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, RS.



## **2. INTRODUÇÃO**

Este trabalho se destina a dar continuidade ao Protótipo de Radiointerferômetro, a ser utilizado para observações astronômicas no Observatório Espacial do Sul, bem como a realização da montagem das diversas estruturas que compõem as antenas e seus respectivos testes.

Apresentamos uma descrição detalhada da composição do radiointerferômetro, dando maior ênfase ao servomecanismo de movimentação, cujo papel é indispensável para o rastreamento de fontes no espaço. Descreveremos os procedimentos e os materiais utilizados na montagem dos servomecanismos, das antenas e o método utilizado para a realização dos testes dos servomotores, os quais tem por função o posicionamento sincrônico das antenas.



### **3. OBJETIVOS DO PROJETO**

O objetivo deste Projeto de pesquisa é dar prosseguimento as atividades em desenvolvimento pelo Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas, objetivando a montagem e testes do servomecanismo de rastreo do protótipo de radiotelescópio.

O servomecanismo de rastreo é um sistema de transmissão de potência e velocidade, composto de um servomotor comandado e um conjunto de engrenagens para a transmissão do movimento. Este conjunto tem a função de possibilitar o rastreamento de radiofontes mediante seu acionamento executado por um computador dedicado. Para cada sistema de antenas coletoras existem dois sistemas acoplados, um no eixo de declinação e outro no eixo polar, que proporcionam aos conjuntos coletores dois graus de liberdade, altura e azimute.

Quanto aos servomotores optou-se por questões construtivas, motores ingleses fabricados pela Zella Controls Ltd. Estes servomotores além de não afetarem com interferência as medições efetuadas, possibilita a utilização de um sistema redutor mais compacto, satisfazendo condições como velocidade e torque.

O mecanismo de transmissão do movimento do motor para o eixo de movimentação é composto por um par de engrenagens de dentes retos, reduzindo a velocidade angular do motor, de modo que o respectivo conjunto coletor efetue o rastreo com velocidade compatível.

O objetivo deste Relatório é apresentar uma revisão bibliográfica da parte estrutural das antenas e descrever as atividades de confecção e montagem das antenas e do servomecanismo, bem como sua instalação no Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, para a posterior realização de testes dos movimentos.



#### **4. O RADIOINTERFERÔMETRO**

No Universo existe uma grande emissão de ondas de baixa frequência vindas de objetos cósmicos e restos de explosões estelares. Como a recepção destas ondas é de grande importância para o estudo do Universo, surge a necessidade da implantação de radiotelescópios para a sua detecção.

Este equipamento está sendo desenvolvido no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, em Santa Maria, RS, devendo ser instalado no Observatório Espacial do Sul, na localidade de São Martinho da Serra, e será destinado a fazer observações de ondas de rádio emitidas por fontes externas a nosso Planeta.

#### **5. DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO**

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

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





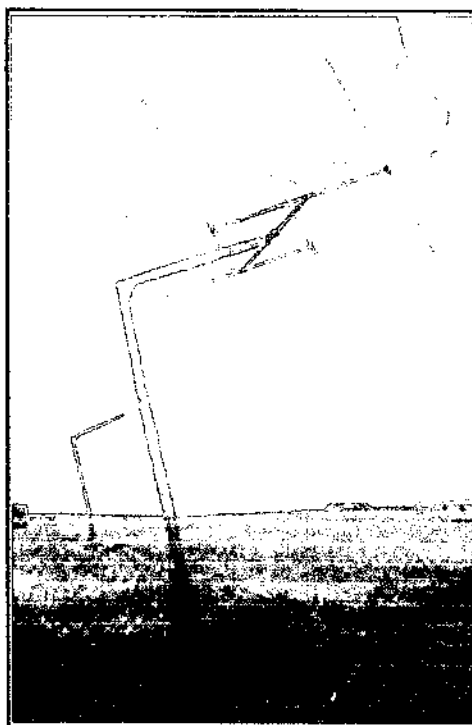
O controle de posição, entre outras tarefas, são realizadas, por computadores distribuídos na extensão da linha de base do radiointerferômetro.

## **6. COMPONENTES DAS ANTENAS**

Podemos subdividir o Sistema Coletor em quatro partes para maior detalhamento das mesmas:

- Torre de Sustentação;
- Estrutura “H”;
- Antenas Yagi;
- Servomecanismos.

Um conjunto coletor em fase de acabamento, no Observatório Espacial do Sul, onde pode ser visto as estruturas do radiointerferômetro é apresentado na Figura – 6.1.



**Figura 6.1 - Vista de um conjunto coletor, composto por Torre de Sustentação, Estrutura H, Antenas Yagi e Servomecanismo, do radiointerferômetro, instalado no Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, RS.**

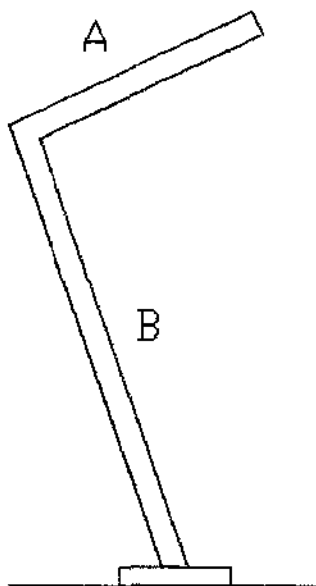
A seguir descreveremos cada estrutura, bem como sua função dentro do Sistema.

### **6.1 - Torres de Sustentação**

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

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

A estrutura com montagem equatorial é basicamente composta por dois segmentos: "A" e "B", como mostra a Figura 6.2.



**Figura 6.2 - Formato da torre de sustentação do radiointerferômetro do Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, RS.**

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

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

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

A partir destas determinações, foi estipulado o comprimento do segmento “A”. Este comprimento foi encontrado mediante uma projeção dos movimentos das antenas e analisando o ponto crítico, ponto em que a antena fica mais próxima das torres. Fixamos

a distância máxima em que a antena deveria se aproximar da torre em 30 cm e posteriormente foi determinado que o comprimento do segmento “A” fosse de 2,60 m.

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

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

A estrutura foi fabricada em aço 1040, com espessura  $\frac{1}{4}$  de polegadas, utilizando dois perfis em C com solda de topo, originando um perfil quadrado de 150x150 mm. Devido a sua exposição a ações climáticas a estrutura foi galvanizada e pintada.

## **6.2 - Antenas**

### **6.2.1 - Desenvolvimento Teórico**

Em 1926, em um artigo publicado no Japão por S. Uda foi introduzido um novo tipo de antena que, por ter sido divulgada no mundo ocidental pelo Dr. H. Yagi passou a ser comumente chamada de antena “Yagi”. Esta antena consiste basicamente em um dipolo de meia-onda, alimentado, e vários elementos parasitas, em curto, colocados segundo a direção de máximo ganho desejada.

### **6.2.2 - Antena Horizontal**

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

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



Em termos elétricos, o dipolo ou antena de meia onda é o equivalente de uma linha de transmissão de um quarto de onda com saída aberta. Tal antena proporciona uma irradiação considerável, em virtude de suas características de ressonância. Uma onda eletromagnética se move ao longo da superfície da antena, de modo que a antena tenha um comprimento de onda da mesma forma que as ondas eletromagnéticas no espaço. Devido à resistência do fio, o movimento das ondas de rádio através da antena é ligeiramente menor, ou seja, mais lento do que o movimento dessas ondas no espaço.

Dipolo dobrado é, na realidade, um simples condutor de meia onda colocado sobre dois condutores de um quarto de onda que constituem um dipolo simples. Isso não só resulta numa maior impedância de entrada entre a antena e o receptor como proporciona maior captação do sinal. A mudança de um dipolo simples por um dipolo dobrado ou vice-versa não altera o diagrama de direção da antena.

O refletor como o próprio nome diz, tem a função de refletir as ondas eletromagnéticas para o dipolo, para que assim a antena tenha um maior ganho. Parte da energia do sinal que chega pela frente será captada pelo dipolo, enquanto outra parte irá atingir elementos do refletor, sendo refletida de volta ao dipolo.

Devido a distância entre dipolo e o refletor, a energia refletida irá se somar a que foi recebida diretamente pelo dipolo. A energia que vem por traz não será captada dando o resultado de uma unidirecional, pois este ao chegar ao refletor será refletido para a retaguarda da antena.

O ganho de potência significa o aumento de tensão no elemento excitado em relação à tensão que será induzida em um dipolo colocado na mesma posição e dimensionado para a ressonância que está trabalhando.

O ganho pode ser aumentado pelo acréscimo de elementos parasitas, colocados a frente do elemento excitado em relação ao refletor.

### 6.2.3 - Composição das Antenas

Como vimos, cada conjunto coletor possui quatro antenas Yagi casadas em impedância. Cada antena é composta de diferentes perfis em alumínio. Na barra central foi utilizado um perfil quadrado de 15x15 mm, no qual são realizados furos passantes para fixação do refletor, do emissor e dos diretores, que foram construídos utilizando um perfil circular de alumínio de 10 mm de diâmetro.

A posição e as distâncias dos elementos que formam a antena Yagi, pode ser vista com mais detalhes na Figura – 6.3.

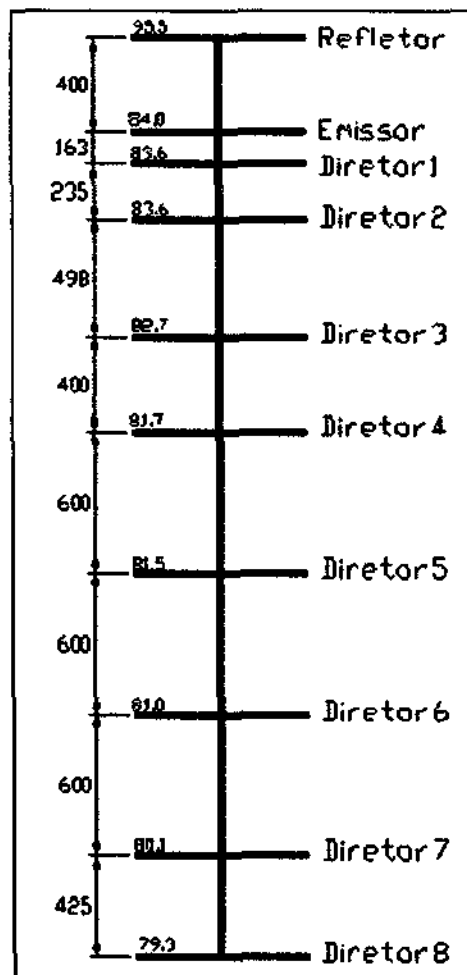


Figura 6.3 - Planta estrutural de uma antena Yagi

### 6.3 - Estrutura "H"

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

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

Os tubos de aço foram galvanizados para aumentar sua resistência a corrosão, e possuem diâmetros de  $1\frac{1}{2}$  polegadas na parte central do H, e diâmetros de  $1\frac{1}{4}$  polegadas nas partes laterais. O comprimento da parte horizontal é de 2,860 metros, enquanto que nas partes verticais é de 3,000 metros. Na ponta de cada braço do H existe uma flange para que se faça a fixação das antenas Yagi na estrutura.

As dimensões da estrutura H, é demonstrada na Figura – 6.4.

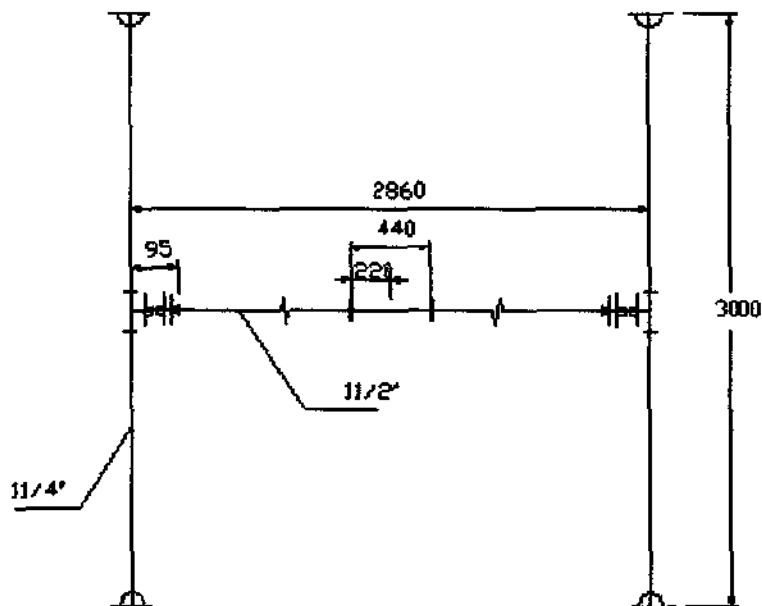


Figura 6.4 - Desenho representativo das dimensões da Estrutura "H"

Podemos notar que todos os elementos do H, devido ao próprio peso das estruturas irão sofrer um esforço de flexão. Os diâmetros dos tubos foram



dimensionados para resistir as deflexões surgidas. Para este cálculo não foi computado as forças devido a ação do vento, uma vez que o Radiointerferômetro não funcionará em dias de ventos fortes, pois esses ventos podem danificar seriamente o sistema se este estiver em operação.

Foi observado que a posição mais crítica das estruturas será quando o sistema coletor estiver direcionado para o zênite, ou seja, quando as antenas estiverem perpendiculares ao solo. A tendência das antenas nessas condições será de se abrirem em cima nas duas direções e como conseqüência se aproximarem em baixo, também nas duas direções. Com estas deflexões pode-se verificar qual será a resolução final do radiotelescópio.

Analisando as deflexões calculadas pode-se perceber que elas não interferirão nas observações do Radiointerferômetro.

### **6.3.1 - Torque no Conjunto Antena + “H”**

Este item trata basicamente da determinação do torque necessário para impulsionar e manter o conjunto “H” em movimento. Esta estrutura como foi mencionada anteriormente é formada de tubos de aço galvanizado, que possuem uma determinada massa, e em suas extremidades serão presas às antenas que também possuem massa. Este sistema terá dois graus de liberdade, sendo que cada movimento terá um servomotor que comandará tal operação. Um destes motores ajustará a “Declinação” e o outro implementará um  $\Delta x$  para cada instante de observação, ajustando a variação do “Ângulo Horário”.

Estudos realizados mostraram que a velocidade angular destes movimentos deveria ser muito pequena e que o tempo necessário para a aceleração e desaceleração também fosse pequeno. Chegamos a um valor aproximado para estas velocidades que deveria ser um valor em torno de 0.2 RPM. A velocidade do sistema deve se aproximar ao máximo desta grandeza, pois no instante de parar os motores, ou seja, interromper a corrente e tensão nos enrolamentos do motor, este continua a girar devido a sua própria inércia, logo o incremento  $\Delta x$  será maior e a posição desejada não será atingida. O objetivo é tentar evitar o menor deslocamento possível do “H”, após o desligamento dos



motores. Com este raciocínio achamos conveniente o uso de um tempo de aceleração, de 0 à 0.2 RPM, em 0,1 segundos.

Este valor pequeno de tempo de aceleração implica numa grandeza de aceleração muito grande e conseqüentemente numa grande força, tanto na partida quanto na parada, pois segundo a lei de Newton, a força é diretamente proporcional a aceleração, mantendo-se a massa constante.

Verificando-se a Figura – 6.4, nota-se que estes movimentos são realizados no centro gravitacional da estrutura. Analisando-se rapidamente este movimento sob aquelas condições de giro, inicialmente pensa-se que o torque necessário para girar deve ser nulo, pois o mesmo é simétrico em todos os pontos. Esta maneira de raciocinar esta correta, porém o que acontece é que existe um momento de inércia máximo que deve ser rompido, para que haja um movimento da estrutura. Esta força de inércia, somada com as forças devido à aceleração, nos dará o torque necessário para manter o sistema H em movimento.

Como neste mecanismo há dois movimentos independente, deve-se determinar o torque necessário para elevar de 0 à 0.2 RPM em 0.1s para cada um dos movimentos.

### 6.3.1.1 - Torque para o movimento de variação do ângulo horário

Para o cálculo do torque temos:

$$M = \text{massa de uma antena} = 2.64 \text{ Kg};$$

$$q' = \text{massa linear do tubo de aço} = 6.4 \text{ Kg/m};$$

$$m' = \text{massa dos acessórios} = 2 \text{ Kg};$$

$$\omega_1 = 0.2 \text{ RPM} = 0.2094 \text{ rad/s}.$$

**OBS:** Não consideraremos carga do vento, pois em dias de ventos fortes o radiointerferômetro não funcionará.

Então:

$$I = m \times \rho_g^2$$

sendo:

$$I = \text{inércia} = 76.95 \text{ Kg.m}^2;$$

$$m = \text{massa};$$



$\rho_g^2$  = raio de giração;

$$I_{TOTAL} = 2I$$

$$I_{TOTAL} = 156 \text{ Kg.m}^2$$

O torque é dado por:

$$C = \frac{V \times I}{t_a}$$

onde:

V = velocidade da estrutura;

I = inércia;

$t_a$  = tempo de aceleração = 0.1s.

logo:

$$C = 32.22 \text{ N.m} = 3.3 \text{ Kgf.m}$$

Este é o torque mínimo necessário para girar o sistema de variação do ângulo horário.

### 6.3.1.2 - Torque para o movimento de variação da declinação

Para o cálculo do torque temos os seguintes dados:

M = massa = 2.64 Kg;

q' = massa linear do tubo de aço = 6.4 Kg/m;

$\omega_2$  = 0.2 RPM = 0.2094 rad/s.

Usando as fórmulas dadas anteriormente obtemos os seguintes valores:

$$I = 25.54$$

$$C = 0.58 \text{ Kg.m.}$$

Que e o torque necessário para girar o sistema no sentido de declinação.



Assim deve-se usar um servomotor com um torque igual ou superior a 3.5 Kg.m para girar os dois sistemas

Esses cálculos feitos para o torque fizeram-se necessários, pois a partir desse valor de “C” pode-se encontrar o motor adequado para esse fim. As características do motor utilizado serão apresentadas no decorrer do trabalho.

#### **6.4 - Servomecanismo de Rastreo**

O servomecanismo é um sistema desenvolvido para dotar as antenas do radiointerferômetro de dois graus de liberdade, um no sentido de declinação e outro no sentido de ângulo horário. Outra finalidade deste sistema é efetuar a redução da velocidade de rastreo das antenas por meio de engrenagens, uma vez que a velocidade dos motores escolhidos está acima da velocidade desejada de 0.2 RPM.

##### **6.4.1 - Composição do Servomecanismo**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Os componentes do servomecanismo demonstrados acima, podem ser vistos esquematicamente na Figura – 6.5.

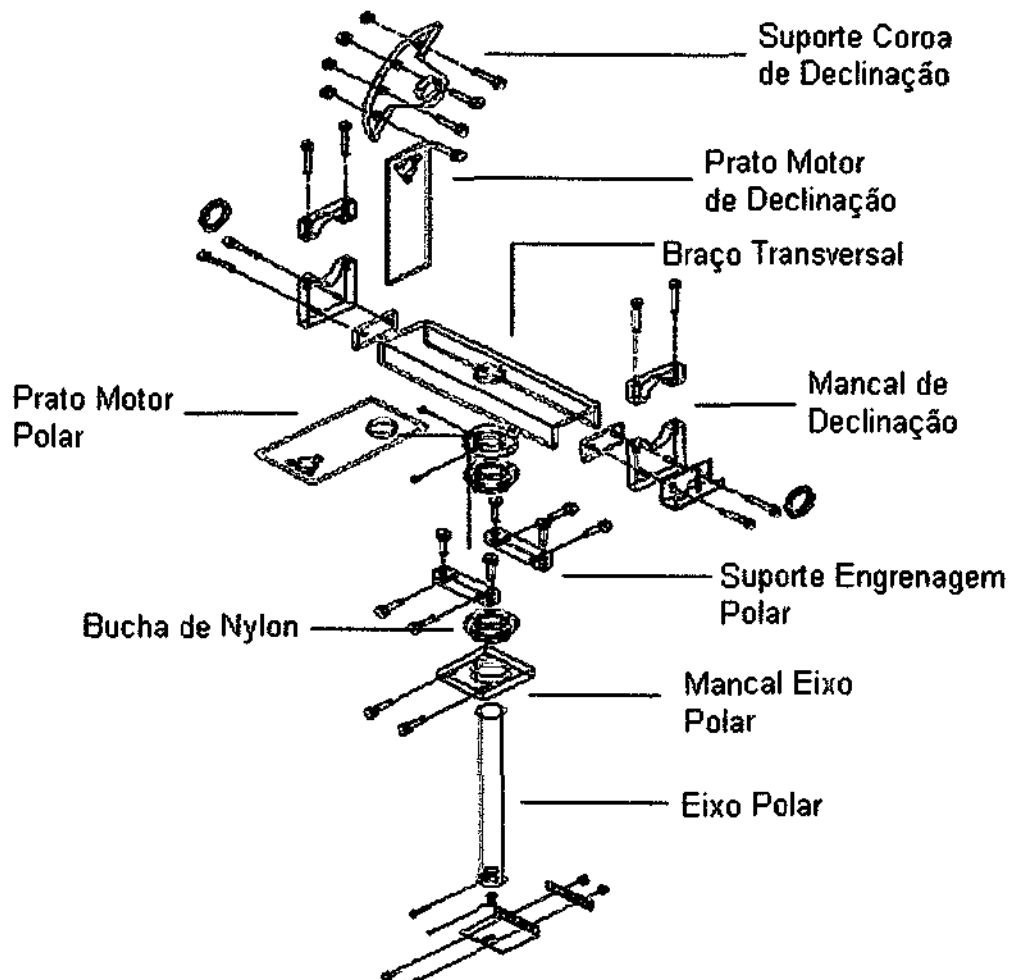


Figura 6.5 - Estruturas componentes do servomecanismo

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

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

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

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

**Servomotor** – Suas características serão apresentadas na Tabela – 7.3, sendo este o responsável pela movimentação do servomecanismo em dois graus de liberdade.

Podemos observar as estruturas citadas acima, bem como seu posicionamento no sistema do servomecanismo na Figura – 6.6.

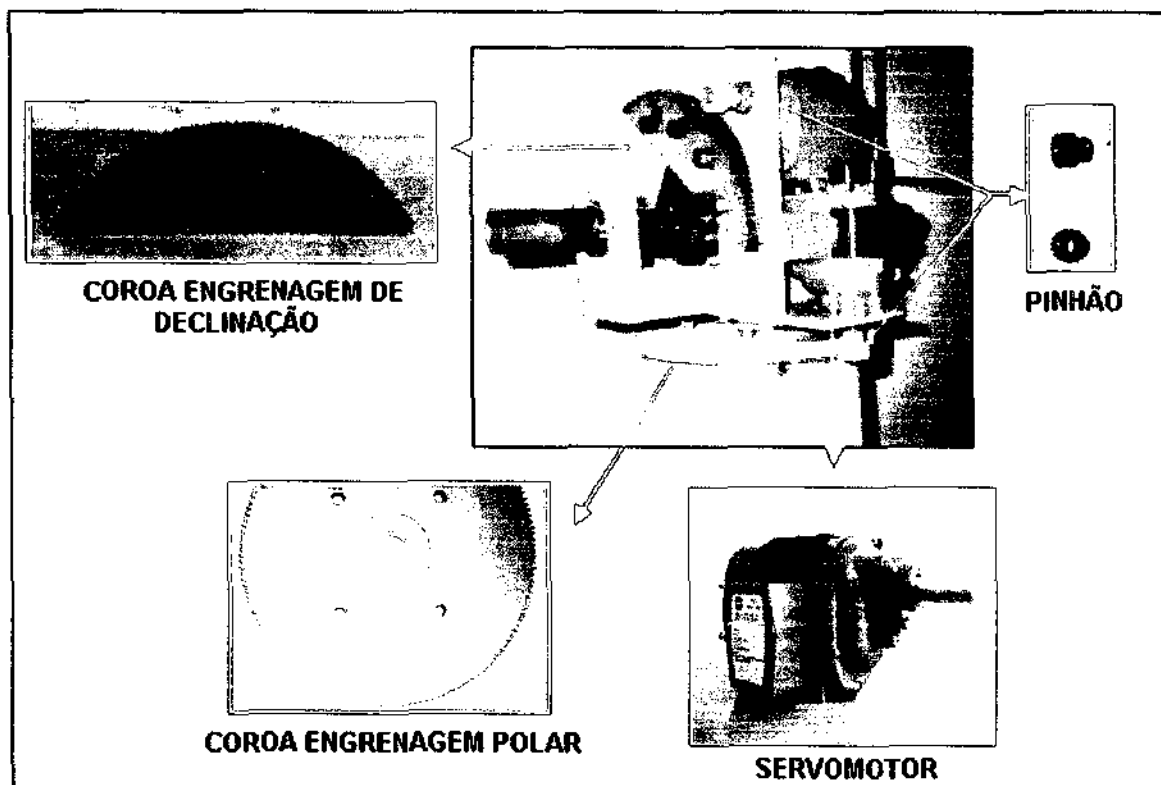


Figura 6.6 - Estruturas de transmissão de movimento do servomecanismo

## 7. SISTEMA DE REDUÇÃO

Para a realização do rastreamento de uma rádiofonte cósmica é necessário um movimento do sistema coletor para compensar o movimento de rotação da Terra.

O posicionamento do sistema deve ser realizado por um mecanismo redutor que possua uma velocidade de rotação angular baixa, possibilitando assim um perfeito posicionamento. Assim, a tendência do sistema em manter o seu movimento devido a sua inércia será diminuído, e conseqüentemente o deslocamento após a interrupção do fornecimento de energia do motor será menor.

Estudos realizados mostraram que esta velocidade deve estar em torno de 0.05 rpm ou menor e com um torque de no máximo 2.5 Kgf.m, para o sistema em estudo.



## **7.1 - Transmissões por Engrenagens**

Embora saibamos que o real conceito de engrenagem seja, como sendo o conjunto formado pela associação de duas rodas dentadas, construídas de tal maneira que as saliências de uma introduzem-se, sem choque nas reentrâncias da outra, transmitindo-se o movimento por empuxo direto, e não por atrito, a prática acabou por popularizar este termo como um sinônimo de “roda dentada”.

As transmissões por engrenagens freqüentemente são as mais utilizadas em maquinarias, tanto em eixos paralelos como em eixos reversos, servindo para potências, rotações e relações de transmissão, que variam desde valores mínimos até máximos.

Em comparação com outros sistemas de transmissão, estas se caracterizam:

- Pela transmissão de um considerável esforço sem haver deslizamento, pois a relação de transmissão é constante e independente do carregamento;
- Pela segurança de funcionamento e pela vida;
- Pela resistência às sobrecargas e devido à pequena manutenção;
- Pelas suas dimensões reduzidas e devido ao alto rendimento.

Entretanto, temos em contra partida um custo bem maior, associado a um maior ruído durante o funcionamento, e sua transmissão também ser bastante rígida, sendo que normalmente usa-se um acoplamento para o amortecimento de choques.

## **7.2 Engrenagens**

Adotaram-se as engrenagens cilíndricas de dentes retos, por possuírem um menor custo e estas devem ser obtidas pelo Método Fellows de usinagem, o qual proporciona menores erros de fabricação.

### **7.2.1 Engrenagens Cilíndricas**

São utilizadas somente entre eixos paralelos, onde para transmissões de um só estágio com uma relação de transmissão até 8, e excepcionalmente até 20, para

transmissões de 2 estágios até 45, em casos extremos até 300, para potências até 25.000 CV, para rotações até 100.000 rpm e para velocidades tangenciais até 200 m/s. O rendimento por estágio é de 96 a 99%, dependendo da forma construtiva e do tamanho. Para uma marcha mais silenciosa, usam-se engrenagens cilíndricas com dentes helicoidais, ou engrenagens de material sintético, para pequenos esforços, ou com engrenagens temperadas, conseguem-se dimensões especialmente reduzidas, como exemplo as transmissões dos veículos. A transmissão em forma planetária economiza muito espaço e peso, é adequada para potências elevadas, embora mais caras, e permite relações de transmissão de 3 a 13 em um único estágio, e até 140 para 2 estágios com alto rendimento, ou para as relações de transmissão até 1.000 com rendimento de apenas 60% quando a construção é em forma de transmissão diferencial. Os diferentes tipos de transmissão podem ser vistos na Tabela - 7.1

**Tabela 7.1 - Características dos diferentes tipos de transmissão construídos e projetados.**

Tipo de Transmissão	Para um estágio		Potência	Rotação	Velocidade Tangencial	Força Tangencial	
	Relação de Transmissão usual (máxima)	Rendimento Total	N1 até	n1 até CV	V até	U2 até	
			até	até	%	CV	CV
Engrenagens Cilíndricas	8	20	96...99	25.000	100.000	200	-
Planetária por Eng. Cilíndricas	8	13	98...99	10.000	40.00	-	-
Parafuso sem-fim	60	100	97...98	1.000	30.000	70	50.000
Por Corrente	6	10	97...98	5.000	5.000	17	28.000
Correias Planas	5	10	96...98	2.200	18.000	90	5.000
Correias em V	8	15	94...97	1.500	-	26	-
Rodas de Atrito	6	10	95...98	200	-	20	-

Dados adaptados de: Elementos de Máquinas, de Niemann, G., 1971, pág.90.





### **7.2.2 - Método de Fellows**

A ferramenta tem a forma de uma engrenagem convencional.

No processo de Fellows pode-se destacar os seguintes movimentos:

- a) Movimento de corte: é um movimento retilíneo alternativo assumido pela ferramenta. Supondo o eixo da ferramenta vertical, esta somente retira material durante seu curso descendente. Durante o curso ascendente a ferramenta é afastada da peça.
- b) Movimento de geração: é um movimento intermitente. Somente se efetua durante o curso ascendente da ferramenta, quando esta se encontra afastada da peça.
- c) Movimento para a profundidade de corte: é necessário no início do processo. Efetua-se com peça e ferramenta animadas de movimento de geração. A profundidade total pode ser alcançada em uma ou mais voltas da peça.

Este processo permite a obtenção de engrenagens de grande precisão e de boa qualidade superficial.

### **7.3 - Dimensionamento das Engrenagens**

O dimensionamento das engrenagens cilíndricas de dentes retos é baseado em três falhas possíveis:

- Falha estática devido às tensões decorrentes da flexão;
- Falha por fadiga devido às tensões originárias da flexão;
- Falha por fadiga superficial.

Por questões de confiabilidade e desempenho desse sistema, adotou-se para o dimensionamento das engrenagens o equacionamento que leva em conta as tensões de flexão que originam falha por fadiga.

O esforço normal surgido durante o engrenamento e que atua na linha de engrenamento de duas rodas dentadas, determina na seção engastada do dente, esforços fletores e cortantes, bem como esforços de compressão. Portanto o dimensionamento leva em conta as tensões originadas no pé do dente, de tal maneira que estas não

ultrapassem um valor de tensão admissível para o material de fabricação da engrenagem sob condições de fadiga.

O tamanho ou espessura da engrenagem fica então determinado por uma equação que leva em conta a tensão normal de flexão, a carga atuante no dente e a velocidade tangencial da mesma. Seu módulo é um fator geométrico dado pela forma do dente.

Quanto ao número de dentes a se utilizar no par, deve ser o menos possível, de maneira que os custos de execução também sejam menores.

Após ser estabelecidas as relações de transmissão para o par de rodas dentadas, e definido o módulo e distância entre os centros; é passado então para o cálculo dos momentos torçores e das forças atuantes no sistema.

A partir do conhecimento dessas forças atuantes nas engrenagens, é feito o dimensionamento da largura de cada par dentado, segundo a resistência à fadiga devido às tensões de flexão.

#### **7.4 - Determinação das Forças Atuantes no Sistema**

Para a determinação das forças atuantes neste sistema se parte do princípio que o máximo torque para acionar o sistema fosse 25 Kgf.m.

##### **7.4.1 - Tensões no Dente**

Os fatores que são limitativos na especificação da capacidade de qualquer transmissão por engrenagens são:

- 1 - O calor gerado em trabalho;
- 2 - Falha dos dentes por fratura;
- 3 - Falha por fadiga das superfícies dos dentes;
- 4 - Usura abrasiva das superfícies dos dentes;
- 5 - Ruído por altas velocidades ou excesso de carga.

As falhas previstas em projeto são em função exclusiva da resistência dos dentes de engrenagens, e são: Falha estática por flexão, falha por fadiga em flexão e falha por tensões de Hertz.

A forma do dente segundo Lewis\*, pode nos dar uma relação para as tensões de flexão nos dentes de engrenagens, que dada da seguinte forma:

$$\sigma = \frac{W_t}{b \times p_t \times y}$$

Onde, y chama-se fator de forma de Lewis, ver Tabela 7.2

**Tabela 7.2 - Valores do Fator de Forma Y para Vários Sistemas de Dentes:**

NÚMERO DE DENTES	20° DENTE NORMAL	PINHÕES PEQUENOS 20° NORMAL	20° DENTE REBAIXADO
5	-	0,320	-
6	-	0,301	-
7	-	0,282	-
8	-	0,264	-
9	-	0,264	-
10	-	0,264	-
11	-	0,264	-
12	0,245	0,264	0,312
13	0,261	0,270	0,324
14	0,277	0,277	0,340
15	0,290	-	0,350
16	0,296	-	0,362
17	0,303	-	0,368
18	0,309	-	0,378
19	0,314	-	0,388
20	0,322	-	0,394
30	0,359	-	0,438
50	0,409	-	0,476
100	0,447	-	0,507
150	0,460	-	0,520



300	0,472	-	0,535
Cremaalheira	0,485	-	0,552

Fonte: (\*) Retirada do Livro Elementos de Máquina, vol.2 de Shigley.

Estudos em dentes em movimento mostram que as cargas mais intensas ocorrem perto do meio do dente. Portanto, a tensão máxima ocorre provavelmente quando um único par de dentes suporta a carga total, numa situação onde outra par de dentes está prestes a entrar em contato.

Quando a razão entre a largura do denteado e o passo frontal  $\frac{b}{p_t}$  for grande, digamos, superior a 6 é muito provável, que seja conveniente considerar as deformações que a carga tangencial  $W_t$  causa, ou seja, deflexão torcional no disco da engrenagem e deformação de flexão na árvore, acarretando distribuição não uniforme

$$\frac{b}{p_t} = \frac{3/4''}{\pi/12,7''}$$

$$\frac{b}{p_t} = 3,0319$$

#### 7.4.2 - Cálculo da Potência do Motor

O redutor do par de engrenagens deste projeto é de 10:1, cujo motor de acionamento RQ 53, possui as seguintes características:

1) O RQ53 é um motor para serviço pesado, de alto torque (22,62 N.m) em baixas velocidades, sendo sua rotação contínua ou reversível.

2) A velocidade de trabalho do motor RQ53 escolhido é de 2,4 mpr (reversível) na frequência de 50 Hz, mas como o mesmo será utilizado em 60 Hz temos um acréscimo na rotação de um fator  $\frac{60\text{Hz}}{50\text{Hz}}$ , ou seja, um aumento de 20% no valor nominal da velocidade, ver Tabela 7.3.



$$2,4 \text{ mpr} = 0,4166 \text{ rpm},$$

Multiplicando pelo fator de frequência (1,20), temos:

$$\omega_{\text{MOTOR}} = 0,5 \text{ rpm}$$

Tabela: 7.3\* - Dados do motor RQ 53

<b>PARK RQ 53</b>	
<b>Fabricante</b>	Zella Instrumentation & Control Ltd
<b>Modelo</b>	RQ 53
<b>Velocidade</b>	2,4 mpr = 0,5 rpm
<b>Torque</b>	Até 230Kgf.cm = 22,62 N.m = 200Lbf.in
<b>Voltagem</b>	220/250 Volts AC
<b>Frequência</b>	50 Hz
<b>Consumo elétrico</b>	30 a 34 W
<b>Isolamento</b>	Classe E (Britsch Standards 2757:1956)
<b>Temperatura de operação</b>	De 0°C a 71°C – para uso tropical
<b>Limite de sensibilidade do interruptor</b>	+ ou - 5° de rotação = 6,01388 de volta completa pré-estabelecidas de fábrica
<b>Normas de teste</b>	BS 170.1962
<b>Potenciômetro</b>	90° 135Ωx400W
<b>Capacitor</b>	Interno ou externo
<b>Corrente</b>	2 <sup>A</sup>
<b>Limites</b>	180°
<b>Peso</b>	29 Kg

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

A potência do motor RQ 53 é dada por:

$$P = T \times \omega = 0,1047T \times \eta = \frac{T \times \eta}{9,5493} = F \times V$$

Onde: P = potência, W;

T = torque, N.m;

$\omega$  = velocidade do eixo, rpm;

F = força, N;

V = velocidade, m/s.

Então,  $P_{RQ\ 53} = 0,1047T \times \eta = 0,1047(22,62\ Nm)(0,5rpm)$

Logo:

$$P_{RQ\ 53} = 1,1842\ W$$

### 7.4.3 - Estimativa do Tamanho da Engrenagem

#### 7.4.3.1 - Escolha do Número de Dentes

Segundo o livro “Tolerâncias, Rolamentos e Engrenagens” da editora Hemus, São Paulo, SP, 1987, pág. 148, temos que se um jogo de rodas dentadas funciona a mais de 6 m/s de velocidade tangencial, a menor não deve ter menos de 18 dentes e se a velocidade é menor abaixar até 12 dentes, como mínimo.

Em virtude do exposto acima adotamos para o pinhão 16 dentes, que é um valor intermediário entre 12 e 18 dentes, o que nos dá uma segurança que evitaremos assim o adelgamento, embora devamos levar em conta os padrões da norma da American Gear Manufactures Association - AGMA, a qual diz que diminuindo-se então a altura de cabeça da engrenagem somente o suficiente para que o contato não se inicie antes do ponto de interferência, aumenta-se a altura de cabeça do pinhão de um valor equivalente. Assim, não haverá mudança no ângulo de pressão frontal nas circunferências primitivas, de modo que as distâncias entre eixos permaneçam a mesma.

### 7.4.3.2 - Módulo das Engrenagens

O Módulo é a relação entre o Diâmetro do Círculo Primitivo e o número de dentes (n) da engrenagem. Em outras palavras, o módulo é o resultado da divisão entre o Diâmetro Primitivo (d) e o número de dentes (n) da engrenagem.

$$\text{Então, } M = \frac{d}{n}$$

Onde: M = Módulo;

d = Diâmetro Primitivo;

n = número de dentes.

Foi escolhido um diâmetro primitivo para o pinhão de 32 mm, como teremos 16 dentes, o módulo para esta engrenagem será de:

$$M = \frac{32 \text{ mm}}{16 \text{ dentes}}$$

Logo, o módulo que iremos começar os cálculos será:

$$M = 2$$

### 7.4.3.3 - Comparação entre vários Módulos

Alguns valores de módulos, onde estão calculados alguns valores de referência pela planilha do Microsoft Excel, partiu-se como primeira hipótese, de que a coroa possui 16 dentes, são apresentados na Tabela 7.4.

Tabela 7.4 – Comparação entre alguns módulos para 16 dentes:

1	16	0,0251	2827,58	0,9999	25,4	70,912
1,5	24	0,0377	1885,05	0,9998	16,9	31,519
2	32	0,0503	1413,79	0,9997	12,7	17,73
2,5	40	0,0628	1131,03	0,9997	10,2	11,348
3	48	0,0754	942,526	0,9996	8,47	7,8813
<b>M</b>	<b>d</b>	<b>V</b>	<b>Wt</b>	<b>Kv</b>	<b>P</b>	<b>e</b>

Onde: M = Módulo, dentes/mm;  
d = Diâmetro Primitivo, mm;  
V = Velocidade na Circunf. Primitiva, m/min;  
W<sub>i</sub> = Carga Aplicada, Nm;  
K<sub>v</sub> = Fator de Velocidade;  
P = Diametral Pitch, dentes/inch;  
e = espessura do denteado.

Sabendo-se que o Eixo do Motor RQ 53 possui um diâmetro de 1", ou seja  $\phi_{RQ\ 53} = 19,05\text{mm}$ , decidimos optar pelo valor de Módulo igual a 2, que nos dá um diâmetro primitivo para o pinhão de 32 mm.

#### 7.4.3.4 - Velocidade na Circunferência Primitiva

Como início de cálculo, usamos como parâmetro o passo diametral, "diametral pitch",  $P = 12,7$  de forma, a obtermos um pinhão de diâmetro de  $d = 32\text{ mm}$ .

A velocidade na circunferência primitiva é dada por:

$$V = \frac{\pi \times d \times \eta}{1.000} = \frac{\pi(32\text{mm})(0,5\text{rpm})}{1.000}$$

Portanto,

$$V = 0,05\text{ m/min}$$

#### 7.4.3.5 - Fator de Velocidade Barth

Em virtude das imprecisões dos perfis do dentes e pelos efeitos devido à elasticidade dos dentes e das árvores durante o funcionamento, devemos levar em consideração a Equação de Barth para K<sub>v</sub>, quando se estiver estimando o tamanho da engrenagem:





$$K_v = \frac{182,4}{182,4 + V}$$

$$K_v = \frac{182,4}{182,4 + 0,05^{m/min}} \rightarrow K_v = 0,9997$$

#### 7.4.4 - Cálculo da Carga Transmitida

A carga transmitida é, para fins de cálculo, a componente útil  $F_{32}^r$ , tendo em vista que a componente radial  $F_{32}^i$  não transmite potência.

Temos a Carga Transmitida, pela seguinte equação:

$$W_t = \frac{60 \times P}{\pi \times d \times \eta}$$

$$W_t = \frac{60 \times (1,1842W)}{\pi(32mm)(0,5rpm)}$$

$$W_t = 1,41 \text{ kN}$$

#### 7.4.5 - Largura do Denteado

Foi adotado uma tensão admissível de 150 MPa, pois para a estimativa dos tamanhos das engrenagens usa-se um fator de segurança entre 3 e 5, no nosso caso 4.

Portanto, a largura do denteado será:

$$b = \frac{W_t \times P}{K_v \times Y \times \sigma}$$

$$b = \frac{(1,41 \times 10^3 N)(12,7 \text{ dentes/inch})(1.000)}{(0,9997)(0,296)(150 \times 10^6 Pa)0,0254}$$

$$b = 15,92 \text{ mm}$$



Como geralmente a largura do denteado  $b$  deve estar entre 3 a 5 vezes o passo frontal, temos:

$$p_t = \frac{\pi}{12,7} \times 25,4$$

$$p_t = 6,28 \text{ mm}$$

$$3p_t = 3(6,28\text{mm}) = 18,85\text{mm}$$

$$5p_t = 5(6,28\text{mm}) = 31,42\text{mm}$$

Como a largura do denteado ficou entre 18,85mm e 31,42 mm, e o valor encontrado pelo calculo é bastante próximo a  $3p_t$ , normalizamos portanto a largura do denteado em  $\frac{3}{4}$ ".

#### 7.4.5.1 - Recalculo da Tensão Admissível

Com o valor normalizado de 19,05 mm ( $\frac{3}{4}$ "") para a largura do denteado, encontramos uma tensão de:

$$\sigma = \frac{(1,41\text{kN})(12,7 \text{ dentes/inch})(1.000)}{(0,9997)(0,297)(19,05\text{mm})0,0254}$$

$$\sigma = 125,37 \text{ Mpa}$$

#### 7.4.5.2 - Coeficiente de Segurança

Para a estimativa do tamanho das engrenagens usa-se um fator de segurança entre 3 e 5, baseado no limite de escoamento, para problemas comuns de engrenagens. Porém, se houver choques ou vibrações o coeficiente de segurança deverá ser maior.

Pela nova tensão admissível encontrada, o Coeficiente de Segurança será:

$$n = \frac{Se}{\sigma_{adm}} = \frac{593}{125,37}$$

$$n = 4,73$$

Valor este que está dentro dos limites pré-estabelecidos.

#### 7.4.6 - Tensões de Fadiga nos Dentes

##### 7.4.6.1 - Concentração de Tensões

Para dentes envolventes retos e helicoidais de 20°, estabeleceu-se à fórmula para o fator geométrico de concentração de tensões, segundo Dolan e Broghamer, como sendo:

$$K_t = 0,18 + \left( \frac{t}{r_f} \right)^{0,15} \left( \frac{t}{l} \right)^{0,45}$$

Onde  $t$ ,  $r_f$  e  $l$  podem ser obtidos graficamente, através do desenho do dente. Na maioria das engrenagens  $K_t \approx K_f$ .

Entretanto, há um método um pouco menos preciso de se obter uma estimativa rápida de se obter  $K_f$  a qual segue.

Supõe-se, primeiramente que a espessura do dente da base é aproximadamente a metade do passo frontal,

$$t = \frac{P_t}{2}$$

Observando a Tabela 7.5 podemos encontrar o raio de arredondamento padronizado.

$$r_f = \frac{0,300}{P} = \frac{0,300}{\pi/p_t} = 0,0956p_t$$

A relação entre as duas equações acima, nos dá:

$$\frac{r_f}{t} = \frac{0,0956p_t}{0,5p_t} = 0,191$$

Pelo gráfico fatores teóricos de concentração de tensões,  $K_t$  para uma barra retangular com adelgaçamento, submetida à flexão, tiramos:

$K_t \approx 1,53$  correspondente a  $r/d = 0,191$  e  $D/d = 3$ , e utilizando-se  $q = 0,95$ .

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) = 1 + (0,95)(1,53 - 1) = 1,50$$

#### 7.4.6.2 - Fator Geométrico

$$J = \frac{Y}{K_f}$$

$$J = \frac{0,296}{1,5}$$

$$J = 0,197$$

#### 7.4.7 Cálculo das Engrenagens no Sistema Métrico

#### 7.4.7.1 - Valores Iniciais

A partir dos valores pré-definidos de Módulo  $M = 2$ , e de utilizarmos um Par de Engrenagens com um Redutor de 10:1, temos para a velocidade angular do Sistema

Coletor:

$$RT = \frac{1}{10} = \frac{\omega_{RQ53}}{\omega_{SC}}$$

$$\omega_{SC} = \frac{0,5 \text{ rpm}}{10} = 0,05 \text{ rpm}$$

Para o tamanho da Coroa, o diâmetro primitivo é dado por:

$$\frac{d_{Pinhao}}{d_{Coroa}} = \frac{1}{10} \quad d_{Coroa} = 10(32mm) = 320mm$$

Para o número de dentes da Coroa, temos:

$$\frac{n_{Pinhao}}{n_{Coroa}} = \frac{1}{10} \quad n_{Coroa} = 10(16 \text{ dentes}) = 160 \text{ dentes}$$

#### 7.4.7.2 - Cálculo do Pinhão e da Coroa

Tabela 7.6 - Valores Calculados para Coroa e Pinhão:

Engrenagem	Pinhão	Coroa
Módulo Métrico	2	2
Número de Dentes, mm	16	160
Diâmetro Primitivo, mm	32	320
Passo, mm	6,28318531	6,28318531
Diâmetro Externo, mm	36	324
Diâmetro Interno, mm	27,3356	315,3356
Espessura do Dente, mm	3,14159265	3,14159265
Altura do Dente, mm	4,32	4,32
Folga ou Fundo do Vão, mm	0,32	0,32
Distância Entre Centros, mm	176	176
Altura de De ao Dp, mm	2	2
Altura do Dp ao Fundo, mm	3,332	3,332
Largura da Seção do Dente, mm	3,14159265	3,14159265
Distância Dente a Dente, mm	3,14159265	3,14159265
Espessura da Coroa, mm		3,14159265
Velocidade Angular, rpm	0,5	0,05
Velocidade Linear sobre o Dp, m/min	0,05025855	0,05025855

## 8. SISTEMA DE CONTROLE E AQUISIÇÃO DE DADOS

Para fazer o controle e sincronismo de todo o sistema, um dos computadores que o compõe terá funções de gerência, computador mestre, e será responsável pelo sincronismo e pelo envio de dados de controle aos demais computadores escravos, que propriamente fazem a movimentação das antenas e realizam aquisição de dados. Um diagrama de ligação e de transferência de dados é mostrado na figura 7

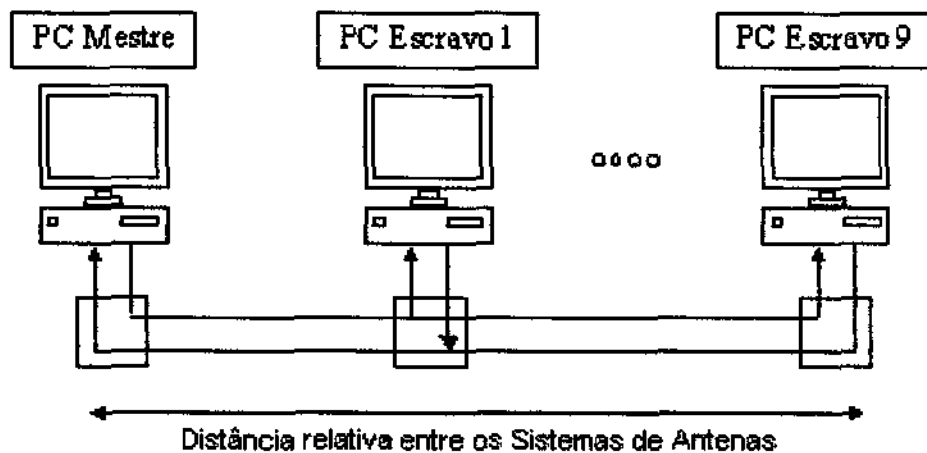


Figura – 8.1: Ligação e fluxo de dados entre os computadores de controle

Neste esquema, pode-se notar que as informações são passadas do computador mestre para os escravos e vice-versa. Não há uma comunicação entre os escravos, que somente podem se comunicar com o computador mestre. A ligação entre os computadores é realizada com o uso de fibra óptica, conectada à porta serial do PC.

Dentre as tarefas executadas pelo computador mestre, pode-se destacar:

- a) Geração de dados de controle que são passados para os computadores escravos;
- b) Fazer um monitoramento do funcionamento do sistema;

- c) Criar uma interface de controle com o usuário, haja vista que os computadores escravos não possuem monitor, teclado ou qualquer outro recurso de comunicação com o usuário.

Por esta interface com o usuário é que são passadas informações que acionam e gerenciam o sistema. Estas informações são as coordenadas no espaço onde são realizadas as leituras ou observações, e dados de hora e fim de observações. Todos os erros que vierem a ocorrer são reportados neste computador, para conhecimento do usuário, de modo que ele possa tomar alguma atitude, mediante o tipo de erro que venha ocorrer em cada uma das antenas ou computadores que controlam o sistema.

Cada computador escravo é responsável pelo controle de sete estruturas, que incluem rotinas de teste de funcionamento dos leitores de rádio, posicionamento das suas antenas a cada cinco minutos e leitura de dados meteorológicos, como vento, umidade, temperatura, entre outros. Um diagrama simplificado das tarefas desempenhadas pelos computadores escravos é mostrado na Figura - 8.2.

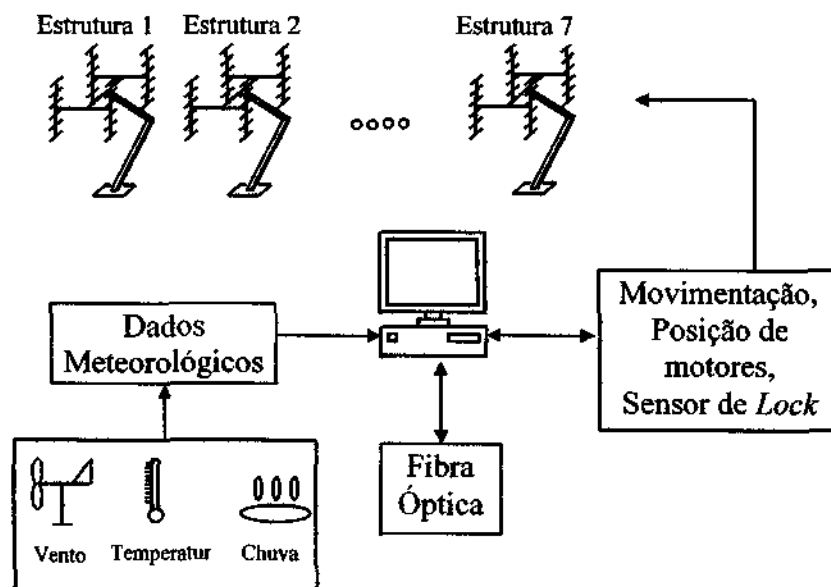


Figura 8.2 - Tarefas desempenhadas pelos computadores escravos.



O interfaceamento do computador com os equipamentos de controle do radiointerferômetro são efetuados por interfaces físicas conectadas diretamente ao PC, que são responsáveis pela execução das ordens dadas pelo computador, além de aquisição de dados.

### **8.1 - Aips ++**

É um Sistema de processamento de informação Astronômico, desenvolvido por um consórcio de Rádio-observatórios. Foi baseado em técnicas objeto - orientadas, e implementado em C++.

Os sinais captados pelas antenas são recebidos por PCs, onde são processados por aplicações do Sistema de software AIPS++, por aplicações que acompanham o pacote e outras específicas.

Este Sistema foi desenvolvido para ser executado na plataforma Linux, em especial na versão Redhat 7 ou superior.



## **9. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS**

### **9.1 - Montagem de Servomecanismos**

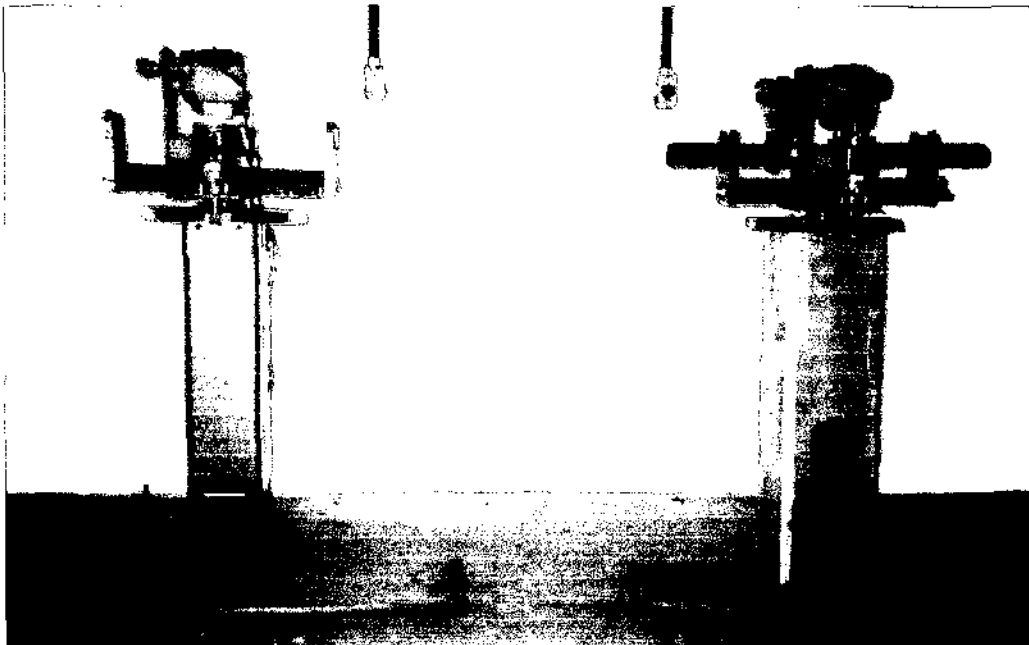
Neste período efetuamos a montagem de dois servomecanismos para verificar se todos os componentes estavam nas dimensões do projeto, para que isso não ocasionasse posteriores falhas. Os servomecanismos foram construídos no laboratório, utilizando como base um perfil de aço de 150x150mm que representa a viga caixão, contendo todos os furos especificados em projeto para a construção do servomecanismo. Os passos desenvolvidos na montagem foram:

1. Foi colocada a bucha de nylon no mancal do eixo polar, lubrificando internamente com graxa.
2. Fixamos os dois suportes da engrenagem polar no caixão com 4 parafusos M12x35. Fixamos o suporte com a distância maior da face voltada para cima, de forma que uma vez fixos, esta face superior fique com o mesmo nível da borda do caixão.
3. Foi colocada a bucha de nylon na engrenagem polar com a flange voltada para cima, lubrificando internamente a borda com graxa. A parte reta da engrenagem polar deve ficar voltada para baixo.
4. Fixamos a engrenagem polar nos seus respectivos suportes através de 4 parafusos M12x45.
5. Colocamos o mancal de escora no eixo polar, fixando-o no eixo com dois parafusos M6x20, a 20 mm da chapa do motor polar.
6. Introduzimos o eixo polar até sua posição final, passando pelo mancal do eixo polar e pela engrenagem do eixo polar.
7. Fixamos as partes inferiores dos suportes do eixo de declinação no braço transversal. Lubrificamos internamente com graxa.
8. Colocamos o eixo de declinação nos seus respectivos suportes.

9. Parafusamos a parte superior do mancal de declinação observando as marcações quanto ao lado de montagem
10. Fixamos a coroa de declinação no seu respectivo suporte com 4 parafusos M12x40.
11. Soldamos o suporte da coroa de declinação no eixo de declinação, observando a sua correta posição.
12. Fixamos o pinhão no eixo dos servomotores através de um parafuso passante.
13. Fixamos os servomotor polar no prato do motor polar.
14. Parafusamos o servomotor de declinação no prato do motor de declinação.

Com a montagem deste sistema permite o desenvolvimento de testes de movimentação e de sincronismo.

Dois servomecanismo montados na oficina do Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas, do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, em Santa Maria, RS, são mostrados na Figura – 9.1.



**Figura 9.1 - Dois servomecanismos montados para testes no Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas, do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, em Santa Maria, RS.**

## 9.2 - Testes dos Servomotores RQ 53

Pelo fato, de os servomotores ficarem por longo tempo sem uso, realizamos testes para analisar se estavam em perfeito funcionamento. Para os testes montou-se um circuito com fios identificados e testou-se todos os motores, fazendo-os girar sem carga para os dois (2) sentidos. A ligação efetuada constituiu-se de ligar-se o “neutro” na conexão “3” e uma fase, 220V, 60Hz, para cada sentido de giro nas conexões “1” e “2” sendo acionadas uma de cada vez, como foi especificado pelo fabricante.

Além do procedimento de teste padrão, ligou-se “1” e “2” em “7” e “8”. Esta ligação se justifica por ser independente dos interruptores internos, acionados mecanicamente para respeitar o limite do sensor de posição, não correndo o risco de os interruptores interferirem no teste.

**OBS:** O número das conexões está marcado nos servomotores.

Para facilitar os testes montamos um circuito com chaves de acionamento e de inversão da rotação dos servomotores, com a posição das chaves de acionamento, demonstradas na Figura – 9.2.

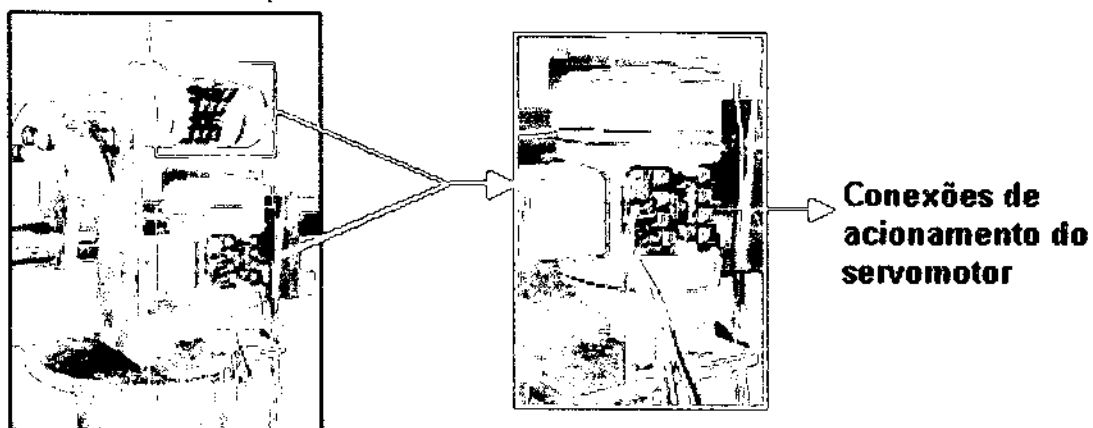


Figura 9.2 - Demonstração das chaves de acionamento do servomotor RQ 53

### **9.3 - Montagem das Antenas Yagi**

A partir das especificações de projeto, o processo de construção das antenas Yagi se deu de maneira artesanal, tendo assim economia a controle do processo, uma vez que estas são um protótipo e devem passar por vários testes. Todos os elementos e perfil de suporte dos mesmos são de alumínio.

O perfil central, que suporta os elementos, é obtido através de uma barra de perfil quadrado de 15x15 mm. Nestas são feitos furos passantes de 10 mm de diâmetro, onde devem passar cada elemento. Na face perpendicular aos furos dos elementos, tem-se os furos dos parafusos que fixam cada elemento, que possuem diâmetro de 4 mm. Utilizamos parafusos passantes para uma satisfatória fixação dos elementos no perfil central.

Os elementos retos foram confeccionados medindo-se manualmente cada um conforme especificações e cortados, a partir de barras maiores, com aparelho manual. Estes foram identificados um a um com etiquetas a fim de não haver troca na hora da montagem. Dez furos passantes no centro de cada elemento, para fixação dos mesmos ao perfil central, foram efetuados.

Para a confecção do dipolo foi utilizada uma dobradeira especial para atingir uma qualidade requerida no projeto. Mesmo assim são necessários cuidados especiais na dobragem para que o elemento fique dentro das especificações de projeto. Os passos realizados foram: primeiro dobrou-se um lado até a posição correta, 180°, 50 mm de raio de curvatura, depois se introduziu à parte ainda não dobrada do dipolo no perfil central, dobrando-o na sua posição final. Após furou-se o centro do dipolo radialmente com broca de diâmetro igual a 3 mm, para a fixação; e nas extremidades, diâmetro 4 mm, para a fixação dos cabos condutores.

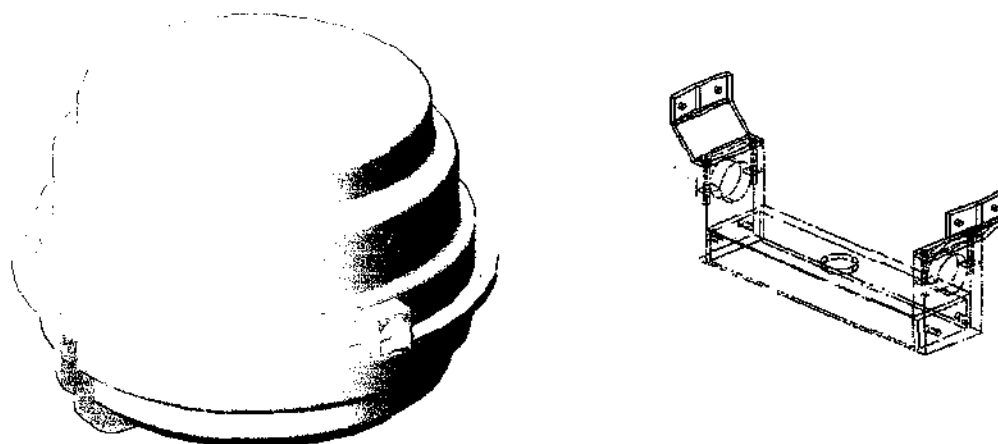
Nesta construção foi levado em conta às dimensões do raio de dobra e as dimensões lineares do dipolo. Esses cuidados se justificam porque se procura minimizar os erros de construção para que se obtenham melhores dados nos testes, eliminando-se variáveis que possam afetar as medições.

#### **9.4 - Capa Protetora do Servomecanismo**

Está em desenvolvimento um projeto, que visa modelar uma capa de proteção para o servomecanismo, uma vez que este ficará exposto a todos os tipos de ações climáticas. Este capacete de proteção ajudará a proteger o sistema elétrico de movimentação dos motores, devido ao fato de as conexões de partida do motor poderem se oxidar.

O capacete como é chamado será construído em fibra de vidro e composto de três partes, para facilitar a sua montagem no servomecanismo. Possui formato de uma esfera com várias saliências.

A vista em 3D construída no software de desenho, Autocad, pode ser estudada na Figura – 9.3.



**Figura 9.3 – Projeto da capa de proteção do servomecanismo**

Este projeto foi encaminhado para uma empresa da região de Santa Maria, que trabalha com fibra de vidro, para ser feito um orçamento dos custos necessários para a sua fabricação em série.



## **10. CONCLUSÃO**

Com este Relatório podemos demonstrar as atividades desenvolvidas junto ao Projeto Radioastronomia, no período de Março a Maio de 2004. Descrevemos o funcionamento, as características e a forma de montagem de cada parte dos conjuntos coletores que fazem parte do Projeto do Radiointerferômetro.

Assim, estamos trabalhando para que em breve, possamos executar a construção dos conjuntos coletores, para ser possível a realização de testes de movimentação sincrônica do servomecanismo.

Neste período foi adquirido grande conhecimento, principalmente aqueles referentes ao Projeto de sistemas mecânicos e a forma de construção das estruturas que compõem o Radiointerferômetro.



## **11. AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer a meu orientador, Dr. Nelson Jorge Schuch pelo apoio prestado em todas as dificuldades encontradas no decorrer do trabalho. Não poderia deixar de mencionar, e agradecer a meus colegas e acadêmicos do curso de Engenharia Mecânica Rafael Hoff Sobroza, Fábio André Gubiani e Viviane Cassol Marques que muito contribuíram no desenvolvimento das atividades.

Meus sinceros agradecimentos ao INPE e MCT/CNPq pela concessão da bolsa e ao Dr. Luiz Carlos Gadelha de Souza, Coordenador do Programa PIBIC - INPE, que me oportunizou a dar os primeiros passos na pesquisa científica e um grande crescimento pessoal.



## 12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Agostinho, O. L.; Rodrigues, A. C. S.; Litrani, J.; **Tolerâncias, ajustes, desvios e análises de dimensões**; Editora Edgar Blücher Ltda.; São Paulo; SP; 1987.

[2] Cunha, L. S.; **Manual Prático do Mecânico**; Oitava Edição; Editora Hemus Ltda.; São Paulo; SP; 1990.

[3] **Manual de Tecnologia Mecânica; Tolerâncias, Rolamentos e Engrenagens**; Editora Hemus; São Paulo; SP; 1987.

[4] Niemann, G.; **Elementos de Máquinas; Volume II**; Editora Blücher Ltda.; São Paulo; SP; 1971.

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

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

[7] Shigley, J. E.; Mitchell, L. D.; **Mechanical Engineering Design**; Quarta Edição; Mc. Graw-Hill, Inc.; USA; 1983.





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

Neste período foi possível apresentar a seguinte trabalho:

- **Título:**

***DESCRIÇÃO ESTRUTURAL DO SERVOMECANISMO PARA MOVIMENTAÇÃO DAS ANTENAS DO PROJETO RADIOASTRONOMIA***

**Autores:**

Fabio A. Gubiani; Jean P. Guarnieri; Rafael H. Sobroza; Viviane C. Marques; Nelson J. Schuch.

**Evento:**

XVIII Congresso Regional de Iniciação científica e Tecnológica em Engenharia – CRICTE 2003 e IV Feira de Protótipos.

**Local:**

UNIVALI/SC – Itajaí/SC

**Data:**

9 a 11 de outubro de 2003

**Tipo de participação:**

Autor



## **14. ANEXOS**

Em anexo, está o certificado obtido na apresentação de trabalho, no XVIII Congresso Regional de Iniciação científica e Tecnológica em Engenharia – CRICTE 2003 e IV Feira de Protótipos.

# CRICTE

XVIII Congresso Regional de Iniciação  
Científica e Tecnológica em Engenharia  
IV Feira de Protótipos  
**2003**  
UNIVALI

**Certificamos que**

*Jean Paulo Guarnieri*

Participou do XVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia - CRICTE 2003, e IV Feira de Protótipos, realizado de 9 a 11 de outubro de 2003, na Universidade do Vale do Itajaí, Santa Catarina, Brasil, apresentando o trabalho:

**DESCRIÇÃO ESTRUTURAL DO SERVOMECANISMO PARA MOVIMENTAÇÃO DAS ANTENAS DO PROJETO RADIOASTRONOMIA**



Prof. Valdir Quechinel Filho, Dr.  
Pró-Reitor de Pesquisa, Pós-Graduação,  
Extensão e Cultura

Prof. Fernando Luiz Dienti, M.Sc.  
Diretor do Centro de Ciências  
Tecnológicas da Terra e do Mar - CTIMar

Prof. Sílvia Santos, M.Sc.  
Presidente da Comissão Organizadora  
do XVIII CRICTE e IV FEIRA DE PROTÓTIPOS