

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



FEUP

Controlo de uma antena parabólica para seguir a órbita do satélite SSETI–ESEO.

André Miguel Vieira da Silva Lopes

Dissertação/Relatório de Projecto realizada(o) no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Major Telecomunicações

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Reis Cunha

Maio de 2008

© André Miguel Vieira da Silva Lopes, 2008

Resumo

Este trabalho consiste no desenvolvimento e montagem de um sistema de posicionamento e controlo de um prato, para a recepção de satélites.

A sua realização foi possível devido à existência de um projecto pedagógico Europeu, desenvolvido pela *European Space Agency*, que permitiu construir um sistema de recepção de satélites, na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Esta oportunidade permite a aprendizagem sobre os sistemas de recepção de satélite, assim como de todo este campo permitindo a realização de futuros trabalhos e investigações de modo a melhorar a qualidade de ensino e investigação desta instituição.

A primeira parte do trabalho constituiu em aprofundar os conhecimentos sobre antenas, tentando dar maior relevância ao facto de se tratar de uma antena que recebe dados de satélites e reutilizar uma antena de 10 pés que não se encontrava de momento em uso e estudar as características desta antena.

De seguida foram desenvolvidos métodos para fornecer à antena dois graus de liberdade, azimute e elevação, e foi adquirido um rotor adequado aos objectivos do trabalho. Posteriormente foi feito um estudo sobre a fixação da antena, que implicou uma familiarização com algumas ferramentas de desenho e a concepção de uma estrutura de fixação da antena ao rotor, levando a investigação para o campo de Engenharia Mecânica, sendo a construção da peça de fixação realizada no Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial.

Finalmente a antena foi instalada e foram realizados os trabalhos inerentes a esta instalação, tais como, a calibração da mesma e os ajustes de modo a potenciar ao máximo o rendimento obtido deste equipamento.

Página em branco

Abstract

This work consists in the development and implementation of a control system to orient a satellite dish with two degrees of freedom.

The existence of an educational project promoted by the education office of the European Space Agency (ESA) created this opportunity to build a satellite reception system in the Faculty of Engineering, University of Porto. This allows education in the area of satellite reception systems as well as research in order to improve the quality of teaching and research in this institution.

The first part of the work was to gain a deep knowledge about antennas, giving greater importance to the fact that this is an antenna that receives data from satellites and to studying the characteristics of an antenna of 10 feet that at the moment was unusable.

The next step was to research methods to provide the antenna with azimuth and elevation rotation, and acquire the rotor that was more appropriate for the purposes of work. Subsequently a study was made on how to fix the antenna, which meant to study some development tools of design and create a structure for fixing the antenna to the rotor, leading the investigation for the field of Mechanical Engineering, the construction of the part-fixing been done in DEMEGI.

Then it was done the installation of the antenna as well as all work related to this system, such as the calibration and the settings in order to boost the maximum income drawn from this equipment.

Página em branco

Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao Professor Sérgio Reis Cunha que como orientador do trabalho providenciou todo o apoio pedagógico necessário.

Tenho ainda que agradecer à minha família e amigos que ao longo deste curso me deram apoio.

Página em branco

Índice

Resumo	iii
Abstract.....	v
Agradecimentos	vii
Índice.....	ix
Lista de figuras	xi
Lista de tabelas	xiv
Abreviaturas e Símbolos	xv
Capítulo 1 - Definição do propósito e orientação da investigação.....	18
Introdução	18
1.1 - SSETI-ESEO	18
1.1.1. Projecto SSETI	19
1.1.2. Objectivos da Missão	19
1.1.3. Data de lançamento	19
1.1.4. Dados técnicos do satélite	20
1.1.5. Bandas de frequência e feixes	21
1.2 - Benefícios da implementação do sistema de recepção de satélite.....	21
1.3 - Benefícios da comunicação por satélite	22
1.4 - O que é a comunicação por satélite e como funciona?.....	22
1.5 - Tipologias de redes em comunicações por satélite	23
1.6 - Localização da Estação terrestre	25
1.7 - Objectivos pretendidos para a estação terrestre	25
1.5.1 Órbita terrestre baixa (<i>Low Earth Orbit</i>).....	26
1.5.2 Órbita terrestre intermédia (<i>Medium Earth Orbit</i>)	26
1.5.3 Satélites geoestacionários	26
1.5.4 Cálculo da distância real entre a antena e o satélite	28
1.5.5 Estação Terrestre	29
1.8 - Considerações gerais sobre o meio envolvente da antena	29
1.9 - Projectos PESC/LIDERA	30
1.10 - Página de Internet	30
1.11 - Desenvolvimento do trabalho realizado.....	31
1.12 - Cuidados a ter com o sistema de recepção.....	32
1.10.1. Cuidados a ter	32
1.10.2. Manutenção.....	32

Capítulo 2 - Antena parabólica.....	33
Introdução.....	33
2.1 - Estrutura das antenas parabólicas	34
2.2 - Especificações da antena.....	35
2.3 - <i>Feed</i> e prato da antena parabólica	36
2.4 - Modelo tridimensional da antena através da fotogrametria	36
2.5 - Distância focal	41
2.6 - Razão F/D	41
2.7 - Ângulo a meia potência e largura do feixe	42
2.8 - Cálculo do centro de massa.....	44
2.9 - Carga aerodinâmica.....	46
Capítulo 3 - Sistema de rotor e controlador	48
Introdução.....	48
3.1 - Rotor	48
Dados técnicos:	50
3.2 - Ligações eléctricas do rotor e do controlador.....	51
3.3 - Controlador.....	52
Dados técnicos:	52
3.3.1 Descrição física do controlador.....	52
3.3.2 Funções do controlador.....	54
Capítulo 4 - Montagem do sistema de posicionamento	55
Introdução.....	55
4.1 - Montagem do Rotor	55
4.2 - Interligação da antena ao rotor	56
4.3 - Ligações à antena e receptor.....	59
4.3.1 Diagrama de ligações	60
4.3.2 Caminho de cabos	62
4.4 - Determinação do centro de massa do sistema	62
4.5 - Contrapesos	65
4.6 - Estabilização dos contrapesos	67
4.7 - Consumos do rotor	69
4.8 - Elevação do mastro	70
4.9 - Capacidade de seguimento da antena.....	70
Capítulo 5 Calibração do sistema de recepção de satélite.....	73
Introdução.....	73
5.1. - Orbitron.....	73
5.2. - Analisador de espectros	74
5.3. - Desalinhamento entre antenas	75
5.4. - Cálculo do enviesamento da antena	75
5.5. - Nível de precisão	77
5.6. - Calibração através dos satélites GPS	80
Capítulo 6 Conclusões.....	83
Referências	84

Lista de figuras

Figura 1.1- Satélite do programa SSETI - ESEO [2].	18
Figura 1.2- Transmissão simplex [46]	23
Figura 1.3- Transmissão duplex ponto a ponto [46]	23
Figura 1.4- Transmissão ponto a multiponto [46]	24
Figura 1.5- Serviços de antenas móveis. [46]	24
Figura 1.6- Redes em estrela. [46]	24
Figura 1.7- Redes em malha. [46]	25
Figura 1.8- Órbita terrestre baixa representada pela cor vermelha. A figura não se encontra representado à escala.	26
Figura 1.9- Órbita terrestre intermédia representada pela cor preta. A figura não se encontra representado à escala.	26
Figura 1.10- Ângulo morto do satélite geoestacionário. A figura não se encontra representado à escala.	27
Figura 1.11- Órbita Geoestacionária representada pela cor verde. A figura não se encontra representado à escala.	27
Figura 1.12- Distância do satélite a 3D	28
Figura 1.13- Distância do satélite a 2D	28
Figura 1.14- Página de internet do tema de dissertação.	30
Figura 1.15 - Diagrama de trabalhos seguidos neste projecto.	31
Figura 2.1- Prato da antena parabólica disponibilizada pelo DEEC.	34
Figura 2.2- Antena parabólica sólida circular [51]	34
Figura 2.3- Antena parabólica e formato misto de circular e rectangular [51]	34
Figura 2.4- Antena Patriot Flyaway 2.4m [51]	34
Figura 2.5- Antena Paraclipse [51]	35

Figura 2.6- Antena parabólica (prato e <i>feed</i>)	36
Figura 2.7- Posicionamento do <i>feed</i>	36
Figura 2.8- Modelação 3D da antena no <i>photodeler</i>	37
Figura 2.9- Uma das perspectivas fotografadas da antena	37
Figura 2.10- Pontos obtidos do <i>photodeler</i> no Matlab	39
Figura 2.11- Parábola perfeita da antena	40
Figura 2.12- Gráfico dos resíduos.	40
Figura 2.13- Medidas da antena.....	41
Figura 2.14- Largura do feixe.....	42
Figura 2.15- Antena encostada à parede no limiar do equilíbrio.	45
Figura 2.16- Cálculo da carga aerodinâmica exercida sobre a antena.	47
Figura 2.17- Antena na posição de segurança.....	47
Figura 3.1- Sistema de coordenadas Az-El.	49
Figura 3.2- <i>SPID-UK BIG RAS Az-El</i>	50
Figura 3.3- Controlador BIG RAS Az-El da <i>SPID-UK</i>	52
Figura 3.4- Painel frontal do controlador BIG RAS Az-El da <i>SPID-UK</i>	52
Figura 3.5- Painel traseiro do controlador BIG RAS Az-El da <i>SPID-UK</i>	53
Figura 3.6- <i>Display</i> indicativo da função seleccionada no controlador.	54
Figura 4.1- Mastro de fixação situado no topo do edifício I-Nascente	55
Figura 4.2 - Desenho da peça de fixação do rotor ao mastro.	56
Figura 4.3 - Peça de fixação na versão 1 do rotor à antena.....	57
Figura 4.4 - Peça de fixação na versão 2 do rotor à antena.....	57
Figura 4.5 - Peça de fixação na versão 2 vista 2 do rotor à antena	58
Figura 4.6 - Peça de fixação na versão 3 do rotor à antena.....	58
Figura 4.7 - Peça de fixação, na versão 3, do rotor à antena.....	59
Figura 4.8 - Diagrama de ligações	61
Figura 4.9 - Caminho de cabos até ao <i>feed</i>	62
Figura 4.10 - Peça de fixação na versão 3 do rotor à antena e suas características	63
Figura 4.11 - Centro de massa do sistema.....	64
Figura 4.12 - Contrapesos.....	67

Figura 4.13 - Desenho do sistema de estabilização dos contrapesos.....	67
Figura 4.14 - Peças do sistema de estabilização dos contrapesos	68
Figura 4.15 - Sistema de estabilização dos contrapesos	69
Figura 4.16 - Fonte de alimentação do rotor.....	69
Figura 4.17 - Suporte do mastro.....	70
Figura 4.18 - Ângulo da estação terrestre ao satélite em relação ao centro da Terra.	72
Figura 5.1 - Imagem do Orbitron com dois satélites seleccionados um deles com <i>footprint</i> englobando a localização da FEUP.....	74
Figura 5.2 - ADVANTEST R3132 SPECTRUM ANALISER 9kHz - 3GHz.	74
Figura 5.3 - Espectro de um satélite GPS registado no analisador de espectros.....	74
Figura 5.4 - Desalinhamento entre antenas	75
Figura 5.5 - Identificação do sistema de coordenadas relativo ao cálculo de enviesamento da antena.	76
Figura 5.6 - Imagem vista no nível de precisão antes do ajuste da barra de rotação, respectivamente ao lado esquerdo e ao lado direito do rotor.....	77
Figura 5.7 - Montagem do nível de precisão de modo a determinar o erro em relação ao azimute.....	78
Figura 5.8 - Numeração atribuída com o norte como referência.	78
Figura 5.9 - Escalas milimétricas de auxílio à calibração da antena	79
Figura 5.10 - Posição do feed relativamente ao eixo focal.....	80
Figura 5.11 - Diferenças no alinhamento da antena relativamente aos satélites GPS.	81
Figura 8.1 - Exemplos de pontos de oxidação existentes a necessitarem de manutenção.....	83

Lista de tabelas

Tabela 1.1 – Dados Técnicos SSETI - ESEO.	20
Tabela 2.1 – Especificações da SI10.	35
Tabela 2.2 – Coordenadas dos pontos definidos no Photomodeler.	38
Tabela 3.1 – Diâmetro e distâncias entre o controlador e a antena. [48]	51
Tabela 3.2 – Ligações do azimute entre o rotor e o controlador. [48]	51
Tabela 3.3 – Ligações da elevação entre o rotor e o controlador. [48]	52
Tabela 4.1 – Dados Técnicos SSETI - ESEO.	69
Tabela 4.2 – Velocidade de rotação do sistema de recepção de sinais de satélites.	72
Tabela 5.1 – Valores observados através do nível de precisão.....	78
Tabela 5.2 – Valores observados através do nível de precisão, segunda vez.	79
Tabela 5.3 – Valores observados através do nível de precisão, terceira vez.	79

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas (ordenadas por ordem alfabética)

FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
DEEC	Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores
SSETI	<i>Student Space Exploration and Technology Initiative</i>
ESEO	<i>European Student Earth Orbiter</i>
DEMEGI	Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial
NRA	Núcleo de rádio Amadores
ESA	European Space Agency
FTP	<i>File Transfer Protocol</i>
HPBW	Largura do feixe a meia potência
GEO	Geoestacionário
MEO	<i>Medium Earth Orbit</i>
LEO	<i>Low Earth Orbit</i>
ISS	<i>International Space Station</i>
LNA	<i>Low Noise Amplifier</i>
LNB	<i>Low Noise Blocker</i>
OEM	<i>Onda Electromagnética</i>

Lista de símbolos

d_{focal_ant}	Distância focal da antena
D	Diâmetro do reflector parabólico
d_{prof_ant}	Profundidade do reflector parabólico
m	Metros
m ³	Metros cúbicos
mm	Milímetros

mm^3	Milímetros cúbicos
Kg	Quilogramas
kg / m^3	Quilograma por metro cúbico
kg / dm^3	Quilograma por decímetro cúbico
"	Polegadas
Li-ion	Baterias de íon lítio
Wh	Watt-hora
l	Litros
V	Volts
dB	Decibéis
dBi	Decibéis em relação a uma antena isotrópica
°	Graus
G	Ganho da antena
Ar	Área do reflector
λ	Comprimento de onda
η	Rendimento
GHz	Giga Hertz
Hz	Hertz
m/s	Metros por segundo
Km/h	Quilometro por hora
R_e	Raio da Terra
h	Altura do satélite
θ	Ângulo de elevação da antena
L_t	Perdas na transmissão
L_r	Perdas na recepção
s	Segundos
cc	Corrente continua
A	Amperes
c	Velocidade da luz
M_f	Massa da peça de fixação
den_f	Densidade da peça de fixação
den_{ar}	Densidade do ar
V_f	Volume da peça de fixação
M_f	Massa da peça de fixação
$dist_f$	Centro de massa da peça relativamente ao eixo de rotação do sistema
M_{feed}	Massa do <i>feed</i>
$dist_{feed}$	Distância do <i>feed</i> ao eixo de rotação
M_t	Massa do sistema de recepção

CM	Centro de massa do sistema de recepção
cm1	Centro de massa da antena relativamente ao eixo de rotação do sistema
M_{pesos}	Massa dos pesos
$\text{dist}_{\text{pesos}}$	Distância dos pesos relativamente ao eixo de rotação do sistema
x	Distância do chão ao centro de massa
f	Frequência
<i>cae</i>	Coefficiente de atrito mecânico
$F_{\text{aerodinâmica}}$	Força (carga) aerodinâmica
A_r	Área do reflector
N	Newton
v	Velocidade
F_b	Binário
L	Altura do mastro
V_{cilindro}	Volume do cilindro
r_{cilindro}	Raio do cilindro
h_{cilindro}	Altura do cilindro
ρ	Peso específico

Capítulo 1 - Definição do propósito e orientação da investigação

Introdução

Este capítulo funciona como um prefácio do trabalho onde é feita uma identificação do trabalho a desenvolver em termos de projecto e da pesquisa necessária para o concretizar.

O objectivo do trabalho realizado foi o desenho e desenvolvimento de um sistema de posicionamento e controlo de um prato, para a recepção do sinal do satélite SSETI - ESEO, que fosse capaz de receber sinais de outros satélites.

Para tal identificaram-se os requisitos necessários para o sucesso deste trabalho.

Foi feita uma análise do equipamento existente no Departamento de Engenharia Electrotécnica e Computadores, mais propriamente no Núcleo de Rádio Amadores, e uma pesquisa de produtos existentes no mercado de modo a adquirir o material necessário para a construção de uma estação base de recepção de sinais de satélite.

Posteriormente foi feita uma planificação do trabalho a desenvolver, que foi depois ajustada ao longo da realização do projecto.

1.1 - SSETI-ESEO

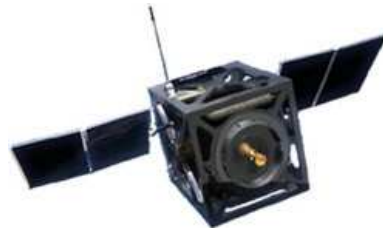


Figura 1.1- Satélite do programa SSETI - ESEO [2].

O *European Student Earth Orbiter* (ESEO) (figura 1.1) será um micro-satélite que está a ser construído, projectado e testado por uma rede de estudantes Europeus, no âmbito de um programa educacional da ESA, e vai estar em órbita para fotografar o planeta, medir o nível de radiação e testar tecnologias para futuras missões.

1.1.1. Projecto SSETI

O SSETI foi fundado no ano 2000 pelo Departamento de Educação da ESA, de modo a que uma comunidade de estudantes tenha a possibilidade de ter formação e experiências neste campo de estudos.

Esta comunidade de estudantes é composta por 70 equipas, incluindo centenas de estudantes, de 25 Universidades localizadas no Canadá e de 16 Países da comunidade Europeia.

Cada equipa contribui para um diferente subsistema do satélite e do seu apoio técnico. Devido à natureza da sua distribuição as equipas comunicam através do *Internet Relay Chat*, *newsgroup* e FTP.

O Programa SSETI é constituído essencialmente por 3 missões, que são introduzidas pela seguinte ordem:

- SSETI *Express*
- SSETI *European Student Earth Orbiter* (ESEO)
- SSETI *European Student Moon Orbiter* (ESMO)

Nestas missões cada equipa realiza estudos e concretiza o seu objectivo com coordenação técnica da ESA.

O programa foi estruturado por etapas, em que cada missão cresce o grau de dificuldade e ambição. Neste momento e já com o sucesso reconhecido do SSETI-Express, o projecto em curso é o SSETI-ESEO.

1.1.2. Objectivos da Missão

Esta missão tem como objectivo incentivar, motivar e desafiar os estudantes a aprofundarem os seus conhecimentos no campo da pesquisa e exploração espacial.

O satélite deverá transportar câmaras para fotografar a Terra e outros corpos celestes. Deverá ainda fornecer os níveis de radiação e seus efeitos¹ sobre os equipamentos ao longo das múltiplas passagens pela cintura de Van Allen², medindo a radiação recebida em diferentes pontos do satélite. Tem ainda como objectivo testar o comportamento de algumas tecnologias que irão ser usadas em futuras missões do SSETI. [1]

1.1.3. Data de lançamento

A data de lançamento inicial estava prevista para finais de 2008, no entanto de acordo com informações datadas de 21 de Janeiro de 2009 está previsto que se façam os testes e o lançamento no ano de 2011. [40]

¹ - Os seus efeitos fazem-se sentir a nível de painéis solares, circuitos integrados, e sensores compostos de semicondutores podendo ser danificados pela radiação e pulsos electromagnéticos contidos na alta atmosfera. [43]

² - Cinturão de Radiação de Van Allen tem formato duplo toroidal com centro no equador em que o anel mais interno e a ser estudado encontra-se entre os 1000 km e os 5000 km, este é composto de partículas energeticamente carregadas (Plasma). [44]

1.1.4. Dados técnicos do satélite

Para o satélite do projecto SSETI-ESEO está previsto que tenha as especificações apresentadas na tabela 1.1. De relevar em especial a importância da frequência a que este vai transmitir, uma vez que será a frequência a que a estação terrestre deverá receber os dados.

[1]

Tabela 1.1 – Dados Técnicos SSETI - ESEO.

Parâmetros	Valores
Dimensões	600x600x600 mm
Massa	75 kg
Tempo de vida previsto	Mínimo 1 mês; a missão será prolongada até ao fim da vida útil
Sistema de determinação de altitude	Sensores solares, sensores de horizonte, magnetómetro e um <i>star tracker</i>
Sistema de controlo de atitude	Roda de inércia, impulsionadores por gás frio, e controlo vectorial de impulsão
Sistema de controlo orbital	Gás frio
Transferência de dados a bordo	CAN, RS232, RS242
Frequências [52]	Frequências de <i>Uplink</i> : S band 2025 - 2110 MHz <i>Downlink</i> : 2200 - 2290 MHz
Telemetria	
- S-Band ³ (baixo ganho)	9.6 kbit/s
- S-Band (alto ganho)	128 kbit/s
Potência	Painéis solares articulados
- Média	80 W
- Máxima	300 W
Baterias	Li-Ion, 150 Wh
Propulsão	18 l, 300 bar, gás frio (Nitrogénio)
Tensão	28 V regulável
Controlo Térmico	Passivo

³ A *S-Band* compreende frequências de 2-4 GHz, atravessando a barreira (artificial) entre o UHF e o SHF a 3GHz. A *S-Band* é geralmente usada para satélites meteorológicos e em alguns satélites de comunicações. [53]

1.1.5. Bandas de frequência e feixes

Os satélites transmitem informação em termos de bandas de rádio frequência. As bandas de frequência mais usadas em comunicações por satélites encontram-se nas chamadas *C-band*⁴ ou na banda acima, a *Ku-band*⁵. As previsões indicam que ao longo destes próximos anos seja esperado um aumento na *Ka-band*⁶. Os satélites modernos são desenhados para terem diferentes bandas de frequência e diferentes níveis de potência em áreas geográficas particulares devido ao aumento de satélites lançados e conseqüentemente maior número de transmissões que podem ocasionar interferências.

As áreas de foco são chamadas de feixes. A Intelsat oferece quatro tipos de feixes:

- Globais - focando praticamente um terço da superfície terrestre.
- Hemi - focando praticamente um sexto da superfície terrestre
- Zone - focando uma determinada grande superfície terrestre
- *Spot* - focando uma zona específica do globo

1.2 - Benefícios da implementação do sistema de recepção de satélite

Este sistema de recepção de sinais de satélites traz vários benefícios para a instituição FEUP, enquanto unidade de ensino superior, mais especificamente ao DEEC, pois dota-o de um sistema útil tanto a nível pedagógico como a nível de investigação.

A funcionalidade deste sistema permite a realização dos mais variados trabalhos de investigação, desde o cálculo de órbitas, estudo de antenas, estudo e eventual desenho de *Feeds*, de amplificadores, LNA⁷, LNB⁸, etc.

Devido à grande dimensão do sistema temos uma largura de feixe estreita para as mesmas frequências obtidas com antenas de menor dimensão, ou até mesmo com cornetas. Este sistema permite a recepção de sinais com frequência relativamente baixa com maior exactidão em relação a antenas mais pequenas ou cornetas.

Usando este sistema é ainda possível executar projectos e estudos sobre a recepção e interpretação de dados recebidos de satélites, assim como projectos de radioastronomia.

4 *C-Band* - A IEE *C-Band* é uma porção do espectro electromagnético na gama de frequências das microondas que vai dos 4 aos 8 GHz. Tipicamente um satélite a transmitir na C-Band usa 3.7 --4.2 GHz para *downlink* e 5.9 - 6.4 GHz para *uplink*.

5 *Ku- Band* é uma porção do espectro electromagnético na frequências das microondas. A gama de frequências vai de 12.0 até 18.0 GHz (IEEE *Standart* 521-2002.) Na Europa representada pela ITU Região 1, a banda usada vai dos 10.7 até aos 12.75 GHz para transmissões directas de satélite.

6 - *Ka-Band* cobre frequências dos 26.5- a -40GHz utilizado em comunicações com satélites com *uplink* 's de 27,5GHz e 31GHz. Transmissões nesta banda requerem pratos com menor dimensão mas são mais susceptíveis a perdas de sinal devido à pluviosidade.

7 LNA - Amplificador electrónico usado em sistemas de comunicação para amplificar sinais recebidos por uma antena.

8 LNB - A sua função é usar o princípio super-heterodino para transformar um sinal a uma determinada frequência num sinal semelhante mas amplificado e a uma frequência mais baixa, denominada de frequência intermédia.

1.3 - Benefícios da comunicação por satélite

As comunicações por satélite têm vários benefícios em relação às alternativas terrestres, por serem universais, estão disponíveis virtualmente em qualquer ponto do planeta, sendo um pequeno grupo de satélites suficiente para produzir essa cobertura.

São versáteis uma vez que tem a capacidade de transmitir todo o tipo de comunicação existentes actualmente, sejam aplicações multimédia, vídeo, áudio etc. Possibilitando a comunicação em banda larga nos sítios mais inacessíveis ou simplesmente muito caros de alcançar por meios terrestres.

Este tipo de comunicações apresenta um alto índice de confiabilidade em relação aos meios terrestres, uma vez que os meios de transmissão terrestre utilizam diferentes topologias de redes, com diferentes congestionamentos e latências, tornando mais difícil a resolução de problemas inerentes à latência e ao congestionamento. Sendo mais previsíveis é mais fácil conseguir-se um nível de qualidade uniforme, independentemente da posição geográfica

É um sistema rápido, em comparação com algumas alternativas terrestres tanto no método de transmissão como no método de expansão. Por meio de fibra óptica ou de cobre seria incomportável chegar a determinadas zonas que são possíveis alcançar com comunicação por satélite. Além disso uma rede de satélites pode ser estruturada com relativa rapidez dotando o mercado com novos serviços.

Os satélites tem ainda a capacidade de serem facilmente integrados para complementar ou integrar qualquer rede de comunicações terrestre, ajudando a ultrapassar barreiras geográficas. [54]

1.4 - O que é a comunicação por satélite e como funciona?

A comunicação por satélite apareceu na década de 50 como alternativa às comunicações existentes que utilizavam o espectro radiofónico. Este tipo de comunicação era muito utilizado e ainda hoje se usa, mas torna-se ineficiente para grandes distâncias.

Como alternativa foi implementado o uso de um feixe microondas com as suas frequências entre os 3 e os 30 GHz, que possui uma grande largura de banda e boa capacidade de transmissão, usando os satélites artificiais como reflectores.

Em 1962 entra em órbita o Telstar 1, um satélite público que tinha o propósito de ser um reflector artificial activo que utilizava técnicas de transmissão, permitindo transmissões intercontinentais de televisão. [45]

A comunicação por satélite é uma estação rádio em orbita da terra que recebe, amplifica e redirecciona sinais a uma determinada frequência rádio, podendo estes sinais ser analógicos ou digitais.

Para além dos satélites de comunicação existem vários outros tipos de satélites tais como:

- Satélites meteorológicos - que fornecem informações meteorológicas e científicas de modo a prever as condições meteorológicas
- Satélites de observação terrestres - estes têm a capacidade de recolher informações sobre o planeta terra para os mais variados meios, utilizados por exemplo para o recolher de informações acerca do ecossistema do planeta Terra.

- Satélites de navegação - estes utilizam a tecnologia GPS para fornecer a localização de algo ou alguém para os mais variados fins como por exemplo para o auxílio da navegação

1.5 - Tipologias de redes em comunicações por satélite

Dependendo da aplicação os satélites podem ser usados com diferentes topologias de rede. Na versão mais simples a comunicação é feita em uma ou duas direcções entre duas estações terrestres, esta versão é chamada de transmissão simplex (figura 1.2) ou duplex (figura 1.3).

Comunicações mais complexas são por exemplo as topologias em estrela (figura 1.6) ou malha (figura 1.7).

Transmissão Simplex

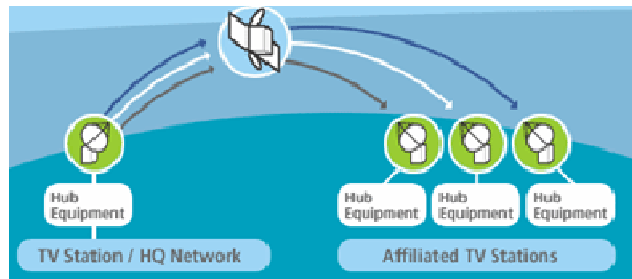


Figura 1.2- Transmissão simplex [46]

As aplicações simplex incluem transmissões em *broadcast* de serviços tais como:

- TV serviços de vídeo
- Serviços de rádio

Transmissão duplex ponto a ponto

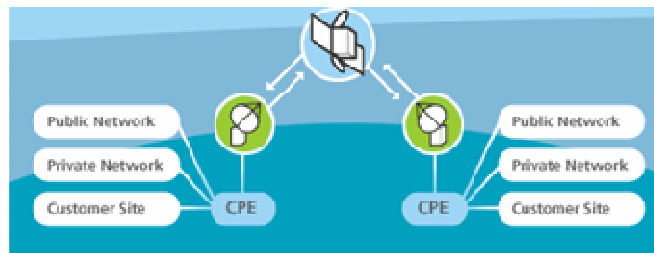


Figura 1.3- Transmissão duplex ponto a ponto [46]

Aplicações com comunicações duplex fornecem serviços tais como:

- Transporte de dados áudio como por exemplo a telefonia
- Transporte de dados
- Redes corporativas
- Contribuição e distribuição de *broadcast* de programas de televisão

Ligações ponto a multiponto

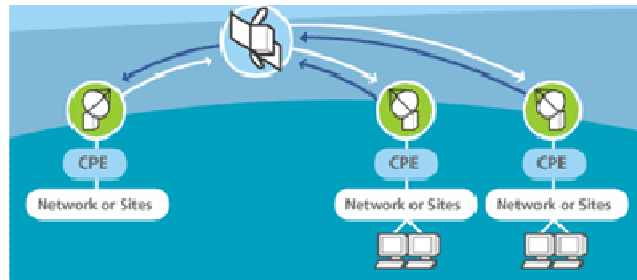


Figura 1.4- Transmissão ponto a multiponto [46]

Este tipo de ligações pode ser do tipo simplex, duplex, simétrica ou assimétrica. Normalmente neste tipo de serviços estão incluídos:

- Redes corporativas, incluindo serviços VSAT⁹.
- Vídeo e distribuição em *broadcast*, incluindo serviços de internet directamente ao domicílio.

Serviços de antenas móveis

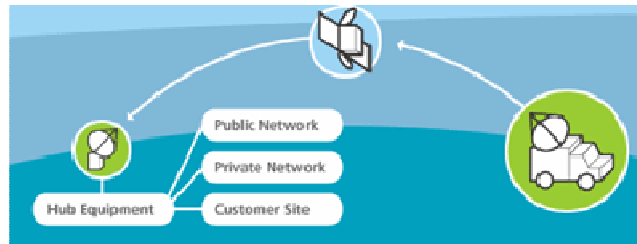


Figura 1.5- Serviços de antenas móveis. [46]

Neste tipo de configuração os serviços incluídos são:

- Satélites de recolha de informações de agências noticiosas
- Apoio para eventos especiais e seu *broadcasting*
- Serviços marítimos

Redes em estrela

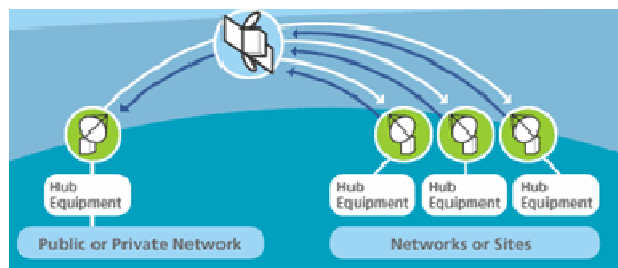


Figura 1.6- Redes em estrela. [46]

⁹ Very Small Aperture Terminal (VSAT) - são normalmente comunicações duplex via satélite, geralmente com antenas com uma dimensão menor a 3m de diâmetro, que comunicam com satélites geoestacionários, geralmente para transmitir dados que utiliza pouca largura de banda tais como transações, RFID, SCADA. Podendo também transmitir dados que requerem maior largura de banda tal como o VOIP ou vídeo. [42]

Aplicações para redes em estrela incluem:

- Redes corporativas
- Aprendizagem à distância

Redes em malha

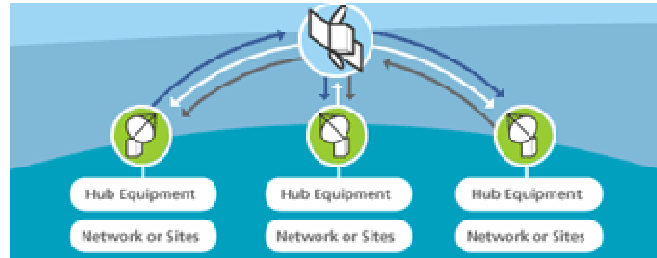


Figura 1.7- Redes em malha. [46]

Aplicações para redes em malha incluem:

- Redes de dados e de telefonia para serviços nacionais e internacionais
- Telefonia rural

1.6 - Localização da Estação terrestre

A antena e os restantes equipamentos da estação de recepção e transmissão de dados estão instalados na FEUP, no DEEC, mais especificamente na cobertura do edifício I-Nascente, local onde se encontra o Núcleo de rádio Amadores da FEUP. A estação terrestre encontra-se a uma latitude de $41^{\circ} 10'41.21''N$ e a uma longitude de $8^{\circ} 35'41.83''W$

1.7 - Objectivos pretendidos para a estação terrestre

A estação base deve ser dotada de um sistema de posicionamento com dois graus de liberdade e de grande precisão mecânica, de modo a obter uma precisão entre meio e um grau. Projectar e implementar um sistema de controlo compatível com esta precisão, que simultaneamente seja capaz de suportar a carga dinâmica da antena e de a mover a uma velocidade equivalente à da deslocação do satélite de modo a haver um aproveitamento máximo do período em que o satélite se encontra visível.

Deve ainda ficar capaz de receber sinais de outros satélites, independentemente da órbita, tendo em conta que as principais órbitas comerciais são:

- A órbita terrestre baixa
- A órbita terrestre intermédia,
- E a Geoestacionária.

Existem outros tipos de órbitas menos utilizadas e menos detalhadas neste documento, tais como:

- Órbita super síncrona
- Órbita sub síncrona

- Órbita de transferência de Hohmann
- Órbita heliosíncrona
- Órbita de transferência lunar

1.5.1 Órbita terrestre baixa (*Low Earth Orbit*)

Um satélite com uma órbita *Low Earth Orbit* (LEO) é um satélite que esteja a uma altura entre 500 km a 2.000 km de altitude (figura 1.3). Estes satélites orbitam muito próximo da Terra descrevendo uma trajetória em torno do planeta a grande velocidade.

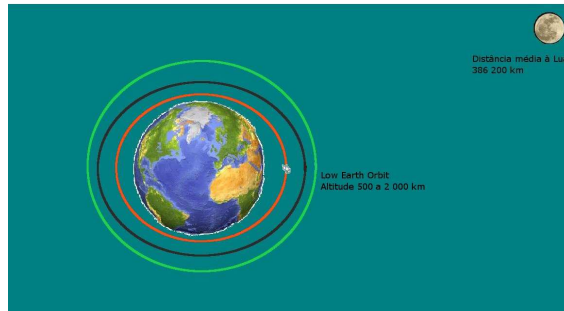


Figura 1.8- Órbita terrestre baixa representada pela cor vermelha. A figura não se encontra representado à escala.

1.5.2 Órbita terrestre intermédia (*Medium Earth Orbit*)

Estes satélites são de órbita terrestre intermédia situando-se a uma altura entre os 8.000Km a 20.000 km acima da superfície da Terra (figura 1.4).

Estas órbitas são geralmente reservadas para satélites de comunicações que cobrem o Pólo Norte e o Pólo Sul. Estes satélites têm uma orbita elíptica.

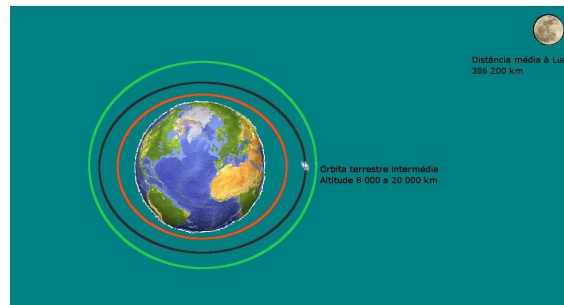


Figura 1.9- Órbita terrestre intermédia representada pela cor preta. A figura não se encontra representado à escala.

1.5.3 Satélites geostacionários

Um satélite geostacionário (GEO) nunca muda de localização relativamente a um observador na superfície da Terra, sendo a sua orbita síncrona com a do planeta Terra. Pelo facto de se localizarem sobre a linha do equador a uma altura de 35,786 km, giram à mesma velocidade angular da terra com a mesma direcção (figura 1.2).

Um satélite GEO pode ver aproximadamente um terço da superfície terrestre, se três satélites forem colocados a uma Latitude específica poderíamos ter praticamente toda a superfície terrestre “visível” através dos satélites. Os pólos neste tipo de satélites não são cobertos uma vez que estes teriam de estar praticamente no infinito para os abranger. Fazendo algumas contas, e sabendo que o raio de uma órbita geoestacionária é aproximadamente de 42140km, temos

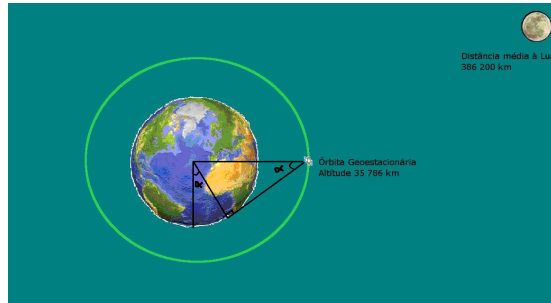


Figura 1.10- Ângulo morto do satélite geoestacionário. A figura não se encontra representado à escala.

$$\alpha = 90 - \arcsen\left(\frac{6350}{42140}\right) \times \frac{360}{2\pi}, \quad (1.1)$$

$$\alpha = 81^\circ, \quad (1.2)$$

Podemos ver que estes satélites cobrem a superfície terrestre aproximadamente até aos 81°, sendo que nesta zona já existe muita dificuldade de recepção, uma vez que o sistema terrestre de recepção tem de estar praticamente virado para o horizonte.

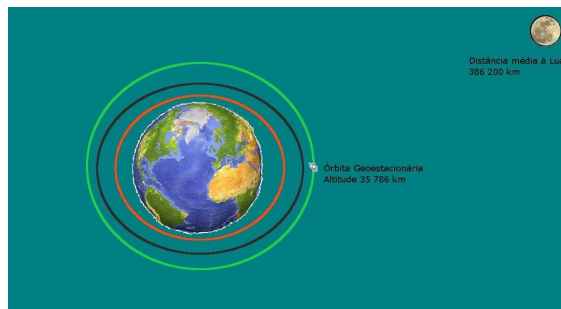


Figura 1.11- Órbita Geoestacionária representada pela cor verde. A figura não se encontra representado à escala.

Razão do uso da órbita geoestacionária em relação às restantes.

A maior parte dos satélites com fins comerciais são colocados numa órbita geoestacionária devido às seguintes vantagens:

- Um satélite, como foi dito, pode cobrir aproximadamente um terço da superfície terrestre, o que significa que um satélite tem um alcance de dimensões enormes se pensarmos na dimensão que as redes terrestres teriam de ter para cobrir a mesma área.

- As comunicações necessitam de antenas fixas. Uma vez que os satélites Geoestacionários mantêm-se numa órbita estacionária, significa que os utilizadores podem apontar as suas antenas para estes satélites sem que exista um custo de rastreamento do satélite e de perdas de sinal quando este já não se encontram na região visível, tornando estes satélites ótimos para comunicações seguras e confiáveis.
- Os satélites Geoestacionários têm um tempo de vida médio de dez a quinze anos.

1.5.4 Cálculo da distância real entre a antena e o satélite

No seguimento do estudo efectuado sobre antenas parabólicas e os satélites apresenta-se aqui como são feitos os cálculos da distância real de um satélite e de uma estação terrestre. Para um satélite GEO esse cálculo é trivial visto que a sua distância é constante. Para os outros casos utiliza-se a equação 1.3. Nas figuras 1.12 e 1.13 podemos ver desenhadas as projecções geométricas para o cálculo da distância entre o satélite e antena (superfície da terra). [4]

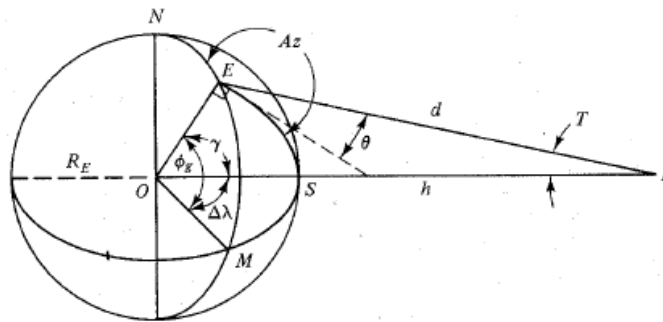


Figura 1.12- Distância do satélite a 3D

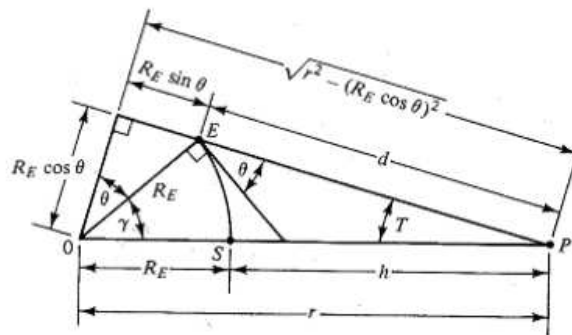


Figura 1.13- Distância do satélite a 2D

Tomando a distância real (dist) em função do ângulo de elevação da antena da estação terrestre e da altura h do satélite no nadir (90° de elevação), obtemos a seguinte expressão,

$$dist = \sqrt{(R_e + h)^2 - (R_e \times \cos \theta)^2} - R_e \times \sin \theta, \quad (1.3)$$

Onde: R_e - raio da Terra (6378,173 km)
 h - Altura do satélite (nadir¹⁰)
 θ - Ângulo de elevação da antena

Para o cálculo podemos ter uma ideia da altura, sabendo que os satélites LEO se encontram a uma distância entre 500 a 2.000 km da Terra. E que a estação ISS¹¹ a uma distância aproximada de 400 km da terra.

1.5.5 Estação Terrestre

Praticamente todas as comunicações com satélites requerem o uso de estações terrestres, para comunicar e efectuar trocas de dados com os satélites, interligando-os às redes terrestres. As estações terrestres podem ser fixas, isto é, serem instaladas em localizações específicas ou móveis, como exemplo para as estações terrestres móveis temos os *Satellite news station* ou em aplicações marítimas.

As antenas destas estações variam em diâmetro, dependendo do tipo de ligações pretendidas, e podem ir desde antenas VSAT que tem um diâmetro reduzindo a pratos com diâmetros entre 3 a 15 metros. [46]

A antena em si normalmente está conectada a equipamento numa sala técnica, que geralmente depois comunica com dispositivos de redes de comunicação terrestres.

1.8 - Considerações gerais sobre o meio envolvente da antena

Na elaboração de um projecto para um sistema de recepção com antenas é necessário considerar-se os campos próximos e distantes ideais, mas quando se procede à calibração os elementos interferentes envolventes à antena tomam corpo, e podem prejudicar de forma substancial o sistema.

Por tal motivo deverá ser prevista a interferência provocada por sistemas metálicos próximos à antena, tais como calhas e mastros. Uma vez que os raios microondas, usados para ligações satélite, não atravessam facilmente objectos deve-se também considerar a existência de elementos externos que possam bloquear o raio de acção da antena, tais como edifícios, arvores etc. Objectos interferentes podem alterar as curvas de funcionamento,

¹⁰ Nadir (do árabe nathir, “opósito”) - Em astronomia é o ponto inferior da esfera celeste segundo a perspectiva de um observador na superfície do planeta, é a projecção do alinhamento vertical que está sob os pés do observador à esfera celeste superior, localizada do outro lado do planeta e o oposto é Zénite.

¹¹ ISS (*International Space Station*) - Trata-se da Estação Espacial Internacional, ficará numa órbita a uma altitude aproximada de 400 km da terra e pretende garantir a presença permanente do ser humano no espaço.

diagrama polar e rectangular, afectando negativamente o rendimento, mas se forem tomados em consideração podem mesmo trazer alguma vantagem.

Por exemplo, uma estrutura metálica, com distribuição de corrente, provocando ressonância, pode afectar a impedância e rendimento, acontecendo por vezes a estação ficar com boa transmissão mas má recepção.

No topo do edifício I-Nascente é necessário considerar alguns factores que diminuem a qualidade de recepção do sistema de recepção interpondo-se entre o satélite e a antena, nomeadamente o edifício da biblioteca a sul (sendo este um edifício próximo com uma altura superior ao edifício I-Nascente) e ainda um mastro de uma antena na direcção norte. Uma solução a considerar de futuro é a implementação do mesmo sistema no topo do edifício da biblioteca uma vez que pertence à faculdade e é o edifício mais alto da zona.

1.9 - Projectos PESC/LIDERA

Este trabalho tem uma vertente de gestão e coordenação de grupo, tendo sido um projecto proposto e aceite para o PESC (Projectar, Empreender e Saber Concretizar) que é uma nova prática pedagógica com o objectivo de desenvolver, nos alunos, capacidades de trabalho em grupo multidisciplinar, de projecto, de concretização, de liderança e de empreendedorismo. Pretendeu-se que existisse uma boa coordenação do grupo de alunos, de modo a motivá-los e a desenvolver a aprendizagem através de projectos. Para tal foram feitas algumas reuniões para falar sobre o projecto e de lançamento de questões para debate sobre formas de realiza-lo. Existiu ainda colaboração na montagem da antena, e em algumas medições.

1.10 - Página de Internet

No âmbito deste projecto estava previsto a criação de uma página de internet, onde pudessem ser relatados os avanços da dissertação. Esta página foi feita em HTML (figura 1.5) e encontra-se em paginas.fe.up.pt/~ee99258.



Figura 1.14- Página de internet do tema de dissertação.

1.11 - Desenvolvimento do trabalho realizado.

O desenvolvimento deste trabalho fez-se seguindo o diagrama da figura 1.15.

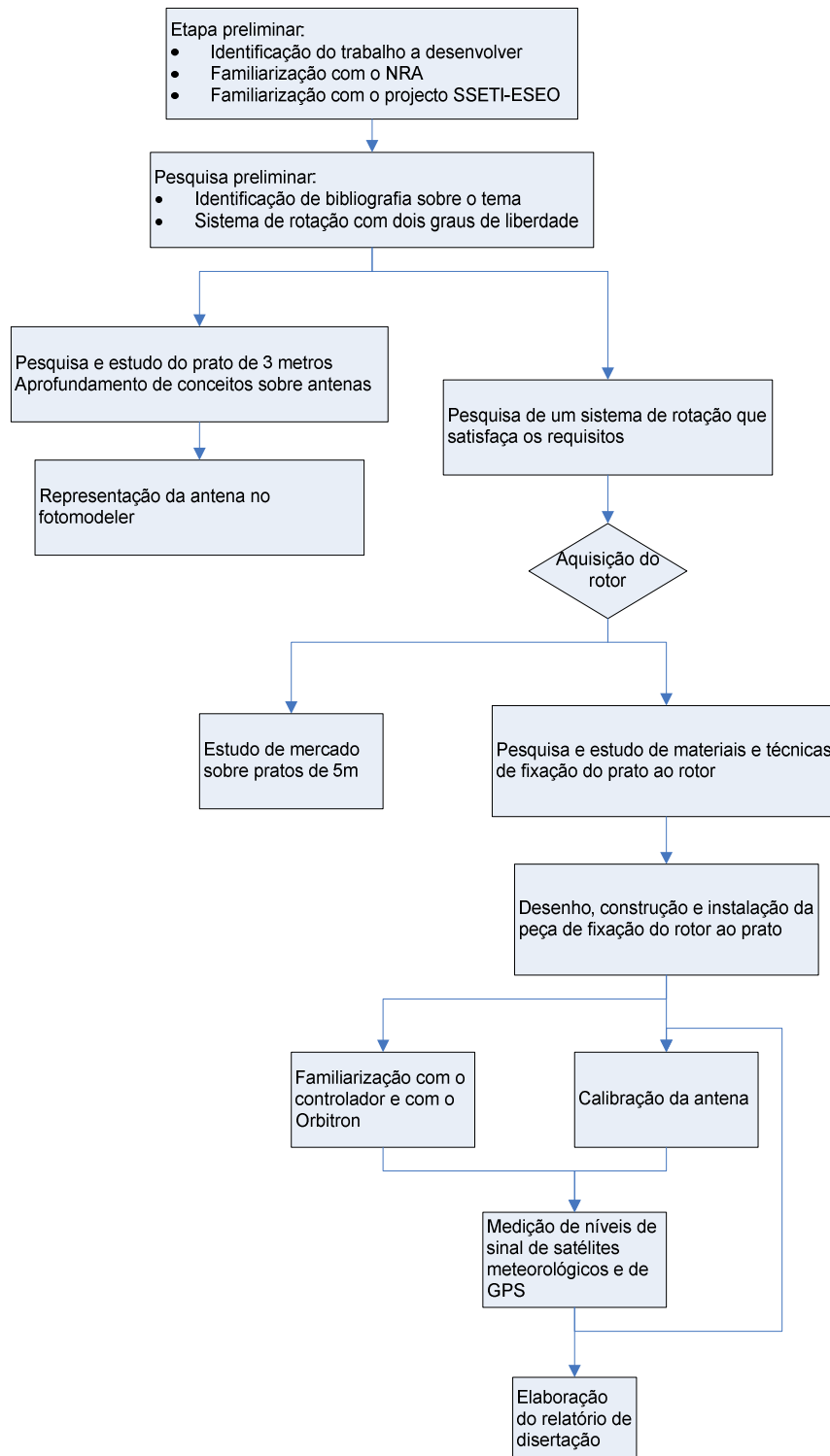


Figura 1.15 - Diagrama de trabalhos seguidos neste projecto.

1.12 - Cuidados a ter com o sistema de recepção.

Ao longo do trabalho ganhou-se alguma sensibilidade e conhecimento de cuidados a se ter no sistema. Apresentam-se de seguida algumas sugestões para manter a integridade do sistema, sugerindo alguns procedimentos que os futuros utilizadores deste equipamento deverão ter de modo a preservá-lo, o máximo possível.

1.10.1. Cuidados a ter

Desligar o sistema quando não estiver em uso.

Deixar sempre a antena na posição de segurança, quando esta não estiver a uso. Esta posição foi referida anteriormente, e é sobretudo útil em situações de vento forte.

1.10.2. Manutenção

Este sistema de recepção de satélites requer alguma manutenção, de modo a manter o sistema sempre em boas condições e a aumentar o seu prazo de vida.

A realização de exames de rotina, procurando pontos de ferrugem, principalmente nos parafusos e aplicando de imediato um tratamento anti-ferrugem, que ajudará a preservar a integridade das peças. Verificar o aperto correcto dos parafusos, pois as vibrações provocadas pelo próprio movimento da antena e pelo vento poderá fazer com que haja folgas.

Inspeccionar visualmente as ligações eléctricas, verificar se estão bem ligadas e não apresentam pontos sem protecção, se existirem, trocar por novo equipamento ou isolar.

Verificar os cabos, se os conectores têm folgas, verificar se nenhum destes apresenta deterioração, tais como fendas ou pontos com maior desgaste. Se assim for, substituir ou proteger os cabos aplicando spray de silicone.

Verificar o alinhamento do suporte do disco, com o tempo é provável que venha a ter algum desalinhamento, causando perdas de sinal.

O sistema deve ser verificado pelo menos uma vez por ano e após tempestades.

Capítulo 2 - Antena parabólica

Introdução

A antena é um componente fundamental para qualquer sistema de radiocomunicação, servindo de interface entre o meio de propagação guiada e o espaço livre.

Num projecto a este nível existe a necessidade de um elevado ganho que pode ser conseguido melhorando a directividade da antena, diminuindo o sinal/ruído, assim sendo será usado um reflector parabólico. Este reflector encontra-se disponível na faculdade e tem 3 metros de diâmetro, tendo já sido usado para projectos anteriores (figura 2.1). Foi efectuada uma pesquisa para determinar quais as especificações da antena, assim como um trabalho mais aprofundado de estudo deste tipo de antenas.

Após a aquisição do rotor estudou-se a possibilidade de comprar um novo reflector parabólico de 5 metros de diâmetro, visto que o rotor tinha capacidade de ser dotado de uma antena com este porte. Fez-se um estudo de mercado para a obtenção de um novo reflector de modo a melhorar a qualidade da antena do sistema de radiocomunicação, no entanto esta ideia foi abandonada, visto o tempo de entrega do equipamento ser bastante alargado, o que causaria um atraso no projecto (também pelo seu impacto orçamental). No entanto a recepção de sinais de satélite é melhor quanto maior a superfície do prato, de modo que no futuro este ponto poderá ser melhorado.

A antena deverá ter a capacidade de se mover em dois graus de liberdade de modo a poder seguir todo o tipo de satélites, e ter uma grande precisão, para uma recepção de dados de elevada qualidade.

Um sistema de recepção de dados da antena foi desenvolvido paralelamente como tema de dissertação, existindo uma estreita colaboração entre a construção deste sistema e o desenvolvimento do sistema de recepção da estação base SSETI-ESEO [47] de modo a obter um trabalho final mais completo possível.



Figura 2.1- Prato da antena parabólica disponibilizada pelo DEEC.

2.1 - Estrutura das antenas parabólicas

A estrutura de um prato parabólico pode ser sólida, de rede ou de fios e o seu formato pode ser circular (figura 2.2) ou um misto de circular e rectangular (figura 2.3), existem ainda antenas parabólicas com formatos especiais tais como as Patriot (figura 2.4) ou Paraclipse (figura 2.5).



Figura 2.2- Antena parabólica sólida circular [51]

Um prato sólido tem as características mais próximas do ideal mas tem a desvantagem do peso e da resistência oferecida ao vento.

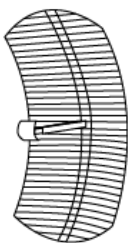


Figura 2.3- Antena parabólica e formato misto de circular e rectangular [51]



Figura 2.4- Antena Patriot Flyaway 2.4m [51]

Existem alguns tipos de desenhos de antenas para recepção a satélites com formatos bem diferentes tal como a Flyaway de 2.4m em que tem um design diferente para atingirem determinados fins específicos.



Figura 2.5- Antena Paraclipse [51]

As antenas Paraclipse são antenas de alto performance, e desenhadas para aguentarem as situações mais adversas da natureza, mas de custos mais elevados. Têm ainda a desvantagem de serem muito pesadas, tornando mais difícil a tarefa de seguir o satélite.

A antena que apresenta as melhores características para ser utilizada neste projecto é uma solução em rede, que tem a vantagem de ser mais leve e com um diâmetro suficientemente grande para receber os sinais de satélite com uma largura de feixe estreito para uma mesma frequência que não era conseguido numa antena de baixo diâmetro. Tendo em conta o orçamento do projecto a antena que se encontra disponível pelo DEEC apresenta boas características para este projecto.

2.2 - Especificações da antena.

A antena usada neste trabalho é uma SAMI e o seu modelo é o SI10. A tabela 2.1 apresenta os dados fornecidos pelo fabricante [41].

Tabela 2.1 – Especificações da SI10.

Parâmetros	Valores
F/D Ratio	0,38
Diâmetro	10 feet (3,05m)
Distância focal	45,6 inches (1,158 m)
Largura de banda do lóbulo principal:	C Band: 1,749 graus Ku Band 0,583 graus

A antena é composta por 4 secções com uma estrutura de suporte de 1"X1", de 0,025x0,025 (m). O peso da antena é de 51 kg

A superfície da estrutura da antena é própria para Digital/C/Ku, sendo composta por uma rede de pequenos orifícios de 0.032, e fixada com parafusos. Tem uma estrutura intermédia de suporte e uma zona de montagem polar de 36" (0.914m).

2.3 - *Feed* e prato da antena parabólica



Figura 2.6- Antena parabólica (prato e *feed*)

Esta antena consiste numa antena (*feed*) que ilumina um reflector parabólico que reirradia essa energia na direcção do máximo ganho. Tem um ganho elevado e consequentemente um pequeno ângulo de abertura. São geralmente utilizadas para ligações de grandes distâncias.

Têm geralmente uma polarização linear e o seu ajuste é obtido através de rotação de 90° entre o *feed* e o reflector.

As antenas podem ter reflectores do tipo sólido ou vazado, e a sua posição de alimentação pode ser do tipo *focal point* ou *off-set*.

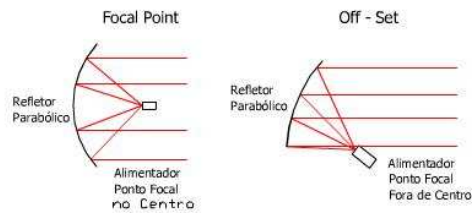


Figura 2.7- Posicionamento do *feed*

O *feed* (*feedhorn*) recolhe ainda os sinais e encaminha-os para um conversor de blocos de baixo ruído, que converte sinais electromagnéticos para sinais eléctricos, e altera os sinais recebidos na *C-Band* e *Ku-Band* para a gama *L-Band*.

2.4 - Modelo tridimensional da antena através da fotogrametria

Para a obtenção de mais dados sobre a antena foi feito um estudo mais aprofundado da mesma, para detectar eventuais deformações e para confirmação da distância focal. Para tal desenhou-se a antena a 3D recorrendo à criação de uma base de dados de imagens em fotografias da antena. Após a criação dessa base de dados as fotografias foram aplicadas num programa de fotogrametria (figura 2.8).

A utilização da fotometria implicou uma investigação e trabalho com este tipo de programa.

O programa utilizado foi *PhotoModeler* [39], este programa tem inúmeras capacidades podendo ser utilizado para os mais variados fins, desde aplicações em Engenharia,

reconstrução de acidentes, arquitectura e preservação, medicina legal e filmes de animação, uma vez que fornece modelação através de imagens para medidas precisas em 3D.

O *Photomodeler* permite: [39]

- Gerar tridimensionalmente conforme os desenhos 2D
- Executar modelagem de superfícies de alta densidade
- Medir e modelar equipamentos ou instalações existentes
- Modelar objectos cilíndricos tais como canos ou navios
- Executar medidas dinâmicas em equipamentos para processos
- Exportar modelos para a aplicação Autocad

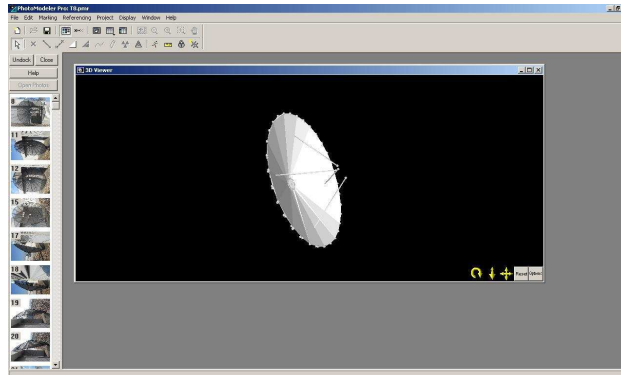


Figura 2.8- Modelação 3D da antena no *photomodeler*.

Visualmente o desenho a 3D da antena não apresenta deformações relevante mas também não é preciso o suficiente, podemos ver na figura 2.8 que o prato parabólico tem uma forma cónica. Para medir as deformações ao pormenor é necessário recorrer a estudo mais aprofundado. Para tal houve nova recolha de dados através da fotogrametria, e nesse sentido retirou-se novas fotografias em pontos específicos da antena juntamente com uma fita métrica a servir de escala. Temos na figura 2.9 um exemplo dessa recolha.



Figura 2.9- Uma das perspectivas fotografadas da antena

Após a recolha de diferentes perspectivas da antena as fotografias foram inseridas no *photomodeler* de onde se retiraram 27 pontos da antena (tabela 2.2) em que o ponto 27 é o ponto de referência e como tal é o ponto (0,0,0) sendo este o ponto de intersecção entre as linhas originárias dos pontos retirados na parte superior do prato, que define o eixo central do prato parabólico.

Tabela 2.2 – Coordenadas dos pontos definidos no Photomodeler.

Ponto	X	Y	Z	Descrição
1	0.200160	-0.016117	-0.508975	
2	-0.010281	-0.199125	-0.508535	Pontos da zona inferior da parábola
3	-0.188907	0.014163	-0.509854	
4	0.020347	0.170001	-0.510998	
5	1.545045	-0.019294	-0.002964	
6	-0.014887	-1.540901	0.005471	Pontos no topo da parábola
7	-1.533214	0.019247	-0.004612	
8	0.024980	1.536245	-0.002186	
9	0.664081	-0.016600	-0.424269	
10	-0.011878	-0.671844	-0.419773	Pontos em zonas intermédias da parábola
11	-0.673966	0.013287	-0.420245	
12	0.019691	0.679158	-0.419250	
13	1.121481	-0.015748	-0.247723	
14	-0.013657	-1.120634	-0.241684	Pontos em zonas intermédias da parábola
15	-1.110683	0.009029	-0.252706	
16	0.020329	1.125411	-0.241644	
17	0.003823	-1.547269	0.006269	
18	0.002896	1.546641	0.000000	Pontos no topo da parábola
19	-1.544019	-0.002928	-0.001672	
20	1.555593	-0.000000	-0.000000	
21	-0.085601	-0.093281	0.687174	
22	0.095581	-0.094004	0.693359	Pontos no suporte do feed
23	0.097314	0.086858	0.682767	
24	-0.083678	0.088236	0.678718	
25	0.001972	-0.131080	0.595657	
26	0.003793	-0.364082	-0.376818	Pontos na fita métrica
27	0.000000	0.000000	0.000000	Ponto de referência

De seguida estes pontos foram inseridos no Matlab para serem analisados originando o gráfico da figura 2.10.

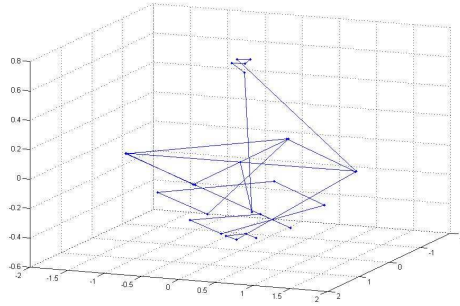


Figura 2.10- Pontos obtidos do *photomodeler* no Matlab

Tendo os pontos definidos e definindo α como um coeficiente da parábola (Figura 2.11)

Em que:

$$Z = \alpha(x^2 + y^2) + b, \quad (2.1)$$

O α relaciona-se com a distância focal através de:

$$\alpha \times d^2 = f, \quad (2.2)$$

Se:

$$d = 2 \times f, \quad (2.3)$$

Aplicando a equação 2.2 na equação 2.3 temos:

$$\alpha \times (2 \times f)^2 = f, \quad (2.4)$$

Então:

$$\alpha = \frac{1}{4f}, \quad (2.5)$$

Tendo os pontos marcados na parábola pelo método fotográfico, e aplicando os 16 pontos marcados sobre o prato na equação 2.1, chegou-se a um sistema sobre determinado, tendo 16 equações para 2 incógnitas.

Resolvendo pelo método do mínimo erro quadrático encontra-se a melhor aproximação para α e b .

Definindo-se a seguinte matriz para este cálculo:

$$A = \begin{bmatrix} \dots & \dots \\ x^2 + y^2 & 1 \\ \dots & \dots \end{bmatrix}, \quad (2.6)$$

Obtendo-se um $\alpha = 0,218$ e $b = -0,5m$.

Pela análise dos resíduos depende-se que a qualidade da parábola é boa.

Tendo α obtêm-se que:

$$f = \frac{1}{4\alpha} = 1,14m, \quad (2.7)$$

Tendo um diâmetro de 3,10m e com uma altura de 114cm. Em que a cinza está representado o prato da antena, a azul a continuação da parábola até à distância focal.

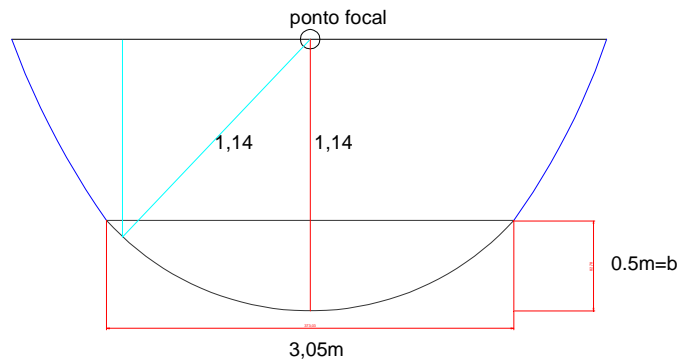


Figura 2.11- Parábola perfeita da antena

Obtêm-se o gráfico (figura 2.12) das diferenças entre o ideal e o resultado dos mínimos quadrados em que os pontos maiores representam a situação ideal:

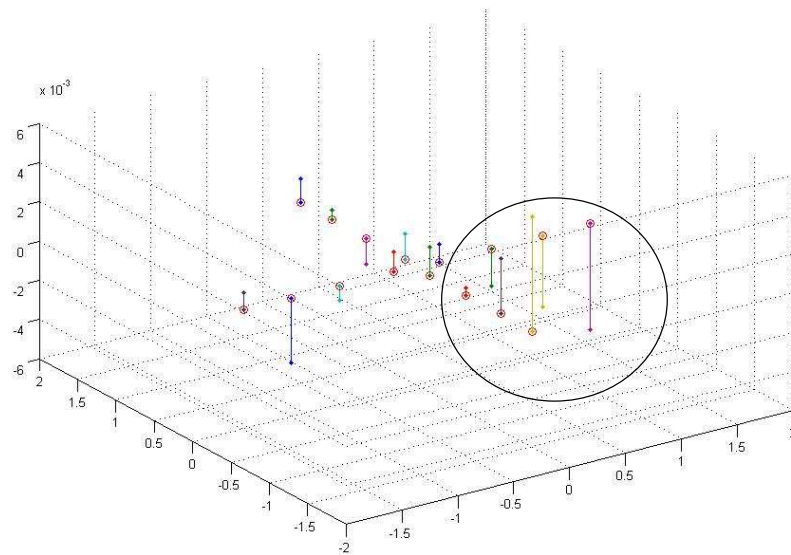


Figura 2.12- Gráfico dos resíduos.

Fazendo uma análise do gráfico e tendo em conta que podem ter ocorrido erros de rigor na marcação dos pontos, vemos que existe um padrão nos pontos assinalados na figura 2.12

mas considerando as escala vemos que a torção que existe é mínima na ordem de milímetros. Considerou-se então que a antena estava próxima do ideal.

2.5 - Distância focal

O centro de fase do *feed* deverá estar situado no ponto focal da parábola, constituindo a distância focal.

Anteriormente foi feito um estudo teórico da distância focal com os elementos fornecidos pelo fabricante do qual obtemos as seguintes medidas para a antena, representadas na figura 2.13. O seu cálculo foi efectuado segundo a equação (2.8) e demonstrado em (2.9)

$$d_{focal_ant} = \frac{D^2}{16 \times d_{prof_ant}} (m), \quad (2.8)$$

Onde:

d_{focal_ant} - Distância focal do reflector

D - Diâmetro do reflector nas mesmas unidades do comprimento de onda

d_{prof_ant} - A profundidade do reflector

$$d_{focal_ant} = \frac{3.05^2}{16 \times 0.5} = 1.16(m), \quad (2.9)$$

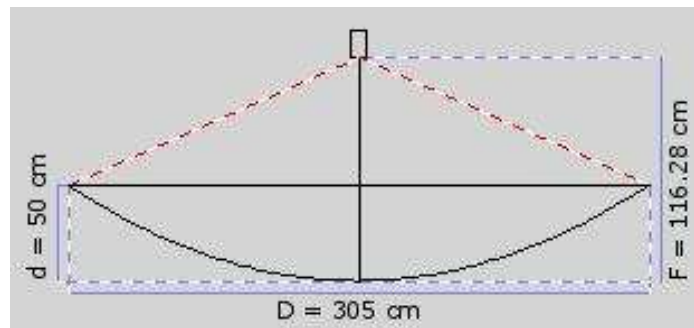


Figura 2.13- Medidas da antena

Através do método dos mínimos quadrados vemos que a distância focal se encontra a 114 cm do prato parabólico um valor muito próximo a este valor calculado anteriormente.

2.6 - Razão F/D

A razão F/D é a relação entre a distância focal do prato e o diâmetro da antena (equação 2.10).

$$\text{Razão } F / D = \frac{1,14}{3,05} = 0,374, \quad (2.10)$$

Esta razão obtida está próxima da razão fornecida pelo fabricante de 0,38. Pode-se ainda relacionar a razão F/D com a profundidade do prato pela equação 2.15.

$$F / D = \frac{D}{16d}, \quad (2.11)$$

Esta razão é importante porque define a relação entre a distância focal e o diâmetro do prato, representando a maneira de como o *feed* ilumina a superfície da antena. Quanto maior a razão F/D mais longe estará colocado o *feed*, assim as características do *feed* terão de ser modificadas de modo a não iluminar o prato em demasia, evitando a sobrealimentação que pode causar a degradação da figura de ruído do sistema. Da mesma maneira um *feed* com um feixe mais estreito não vai aproveitar as capacidades do disco, sofrendo de subalimentação. Um *feed* com uma largura de feixe a 10 dB coincide com os extremos do prato. Esta relação com a largura de feixe é definida pela seguinte equação:

$$F / D = \frac{1}{4 \tan\left(\frac{\theta}{4}\right)}, \quad (2.12)$$

Em que o θ é expresso em graus.

2.7 - Ângulo a meia potência e largura do feixe

O ângulo a meia potência ($\theta = 3$ dB) é o ângulo entre a direcção de ganho máximo e a direcção em que o sinal cai para metade, isto é, quando cai 3dB.

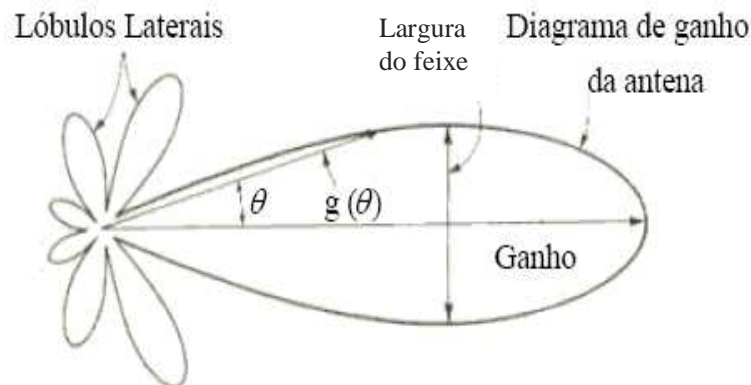


Figura 2.14- Largura do feixe

A largura do feixe é definida como duas vezes o ângulo a meia potência.

Onde D é o diâmetro, sendo depois multiplicado por um coeficiente que tipicamente situa em torno dos 70. [3]

$$HPBW = \theta_{beam} = 2\theta_{3dB} = 70 \times \frac{c}{f \times D}, \quad (2.13)$$

No caso de uma antena de 3m a 4 GHz na *C-Band* terá um ângulo de 1,75°.

$$HPBW = 70 \times \frac{3 \times 10^8}{4 \times 10^9 \times 3,05}, \quad (2.14)$$

Obtêm-se então uma largura de feixe de:

$$HPBW = 1,72^\circ, \quad (2.15)$$

Para o caso de satélites GPS¹², que são os satélites que foram usados para a calibração e sabendo que estes operam a uma frequência à volta dos 1575,42 MHz, situados na *L-Band*¹³, obtemos:

$$HPBW = 70 \times \frac{3 \times 10^8}{1575,42 \times 10^6 \times 3,05}, \quad (2.16)$$

Obtêm-se então uma largura de feixe de:

$$HPBW = 4,37^\circ, \quad (2.17)$$

O ganho teórico máximo para um reflector parabólico é:

$$G(dB) = 10 \times \log\left(\frac{4 \times \pi \times Ar}{\lambda^2}\right), \quad (2.18)$$

Sendo que o ganho real:

$$G(dB) = 10 \times \log\left(\frac{4 \times \pi \times Ar}{\lambda^2} \times \eta\right), \quad (2.19)$$

¹² - É um sistema de posicionamento global desenvolvido pelos Estados Unidos da América que usa uma constelação de 24 a 32 satélites de órbita média que transmitem sinais microndas que através de uma triangulação determina a localização dos receptores de GPS, a sua hora e velocidade.

¹³ A *L band* é uma porção do espectro electromagnético que se situa entre 1GHz e 2 GHz. É usada por alguns satélites de comunicação e pelos satélites GPS.

Onde:

G - Ganho em dBi;

A_r - Área do reflector em m^2 ;

λ - Comprimento de onda em metros;

η - Rendimento.

Sabemos ainda que:

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad (2.20)$$

Onde $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$.

A área do reflector obtêm-se da seguinte formula:

$$A_r = \eta \left(\frac{\pi \times D}{\lambda} \right)^2, \quad (2.21)$$

Obtêm-se então:

$$G = \eta \left(\frac{\pi \times D \times f}{c} \right)^2, \quad (2.22)$$

Para uma antena de 3m e eficiência de 0,55 (valor de referência) obtêm-se um ganho de 19542 na *C-Band*, a uma frequência de 6 GHz e comprimento de onda 0.05m.

Em dB será:

$$10 \log 19542 = 43 \text{dBi}, \quad (2.23)$$

Pode-se então concluir que o ganho aumenta proporcionalmente ao quadrado da frequência de operação (f) e ao tamanho da antena (D), concluindo ainda que a antena torna-se mais directiva quando operam a frequências mais altas. Se a frequência do sistema for fixa o aumento do tamanho da antena permite a obtenção de melhores ganhos.

2.8 - Cálculo do centro de massa

Para efeitos de fixação da antena e de modo a que esta execute com a maior eficiência os movimentos de rastreamento dos satélites, foi necessário o estudo do seu centro de massa de forma a determinar que contrapeso deverá ser colocado no sistema de fixação da antena, para que a velocidade de subida e descida da antena sejam o mais parecidos possível e por sua vez diminuir os consumos da corrente pelo rotor, assim como o desgaste do mesmo.

No ponto 4.7 do capítulo 4 são apresentados resultados, após uma análise feita aos consumos que o sistema consome.

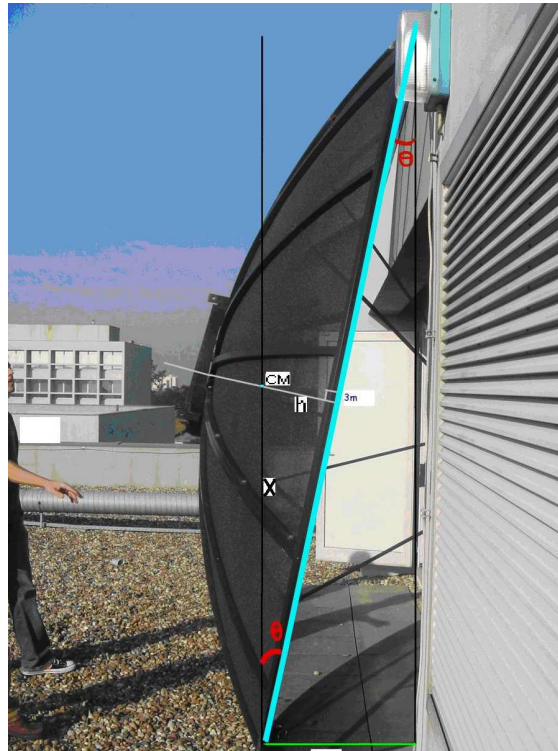


Figura 2.15- Antena encostada à parede no limiar do equilíbrio.

Sendo,

$$\sin \theta = \frac{\textit{cateto oposto}}{\textit{Hipotenusa}}, \quad (2.24)$$

Logo,

$$\sin \theta = \frac{0,55m}{3,05m}, \quad (2.25)$$

Obtemos,

$$\theta = 10,4^\circ, \quad (2.26)$$

Uma vez que,

$$\cos \theta = \frac{\textit{cateto adjacente}}{\textit{Hipotenusa}}, \quad (2.27)$$

Temos,

$$\cos 10,6^\circ = \frac{3,05}{x} = \frac{3,05}{2 \times x}, \quad (2.28)$$

Logo,

$$x = \frac{1,52}{\cos 10,6^\circ}, \quad (2.29)$$

Obtendo,

$$x = 1,55m, \quad (2.30)$$

Assim,

$$\sin 10,6^\circ = \frac{h}{1,55}, \quad (2.31)$$

Estando o centro de massa a:

$$h = 0,28m , \quad (2.32)$$

da linha azul representada no desenho.

Definindo o centro de massa em relação ao eixo polar da antena, zona onde é incorporada a peça de fixação ao rotor, temos:

$$CM = 0,5 - h = 0,5 - 0,28 = 0,22m , \quad (2.33)$$

O centro de massa encontra-se a 22 cm do eixo central do disco.

Estes cálculos compreendem apenas a antena e a zona de montagem polar, tendo a consciência que é necessário alterar o centro de massa da antena, no momento que adicionarmos o *feed* no sistema e a peça de fixação de modo a garantirmos uma boa calibração da antena

2.9 - Carga aerodinâmica

Foi efectuado um estudo da carga aerodinâmica provocada pela antena, não se considerando a atenuação do atrito devido aos buracos na rede do prato parabólico. Sabendo que a densidade do ar a 20° é de

$$den_{ar} = 1,2kg / m^3 \quad (2.34)$$

E aproximando ao coeficiente de atrito aerodinâmico de uma superfície côncava temos,

$$cae = 1,42 \quad (2.35)$$

Sendo a área frontal da antena,

$$A_r = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \quad (2.36)$$

Temos que,

$$A_r = \pi \times \left(\frac{3}{2}\right)^2 = 7,07m^2 \quad (2.37)$$

Sabendo que a carga aerodinâmica exercida é dada por:

$$F_{aerodinâmica} = \frac{1}{2} \times cae \times den_{ar} \times v \times A_r (N) \quad (2.38)$$

E que o binário exercido tendo em conta que o ponto onde a força exercida é o topo do mastro onde suporta a antena é de,

$$F_b = L \times F_{aerodinâmica} \quad (2.39)$$

Obtemos finalmente através do Matlab uma estimativa do binário que a antena irá provocar no mastro com a carga aerodinâmica, representada na figura 2.16.

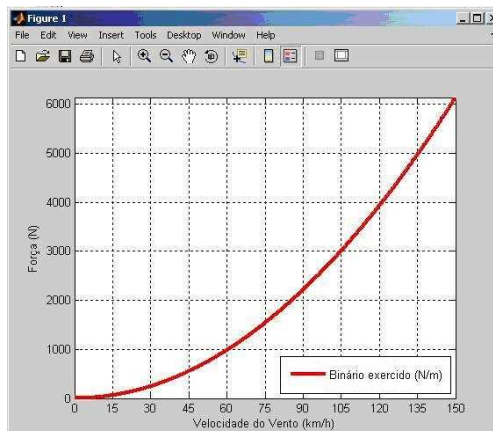


Figura 2.16- Cálculo da carga aerodinâmica exercida sobre a antena.

Conforme vemos no gráfico e com base em algumas pesquisas sobre a velocidade do vento na cidade do Porto, pelas quais se verificou que as médias rondam os 15 a 30 km/h, havendo registos de ter atingido os 110 km/h, podemos concluir que a antena não irá exercer muita força no mastro em situações normais. No entanto, considerando que se possam eventualmente verificar situações extremas, que possam originar uma carga maior, foi definida uma posição de segurança que a antena deve obedecer sempre que não estiver em funcionamento. A posição de segurança foi definida com o ponto de elevação de 90°, sendo esta uma posição segura uma vez que o prato da antena é de rede dando um caudal de saída para as águas da chuva, evitando que a acumulação de água aumente o peso do sistema. Esta posição não seria vantajosa caso se tratasse de um prato sólido. Nesta posição a carga aerodinâmica é menor, uma vez que tem uma menor superfície de contacto com o vento.



Figura 2.17- Antena na posição de segurança

Capítulo 3 - Sistema de rotor e controlador

Introdução

Definindo-se os objectivos para a aquisição do rotor efectuou-se um estudo dos equipamentos existentes no mercado para a compra do mesmo.

Neste capítulo explica-se melhor o funcionamento de sistemas de coordenadas, as causas que originam possíveis falhas do rotor e o percurso que originou a escolha do rotor e do controlador.

Apresentam-se as características do rotor e do controlador, assim como a sua interligação e funções.

3.1 - Rotor

Tal como definido nos objectivos do projecto para o sistema de posicionamento da antena para recepção de sinais satélite, procedeu-se a uma investigação e uma procura de soluções que respeitassem os seguintes parâmetros:

- Disco de 3 metros de diâmetro;
- Dois graus de liberdade;
- Varrimento de azimute até 400°;
- Varrimento de elevação de 90° ou superior;
- Precisão de meio grau;
- Boa velocidade de rastreamento;
- Preço acessível.

Tendo estas características determinadas iniciou-se uma investigação para definir o tipo de solução que se iria adaptar ao sistema de posicionamento. Foi feito um estudo de métodos utilizados por aficionados em sistemas de recepção de satélites de modo a investigar se existia alguma informação relevante ou até inovadora. Nesta investigação foram analisadas várias soluções implementadas em diversos pontos do mundo. De seguida foi feito um estudo

do estado da arte em empresas relacionadas com a venda de equipamentos relacionados com sistemas de recepção de satélite.

É crucial para o projecto que a antena tenha dois graus de liberdade, de modo a garantir que tenha esta capacidade de seguir as três principais orbitas dos satélites (MEO, LEO e GEO).

Após estas pesquisas foram seleccionadas várias soluções, que consideravam a implementação de um rotor de azimute e um de elevação, independentes. Algumas formas de o implementar seriam:

- a) Com um rotor no mastro de fixação;
- b) Um disco rotativo;
- c) Um disco que se deslocasse em cima de outro disco;
- d) Um sistema de rodas dentadas;
- e) Ou ainda um disco que girasse sobre pequenos carris.

Para o sistema de elevação estudou-se a hipótese de ter elevação apenas de 90° , no entanto chegou-se à conclusão que se a trajectória do satélite se situasse a 90° da antena haveria uma perda de sinal momentânea. Isto porque teríamos de rodar o azimute de 180° para voltar a captar o sinal e finalmente acompanhar o seu movimento diminuindo a elevação.

Foram também analisadas algumas soluções empregando um rotor com a capacidade de rodar 180° .

Fazendo posteriormente a adaptação do sistema de elevação ao sistema de rotação em azimute, para se obter o melhor custo versus eficácia do sistema.

Na figura 3.1 podemos ter a noção de um sistema de coordenadas dos sistemas de recepção, com dois graus de liberdade.

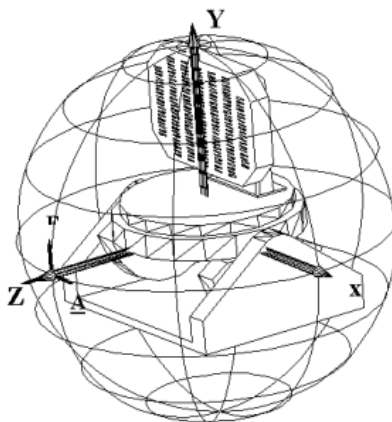


Figura 3.1- Sistema de coordenadas Az-El.

Quanto à velocidade de rastreamento esta tem necessariamente de ser alta, para poder acompanhar o movimento do satélite. A velocidade depende da altura do satélite, sendo que geralmente os satélites MEO completam uma volta à Terra em cada 6 horas, e os satélites LEO em cada 100 minutos. É necessário considerar atentamente alguns factores aquando da aquisição de um rotor:

- O que geralmente causa a falha no rotor?

Para além de certos problemas como a montagem errada ou actos da natureza, tais como relâmpagos, a causa principal da falha do rotor é este não cumprir as especificações requeridas, tal como não aguentar a carga dinâmica de um prato de 3 metros, ficando facilmente inutilizável com a primeira tempestade.

- Quais as especificações mais importantes?

Temos de analisar cuidadosamente a capacidade de rotação, assim como as de travagem do rotor, de modo a determinar se fornecerá uma boa resposta quando estiver em funcionamento.

Várias *datasheet*'s apenas especificam a força do rotor em quantos metros quadrados o rotor pode aguentar. Este tipo de especificação é insuficiente porque não tem em conta a distribuição da massa da antena ao longo dos seus eixos. Isto é, um disco circular de tamanho médio produz menos esforço para o rotor do que uma por exemplo uma Yagi, que devido à sua forma assimétrica.

No entanto nenhuma destas soluções era satisfatória, concluindo-se que o ideal seria um rotor que integrasse o sistema de rotação de azimute e elevação. Existem no mercado soluções com boas relações qualidade/preço, no entanto nem todas satisfaziam as necessidades do projecto. Seleccionou-se um rotor que contemplava todos os requisitos supracitados, o modelo Big RAS da marca SPID-UK. Este rotor foi desenhado para antenas de satélite de grande porte, aguentando facilmente um prato até 5 metros de diâmetro, com dois graus de liberdade e meio grau de precisão.



Figura 3.2- SPID-UK BIG RAS Az-El

Este rotor tem os seguintes dados técnicos fornecidos pelo fabricante.

Dados técnicos:

- Ângulo de viragem do azimute: $360^\circ \pm 180^\circ$
- Ângulo de viragem da elevação: $180^\circ \pm 20^\circ$
- Velocidade de rotação de azimute: 120 s (12V), 60 s (24V)
- Velocidade de rotação da elevação: 80 s (12V), 40 s (24V)
- Voltagem do motor: 24 DC / 1.5A (12 DC / 2.5A)

- Peso: 22 kg
- Motor de 12 a 24 volts DC

Em termos de custo este rotor apresenta-se como uma boa escolha visto que o preço que se encontrou, situa-se dentro dos parâmetros definidos no orçamento do projecto, e trazendo em conjunto o controlador do rotor.

3.2 - Ligações eléctricas do rotor e do controlador

As ligações são feitas utilizando um cabo de 4 fios para o controlador de azimute e 4 fios para controlador de elevação. [48]

4 fios - azimute (1,2,3,4)

4 fios - elevação (5,6,7,8)

O diâmetro dos fios a interligar os dois equipamentos depende da distância que estes se encontram separados. Temos na tabela 3.1 a as distâncias e o diâmetro dos fios aconselhados.

Tabela 3.1 – Diâmetro e distâncias entre o controlador e a antena. [48]

Distâncias	Diâmetros
10 m	1,19 mm
30 m	1,42 mm
60 m	1,75 mm

Usou-se de acordo com o fabricante dois cabos de 4 fios com um diâmetro de 1,42 mm uma vez que o tamanho do cabo é superior a 10 m.

Para a instalação é necessário tirar a protecção do motor e fazer as ligações conforme os quadros 3.2. e 3.3

Tabela 3.2 – Ligações do azimute entre o rotor e o controlador. [48]

Descrição	Porto do controlador
Alimentação	1
Alimentação	2
Impulsos	3
Impulsos	4

Tabela 3.3 – Ligações da elevação entre o rotor e o controlador. [48]

Descrição	Porto do controlador
Alimentação	5
Alimentação	6
Impulsos	7
Impulsos	8

3.3 - Controlador

O controlador foi adquirido em conjunto com o rotor



Figura 3.3- Controlador BIG RAS Az-El da SPID-UK.

O controlador apresenta os seguintes dados técnicos fornecidos pelo fabricante.

Dados técnicos:

- *Display's* de leitura
- Cabo RS-232 para ligação ao computador
- Controlo manual ou através do computador
- 0,5 graus de precisão
- Emula o protocolo Yaesu GS-232 ou o seu próprio protocolo SPID
- Rato modificado para um mais fácil controlo manual

O controlador foi ser testado de modo a determinar se é capaz de fazer o esperado para este projecto.

3.3.1 Descrição física do controlador

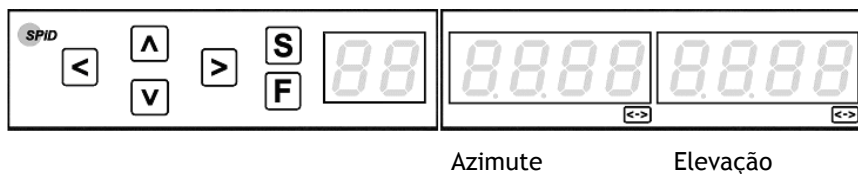


Figura 3.4- Painel frontal do controlador BIG RAS Az-El da SPID-UK.

Botões

-  - Esquerda (Diminuir)
-  -Cima (Aumentar)
-  -Baixo (Diminuir)
-  - Direita (Aumentar)
-  -Setup (Configuração)
-  -Função

Display de 7 segmentos e 4 dígitos

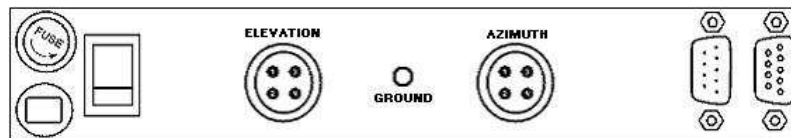
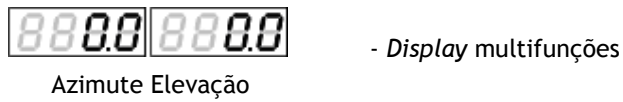


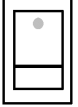






Figura 3.5- Painel traseiro do controlador BIG RAS Az-El da SPID-UK.

-  -Suporte do fusível
-  - Conector do cabo de alimentação
-  - Botão Ligar/desligar
-  - Controlador do cabo de controlo de azimute (1,2,3,4)
-  - Controlador do cabo de controlo de elevação (5,6,7,8)
-  -Conector DB-9 (macho)
-  -Conector DB-9 (fêmea)

3.3.2 Funções do controlador

F Selectivo de função

O botão **F** percorre os três modos de função que se apresentam nas figuras seguintes, com indicação no *display* do lado esquerdo qual função está seleccionada.

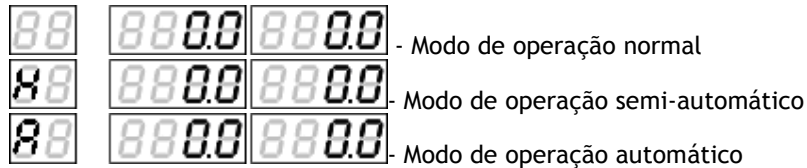


Figura 3.6- *Display* indicativo da função seleccionada no controlador.

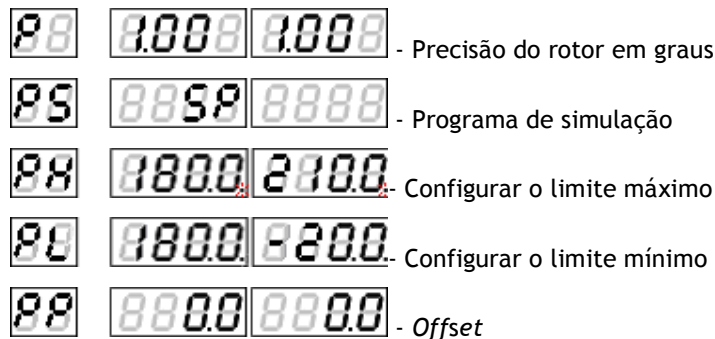
No modo de operação normal os botões **◀**, **▲**, **▼**, **▶**, assim como os do rato provocam a rotação do rotor enquanto estes estiverem a ser pressionados. Se pressionarmos **S** neste modo entra-se no modo de configuração.

No modo de operação semi-automático os botões **◀**, **▲**, **▼**, **▶** são usados para pré-seleccionar as coordenadas desejadas, assim que os ângulos pretendidos sejam atingidos e se largue o botão o rotor entra em funcionamento até atingir os ângulos desejados. Se se pressionar alguma tecla enquanto o rotor estiver a dirigir-se para o objectivo a acção é cancelada.

No modo automático o controlador vai responder aos comandos enviados pelo software de controlo que estiver a correr no computador, o Orbitron. Os botões **◀**, **▲**, **▼**, **▶** pode ser usados mas pressionando qualquer um deles vai cancelar os comandos introduzidos pelo Orbitron.

S Modo de configuração

O botão **S** percorre as cinco opções de configuração que se apresentam nas figuras seguintes, com indicação no *display* do lado esquerdo qual a configuração a ser alterada. Para modos de funcionamento que não seja o normal este botão funciona como um botão de STOP.



Para os efeitos desta dissertação vamos apenas descrever a configuração dos *offset*'s uma vez que esta é essencial para a calibração do sistema.

Esta configuração permite fazer pequenos ajustes à direcção que o rotor aponta sem que provoque a rotação do mesmo, permitindo alterar o local para onde este está a apontar, essencial para a calibração da antena.

Capítulo 4 - Montagem do sistema de posicionamento

Introdução

Neste capítulo descreve-se a interligação dos diferentes componentes do sistema de posicionamento de sinais de satélite, desde a montagem do rotor no mastro e da antena no rotor, o seu caminho de cabos, diagrama de ligações, o cálculo do centro de massa e construção do sistema de contrapesos assim como a determinação do peso e a que distância deveria estar do eixo, a calibração da antena e seus ajustes.

4.1 - Montagem do Rotor

O mastro de fixação onde foi montado o rotor já existia, fixado numa parede no topo do edifício I-Nascente (figura 4.1). Para que o seu uso fosse possível foi necessário introduzir algumas alterações, nomeadamente a nível do diâmetro (inicialmente de 8cm), uma vez que este era superior ao da cavidade de fixação no rotor ($\approx 6.5cm$). O diâmetro do topo do mastro foi então reduzido para 6.3 cm.



Figura 4.1- Mastro de fixação situado no topo do edifício I-Nascente

A peça foi desenhada de raiz no Autocad de modo a ser encomendada e posteriormente aplicada.

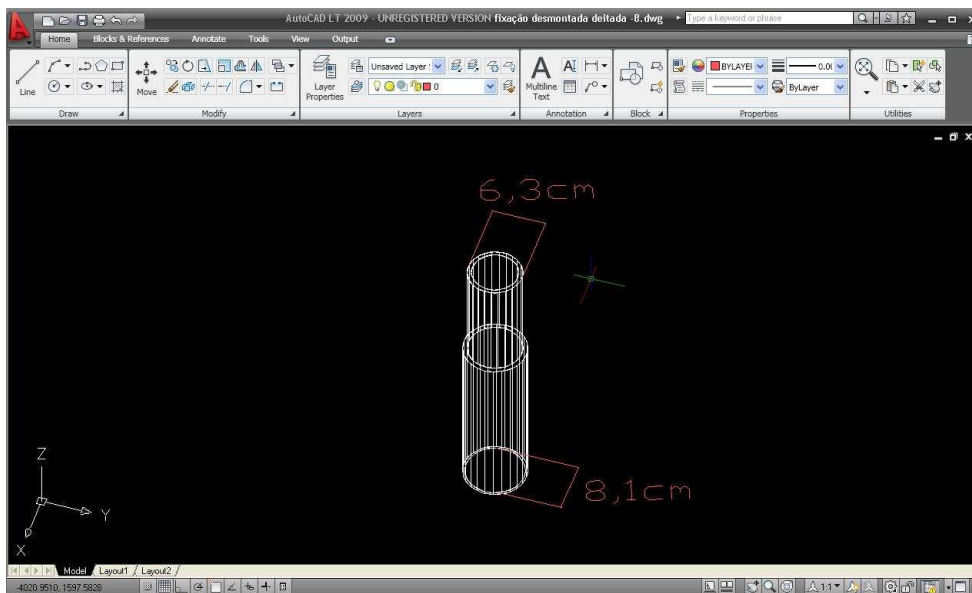


Figura 4.2 - Desenho da peça de fixação do rotor ao mastro.

4.2 - Interligação da antena ao rotor

Para a interligação do rotor com a antena, e visto não haver soluções apropriadas no mercado para este efeito, fez-se igualmente um estudo para determinar o melhor método de fazer esta ligação. Investigou-se o tipo de materiais existentes no mercado, com ênfase nas seguintes características: resistência (de modo a aguentar o esforço devido à carga aerodinâmica a que esta vai estar sujeita), durabilidade e menor peso possível.

Conclui-se que a melhor, neste caso seria o uso do aço zincado, que apesar de ter um peso específico elevado apresenta uma grande resistência ao esforço, uma grande protecção contra a corrosão, permite uma boa pintabilidade, conformabilidade e soldabilidade. Além disso o preço deste material adequa-se com o orçamento disponível.

Uma vez que não se encontrou no mercado uma peça que interligasse estes dois componentes procedeu-se ao desenho da peça, de raiz. Como se trata de uma peça mais complicada foram desenhadas várias versões como se pode ver abaixo (figuras 4.1 a 4.7). Estas versões foram sendo alteradas e melhoradas, com a supervisão do Professor Sérgio Reis cunha e com o aconselhamento do Eng.º Mário Pinto do DEMEGI. Esta parte apresentou-se como um grande desafio por entrar numa área não pertencente à área de Engenharia Electrotécnica e Computadores mas foi ultrapassado com bastante sucesso.

No desenho desta peça tomou-se em consideração a colocação de contrapesos para a antena, de modo a ser possível alterar o centro de massa. Isto permite uma calibração da antena, e uma uniformização da velocidade de elevação do sistema, obtendo-se uma uniformização dos consumos, em termos de alimentação do rotor, e o aumento do seu prazo de utilização.

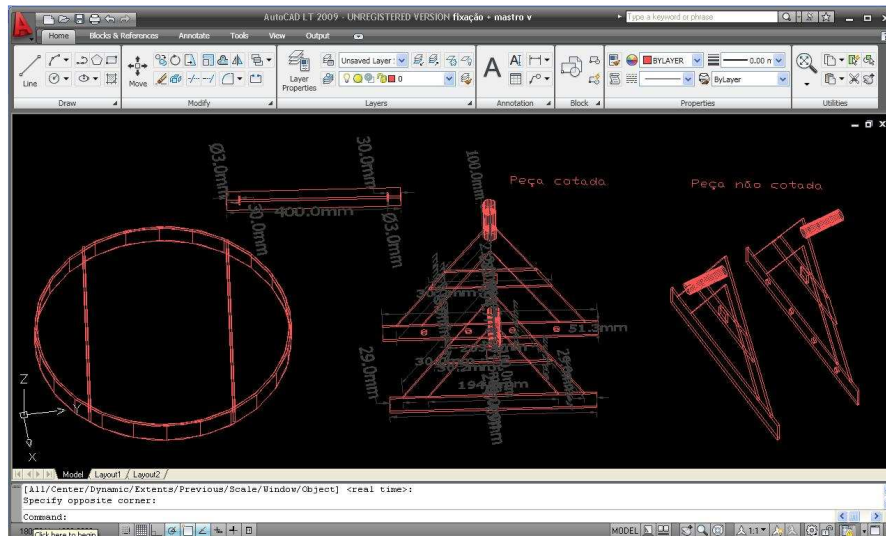


Figura 4.3 - Peça de fixação na versão 1 do rotor à antenna

Na figura 4.3 podemos ver a primeira versão desenhada para este trabalho. O anel de montagem polar à esquerda foi desenhado no Autocad com as medidas do existente na antenna de modo a servir de base para o desenho da peça de fixação.

Esta versão poderia trazer alguma instabilidade devido à força a suportar, visto que teríamos de utilizar uma espessura maior da peça acrescentando-lhe algum peso excessivo.

A barra central aqui representada era hexagonal de modo a dar uma maior força de tracção na altura dos movimentos de elevação. Nesta solução havia o risco desgaste desta peça, tornando-a cilíndrica e perdendo assim a força de tracção.

O suporte de contrapeso aqui desenhado é também pensado para ser similar a uma barra de halterofilismo, sendo necessariamente maciço tendo um peso também elevado e criando pontos de fácil ruptura com a peça de fixação.

A peça central de fixação está representada duas vezes, com e sem a cotação do desenho, de forma a facilitar entendimento da solução apresentada.

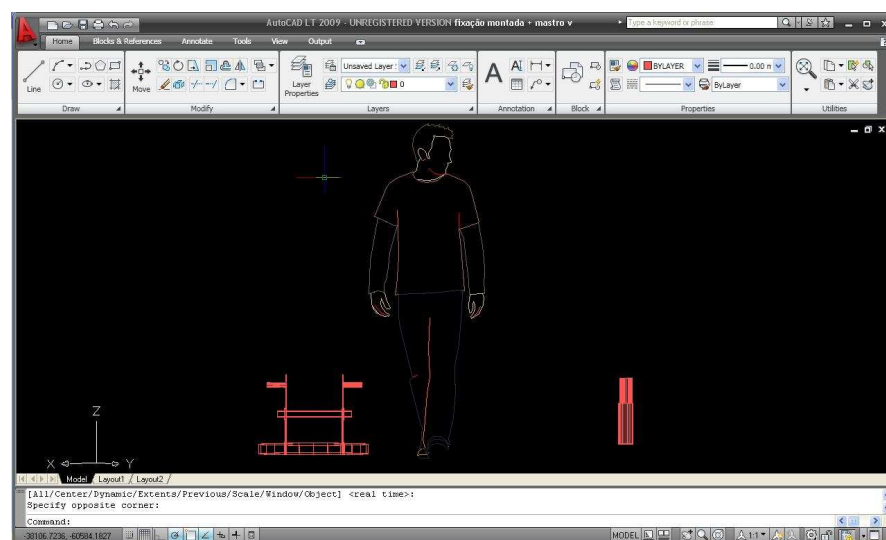


Figura 4.4 - Peça de fixação na versão 2 do rotor à antenna

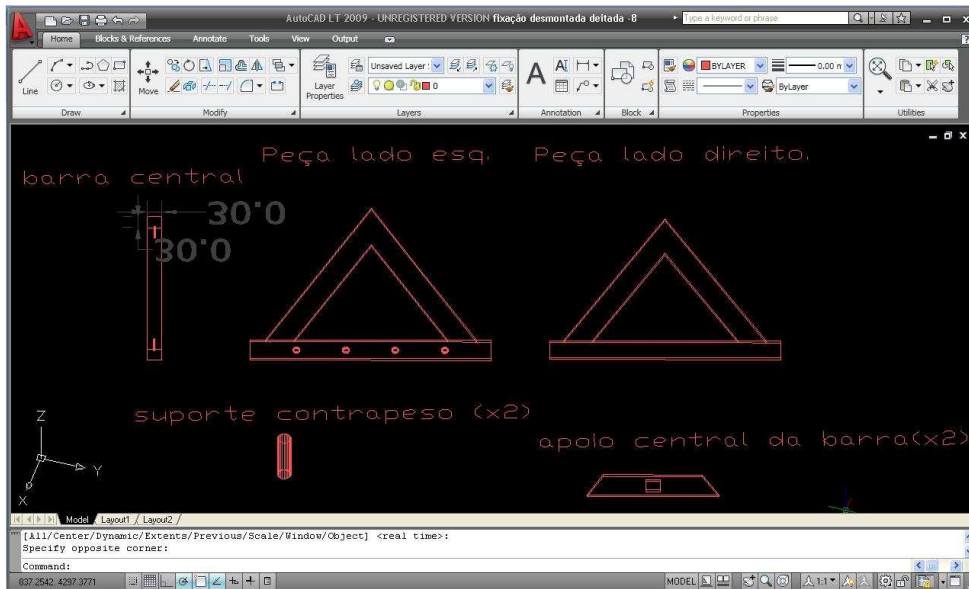


Figura 4.5 - Peça de fixação na versão 2 vista 2 do rotor à antena

Na versão da figura 4.5 os componentes das peças foram desenhados separadamente de forma a facilitar o corte das peças.

Houve também uma alteração na barra central, passando a ter um perfil quadrado de modo a evitar desgaste. O problema da espessura das peças laterais mantinha-se, de modo a ter resistência em detrimento do peso. Além disso a peça do lado direito continuava sem pontos perfurados de modo a fixar com o auxílio de parafusos e porcas, sendo em último caso a solução de uma soldadura das peças.

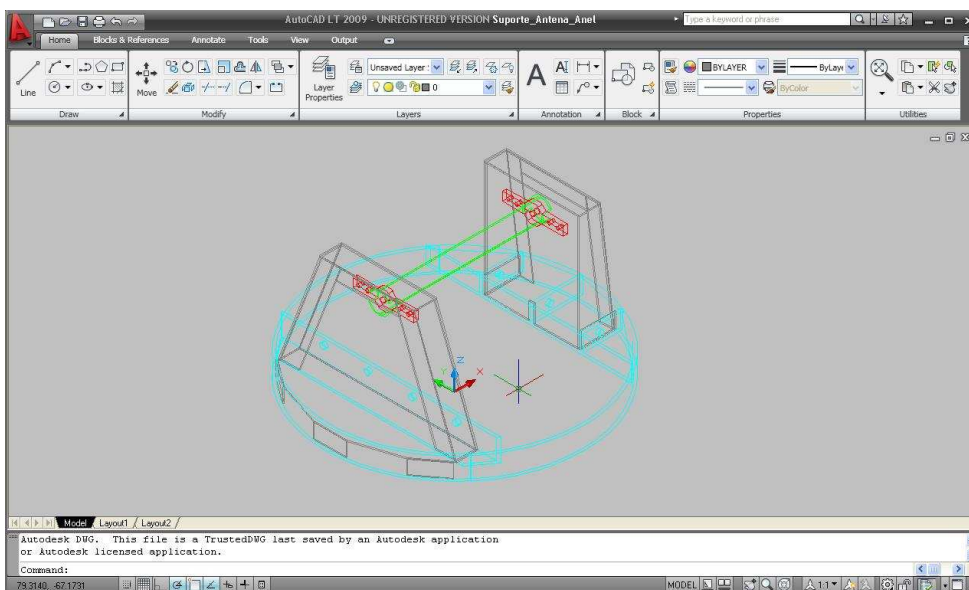


Figura 4.6 - Peça de fixação na versão 3 do rotor à antena

A figura 4.6 representa o modelo final da peça de fixação. Passou a recorrer-se à quinagem da chapa de aço, de modo a dar uma maior robustez à peça e de diminuir o seu peso. Não se encontra representado neste desenho a posição dos parafusos que ligam o anel à

peça de fixação. A barra central é uma barra cilíndrica representada a verde, com apoios nas pontas de modo a encaixar nas peças representadas a vermelho, que ligam a barra central à peça de fixação da antena de modo a que esta não possa rodar em “seco”.

A solução para os contrapesos consiste em varões roscados que se ligam aos pesos e à peça de fixação como podemos ver na figura 4.7.

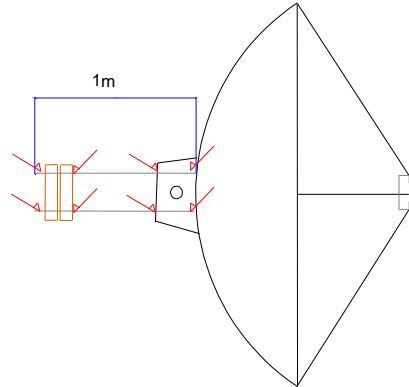


Figura 4.7 - Peça de fixação, na versão 3, do rotor à antena.

Estes varões roscados são presos na peça de fixação em dois pontos distintos para dar robustez à montagem. Na figura 4.7 podemos ver assinalados por setas vermelhas os pontos onde estes são presos à peça de fixação e os pontos onde levam as porcas de modo a fixar os contrapesos.

Estando a peça pronta, procurou-se conferir-lhe uma maior protecção contra a corrosão Para tal foi pintada com esmalte sintético, anti-oxidante.

4.3 - Ligações à antena e receptor

Esta parte do projecto é especialmente importante pois a potência de transmissão, a sensibilidade de recepção e o rendimento da antena depende da menor quantidade de perdas do sistema, que nada tem a haver com o ganho. Não adianta ter uma antena com elevado ganho se no sistema existem perdas que tornam pobre a sua recepção. Por isso o equilíbrio transmissão/recepção, a linha de transmissão e o meio no qual está inserido é muito importante.

A linha de transmissão é composta por dois ou mais condutores isolados por um dieléctrico que tem como finalidade que uma OEM se propague de modo guiado. Podem ser cabos paralelos, pares entrançados, coaxiais, guias de onda etc.

No caso de ligações satélite que são feitas a altas-frequências necessitamos de um bloco conversor de baixo ruído, uma vez que num cabo coaxial ocorrem muitas perdas num sinal a alta-frequência. Convertendo o sinal para frequências mais baixas as perdas na linha de transmissão são menores.

4.3.1 Diagrama de ligações

Na figura 4.8 está descrito o diagrama de ligações usado no sistema de recepção de satélite, inicialmente tinha-se o cabo de recepção da antena ligado directamente ao analisador de espectros mas para fins de trabalhar a recepção de dados ligou-se o sinal ao rádio (*scanner*) AR5000 que diminui a frequência do sinal para uma frequência intermédia¹⁴ de 10,7MHz tornando assim possível a ligação a uma placa de recepção de dados e posterior tratamento do sinal.

Com este diagrama de ligações foi possível realizar algumas experiências na área da recepção de dados de satélites e coadjuvou na leitura da intensidade do sinal na fase de calibração da antena.

¹⁴ Frequência intermédia é uma frequência para a qual uma portadora de determinada frequência é convertida como um passo intermédio entre a transmissão e a recepção. É onde um sinal recebido é ampliado antes da sua detecção ser feita.

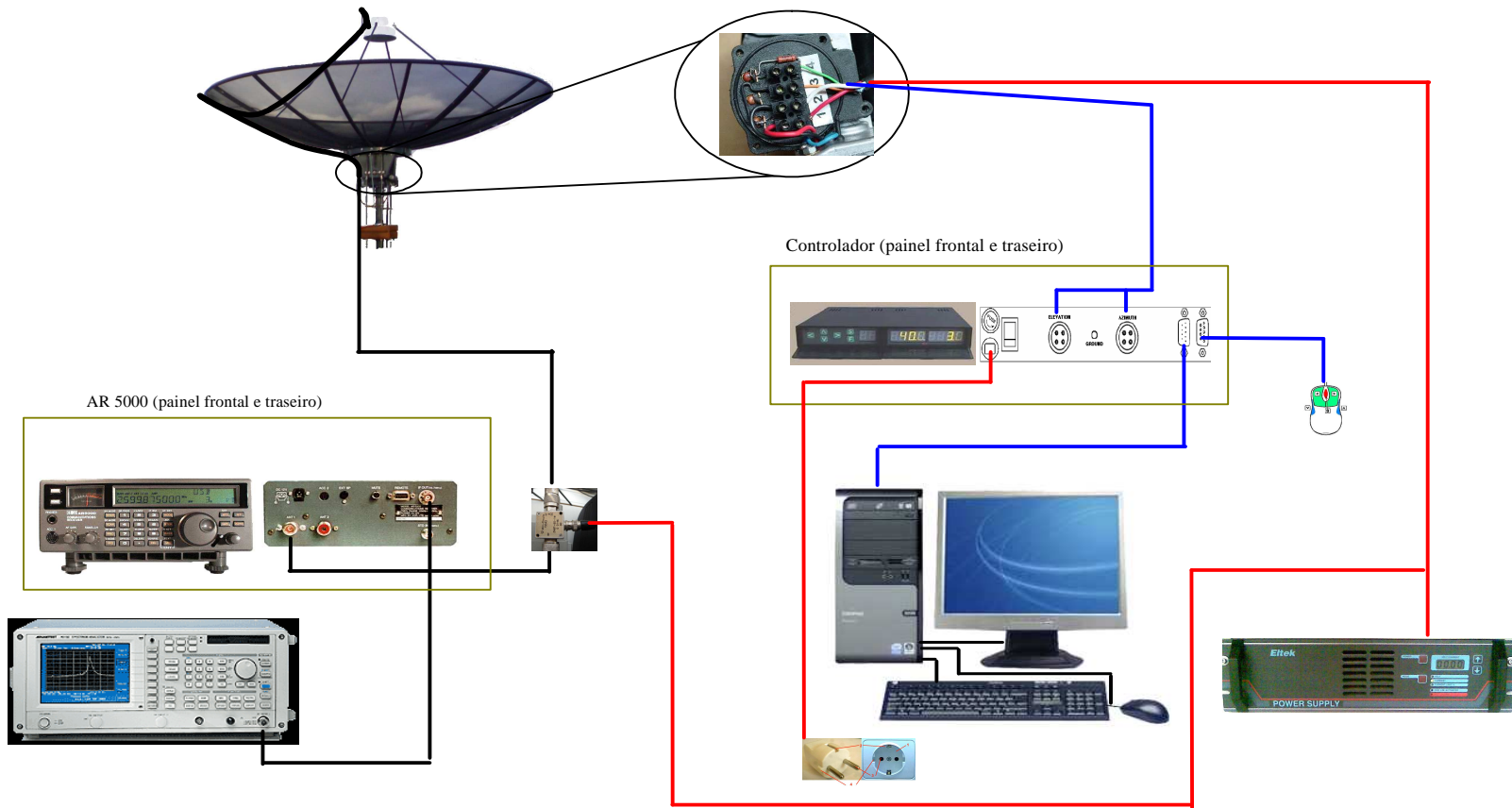


Figura 4.8 - Diagrama de ligações

4.3.2 Caminho de cabos

O caminho de cabos foi definido cuidadosamente para evitar que os movimentos do sistema causassem danos às ligações. Para tal foi identificado um caminho de cabos que tivesse folga na zona do *feed* e na zona do rotor para não se forçarem os cabos. (figura 4.9)

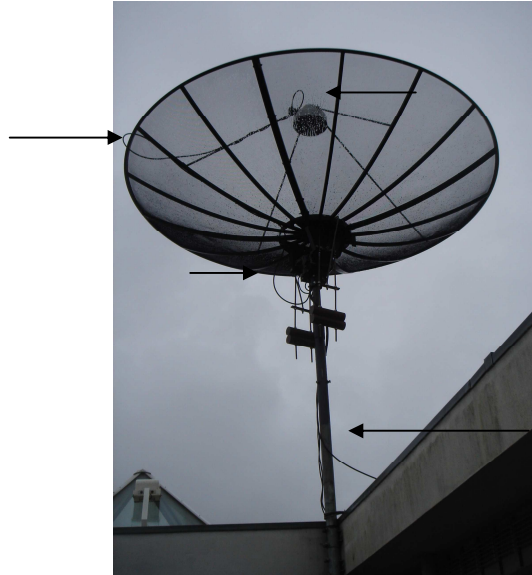


Figura 4.9 - Caminho de cabos até ao *feed*

O resto do caminho de cabos leva à sala técnica localizada a aproximadamente 5 metros de distância da antena.

Estes cabos têm protecção relativamente às intempéries, mas de futuro e para uma melhoria do sistema pode ser colocado um caminho de cabos através de uma calha técnica, conferindo protecção adicional.

Foram realizadas várias experiências, todas com sucesso, cobrindo todos os movimentos possíveis da antena para certificar que as ligações do sistema estavam salvaguardadas.

4.4 - Determinação do centro de massa do sistema

Com o sistema de posicionamento montado verificou-se haver um esforço muito grande do rotor e um consumo de energia excessivo e não uniforme no sistema de elevação da antena. Para tal não acontecer procedeu-se à colocação de contrapesos para balancear o sistema de posicionamento de modo a que a velocidade de subida (elevação) e de descida da antena sejam idênticos, evitando um desgaste excessivo do rotor e diminuindo os picos de corrente excessivos quando a antena subia.

A determinação do centro de massa revelou ser de grande importância no projecto, uma vez que ajuda a determinar o esforço que o sistema é sujeito, devido a não estar balanceado e compensado. Este cálculo é necessário para determinar o peso e a distância a que os

contrapesos devem ser colocados. Para tal necessitamos saber previamente do peso dos elementos constituintes do sistema.

Utilizou-se o Autocad e algumas contas para verificar o peso da peça de fixação do rotor à antenna.

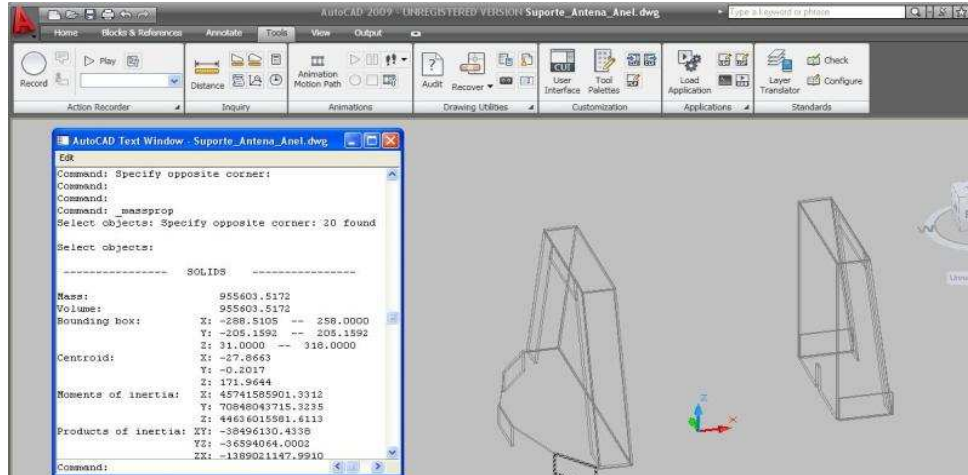


Figura 4.10 - Peça de fixação na versão 3 do rotor à antenna e suas características

Como podemos ver na figura 4.10 o volume da peça sem contar com o anel, pertencente à antenna e sem contar com a barra central que se encontra do eixo de rotação temos que o volume determinado é:

$$955603 \text{ mm}^3 = 955603 \times 10^{-9} \text{ m}^3$$

E que a densidade do aço é:

$$7860 \text{ Kg/m}^3$$

Sabendo que,

$$M_f = den_f \times V, \tag{4.1}$$

Temos,

$$M_f = 955603 \times 10^{-9} \times 7860, \tag{4.2}$$

Obtemos então,

$$M_f = 7,5 \text{ Kg}, \tag{4.3}$$

Onde: M_f - Massa da peça de fixação
 den_f - densidade da peça de fixação
 V_f - Volume da peça de fixação

Seguiu-se uma determinação do centro de massa do conjunto de antena, peça de fixação e com *feed*, sendo que o peso deste vai ser variável conforme o *feed* que se usar. Considerando que o *feed* usado tem à volta de 5 kg obtém-se o seguinte sistema.

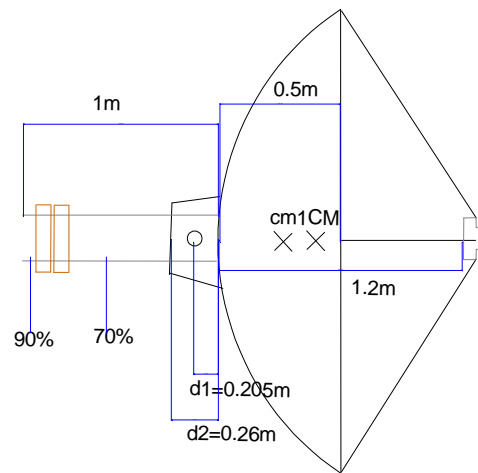


Figura 4.11 - Centro de massa do sistema

A deslocação do ponto de referência para o centro de massa da região polar da antena para o eixo de rotação implica que passamos a ter o centro de massa da antena (CM1) com a seguinte medida:

$$CM1 = 0,205 + 0,22 = 0,425m , \quad (4.4)$$

Então:

$$CM \times M_{total} = M_{pesos} \times dist_{pesos} , \quad (4.5)$$

E sabendo o peso aproximado do *feed*, o peso da antena e da peça de fixação temos,

$$M_{total} \cong 51 + 7,5 + 5 \cong 65kg , \quad (4.6)$$

O centro de massa do sistema vai ser:

$$CM = \frac{M_{ant} \times CM1 + M_f \times dist_f + M_{feed} \times dist_{feed}}{M_{ant} + M_f + M_{feed}} , \quad (4.7)$$

A distância da peça de fixação vai ser:

$$dist_f \cong -(0,26 - 0,205) + \frac{0,26}{2} \cong 0,075 , \quad (4.8)$$

Sendo este valor aproximado verificou-se no Autocad que o seu centro de massa encontra-se em:

$$dist_f = 0,072, \quad (4.9)$$

$$dist_{feed} \cong 1,2 + 0,205 + 0,05 = 1,45, \quad (4.10)$$

Então:

$$CM = \frac{51 \times 0,425 + 7,5 \times 0,075 + 5 \times 1,45}{51 + 7,5 + 5}, \quad (4.11)$$

Obtemos:

$$CM = \frac{21,67 + 0,54 + 7,25}{63,5}, \quad (4.12)$$

Logo:

$$CM = \frac{29,46}{63,5} = 0,47m, \quad (4.13)$$

4.5 - Contrapesos

Tendo o centro de massa do sistema de recepção calculado procedeu-se aos cálculos de determinação do peso que deverão ter os contrapesos para balancear o sistema e a que distância ao eixo de rotação se devem encontrar.

Considerando-se que se quer que os pesos fiquem entre os 80% e os 90%, de preferência próximos dos 90%, como os varões têm 1m de comprimento, implica que ficam a uma distância de 0,90 m no varão roscado a partir da antena, tendo em conta que os valores aplicados por estimativa foram sobrestimados e aplicando estes valores na equação 4.5 obtemos:

$$0,47 \times 63,5 = M_{\text{pesos}} \times 0,9, \quad (4.14)$$

Então,

$$M_{\text{pesos}} \cong 33kg, \quad (4.15)$$

Definiu-se um peso de 33 kg a uma distância de 0,9m do varão roscado e do ponto de ligação entre a antena e a peça de fixação.

Tendo em conta este valor, fez-se uma pesquisa para determinar qual o formato destes pesos e principalmente o tipo de material em que deveriam ser feitos. De modo a diminuir o seu tamanho pesquisaram-se materiais que tivessem um peso específico elevado, tais como:

- Chumbo,
- Aço,
- Ferro.
- E ligas de alumínio.

Considerando também o factor preço e considerando a toxicidade do chumbo, optou-se pelo uso de aço.

O aço apresenta um peso específico de 11,3 kg/dm³ e uma boa resistência às intempéries.

A escolha para a peça ser cilíndrica baseou-se no simples facto de que devido ao seu grande volume esta era a solução comercial mais viável e também porque assim o número menor de arestas vivas é menor.

Dividiu-se o peso dos 33kg por 4 peças de modo que cada peça tenha um peso de,

$$\frac{33}{4} = 8,25kg, \quad (4.16)$$

Sabendo então o seu peso específico é de 7800Kg/m³ e que a peça é cilíndrica calcula-se as suas dimensões, sabendo que o volume de um cilindro é dado por,

$$V_{cilindro} = \pi \times r_{cilindro}^2 \times h_{cilindro}, \quad (4.17)$$

Sabe-se ainda:

$$V_{cilindro} = \frac{P}{\rho}, \quad (4.18)$$

Então:

$$\pi \times r_{cilindro}^2 \times h_{cilindro} = \frac{P}{\rho}, \quad (4.19)$$

E estipulando um raio de 3,5 cm, temos:

$$h_{cilindro} = \frac{8,25}{\pi \times 0,035^2 \times 7800} = 0,275m, \quad (4.20)$$

Obtêm-se então 4 peças de aço de 7 cm de diâmetro, 27,5 cm de altura e um peso de 8,25 kg.

Tendo obtido as peças, foi preciso fazer os furos nas mesmas para serem colocadas nos varões roscados, este foram feitos na oficina de electromecânica do DEEC.

Para a perfuração foram necessárias medições nas quais se tomaram alguns cuidados, tais como a distância entre furos e o paralelismo dos mesmos. Como os cilindros a perfurar são de aço e têm um diâmetro de 7 cm, a operação teve de ser feita com a máquina de perfurar na velocidade mínima e recorrendo a uma solução oleosa, colocada no local de perfuração, de forma a melhorar a qualidade do corte e evitar o sobreaquecimento. Mesmo com estes cuidados para se efectuarem as perfurações tiveram de se utilizar várias brocas uma vez que devido à intensidade de utilização das mesmas, estas perdiam a sua capacidade de perfurar o aço. Foram feitas duas perfurações face a face em cada cilindro de modo a incorpora-los nos varões roscados



Figura 4.12 - Contrapesos

Na figura 4.12 vemos os contrapesos já instalados e vemos que estes já têm alguma ferrugem, tendo de futuro que se dar um tratamento anti-ferrugem às peças para que estas não se deteriorem.

4.6 - Estabilização dos contrapesos

Após a montagem dos contrapesos no sistema de posicionamento verificou-se que com o movimento do rotor o sistema de contrapesos vibrava muito criando eventualmente instabilidade no rastreamento dos satélites e possivelmente a criação de folgas e desgaste no mesmo. Para tal foi desenhado um sistema que diminuísse a vibração dos contrapesos, tal como a peça de fixação entre a antena e o rotor também este esteve sujeito a várias versões e revisões devido a entrar numa área diferente da de Engenharia de Telecomunicações.

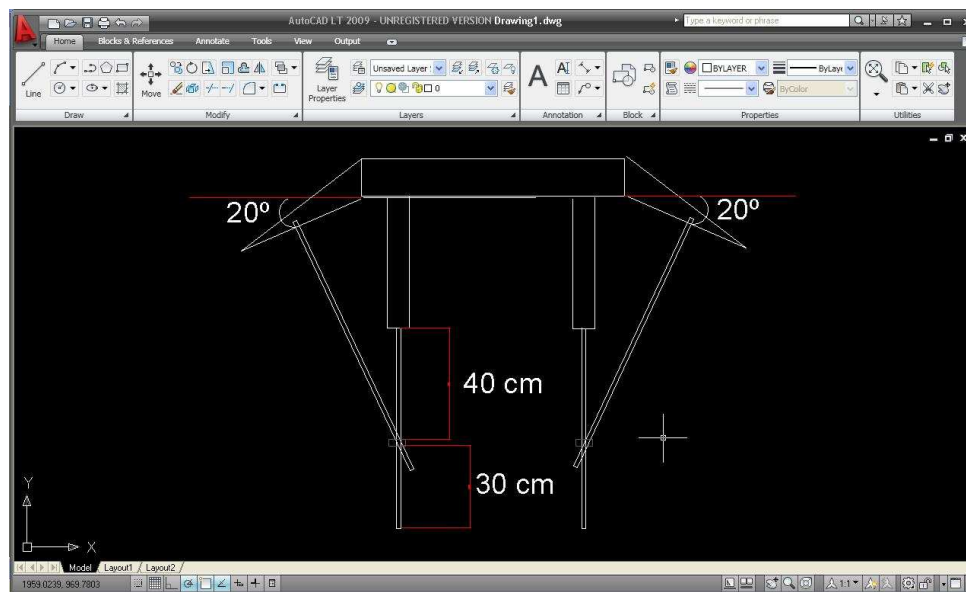


Figura 4.13 - Desenho do sistema de estabilização dos contrapesos

Nesta versão (figura 4.13) desenhou-se duas peças que seriam fixadas ao anel de fixação da antena que suportariam um varão roscado de 0,5 cm com um ângulo de 20° em relação ao

anel de fixação, o varão roscado seria preso por duas porcas e duas anilhas numa peça colocada entre os varões que suportam os contrapesos.

As peças de baixo nesta fase passaram por duas versões uma em que a parte central da peça era rodada 20° em relação ao ponto de fixação com os varões dos contrapesos, devido a complexidade de construção desta peça decidiu-se por uma peça sólida e a perfuração central ser feita com um ângulo de 20° ou levar duas cunhas com 20° de inclinação.

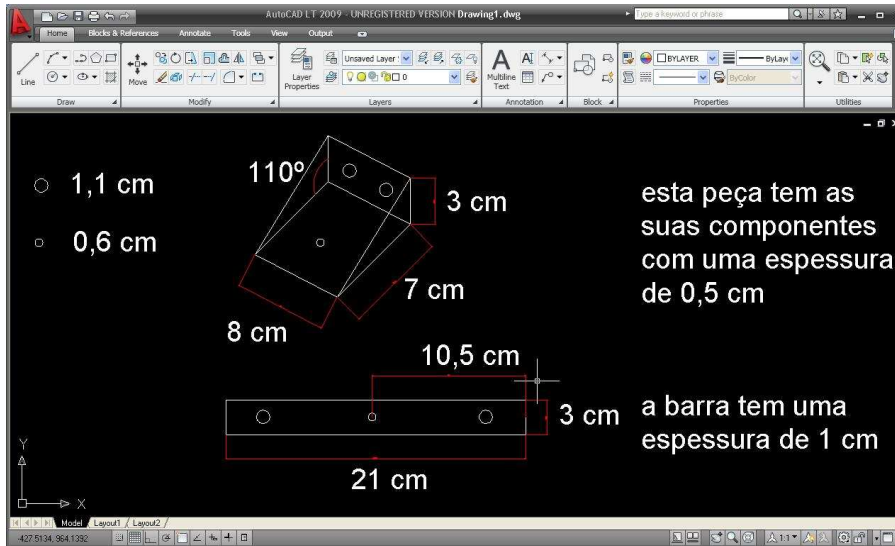


Figura 4.14 - Peças do sistema de estabilização dos contrapesos

Na figura 4.14 vemos em pormenor o desenho das peças do sistema de estabilização assim como as suas medidas.

Após uma análise mais cuidada e vê-se que esta solução poderá não ser a ideal uma vez que poderá trazer mais pontos de torção dando menos estabilidade ao sistema. Estes pontos poderiam dar origem a folgas, acrescentar peso ao sistema e possíveis pontos de corrosão. De modo a minimizar as situações descritas atrás decidiu-se retirar a peça de cima, arranjando-se nova solução. Uma vez que os varões roscados têm uma capacidade de torção decidiu-se utilizar estes de modo a utilizar como estabilizadores.

A versão final deste sistema de estabilização passa por dois varões roscados de 1 cm de diâmetro, com um ângulo aproximado de 110° fixados nas perfurações do anel de fixação da antena.

Esta perfuração só existia de um lado de modo que foi necessário perfurar-se o lado oposto para fixação do esticador. A perfuração existente não se encontra alinhada com o centro dos varões paralelos, pois tal era impossível devido a uma peça existente neste anel. Decidiu-se utilizar esta perfuração e os resultados finais foram bons. Ficando o sistema de estabilização conforme a figura 4.15.



Figura 4.15 - Sistema de estabilização dos contrapesos

4.7 - Consumos do rotor

O consumo do rotor antes da colocação dos contrapesos, no movimento de elevação da antena, chegava a ultrapassar os 3A. Após a colocação dos pesos para balancear o sistema foram efectuadas várias medidas e retiramos a média dos consumos da antena disponibilizados pela fonte. (figura 4.16)



Figura 4.16- Fonte de alimentação do rotor.

Os consumos em média, variavam conforme o movimento da antena (Tabela 4.1), que no arranque exigia sempre mais, no entanto verificou-se sempre um consumo abaixo dos 3A.

Tabela 4.1 – Dados Técnicos SSETI - ESEO.

Rotação em:	Média
Azimute	1,2A
Elevação (fase descendente do prato)	1,1A
Elevação (fase ascendente do prato)	1 ^a

De notar que na fase ascendente do prato, quando este se encontra a 0° os consumos são ligeiramente maiores que quando ele está próximo dos 90°. E que na fase descendente os consumos também são maiores quando está próximo dos 0°.

Isto indica o peso do prato e do *feed* é superior ao dos pesos, sendo necessário um afastamento destes, em relação ao centro de massa, para compensar esta situação. Existe ainda folga para ajustar esta distância.

4.8 - Elevação do mastro

Foi também necessário alterar a altura em que o mastro se encontrava, uma vez que a antena a ser instalada tem um diâmetro de 3m e capacidade de elevação entre 0° e 180° sendo necessário dotar a antena de folga para a sua movimentação.

Notou-se que desde a fase de instalação do sistema houve uma descida do mastro na ordem de 10cm, houve então a necessidade de imobilizar a descida do mastro, instalou-se um sistema de imobilização (figura 4.17).

Para tal perfurou-se o mastro acima de um dos apoios e foi colocado um varão roscado de 8mm com duas porcas, de modo estas sirvam de ponto de apoio protegendo a rosca do varão.



Figura 4.17- Suporte do mastro.

Esta alteração foi feita com o auxílio de um elevador mecânico devido ao elevado peso do sistema de recepção.

4.9 - Capacidade de seguimento da antena.

Para calcular a capacidade de seguimento da antena assumiu-se que a velocidade da terra é nula e que o satélite tem uma passagem meridional¹⁵ de φ graus de longitude¹⁶ ao lado das coordenadas da estação terrestre¹⁷.

Para este cálculo é necessário saber a velocidade do satélite, que é dada por:

$$\frac{v^2}{R+T} = \frac{K}{(R+h)^2}, \quad (4.21)$$

Então temos que a velocidade é dada por:

¹⁵ - Meridiano é a linha imaginária que resulta de um corte efectuado num modelo geométrico da Terra por um plano que contém o seu centro. Quando esse modelo é uma esfera, o meridiano é uma semi-circunferência (180° graus) [49]

¹⁶ - Longitude é a distância ao meridiano de Greenwich medida ao longo do Equador. Podendo variar entre 0° e 180° para Este ou para Oeste. [50]

¹⁷ - A estação terrestre encontra-se a uma latitude de 41° 10'41.21"N e a uma longitude de 8° 35'41.83"W.

$$v = \sqrt{\frac{K}{R+h}}, \quad (4.22)$$

$$\frac{v^2}{R+T} = \frac{K}{(R+h)^2}, \quad (4.23)$$

Em que o K é uma constante de proporcionalidade entre a massa da Terra e a constante universal de gravitação que pode ser obtida em tabelas ou calculada pela equação 4.24

$$K = \frac{4\pi^2(R+h)^3}{T^2}, \quad (4.24)$$

Obtêm-se então que:

$$K = 398650, \quad (4.25)$$

Se o satélite passar exactamente por cima da estação precisamos de uma velocidade de rastreamento da elevação de:

$$elev = \frac{v}{h} = \frac{1}{h} \sqrt{\frac{K}{R+h}}, \quad (4.26)$$

Em que:

- $R = 6,35 \times 10^6 m$
- $K = 3,99 \times 10^{14}$
- $h = 3 \times 10^5 m$

É necessária uma velocidade de rastreamento em relação à elevação de:

$$elev = \frac{1}{3 \times 10^5} \sqrt{\frac{3,99 \times 10^{14}}{6,350 \times 10^6 + 3 \times 10^5}} = 1,5^\circ / seg, \quad (4.27)$$

Quando o satélite passa ligeiramente ao lado o sistema de recepção vai ter dificuldade em seguir o satélite em azimute. Podemos calcular a velocidade necessária para o rastreamento do satélite pela equação 4.28.

$$azim = \frac{1}{x} \sqrt{\frac{K}{(R+h)^3}}, \quad (4.28)$$

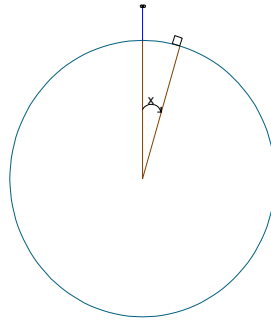


Figura 4.18- Ângulo da estação terrestre ao satélite em relação ao centro da Terra.

Assim sendo temos que:

$$\dot{azim} = \frac{1}{x} 1,16 \times 10^{-3} \text{ rad / seg} , \quad (4.29)$$

Se o x estiver em radianos.

$$\dot{azim} = \frac{1}{x} 3,82 \text{ graus / seg} , \quad (4.30)$$

Se o x estiver em graus.

$$\dot{azim} = \frac{424}{d} \text{ graus / seg} , \quad (4.31)$$

Se o d estiver em quilômetros.

Fazendo a medição do tempo de rotação do sistema, verifica-se que a antena tem na realidade a seguinte velocidade de rotação. (Tabela 4.2)

Tabela 4.2 – Velocidade de rotação do sistema de recepção de sinais de satélites.

Descrição:	Velocidade média
Azimute	1,65 (°/seg)
Elevação	1,53 (°/seg)

Pode-se então concluir que em termos de rastreamento quando o satélite passa por cima da estação não existe perda de sinal em termos de seguimento de elevação, se o satélite passar ligeiramente ao lado existe perda temporária de sinal no seguimento de azimute.

Como exemplo uma situação notória é a perda de sinal que se faz sentir quanto a elevação é superior a 50° isto é quando o satélite esta a 257 km ou mais perto. Isto considerando um satélite de órbita muito baixa como está a ser calculado na ordem dos 300 km, sendo esta a situação pior possível uma vez que para satélites de órbita superior o problema é menos sensível.

Capítulo 5 - Calibração do sistema de recepção de satélite

Introdução

Neste capítulo está descrito o processo de calibração do sistema, e a referência aos equipamentos de medição tal como o analisador de espectros e o Orbitron. Apresenta-se aqui os cálculos feitos e as conclusões sobre os resultados atingidos através desta calibração.

Foi feito um estudo do enviesamento da antena com recurso a medidas retiradas da antena através de um nível de precisão e através da localização dos satélites GPS.

5.1. - Orbitron

O Orbitron é um programa de rastreamento de satélites originalmente desenvolvido para rádio amadores e aficionados na observação de corpos celestes. Este foi evoluindo e agora é usado num âmbito mais profissional (figura 5.1).

Através deste programa obtemos a informação em tempo real da posição dos satélites, através de informações recolhidas sobre satélites, calculando a sua trajectória. Este programa permite ainda prever as trajectórias dos satélites que se escolhem e contem ainda ferramentas mais avançadas que permitem obter informações sobre os satélites seleccionados, tais como o nível de rotação, a sua posição, a frequência a que estes transmitem considerando o efeito de Doppler¹⁸, etc. Faz ainda a interligação destes dados com o controlador do sistema de recepção de sinais de satélite.

Pode-se ainda observar no Orbitron a área geográfica da superfície da terra onde o satélite transmite ou recebe, sendo esta chamada de “*footprint*”¹⁹, esta área pode ser

¹⁸ O efeito Doppler é uma característica observada nas ondas quando emitidas ou reflectidas por um objecto que está em movimento com relação ao observador. O comprimento de onda observado é maior ou menor conforme sua fonte se afaste ou se aproxime do observador. Este efeito é de extrema importância quando se está comunicando a partir de objectos em rápido movimento, como no caso dos satélites

¹⁹ - É a área que os *transponders* dos satélites cobrem e determinam o diâmetro do prato que o sistema de aquisição de sinal deve ter para receber dados do satélite.

adaptada para incluir feixes de diferentes frequências assim como diferentes níveis de potência.

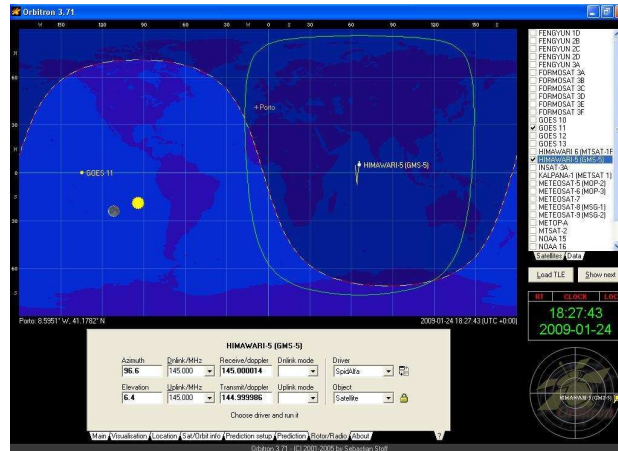


Figura 5.1 - Imagem do Orbitron com dois satélites seleccionados um deles com footprint englobando a localização da FEUP

5.2. - Analisador de espectros

Através do analisador de espectros podemos medir a intensidade do sinal recebido pelo sistema de recepção de sinais de satélite e observar as variações da intensidade de sinal variando a posição da antena.

O analisador de espectros disponível na sala técnica é o ADVANTEST R3132 SPECTRUM ANALISER 9kHz - 3GHz (figura 5.2).



Figura 5.2 - ADVANTEST R3132 SPECTRUM ANALISER 9kHz - 3GHz.

Para a calibração seguiram-se os satélites *Global Positioning System* (GPS) ajustando a frequência do analisador de espectros nos 1575.42 MHz. Caso estejamos já a usar o esquema de ligações proposto anteriormente ajustamos a frequência para a frequência intermédia de 10,7MHz que sai do AR5000 (figura 5.3), sendo este ajustado para os 1575,42 MHz.

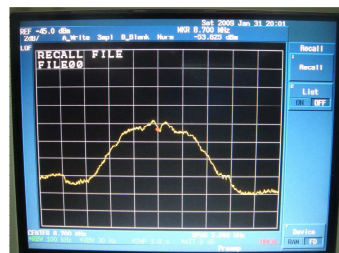


Figura 5.3 - Espectro de um satélite GPS registado no analisador de espectros.

5.3. - Desalinhamento entre antenas

É necessário uma calibração da antena para que os comandos de movimentação para quaisquer valores de azimute ou elevação garantam que o centro do lóbulo principal do padrão de radiação da antena esteja efectivamente apontado para a direcção desejada.

Se isso não acontecer vão existir perdas de sinal na transmissão e na recepção de dados. Estas perdas variam em função dos ângulos de desalinhamento da antena de recepção α_r e transmissão α_t .

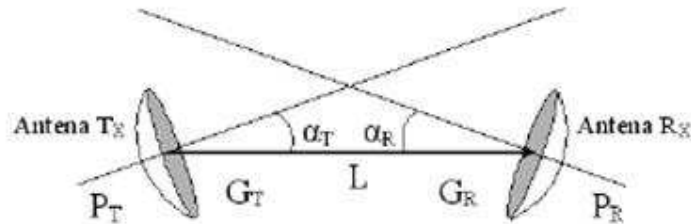


Figura 5.4- Desalinhamento entre antenas

Admitindo uma aproximação gaussiana para pequenos ângulos, obtemos:

$$L_t = 3 \times \left(\frac{\alpha_t}{\theta_{3dB}} \right)^2, \quad (5.1)$$

e,

$$L_r = 3 \times \left(\frac{\alpha_r}{\theta_{3dB}} \right)^2, \quad (5.2)$$

Onde:

L_t = perdas na transmissão

L_r = perda na recepção

Sendo essas perdas são expressas em dB.

5.4. - Cálculo do enviesamento da antena

O enviesamento da antena na sua montagem pode ser considerado como o produto de três rotações, sobre cada um dos eixos, e pode ser também causado por um erro de montagem do *feed*.

Para estes cálculos é necessário que o sistema de eixos seja bem definido e para tal é considerado como: (Figura 5.5)

- Eixo X - é um eixo no plano horizontal inicialmente alinhado com a direcção para onde a antena aponta;
- Eixo Y - é um eixo horizontal e ortogonal ao eixo X;
- Eixo Z: é um eixo vertical

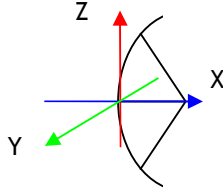


Figura 5.5- Identificação do sistema de coordenadas relativo ao cálculo de enviesamento da antena.

Nesse sentido podemos concluir-se que existem 7 contribuições para o enviesamento total da antena desde a sua posição horizontal, alinhada com o eixo X para uma determinada orientação e assumindo que o eixo de ajuste de elevação está previamente alinhado de forma a o eixo X se encontra horizontal para qualquer azimute.

1. Temos o enviesamento do *feed* segundo o eixo X (rotação de *feed*), cujo efeito é irrelevante ($R_{\delta x}$);
2. Translação do *feed* na direcção paralela ao eixo de elevação, provocando o efeito de uma variação de azimute ($R_{\delta z}$);
3. Translação do *feed* na direcção da variação de elevação, que pode ser confundido e compensado com o *offset* de elevação ($R_{\delta y}$);
4. Offset de elevação ($R_{\delta \epsilon}$);
5. Elevação (R_{ϵ});
6. Offset de azimute ($R_{\delta \alpha}$);
7. Azimute (R_{α}).

Considerando a seguinte ordem (equação 5.3), por conveniência, dos 3 eixos, tem-se que a rotação total é dada por:

$$R_{tot} = R_{\alpha} \times R_{\delta \alpha} \times R_{\epsilon} \times R_{\delta \epsilon} \times R_{\delta y} \times R_{\delta z} \times R_{\delta x}, \quad (5.3)$$

Se, se fizer uma combinação das rotações, que influenciam no enviesamento, obtemos:

$$R_{tot} = R_{\alpha + \delta \alpha} \times R_{\epsilon + \delta \epsilon + \delta y} \times R_{\delta z}, \quad (5.4)$$

O R_x representa a rotação da antena sobre o seu eixo de simetria, sendo então irrelevante.

O $R_{\alpha + \delta \alpha}$ e o $R_{\epsilon + \delta \epsilon + \delta y}$ representam-se por R_{α} e R_{ϵ} e são calculados pelas seguintes matrizes:

$$R_{\alpha} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (5.5)$$

e

$$R_{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon & 0 & \text{sen} \varepsilon \\ 0 & 1 & 0 \\ -\text{sen} \varepsilon & 0 & \cos \varepsilon \end{bmatrix}, \quad (5.6)$$

O R_z necessita um maior cuidado, sendo então, o ângulo que tem de ser compensado sem o auxílio do *offset*.

$$R_z = \begin{bmatrix} \cos(\beta_z) & -\text{sen}(\beta_z) & 0 \\ \text{sen}(\beta_z) & \cos(\beta_z) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (5.7)$$

Estas 3 rotações necessitam de uma optimização em que $\delta\alpha$ pode ser compensado pelo *offset* do controlador, $\delta\varepsilon + \delta\gamma$ também pode ser compensado pelo *offset* do controlador no entanto δz tal como foi referido anteriormente não pode ser compensado pelo *offset* do controlador tendo necessariamente que ser compensado pela montagem da antena, variando o eixo de elevação ou pela posição do *feed*.

5.5. - Nível de precisão

Foi utilizado um nível de precisão para determinar o desalinhamento do eixo vertical de rotação do sistema, bem como tornar o eixo elevação horizontal, conseguindo-se uma melhoria em termos de aproximadamente 1 cm em relação torção do eixo central.

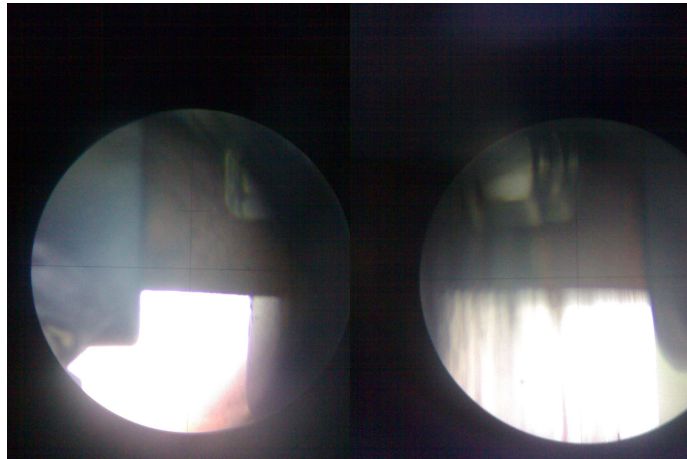


Figura 5.6 - Imagem vista no nível de precisão antes do ajuste da barra de rotação, respectivamente ao lado esquerdo e ao lado direito do rotor.

Foi ainda ajustado, melhorando a calibração do sistema, através dos parafusos que prendem ao mastro de fixação e os que prendem o eixo de rotação vertical mas é difícil o acerto da inclinação do eixo de rotação através do eixo de elevação devido ao espaço mínimo existente entre o rotor e a peça de fixação à antena. (Figura 5.9)

. Para tal utilizou-se um nível de precisão que teve de ser elevado de modo a ficar ao nível do ponto que se pretendia tirar as medidas. (Figura 5.7)

Esta elevação do nível provocou uma dificuldade acrescida ao método de calibração do nível de precisão, foi utilizado um sistema de elevação de quem tirava as medidas de modo a não provocar instabilidades no nível que se encontrava em cima de uma mesa, de modo a garantir a maior precisão possível.



Figura 5.7 - Montagem do nível de precisão de modo a determinar o erro em relação ao azimute.

Definiu-se uma numeração, que se atribuiu a cada varão, para registar e analisar os valores observados através do nível de precisão. (figura 5.8)

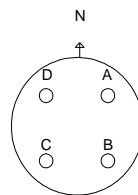


Figura 5.8 - Numeração atribuída com o norte como referência.

Foram registados os valores visíveis através do nível de precisão com a antena em 4 posições distintas, com uma diferença de rotação de 90° entre cada posição, obtendo-se os valores da Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Valores observados através do nível de precisão.

Posição	A (cm)	B (cm)	C (cm)	D (cm)
0°	5,1	4,34	4,55	4,96
90°	-	-	4,59	4,9
180°	5,12	4,45	4,4	4,72
270°	5,15	4,39	-	-

Como a escala tem o ponto 0 na parte mais alta e analisando os valores observamos que em D está mais elevado em relação aos restantes e B se encontra mais baixo. Procedeu-se então a uma calibração da antena. De seguida efectuaram-se novas medições. (Tabela 5.2)

Tabela 5.2 – Valores observados através do nível de precisão, segunda vez.

Posição	A (cm)	B (cm)	C (cm)	D (cm)
0°	2,85	1,9	2,15	2,7
90°	-	-	2,2	2,7
180°	2,85	2,05	2	2,45
270°	3	2	-	-

Analisando os valores registados com a segunda medição, observa-se que o ponto A e D continuam mais elevados, então calibrou-se novamente a antena, registando-se os valores na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Valores observados através do nível de precisão, terceira vez.

Posição	A (cm)	B (cm)	C (cm)	D (cm)
0°	2,9	2	2,1	2,6
90°	-	-	2,0	2,6
180°	2,84	2	2,05	2,55
270°	2,9	2	-	-

Notava-se um ligeiro descaimento para noroeste, após algumas medições com o nível e recorrendo a escalas colocadas para este fim nos varões dos contrapesos tal como se vê na figura 5.9.



Figura 5.9 - Escalas milimétricas de auxílio à calibração da antena

A figura 5.9 mostra apenas as escalas em dois varões, para efectuar estas leituras foram colocadas escalas nos quatro varões e ia-se rodando a antena em Azimute de modo a retirar as quatro leituras de forma a avaliar a torção do sistema.

Foram ainda tiradas algumas medidas ao *feed*, colocando a antena na posição de elevação de 0° e rodando a antena em azimute (Figura 5.10). Observou-se que o *feed* apresentava um ligeiro deslocamento, em elevação, em relação à posição focal da antena, considerando a linha azul como a eixo ideal onde o *feed* deveria estar centrado, tentou-se corrigir mas sem sucesso ficando assim reforçada a ideia que será necessário substituir o *feed* logo que possível.

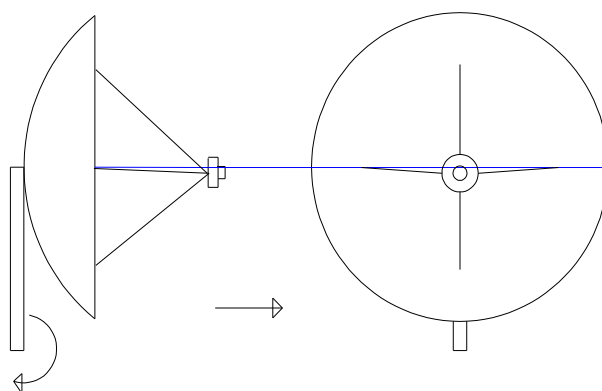


Figura 5.10 - Posição do feed relativamente ao eixo focal

5.6. - Calibração através dos satélites GPS

Para o estudo de calibração da antena apontou-se a antena, com o Orbitron, para 10 satélites GPS e de seguida procedeu-se a ajustes manuais na direcção da antena de modo a procurar o máximo de sinal. A tabela 5.4 que indica qual o satélite observado, o seu azimute e elevação real, obtidos pelo Orbitron, e o azimute e elevação que indicava no controlador, sendo que era nesta posição do controlador que se visualizava o máximo do sinal, do satélite observado.

O máximo de sinal foi calculado através da visualização do analisador de espectros, tal como podemos observar na figura 5.3 e pelo indicador do nível de sinal do AR5000.

Tabela 5.4 – Valores da posição dos satélites dados pelo Orbitron e pelo controlador.

Satélite GPS	Azimute registada no controlador (*)	Azimute real	Elevação registada no controlador (*)	Elevação real
13	162°	163,1°	79°	79,6°
4	304,5°	305,6°	60°	61,0°
25	138°	138,8°	30,5°	31,2°
32	75,5°	77,5°	9°	11°
2	310°	311,4°	20°	21,6°

20	65,5°	67,3°	42,5°	41,7°
23	67°	68°	70,5	68,8°
7	155,5°	158,10	13,5°	12,2°
17	219°	220,7°	36°	34,7°
11	139,5°	141,4°	10,5°	10,2°

(*) - Para obtenção do máximo de sinal.

Podemos observar que existem algumas irregularidades em relação aos valores observados na tabela 5.4, alguns provavelmente em erros de medida visto que a diferença de sinal que se media era tão pequena que poderia originar medidas pouco esclarecedoras. É nos primeiros cinco valores que se encontram os maiores erros de elevação. No satélite 32, observa-se um erro acima dos 2°.

Colocou-se estes valores no Matlab traçando os vectores originados por estes valores de modo a perceber melhor os dados obtidos, originando a figura 5.11., em que os vectores azuis indicam a a posição real do satélite em relação à estação terrestre e os vectores vermelhos indicam a direcção que aponta o nosso sistema de recepção.

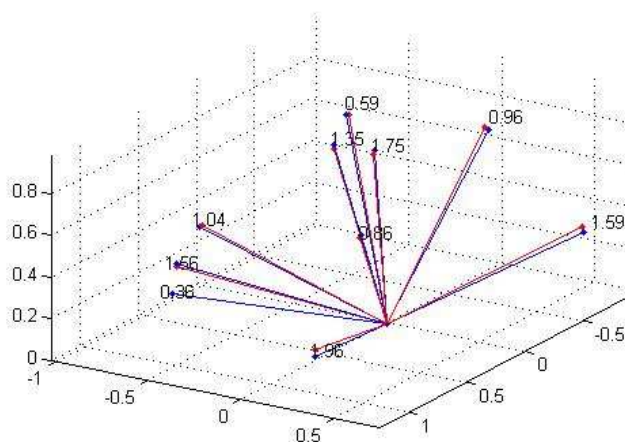


Figura 5.11 - Diferenças no alinhamento da antena relativamente aos satélites GPS.

Determinaram-se os valores de $\delta\alpha$, $\delta\varepsilon+\delta\gamma$ e δz de forma a minimizar o erro quadrático de orientação da antena relativamente a estes 10 satélites, obtendo-se os seguintes valores:

- $\delta\alpha=2,25^\circ$;
- $\delta\varepsilon+\delta\gamma=0,05^\circ$;
- $\delta z=-0,43^\circ$.

Para estes valores a tabela 5.4 regista os erros após a sua compensação.

Tabela 5.4 – Valores da posição dos satélites dados pelo Orbitron e pelo controlador.

Satélite GPS	Azimute real	Elevação real	Erro de azimuth	Erro de elevação	Erro total
13	163,1°	79,6°	-1,10°	0,56°	0,59°
4	305,6°	61,0°	0,29°	0,95°	0,96°

25	138,8°	31,2°	0,95°	0,65°	1,04°
32	77,5°	11,0°	-0,18°	1,95°	1,96°
2	311,4°	21,6°	0,39°	1,55°	1,59°
20	67,3°	41,7°	-0,13°	-0,85°	0,86°
23	68°	68,8°	-0,03°	-1,75°	1,75°
7	158,1°	12,2°	-0,79°	-1,35°	1,56°
17	220,7	34,7°	0,02°	-1,35°	1,35°
11	141,4°	10,2°	-0,09°	-0,35°	0,36°

(*) - Para obtenção do máximo de sinal.

Analisando estes valores vê-se que se encontram relativamente próximos, não apresentando a estação dificuldade em receber os sinais dos satélites. A situação mais problemática encontrada é no erro de elevação especialmente devido ao peso do *feed* que para elevações mais baixas o peso deste provoca um ligeiro deslocamento deste da sua posição ideal relativa ao prato.

Reforçando assim a necessidade de se alterar o *feed*, de modo a melhorar ainda mais a calibração da antena.

Capítulo 6 Conclusões

Este trabalho foi concluído com sucesso, estando neste momento o sistema de recepção de sinais de satélites instalado e a funcionar. O DEEC está assim apetrechado com um sistema de recepção de satélites de boa qualidade, apto para a realização de estudos e com a possibilidade de ser melhorado e alterado conforme as necessidades. Com um erro dentro dos parâmetros previstos no início do trabalho e com a possibilidade de ser ainda melhorado com a aplicação de um *feed* cuja posição possa ser calibrada.

Este projecto foi bastante prático, possibilitando a observação da realização deste trabalho em termos físicos e funcionais, trazendo ainda a vantagem de realizar um estudo e investigação destes sistemas com uma situação prática, aproximando-o à realidade profissional de projectos de Engenharia.

Ao longo do trabalho existiram situações imprevistas, tais como a vibração dos contrapesos ou descida de alguns centímetros do mastro da antena devido ao peso, que foram ultrapassados com sucesso e permitiram a avaliação e aplicação de diversas soluções.

Este sistema pode ainda ser melhorado visto que existem sítios que apresentam já pontos de corrosão (figura 8.1), aplicando um tratamento anti-oxidação a estas peças.

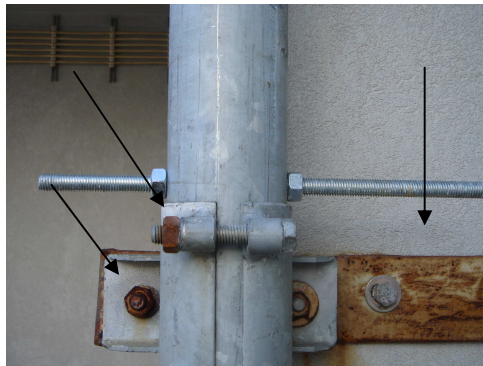


Figura 6.1- Exemplos de pontos de oxidação existentes a necessitarem de manutenção.

Assim podemos concluir que o sistema foi montado e otimizado com sucesso, permitindo ainda futuras melhorias mas essencialmente a possibilidade da realização de novos trabalhos no âmbito da investigação e educação.

Referências

- [1] SSETI - ESEO. Disponível em http://paginas.fe.up.pt/ssetiexpress/press_files/eseo_PT.pdf. Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [2] SSETI - ESEO. Disponível em http://www.sseti.net/index.php?option=com_content&view=article&id=11&Itemid=7. Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [3] “Satellite communication system”, Bousquet et al., 1993
- [4] “Satellite communication systems engineering”, Pritchard et al., 1993
- [5] <http://paginas.fe.up.pt/ssetiexpress/index.html> Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [6] <http://www.sseti.net/> Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [7] http://www.globalcomsatphone.com/globalcom/leo_geo.html Último acesso em 20/Janeiro /2009
- [8] http://www.nearfield.com/amta/Amta99_0_an-gh.htm Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [9] <http://www.astrosurf.com/luxorion/qsl-rotator-tower.htm> Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [10]<http://www.geocities.com/makudayo@sbcglobal.net/azimuth1.html> Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [11]http://www.nitehawk.com/rasmit/ant_tr_coax.pdf Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [12]<http://www.amsat.org/amsat-new/tools/downloads/iROTOR.pdf> Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [13]http://www.esa.int/esaED/SEMFUU1A6BD_index_0.html Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [14]<http://www.rfhamdesign.com/products/antennrotor/16829099df12a1c0c.html> Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [15]<http://www.dxzone.com/cgi-bin/dir/jump2.cgi?ID=11221> Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [16]<http://www.signalone.com/radioastronomy/telescope/> Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [17]<http://www.ultimatecharger.com/dish.html> Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [18]<http://www.dougbraun.com/ham.html> Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [19]<http://www.setileague.org/photos/mannrt04.htm> Último acesso em 20/Janeiro /2009.

- [20]<http://www.tvantenna.com/products/tvreception/rotors.html> Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [21]<http://www.prosistel.it/bigboyrotators/index.html> Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [22]<http://www.rotorservice.com/new%20rotors.htm> Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [23]<http://home.hawaii.rr.com/kh6rh/> Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [24]<http://w3ref.cfn.ist.utl.pt/cupido/> Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [25]<http://www.alfaradio.ca/inuse.html> Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [26]http://www.cedup.up.pt/documents/+_na_u_porto/pesc_apresentacao07.pdf Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [27]<http://pt.wikipedia.org/wiki/Irradia%C3%A7%C3%A3o> Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [28]<http://mtc-m16.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marciana/2004/11.22.15.40/doc/publicacao.pdf> Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [29]http://www.globalcomsatphone.com/globalcom/leo_geo.html Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [30]<http://pt.wikipedia.org/wiki/Nadir> Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [31]<http://br.geocities.com/angeloleithold/teoriaantena.html> Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [32]http://en.wikipedia.org/wiki/Low-noise_block_converter Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [33]http://en.wikipedia.org/wiki/Satellite_dish Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [34]http://en.wikipedia.org/wiki/Parabolic_antenna Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [35]http://en.wikipedia.org/wiki/Intermediate_frequency Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [36]<http://www.aminharadio.com/radio/superheterodino> Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [37]http://www.niit.edu.pk/~ndgohar/Support/Help%20Notes/antennas_tutorial.htm Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [38]<http://esamultimedia.esa.int/docs/issedukit/pt/html/t010605r1.html> Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [39]<http://www.photomodeler.com/index.htm> Último acesso em 20/Janeiro /2009.
- [40]<http://www.uk.amsat.org/content/view/full/677/68/> Último acesso e actualização em 21/Janeiro /2009.
- [41]<http://www.samidish.com/10ft.html> Último acesso em 21/Janeiro /2009
- [42]<http://en.wikipedia.org/wiki/VSAT> Último acesso em 26/Janeiro /2009
- [43]http://br.geocities.com/van_allen_radiation_belt/index.htm Último acesso em 27/Janeiro /2009
- [44]http://pt.wikipedia.org/wiki/Cintur%C3%A3o_de_Van_Allen Último acesso em 27/Janeiro /2009
- [45]http://www.estig.ipbeja.pt/~lmgst/st/misc/st_12.pdf Último acesso em 16/Janeiro /2009
- [46]<http://www.intelsat.com/resources/satellite-basics/how-it-works.asp> Último acesso em 21/Janeiro /2009
- [47]Desenvolvimento do sistema de recepção da estação base SSETI-ESEO dissertação do 5 ano do major em Telecomunicações
- [48]*Datasheet* relativa ao equipamento do rotor e controlador BIG RAS Az-El da marca SPID-UK

- [49]<http://pt.wikipedia.org/wiki/Meridiano> Último acesso em 15/Janeiro /2009
- [50]<http://www.cienciaviva.pt/latlong/anterior/gps.asp> Último acesso em 15/Janeiro /2009
- [51]<http://www.satellitedish.com/cata0064.htm> Último acesso em 16/Janeiro /2009
- [52]http://www.cgcu.net/sseti/index.php?option=com_content&task=view&id=30&Itemid=45#commpl Último acesso em 29/Janeiro /2009
- [53]http://en.wikipedia.org/wiki/S_band Último acesso em 29/Janeiro /2009
- [54]<http://www.intelsat.com/resources/satellite-basics/benefits.asp> Último acesso em 30/Janeiro /2009