

DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE METODOLOGIA INSTRUMENTAL E TÉCNICAS PARA OBSERVAÇÕES A PARTIR DA SUPERFÍCIE TERRESTRE DE PARÂMETROS IONOSFÉRICOS

Danieli Balbuena Contreira¹ (UFSM, Bolsista PIBIC/CNPq)
Dr. Nelson Jorge Schuch² (CRSPE/INPE), Maiquel Canabarro³ (UFSM)
Eng^o Fabiano Rodrigues³ (INPE), Dr. Kazuo Makita³ (NIPR/Japão)

RESUMO

O desvanecimento de radio sinais, “fading events”, causado por absorção ionosférica tem uma importante influência no desempenho de sistemas de rádio-comunicação. O conhecimento de sua magnitude e escala temporal é importante para a especificação de parâmetros como: potência de transmissão, sistema de recepção e codificação a ser utilizada. Este trabalho, tem como objetivo estudar a ocorrência de desvanecimento de rádio sinais associados a eventos de explosões solares utilizando um sistema rádio-receptor para sinais de amplitude modulada (AM) na faixa de altas frequências (HF). Este sistema foi implementado pelo INPE, em cooperação com a Universidade de Takushoku e o Laboratório de Pesquisas em Comunicações (“*Communication Research Lab - CRL*”), ambos do Japão. Neste trabalho, foram analisados dados de potência do sinal AM, (6 MHz), transmitido pela rádio Guaíba de Porto Alegre – RS, (30.02°S, 51.13°O), coletados durante o ano de 2001. As medições têm sido realizadas no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, em São Martinho da Serra – RS, (29.43°S, 53.8°O), onde o sistema receptor encontra-se instalado e em operação contínua. Inicialmente, foi realizada uma análise do comportamento diário da potência de sinal recebido, para o período de Janeiro a Dezembro de 2001, e um posterior levantamento do número de eventos de desvanecimento, observados entre 05 e 21 horas locais, identificando-se para o período um total de 69 eventos. Dados de fluxo de raios-x coletados pelo satélite GOES-8 foram utilizados para a verificação de explosões solares. Grande parte dos eventos de desvanecimento, do sinal de 6 MHz, foram correlacionados a explosões solares de raios-x, classes C e M, que ocasionaram perdas na intensidade do sinal com duração total de até 1 hora. A intensificação no fluxo de raios-x origina um aumento na ionização da baixa ionosfera e conseqüentemente uma maior absorção de rádio sinais. A partir desta análise, verificou-se que o sistema permite o monitoramento da variação diária de ionização da baixa ionosfera, e também a possibilidade de estimar a magnitude de absorção do sinal durante eventos de explosões solares.

¹ Aluna do Curso de Engenharia Química, UFSM. E-mail: danieli@lacesm.ufsm.br

² Orientador, Chefe do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais. E-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br

³ Colaboradores



**DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE METODOLOGIA
INSTRUMENTAL E TÉCNICAS PARA OBSERVAÇÕES A PARTIR
DA SUPERFÍCIE TERRESTRE DE PARÂMETROS
IONOSFÉRICOS**

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

**Danieli Balbuena Contreira (CRSPE/INPE - Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: danieli@lacesm.ufsm.br**

**Dr. Nelson Jorge Schuch (CRSPE/INPE, Orientador)
E-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br**

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Bolsista:	Danieli Balbueno Contreira
Processo: 104783/97-4	Universidade Federal de Santa Maria – UFSM Curso: Engenharia Química
Orientador:	Dr. Nelson Jorge Schuch Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – INPE
Execução do Projeto:	<ul style="list-style-type: none">♦ Laboratório de Aeronomia - LAE/LACESM/UFSM♦ Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE
Participantes da Cooperação Internacional – Brasil/Japão em Ciências Espaciais Básicas	<ul style="list-style-type: none">♦ Dr. Kazuo Makita - National Institute of Polar Research - NIPR♦ Dr. Masanori Nishino - Nagoya University♦ Dr. Kazuoki Munakata – Shinshu University♦ Dr. Kenro Nozaki – Communication Resaearch Laboratory♦ Eng. Rubens Anderman – Unidade Regional Sul de Pesquisas Espaciais – RSU/INPE♦ Dr. Eurico de Paula – Divisão de Aeronomia - DAE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE♦ Eng. Fabiano da Silveira Rodrigues – DAE/INPE♦ Dr. Walter D. Gonzalez – Divisão de Geofísica – DGE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Colaboradores:	<ul style="list-style-type: none">♦ Marlos Rockemback da Silva – UFSM♦ Sheron de O. Monteiro – UFSM♦ José Valentin Bageston – UFSM♦ Mariana Landerdahl – UFSM♦ Maiquel Canabarro – UFSM



ÍNDICE

RESUMO	5
Capítulo 1	6
INTRODUÇÃO	6
1.1 Justificativa	6
1.2 Objetivo da Cooperação Científica Internacional Brasil-Japão em Ciências Espaciais Básicas e Ciências Atmosféricas	8
1.3 Objetivo do Projeto “Desenvolvimento e Análise de Metodologia Instrumental e Técnicas para Observações a partir da Superfície Terrestre de Parâmetros Ionosféricos”	8
Capítulo 2	9
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
2.1 O Laboratório de Aeronomia	9
2.2 A Ionosfera	9
2.2.1 - A Formação da Ionosfera	9
2.2.2 - As Regiões Ionosféricas	12
2.2.3 - A Importância do Estudo da Ionosfera	15
2.3 Princípios de Instrumentação Aplicados ao Monitoramento Ionosférico	17
2.3.1 - Sistema Genérico	17
2.3.1.1 - A Antena	18
2.3.1.2 - O Receptor	19
2.3.1.3 - O Registrador	20
2.3.2 - Outros Dispositivos	20
Capítulo 3	21
MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1 A Instrumentação da Área de Monitoramento Ionosférico do LAE	21
3.1.1 - Receptor de Ondas MF/HF	22
3.1.1.1 - Propagação de Ondas de Rádio	22
3.1.1.2 - Sistema Implementado no OES	23
3.1.2 - O Sistema GPS	25
3.1.2.1 - Evolução da Navegação por Satélites	25
3.1.2.2 - Discrepâncias sujeitas no GPS: Erro de Propagação na Ionosfera	27
3.1.2.3 - Estudo das Irregularidades Ionosféricas Utilizando Receptores GPS	28
3.1.2.4 - O Monitor de Cintilação	29
3.1.3 - Riômetro Convencional	31
3.1.3.1 - Método de Riômetro	31
3.1.3.2 - A curva do dia quieto	32
3.1.3.3 - O Sistema Implantado no OES	33
3.1.4 - Riômetro Imageador	34
3.1.4.1 - Sistema de Aquisição de Dados	35
3.1.5 - Receptores de Ondas ELF/VLF e VLF/LF	36
Capítulo 4	38
RESULTADOS E ANÁLISES	38
4.1 Relato das Atividades	38
4.2 Análise de Dados	39
4.2.1 - Análise da Variabilidade Diária e Sazonal dos Dados	39
4.2.2 - Detecção de Explosões Solares de Raios-X	40
4.2.3 - Observações de Eventos de Desvanecimento	42
Capítulo 5	46
CONCLUSÕES	46
AGRADECIMENTOS	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
ANEXOS	50

RESUMO

Este relatório descreve as atividades desenvolvidas, pelo bolsista Danieli Balbuena Contreira, durante o período de Março a Maio de 2002 no Projeto: “Desenvolvimento e Análise de Metodologia Instrumental e Técnicas para Observações a partir da Superfície Terrestre de Parâmetros Ionosféricos”, seguindo a metodologia do relatório parcial submetido à apreciação do PIBIC/INPE-CNPq. As atividades aqui descritas trazem informações com relação aos objetivos, técnicas de medidas empregadas, análise de dados e resultados obtidos.

Para melhor compreensão dos conteúdos e procedimentos realizados durante este período, o Relatório é constituído dos seguintes capítulos:

- **Capítulo 1** – Apresentando uma introdução geral;
- **Capítulo 2** - Desenvolvimento teórico, onde serão revistos alguns conceitos básicos sobre formação, camadas e importância da Ionosfera Terrestre e os parâmetros que acarretam variabilidade em suas características. Serão também abordados alguns princípios de instrumentação utilizados no monitoramento de parâmetros ionosféricos;
- **Capítulo 3** - Instrumentação utilizada para o Monitoramento Ionosférico, manutenção, operação e coleta de dados de equipamentos instalados no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, apresentando as atividades práticas realizadas durante o período mencionado;
- **Capítulo 4** - Neste capítulo será apresentada uma discussão dos principais resultados obtidos, relacionados especificamente a análise de dados de rádio na frequência de 6 MHz, e um estudo de eventos de desvanecimento de radio sinais, ocorridos durante o período de 2001, associados a eventos de explosões solares de raios-X;
- **Capítulo 5** – Conclusões.

Cabe ressaltar que estas atividades foram desenvolvidas, principalmente, junto ao Laboratório de Aeronomia –LAE do LACESM/CT/UFSM - OES/CRSPE/INPE - MCT.

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

A fraca intensidade do campo magnético na região da AMAS e a conseqüente precipitação de partículas da alta atmosfera faz desta região um excelente laboratório para estudo de fenômenos atmosféricos em condições de campo geomagnético fraco.

De acordo com pesquisas recentes sobre magnetismo das rochas, a intensidade do campo geomagnético de nossa planta tem decrescido durante os últimos mil anos e irá desaparecer dentro dos próximos mil anos, se a presente taxa de decréscimo persistir [Makita, 1996]. Observou-se também que a taxa de decréscimo do campo geomagnético é notavelmente grande próximo a América do Sul. Desde que a intensidade total do campo geomagnético nesta região já é muito fraca, o campo geomagnético próximo a América do Sul deverá desaparecer dentro de 400 anos. Sabe-se que os pólos magnéticos da terra sofreram freqüentes reversões durante a longa história da terra. Quando os pólos magnéticos da terra revertem, a intensidade do campo geomagnético torna-se muito fraca. Então, considera-se que os seres humanos terão que viver sobre um campo geomagnético extremamente fraco no futuro. Isto implica em que a intensidade de partículas de raios cósmicos precipitantes na Atmosfera terrestre tende a aumentar, gerando conseqüências imprevisíveis sobre a atmosfera terrestre [Makita, 1996; Makita et al., 1997]. O monitoramento sistemático da Ionosfera no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE-INPE, visa relacionar os efeitos deste decréscimo do campo geomagnético sobre a Ionosfera e conseqüentemente sobre as Telecomunicações. O decréscimo do campo geomagnético possivelmente acarretará um aumento ainda maior na precipitação de partículas de alta energia para dentro da Alta Atmosfera o que ocasionará distúrbios na densidade ionosférica.

Esses distúrbios devem ser analisados para que se possa ter um perfil do comportamento da Ionosfera em conseqüência do fenômeno da AMAS. Esses efeitos poderão trazer benefícios ou não para as Telecomunicações, já que um aumento da densidade eletrônica deverá ajudar na transmissão de ondas espaciais (que utilizam a



reflexão ionosférica), mas também deverá prejudicar na comunicação via satélite (Telecomunicação Transionosférica).

A intensidade de ruído cósmico a nível de superfície também poderá sofrer influências, já que aumentará a absorção ionosférica.

O Laboratório de Aeronomia - LAE está implementando uma infra-estrutura de pesquisa para observações contínuas e sistemáticas da Ionosfera do Sul do País, através de diversos equipamentos instalados no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE, localizado à aproximadamente 45 km de Santa Maria – RS (29°S, 53°O), no município de São Martinho da Serra – RS.

O conteúdo deste Relatório procura esclarecer os principais objetivos, metodologia, procedimentos e resultados do Projeto "Desenvolvimento e Análise de Metodologia Instrumental e Técnicas para Observações a partir da Superfície Terrestre de Parâmetros Ionosféricos". Desta maneira, o bolsista procurou descrever todas as atividades realizadas no LAE durante o período da bolsa de Iniciação científica, destacando-se principalmente a realização de revisão bibliográfica à literatura científica, análise e redução de dados do Rádio Receptor e correlação dos mesmos com diversos índices geomagnéticos, entre outras atividades relacionadas a instrumentação do LAE/OES/CRSPE utilizada no estudo da Ionosfera. São elas:

- Receptor de ondas MF/HF;
- Receptores GPS;
- Riômetro;
- Riômetro Imageador.
- Receptor de Ondas ELF/VLF;
- Receptor de Ondas VLF/LF;

1.2 Objetivo da Cooperação Científica Internacional Brasil-Japão em Ciências Espaciais Básicas e Ciências Atmosféricas

A Cooperação Científica Internacional Brasil-Japão em Ciências Espaciais Básicas e Ciências Atmosféricas tem como principal objetivo pesquisar os fenômenos físico-químicos que ocorrem na grande região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul, com coordenação técnico-científica do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM - CT/UFSM e da Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas do INPE, no Brasil, e com a colaboração das seguintes instituições: Takushoku University (Physics Division, Faculty of Engineering), Kyushu University (Dept. of Earth and Planetary Sciences), Nagoya University (Solar Terrestrial Environment Laboratory), Rikkyo University (Dept. of Physics), Kokugaku-in University, Communication Research Laboratory, National Institute of Radiological Sciences (Space and Particle Radiation Science Research Group), Siushu University, no Japão.

1.3 Objetivo do Projeto “Desenvolvimento e Análise de Metodologia Instrumental e Técnicas para Observações a partir da Superfície Terrestre de Parâmetros Ionosféricos”

O Projeto “Desenvolvimento e Análise de Metodologia Instrumental e Técnicas para Observações a partir da Superfície Terrestre de Parâmetros Ionosféricos” tem como objetivos principais, realizar um estudo aprofundado sobre: a metodologia e os aspectos construtivos dos instrumentos para medidas, a partir da superfície terrestre, de parâmetros ionosféricos; técnicas de algoritmos para redução e análise de dados de parâmetros ionosféricos; levantamento de dados das principais vantagens e desvantagens práticas das técnicas e instrumentos analisados; os diferentes tipos de sistemas de aquisição e comunicação de dados identificando os parâmetros ótimos de aquisição tais como resolução e taxa de amostragem para os dados resultantes das técnicas e instrumentos analisados.

Capítulo 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O Laboratório de Aeronomia

No Laboratório de Aeronomia (LAE/ LACESM/UFSM – OES/ CRSPE/INPE) realizam-se estudos de regiões atmosféricas, onde os processos de ionização e a fotodissociação ocorrem. Isto implica que qualquer conceito, método ou técnica desenvolvida para a atmosfera terrestre pode ser adaptada a outros corpos do sistema solar [Kockarts, G.; 1999].

O LAE, atualmente, realiza estudos em duas linhas de pesquisa:

- Luminescência Atmosférica
- Monitoramento Ionosférico

Este estudo é baseado na instrumentação para monitoramento ionosférico. Desta forma, é necessário esclarecer o principal objeto de estudo destes equipamentos: a Ionosfera e a razão do seu estudo.

2.2 A Ionosfera

2.2.1 – A Formação da Ionosfera

O termo Ionosfera é aplicado a região atmosférica que se estende desde 50 até 1000Km em relação à superfície da Terra. A Ionosfera é caracterizada pela grande concentração de elétrons livres que, embora sejam responsáveis pelas mais importantes características da Ionosfera, estão em menores concentrações relativamente às partículas neutras existentes na região.

As partículas carregadas na Ionosfera são produzidas, sobretudo pela radiação ultravioleta (EUV), pelos raios-x solares e pelos raios cósmicos [Rishbeth e Garriot, 1969]. Os fótons de energia acima de 12 eV são capazes de ionizar os componentes atmosféricos, o processo de ionização está representado na Figura 2.1. A principal fonte de ionização da Ionosfera superior terrestre resulta da absorção atmosférica da radiação

solar extrema ultravioleta (EUV). Esta absorção provoca a dissociação das moléculas, bem como a liberação de elétrons dos átomos e das moléculas ali existentes. Estes processos são denominados de fotodissociação e de fotoionização, respectivamente. Partículas energéticas carregadas (prótons e elétrons) também podem penetrar na atmosfera terrestre, ionizando-a. A profundidade da penetração destas partículas depende de suas energias. Embora este tipo de ionização seja relativamente pequeno quando comparado a fotoionização, desempenha um importante papel durante períodos de tempestades magnéticas, durante a noite e nas menores altitudes onde a radiação fotoionizante não atinge. O número de elétrons por centímetro cúbico aumenta com a altura, até atingir um máximo em aproximadamente 300Km de altura.



Figura 2.1 – Representação do processo de formação da Ionosfera

FONTE: modificado de: <http://server5500.itd.mrl.navy.mil/projects/haarp/ion1.html>

Ao penetrar na porção superior da atmosfera terrestre, a radiação ionizante encontra uma maior densidade de gás, resultando numa taxa crescente de produção de elétrons por unidade de volume. Por outro lado, a radiação é absorvida nesse processo e, abaixo de uma certa altura, a taxa pelo qual ela diminui quando penetra na atmosfera é maior do que a taxa pelo qual a densidade do gás aumenta. A partir daí, a taxa de produção eletrônica torna-se decrescente. Portanto, há um nível determinado pela altura em que a taxa de produção é máxima, formando um pico de ionização na Ionosfera. O sistema resultante destes efeitos opostos está representado na Figura 2.2.

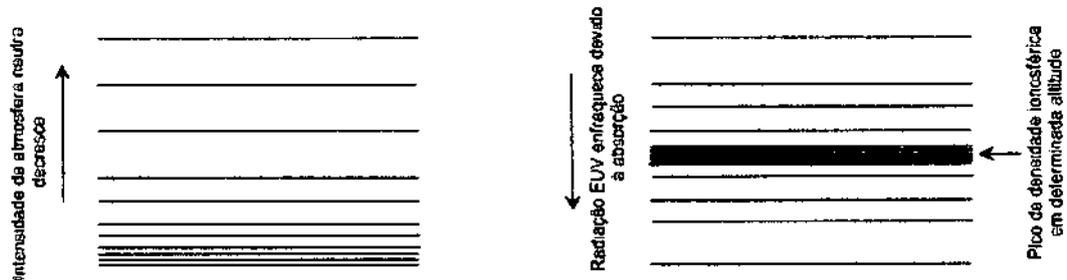


Figura 2.2 – Representação da formação de um pico no perfil vertical da Ionosfera.

FONTE: Modificada de McNamara (1991, p.20), [Dissertação de mestrado de Pedrina Moraes Terra dos Santos]

A densidade do plasma ionosférico é o resultado da competição entre os mecanismos de produção e perda de elétrons. A perda de elétrons ocorre por reações químicas e por difusão. Assim como nos processos de ionização, a perda eletrônica varia com a altitude.

Nas regiões ionosféricas, principalmente abaixo do pico, o processo mais relevante de perdas de elétrons é a recombinação, a qual pode ser classificada em: radiativa, onde os elétrons livres combinam-se diretamente com íons carregados positivamente formando um átomo neutro e irradiando qualquer excesso de energia; dissociativa, onde os íons positivos X^+ interagem com as numerosas moléculas neutras, A_2 , substituindo um de seus átomos e dando origem à molécula carregada, AX^+ . Posteriormente um elétron dissocia AX^+ , produzindo dois átomos neutros, A e X .

Na base inferior da Ionosfera existe mais um processo de perda eletrônica, o qual é denominado de junção eletrônica. Neste processo os elétrons são “fixados” aos átomos neutros, tornando-os íons carregados negativamente.

Nas regiões superiores da Ionosfera, os elétrons livres e os íons positivos não se recombinam rapidamente para formar partículas neutras, pois a concentração de partículas é muito baixa. Além disso, os íons atômicos que predominam nestas regiões recombinam-se com elétrons muito mais lentamente do que com íons moleculares. Por

este motivo, mesmo na ausência de radiação ionizante, estas regiões continuam a existir embora a concentração de elétrons e íons esteja reduzida.

2.2.2 – As Regiões Ionosféricas

A Ionosfera apresenta três regiões definidas a partir da presença de três máximos de densidade eletrônica, nas alturas em torno de 80 Km, 105Km e 300 Km, respectivamente. Os limites, inferior e superior não são perfeitamente definidos, porém a concentração eletrônica se torna muito pequena, abaixo de 70 e acima de 1000 km. Acima desta altura começam a predominar os íons de Hélio (He), na região chamada *Heliosfera*, e em torno de um raio terrestre, tem-se a *Protonosfera* onde predominam os íons de hidrogênio atômico.

Os íons comumente produzidos são O^+ , N_2^+ e O_2^+ , na região do pico. Na região ionosférica mais baixa, um íon importante é o NO^+ , produzido pela radiação Lyman- α em 1216 Å. Outras radiações importantes são raios-x e cósmicos.

O aparecimento destas regiões é o resultado dos diferentes processos de ionização dominantes em cada faixa da altitude ionosférica, juntamente com as diferentes condições atmosféricas dinâmicas envolvidas no processo de recombinação. A Figura 2.3 ilustra as regiões ionosféricas verticais, mostrando o comportamento diurno e noturno. Pela ordem crescente de altitude, as regiões ionosféricas são denominadas de D, E, F₁ e F₂, respectivamente.

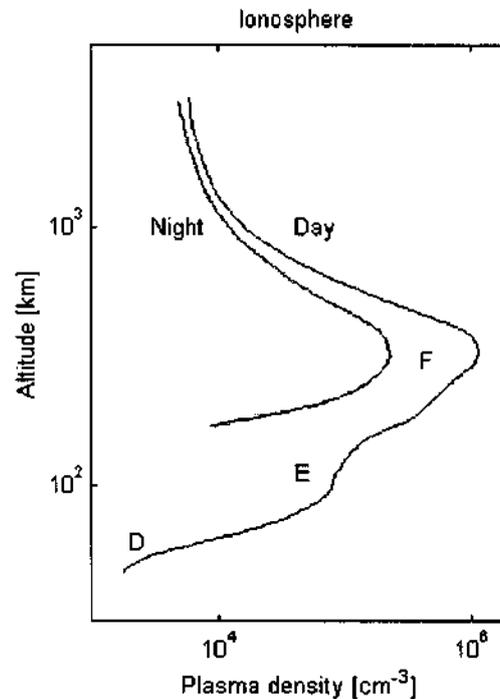


Figura 2.3 – Perfil ionosférico mostrando as regiões verticais para os períodos diurno (day) e noturno (night).

FONTE: <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/IONO/ionostru.html>

Região D: Localizada aproximadamente entre 50 e 90 Km de altitude e é caracterizada pela pequena densidade de ionização e pela alta frequência de colisões de elétrons e íons com partículas neutras. Nessa região os íons dominantes são o O_2^+ e o NO^+ e as principais fontes ionizantes são: os raios-x solares de comprimentos de onda menores que 1 nm que ionizam o O_2 e N_2 em torno de 80 Km; O EUV na faixa espectral entre 102,7 nm e 111,8 nm que excita o oxigênio molecular; a radiação solar Lyman- α de comprimento de onda 121,6 nm que ioniza o NO; os raios cósmicos galácticos que ionizam a parte inferior da região e as partículas energéticas oriundas do sol ou das auroras que ionizam a região nas altas latitudes.

Região E: Localizada aproximadamente entre 90 e 130 Km de altitude, é importante pela presença de correntes elétricas e pela sua interação com o campo geomagnético. Em torno de 110 Km, a condutividade ionosférica é máxima. Os íons NO^+ e O_2^+ predominam nesta região. Os processos de ionização são: a ionização do O_2 por raios-x na faixa espectral de $1 < \lambda < 3,1$ nm, pela radiação Lyman de 102, 578 nm e pela radiação ultravioleta no contínuo Lyman em $\lambda < 91$ nm; a ionização do N_2 por raios-x

na faixa espectral de $1 < \lambda < 3,1$ nm; a ionização do O pela radiação contínua Lyman e por raios-x na faixa espectral de $1 < \lambda < 3,1$ nm.

Região F₁: Está localizada entre 130 e 200 Km, aproximadamente. As espécies predominantes nesta região são o N₂⁺ e o íon majoritário O⁺. Tal região é caracterizada por um pequeno pico ou inflexão na curva do perfil de densidade eletrônica em torno da altitude de 180 Km.

Região F₂: Localiza-se no limite superior da Ionosfera terrestre, na faixa de altitude entre 200 e 1000 Km, aproximadamente. Observações realizadas através de satélites e foguetes mostram que o constituinte iônico predominante próximo do pico da região F₂ (aproximadamente 300 Km) é o oxigênio atômico (O⁺). Nas altitudes superiores a 200 Km a atmosfera neutra torna-se opticamente fina e a perda por recombinação passa a ser menos importante. Essa taxa de perda cai mais rápido que a de produção e, conseqüentemente a densidade eletrônica da região F₂ aumenta com a altura. Essa situação ocorre até uma altura limite, entre 250 e 300 Km, onde surge o pico da região F₂. A partir daí, o movimento dos gases atmosféricos gera processos difusivos capazes de influenciar, ou até mesmo dominar, os processos de perda. Nas maiores altitudes da região F₂ o O⁺ torna-se menos importante e o íon H⁺ começa a dominar.

Durante a noite, a fotoionização cessa e os processos de recombinação e de junção eletrônica tornam-se dominantes nas regiões D,E F e F₁ que, por sua vez, desaparecem quase por completo. A contrário, a camada F₂ persiste por toda a noite, como conseqüência da ação de campos elétricos equatoriais e dos ventos termosféricos. Isto é, ao entardecer, ocorre um aumento no campo elétrico equatorial na direção leste que na presença do campo geomagnético, causa aumento da deriva vertical movendo as partículas carregadas para as regiões superiores da Ionosfera, onde a taxa de recombinação é baixa. Esse aumento do campo elétrico, o qual é conhecido como pico pré-inversão (*Pre-reversal Enhancement*) é muito importante para a manutenção da região F₂ noturna.

As ondas de rádio são refletidas na Ionosfera em alturas que dependem da frequência de onda e da densidade do meio: as comunicações por este intermédio são chamadas de radiocomunicações ionosféricas; as ondas de frequências mais altas (VLF,

UHF, microondas, etc.) atravessam a Ionosfera e se perdem no espaço, ou são utilizadas nas comunicações com espaçonaves que se encontram na órbita da Terra ou no meio interplanetário. A região D é responsável pela absorção das ondas de rádio de alta frequência que são refletidas nas camadas superiores, estando localizadas na região F as camadas refletoras mais importantes.

2.2.3 - A Importância do Estudo da Ionosfera

A Ionosfera representa um laboratório natural de física de plasmas, onde são estudados diversos fenômenos como o crescimento de instabilidades, a propagação de ondas de gravidade, a geração e evolução de bolhas de plasma, etc. Em suma, a importância do estudo da Ionosfera dá-se pelas seguintes razões:

- Para melhor se entender a Climatologia Espacial (conjunto de fenômenos que ocorrem no sistema Ionosfera/Termosfera/Magnetosfera e também a interação desse sistema com o meio interplanetário, durante a passagem de nuvens magnéticas de alta energia de origem solar), cuja variabilidade nas vizinhanças da Terra, afeta de forma direta ou indireta a vida do dia a dia.
- Para melhor se entender os seus fortes efeitos nas Telecomunicações inclusive nas telecomunicações via satélite nas faixas de frequência na ordem de GigaHertz.
- Para se estudar a Física de Plasmas e em particular os fenômenos das instabilidades de plasma (através dos estudos dos fenômenos de spread-F, bolhas ionosféricas, eletrojato, etc.), permitindo a verificação das teorias.
- Aplicações tecnológicas, na área de Engenharia. Os satélites artificiais podem ser parcialmente ou totalmente danificados pelo bombardeio de elétrons relativísticos ou por campos elétricos de alta intensidade. Pode acontecer da danificação dos instrumentos de bordo dos satélites causada pela ação da intempérie do meio interplanetário ser confundida com defeito de natureza técnica.
- Para se estudar os processos quânticos que ocorrem em átomos e moléculas atmosféricas excitadas, permitindo a verificação das teorias Para se estudar a espectroscopia óptica (emissões atmosféricas atômicas ou moleculares resultantes das diversas transições eletrônicas fotoemissivas), permitindo a verificação das teorias.
- Poluição nuclear: O risco de um batismo nuclear na região Sul-Atlântica. Um satélite movido a combustível nuclear que se desintegre na Atmosfera Terrestre poderá deixar um rastro de partículas radioativas, que poderão precipitar-se na região brasileira,

pois essa é a região do globo terrestre onde se precipitam as partículas energéticas do cinturão de radiação de Van Allen.

■ Para fins bélicos: Blackout para as telecomunicações inimigas. O aquecimento artificial do plasma ionosférico feito por radares em solo ou “in loco” através de satélites, utilizando-se técnicas de aquecimento de plasma por meio de ondas de radiofrequência de alta potência poderá, convenientemente, confinar as radiocomunicações a uma região geográfica previamente estabelecida sem que o inimigo tenha acesso a essa região.

■ A Ionosfera é a camada atmosférica formada por elétrons e íons livres que tem a propriedade de conduzir correntes elétricas e energia térmica. Ou seja, ela é boa condutora de calor e de eletricidade. Ficou conhecida pelo fato de permitir as radiocomunicações a longas distâncias, nas primeiras décadas deste século. Ela é formada em sua maior parte pela ação da radiação ultravioleta solar que arranca os elétrons das órbitas dos átomos neutros da Atmosfera, gerando assim o par fotoelétron/íon positivo. O fotoelétron perde energia e, em subsequente equilíbrio térmico compõe com o íon livre o plasma ionosférico. Durante a noite, elétrons e íons se recombinam aos poucos tornando o plasma mais rarefeito. O seu íon mais abundante é o íon oxigênio atômico O^+ . Sua localização inicia-se aproximadamente a uma altura de cerca de 60 Km durante o dia e 90 Km durante a noite e se estende por centenas de quilômetros de altura. Sua parte mais densa fica localizada em torno de 300 Km de altura e chama-se região F. Sua notoriedade deve-se à sua propriedade de interferir refletindo, refratando, absorvendo e espalhando as ondas de rádio.

■ A Ionosfera na condição de um laboratório espacial: um dos objetivos dos experimentos ionosféricos, estando eles em nível de solo, aéreo, suborbital ou orbital, de um modo geral, é utilizar a Ionosfera como um laboratório para o estudo da física de plasmas. Trata-se de um laboratório único pois aí não existem paredes que introduzam as complicadas condições de fronteira, nas paredes dos plasmas de laboratório. Colisões das partículas do plasma com as paredes do reservatório distorcem as medidas [Sobral, J. H. A; 1997].

2.3 Princípios de Instrumentação Aplicados ao Monitoramento Ionosférico

Um dos meios mais utilizados para se monitorar a Ionosfera é através da recepção de ondas de rádio. Estas ondas podem ser tanto naturais (produzidas por elementos tais como relâmpagos, planetas, estrelas, etc.) quanto artificiais (produzidas por um outro transmissor, estações transmissoras de rádio, etc.).

O uso destes recursos reduz os custos financeiros das pesquisas relacionadas à Alta Atmosfera visto os altos valores na construção de satélites ou foguetes.

Dentre os dispositivos utilizados nestes tipos de medidas destacam-se:

- Polarímetros;
- Ionossondas;
- Receptores de Ondas LF/VLF/ELF;
- Receptores de Ondas MF/HF;
- Riômetros, etc.

2.3.1 - Sistema Genérico

Basicamente, um dispositivo receptor utilizado para monitoramento ou medição de sinais deste tipo é constituído por:

1. Uma antena: Responsável pela captação ou transmissão.
2. Um receptor: Onde o sinal será devidamente condicionado.
3. Um registrador: Onde o sinal será registrado.

A Figura 2.4 apresenta os dispositivos que constituem um determinado sistema de medição.



Figura 2.4 - Bloco esquemático de um sistema rádio-receptor para fins de estudos aplicados a Aeronomia.

Os três tópicos acima citados constituem três estágios básicos para um sistema de monitoramento. Sendo que, estes estágios estão interligados por *linhas de transmissão de dados* que geralmente são do tipo par trançado ou cabo coaxial, sendo este último o mais utilizado. Além disso, estas linhas de transmissão de dados podem ou não ser acompanhadas de uma linha de alimentação para outros estágios tais como amplificadores. A partir daí pode-se então falar um pouco mais sobre cada um destes estágios principais, analisando-se mais a fundo as suas funções e as suas inter-relações.

2.3.1.1 - A Antena

A antena tem como função principal transformar a onda eletromagnética em um sinal elétrico. Existem vários tipos de antenas e a escolha desta está intimamente ligada ao *tipo de sinal a ser captado* e a *região de cobertura do sinal* a ser estudado.

A grandeza de uma antena é proporcional ao comprimento de onda do sinal a ser captado e é possível se obter uma antena altamente diretiva ou uma antena que capte, da mesma forma, sinais vindos de qualquer direção.

Como exemplo, as antenas do sistema Riômetro do Laboratório SONDA de Cachoeira Paulista - SP que utilizam antenas Yagi a fim de obter somente sinais vindos de uma certa direção. Já no OES utilizam-se apenas antenas do tipo dipolo, sem nenhum diretor, a fim de se captar todo e qualquer sinal vindo de qualquer direção do céu.

Como já foi dito anteriormente, a interligação entre os estágios de captação, recepção e registro são feitos através de linhas de transmissão. Contudo, algumas vezes, estágios condicionadores de sinais estão dispostos entre estes três estágios principais para que o sinal chegue em melhores condições ao seu ponto final que seria o seu armazenamento. Então, muitas vezes, o sinal de dado utiliza um caminho diferente do original que seria o caminho 1, representado na Figura 2.5 abaixo, passando por um sub-estágio amplificador que se situa entre o estágio de captação realizado pela antena e o estágio de recepção. Este amplificador é chamado então de pré-amplificador e então o sinal realiza o caminho 3 que seria: Antena → Amplificador → Receptor. Algumas vezes utiliza-se, logo após o estágio amplificador, um outro estágio composto por um conversor DC, que converte todo o sinal alternado em sua entrada em um sinal DC. Para sistemas como o Riômetro, este nível DC é obtido através da integração do sinal alternado. O sinal, para um sistema que possua um conversor DC, realiza o caminho 2 que seria: Antena → Pré-Amplificador → Conversor DC → Receptor.

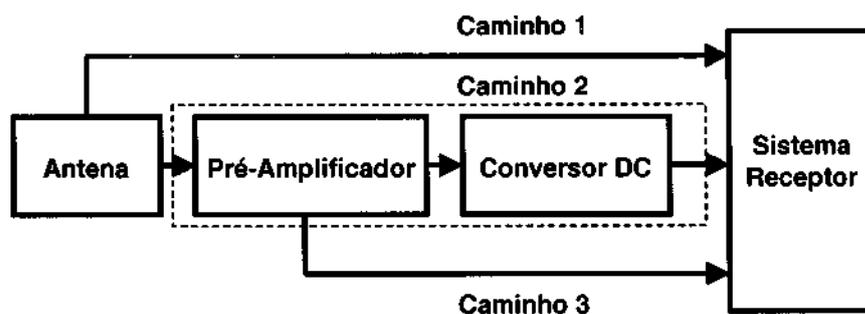


Figura 2.5- Esquema representativo dos caminhos de um sinal a partir da antena até o receptor.

O conversor DC é útil para a identificação de ruído, sendo então mais fácil notar um sinal interferente em um sinal DC do que em um sinal alternado.

2.3.1.2 - O Receptor

O receptor é responsável pelo condicionamento ou tratamento do sinal. Nele estará o filtro que selecionará a frequência de interesse para o estudo em questão. O receptor poderá conter vários outros circuitos de condicionamento tais como: retificadores, amplificadores, atenuadores, etc. O filtro é um circuito que faz a seleção da faixa ou frequência de interesse. De acordo com isto o filtro poderá ser classificado como:

- Passa Baixa: Aceitará toda a frequência abaixo da frequência de corte f_c .
- Passa Alta: Aceitará toda a frequência acima da frequência de corte f_c .
- Passa Banda: Aceitará toda a frequência que estiver contida na faixa de frequência de extremos inferior f_{c1} e superior f_{c2} .

Os retificadores têm a função de ceifar a onda alternada, obtendo-se somente o lado positivo da mesma. Isto produz um sinal DC cujo valor corresponde ao valor médio da onda alternada.

Já os amplificadores e atenuadores, por sua vez, têm as funções de aumentar e diminuir, respectivamente, a amplitude de um sinal. Em sistemas de recepção de ondas naturais de baixa frequência, como os do OES, são necessários vários estágios amplificadores além do estágio pré-amplificador, visto a fraca intensidade deste tipo de sinal.

2.3.1.3 - O Registrador

O registrador é qualquer instrumento que registre, grave ou armazene de qualquer forma as informações captadas pelo sistema para o qual está alocado.

Inicialmente utilizavam-se registradores analógicos que são basicamente plotters que registram em papel tipo “chart”, os dados obtidos. Com o avanço da tecnologia, registradores mais modernos têm sido utilizados baseados na gravação digital de dados. Além disso, dados antigos gravados com os registradores analógicos agora vêm sendo convertidos em dados digitais através da sua digitalização, a fim de se ter um controle e preservação maior dos mesmos. Um sistema de registro digital de dados apresenta várias vantagens sobre os registradores analógicos, desde que a resolução aplicada seja a ideal.

A troca de dados entre o estágio receptor e o estágio registrador do tipo digital, passa por uma conversão analógica A/D, ou seja, a conversão do sinal analógico para um sinal digital. Isto é feito para que o dado possa ser interpretado pelo controlador de aquisição (PC) e o software de controle. Em registradores analógicos a troca de dados entre o registrador e o receptor é direta, podendo às vezes existir um atenuador, que limitará a amplitude do sinal, protegendo o registrador de uma sobrecarga.

2.3.2 - Outros Dispositivos

Além dos dispositivos discutidos anteriormente, a instrumentação utilizando rádio-receptores pode utilizar outros dispositivos que auxiliam na aquisição de dados e monitoramento tais como temporizadores, geradores de padrões, etc.

No próximo capítulo serão abordados os princípios de instrumentação utilizados para o monitoramento ionosférico, e dados obtidos com estes equipamentos que estão instalados e em operação contínua no OES/CRSPE/INPE-MCT.

Capítulo 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 A Instrumentação da Área de Monitoramento Ionosférico do LAE

A instrumentação para monitoramento ionosférico do Laboratório de Aeronomia LAE/LACESM/CT, foi adquirida através de um Convênio Internacional em Ciências Espaciais Básicas e Ciências Atmosféricas, firmado entre o INPE/UFSM e vários Institutos e Universidades Japonesas.

Este Convênio possibilita que várias pesquisas venham a ser desenvolvidas no OES nas áreas de Geomagnetismo e Aeronomia, permitindo a interação de diversos pesquisadores com os acadêmicos que fazem parte do projeto.

Dentro do Laboratório de Aeronomia foram instalados diversos equipamentos para o monitoramento ionosférico tais como:

- Receptor de Ondas ELF/VLF;
- Receptor de Ondas VLF/LF;
- Receptor de ondas MF/HF;
- Receptores GPS;
- Riômetro;
- Riômetro Imageador.

Também estão instalados no prédio 5 do OES, Fotômetros e Câmaras Imageadoras, equipamentos que fazem parte do Laboratório de Luminescência Atmosférica – LOLA/LAE, possibilitando o monitoramento contínuo da Luminescência Atmosférica nesta região.

Esta instrumentação possibilita que a Ionosfera local seja monitorada continuamente, e desta forma detectados fenômenos ligados à variação da densidade ionosférica, bolhas ionosféricas, eventos de absorção ionosférica, luminescência atmosférica, entre outros eventos.

3.1.1 - Receptor de Ondas MF/HF

3.1.1.1 – Propagação de Ondas de Rádio

Um dos meios mais utilizados no monitoramento da Ionosfera é através da recepção de ondas de rádio. Estas ondas podem ser tanto naturais, como aquelas produzidas por elementos como: relâmpagos, planetas, estrelas, etc; quanto as artificiais como as produzidas por outro transmissor e estações transmissoras de rádio.

As ondas de rádio são refletidas pela Ionosfera em alturas que dependem da frequência da onda e da densidade do meio: as comunicações por este intermédio são chamadas de radiocomunicações ionosféricas; as ondas de frequências mais elevadas (VHF,UHF, microondas, etc) atravessam a Ionosfera e se perdem no espaço, ou são utilizados nas comunicações com espaçonaves que se encontram em órbita.

As ondas em frequências médias e até mesmo altas sofrem a ação da reflexão ionosférica, ou seja, as ondas são refletidas ao se chocarem com a Ionosfera, a Figura 3.1 ilustrada o modo de propagação de ondas de altas frequências (HF).

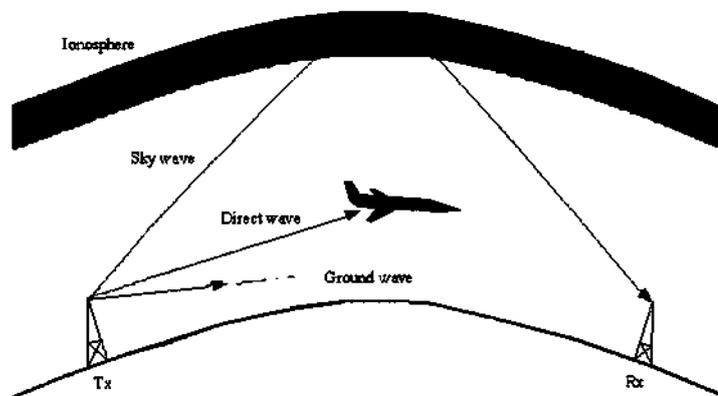


Figura 3.1 – Propagação de ondas via reflexão ionosférica.

FONTE: <http://www.ips.gov.au/papers/richard/hfreport/webrep.htm>

Esta propriedade é muito utilizada na radiofusão comercial para se transmitir a longas distâncias. Este tipo de transmissão é conhecido como *transmissão via reflexão ionosférica*. Ondas de menor energia (menor frequência) são mais susceptíveis à reflexão ionosférica visto que não possuem a energia suficiente para transpô-la. Então para *transmissões transionosféricas* (que atravessam a Ionosfera) utilizam-se ondas com

energias mais elevadas, como é caso das ondas em frequências muito altas (VHF, UHF, etc).

3.1.1.2 – Sistema Implementado no OES

O Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE-MCT adquiriu através de uma Cooperação Científica Internacional em Ciências Espaciais Básicas e Atmosféricas, firmado com diversas Instituições Japonesas, rádios receptores de sinais de Média e Alta Frequência (MF e HF) com o objetivo de implementar um sistema simples e de baixo custo, para realizar estudos dos efeitos ocasionados por distúrbios ionosféricos sobre as radiocomunicações na faixa de HF e também estudar os efeitos do clima espacial sobre a Ionosfera local.

O sistema implantado no OES consiste de um rádio-receptor, modelo NRD – 535 da JRC (Japan Radio Company) com interface serial RS-232, que possibilita o controle do rádio por um computador dedicado. Para a automatização do sistema foi desenvolvido um software para controle do rádio e aquisição de dados. O software muda automaticamente as frequências de recepção e adquire os valores de potência do sinal recebido. Os valores de potência do sinal que são enviados do receptor para o computador estão em unidades digitais arbitrárias, e correspondem a 40 diferentes níveis de um Medidor de Sinal, “*S-Meter*”, construído no receptor. Para posterior análise, os valores digitais são convertidos para valores “*S-Meter*” e então para unidades dBm. O logaritmo da potência de recepção, para a relação de 1 miliWatt multiplicado por 10, é definido como dBm. A conversão das unidades arbitrárias para dBm é baseada numa tabela de conversão que está disponibilizada no manual de operação do rádio receptor [JRC, 1996]. A Figura 3.2 ilustra o experimento instalado no OES.



Figura 3.2 - Rádio-receptor de ondas instalado no OES/CRSPE-INPE.

Os sinais de 4 diferentes estações têm sido continuamente monitorados, e os valores de potência do sinal são gravados em arquivos textos diários com intervalo de amostragem de 10 segundos. O número de estações transmissoras monitoradas e o intervalo de amostragem podem ser facilmente modificados de acordo com a necessidade do usuário. A Tabela 3.1 mostra a localização das estações transmissoras cujos sinais têm sido monitorados por este sistema.

	Frequência (MHz)	Estação Transmissora	Localização (Cidade-Estado)
Frequência 1	15,400	Globo (GL)	São Paulo - SP
Frequência 2	9,645	Bandeirantes (BA)	São Paulo - SP
Frequência 3	9,565	Universo (UN)	Curitiba - PR
Frequência 4	6,000	Guaíba (GU)	Porto Alegre - RS

Tabela 3.1 – Frequências monitoradas e suas respectivas estações de transmissão

O sistema está operando desde outubro de 2000 e tem-se analisado principalmente o comportamento diário do sinal de 6 MHz, devido a sua estabilidade, apresentando variabilidade diária e sazonal em comparação com as outras frequências de recepção. A Figura 3.3 é um exemplo de dados obtidos com o experimento, onde é possível verificar a típica variação diária para a frequência de 6 MHz. Como esperado, durante o dia, a potência do sinal é menor quando comparada com o período noturno, isto é devido ao aumento de ionização nas mais baixas camadas da Ionosfera (D e E) pela radiação solar e raios cósmicos, e conseqüentemente fazendo com que o sinal seja mais absorvido por estas camadas. Pela Figura também é possível observar o período em que a estação de rádio permanece fora de transmissão (queda abrupta no gráfico), retornando ao seu período de operação por volta das 07:00 UT. Através dos dados é possível verificar também eventos de desvanecimento de rádios sinais, relacionados a eventos de explosões solares de raios-x, que ocasionam perdas na intensidade do sinal, permitindo desta maneira observações de distúrbios ionosféricos e a influência da atividade solar sobre esta camada.

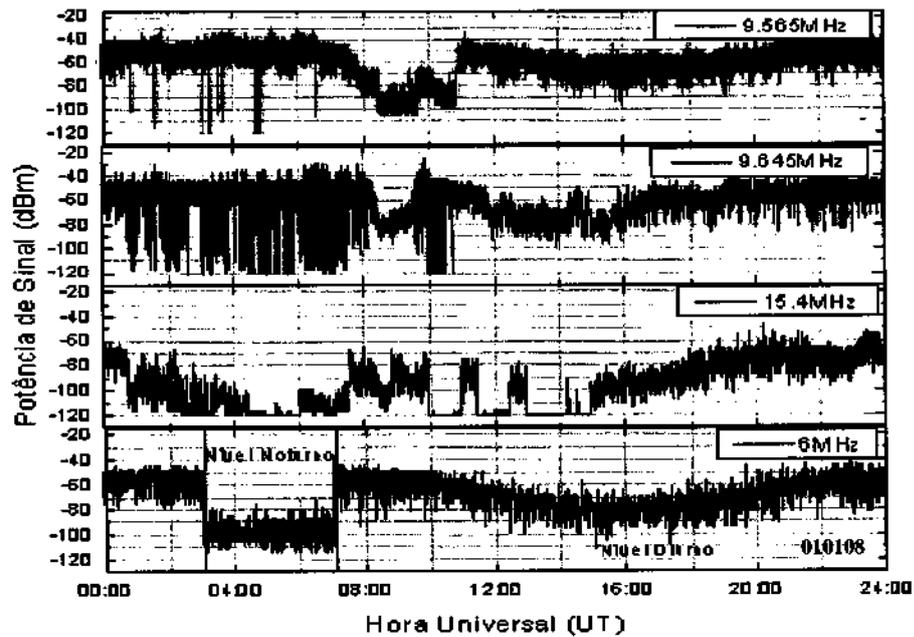


Figura 3.3 – Dados obtidos com o sistema rádio receptor instalado no OES, através da figura identifica-se que as outras frequências de operação não apresentam variabilidade diária, justificando desta forma a razão do uso da frequência de 6 MHz para a realização de estudos.

O bolsista se dedicou mais especificamente ao estudo de operação e análise de dados deste equipamento, visto a diversidade de eventos de absorção detectados, a eficiência de operação e número de dados disponibilizados. Os resultados destas análises, assim como, correlações com outros tipos de dados serão abordados no decorrer do próximo capítulo. Durante o período de execução do projeto o bolsista realizou visitas semanais ao OES a fim de coletar dados e checar o funcionamento do equipamento.

3.1.2 - O Sistema GPS

3.1.2.1 - Evolução da Navegação por Satélites

Os sistemas de rádio-navegação começaram com torres de transmissão baseados na superfície da Terra. Os sistemas baseados em Terra começaram com os sistemas RDF (Radio Direction Finding) e sistemas de Hiperbólicas. O sistema RDF é simples e fácil de entender. Simplesmente o operador sintonizava para uma estação de rádio conhecida, usando uma antena direcional, onde o sinal se apresentasse mais forte, era lá

que a antena transmissora se situava. O procedimento era repetido com outra estação de rádio. O operador calculava a sua posição descobrindo onde se situava.

O sistema de Hyperbólicas era mais complexo. Este sistema usava coordenadas de transmissão de duas ou mais estações de rádio. Ele funciona baseando-se no fenômeno de que todos os pontos aonde a diferença entre sinais de rádio vindas de estações diferentes formava uma hipérbole onde essa diferença de frequência se mantinha. Ele possibilitava montar um mapa exibindo várias hipérboles (as hipérboles são linhas que indicam uma diferença constante entre diferentes estações de rádio). O usuário usava o equipamento de rádio para escutar o sinal de rádio, então iguala a diferença encontrada por uma hipérbole apropriada no mapa. Isto determinava ao usuário algum lugar ao longo de um arco na Terra. Este processo é repetido usando um segundo par de estações para determinar outra hipérbole. O usuário determina a posição achando o ponto no mapa onde as duas hipérboles se intersectavam.

Os sistemas NAVSTAR e GLONASS usam o princípio tridimensional: latitude, longitude e altura. O receptor GPS do usuário, recebe informações de distância dele em relação a cada um de uma série de satélites. Conhecendo-se as posições dos satélites, e a sua posição em relação a eles, o usuário pode calcular a sua posição.

O sistema GPS é formado por 3 segmentos para o seu funcionamento:

Segmento Espacial: Formado pelos satélites que estão em órbita, consistindo de 24 satélites, em 6 diferentes órbitas com 4 satélites em cada órbita. Os satélites percorrem uma órbita em torno da Terra a cada 12 horas, a uma altitude de aproximadamente 20.200 Km, cada satélite têm 28 graus de visualização sobre a Terra e estão inclinados 55 graus em relação à linha do Equador. A Figura 3. 4 ilustra a distribuição das órbitas em relação à Terra.

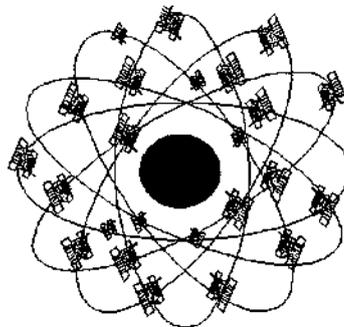


Figura 3.4 - Distribuição das Órbitas dos Satélites GPS em Relação a Terra.

FONTE:<http://www.geocities.com/capecanaveral/lab/9947/orbits.htm>

Segmento de Controle: Todos os 24 satélites são controlados pelo Segmento de Controle que está em Terra. Este controle é feito por uma estação de controle Master localizado no Colorado, nos Estados Unidos. Ele é responsável por monitorar o rastro dos satélites com o auxílio de 5 estações de monitoramento espalhados pelo Planeta, processando todos os dados e então enviando a correção e sinais de controle para os satélites. O segmento de controle monitora a performance total do sistema, corrige posições do satélite e reprograma o sistema com o padrão necessário. A determinação desse número de satélites circulando o globo, mais os planos de órbita dos satélites, junto com a estrutura de comando e controle, faz com que o GPS assegure que um número mínimo de 4 satélites sempre estará disponível para oferecer, seja de dia ou de noite, em qualquer lugar da superfície da Terra, uma leitura precisa de posição de determinado objeto (através de um receptor - um GPS Receiver).

Segmento do Usuário: O Segmento do Usuário do GPS consiste dos fabricantes de GPS Receivers e a comunidade de usuários. Os GPS Receivers convertem os sinais dos satélites em posição, velocidade, e tempo estimado. Quatro satélites, no mínimo, são requeridos para computar as quatro dimensões: x, y, z (posição) e t (tempo). Os GPS Receivers são usados para orientação à navegação, posicionamento, disseminação do tempo, e outros recursos. A navegação é a função primária do GPS, e são usados por usuários de aeronaves, navios, veículos, e por indivíduos que usam o receptor portátil ("de bolso"). Também é usado por observatórios astronômicos, por empresas de telecomunicações, e laboratórios científicos; podendo configurar sinais controlados por frequências específicas para um determinado propósito, estudo ou experiência. Como exemplo, projetos têm sido feitos para medir parâmetros da atmosfera terrestre.

3.1.2.2 - Discrepâncias sujeitas no GPS: Erro de Propagação na Ionosfera

A Ionosfera refrata transmissões de satélite UHF da mesma maneira que refrata transmissões VLF, L/MF e HF, mas em menor proporção. Visto que um sinal refratado pode gerar uma maior distância (vindo torto, em curva, em vez de reto, direto sem distorções) do que um sinal vindo em linha reta, o sinal acusará mais tempo ao ser detectado (aumentando o valor da variável tempo decorrido), induzindo a um erro na distância encontrada (acusando maior distância em relação ao satélite). Sabemos que o sinal refratado na Ionosfera é inversamente proporcional ao quadrado de suas

freqüências. Isto significa que a alta freqüência oferece uma menor refração e disto, induz um erro menor no cálculo da distância real. Os satélites GPS transmitem em duas freqüências UHF diferentes, 1.575,42 MHz e 1.227,60 MHz onde cada freqüência será afetada (refratada) de forma diferente pela Ionosfera e pela atmosfera em suas diversas camadas, evitando problemas de distorção de distância. Comparando a distorção entre as duas freqüências, o valor da distorção da Ionosfera pode ser calculado diretamente. Conhecendo o valor da distorção que foi induzida, o fator de correção é introduzido no sistema e efetivamente é corrigido o erro de propagação na Ionosfera, levantando a distância real em relação ao satélite. A arquitetura do sistema GPS ainda utiliza outra técnica para minimizar o problema da refração causado pela atmosfera, que é o uso do DGPS (Diferencias GPS), que são métodos de eliminar erros na leitura de um GPS Receiver oferecendo maior precisão. Este processo se baseia no princípio em que a maioria dos erros observados pelos receptores GPS são comuns em determinado local. Estes erros comuns são causados por fatores tais como variação de clock e mudanças nas condições de propagação das ondas de rádio na Ionosfera.

3.1.2.3 - Estudo das Irregularidades Ionosféricas Utilizando Receptores GPS

Um sistema de receptores GPS projetados para detectar a cintilação do sinal recebido durante a ocorrência de irregularidades ionosféricas esta disponível no OES. As irregularidades ionosféricas são enormes regiões rarefeitas do plasma ionosférico, também chamadas de bolhas ionosféricas, que se originam na região equatorial e se expandem ao longo das linhas de campo magnético, podendo atingir dimensões continentais. Estas bolhas afetam consideravelmente os sistemas de telecomunicações e os sistemas de posicionamento global. O receptor GPS provou ser um aparelho simples que fornece a morfologia e estatística de ocorrência de irregularidades ionosféricas. Permite também calcular a velocidade zonal, ou seja, leste-oeste, destas irregularidades e é um instrumento valioso para complementar o estudo das irregularidades efetuado por outros equipamentos, tais como radares ionosféricos, ionossondas, sondas a bordo de satélites e fotômetros.

Em colaboração com pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, o Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE instalou, no mês de novembro de 2000, em São Martinho da Serra – RS, um receptor GPS projetado para medir cintilações de amplitude do sinal recebido em 1,57542 GHz (Banda L) durante a

incidência de irregularidades ionosféricas. Os dados de GPS estão sendo rotineiramente coletados e posteriormente gravados em CD's. Devido à interferência destas bolhas ionosféricas nos sistemas de posicionamento por GPS e nos sistemas de telecomunicações é de grande interesse o monitoramento de bolhas para estudo de sua morfologia e estatística.

As irregularidades do plasma ionosféricos são geradas na região equatorial por processos de instabilidade do plasma logo após o pôr do sol e podem estender a cerca de 10.000 Km ao longo das linhas de campo magnético e algumas centenas de quilômetros na direção zonal (leste-oeste), formando imensas regiões com rarefação de plasma em seu interior denominadas bolhas ionosféricas. Estas bolhas apresentam campos elétricos zonais intensificados e irregularidades de plasma de vários tamanhos de escala nas suas bordas. Os mecanismos que geram e que determinam a evolução destas irregularidades são bem complexos e maiores estudos, tanto através de medidas de diversos sondadores ionosféricos quanto de teorias e modelos teóricos, se fazem necessários para compreendê-los. As irregularidades ionosféricas, que podem ter dimensões de tamanho de centímetros a quilômetros, causam fortes cintilações na fase e na amplitude dos sinais eletromagnéticos que as atravessam, afetando substancialmente as comunicações entre os satélites e a Terra e os sistemas de posicionamento (GPS). Elas também podem até mesmo causar black-outs nas telecomunicações e erros ou falhas nos sistemas de posicionamento por GPS.

O sistema GPS consiste de 24 satélites operacionais em órbitas circulares e localizados a 20.200 Km de altitude, os quais transmitem sinais em frequências na banda L (1,57542 e 1,2276 GHz) e possibilita o estudo das irregularidades ionosféricas, pois os sinais recebidos pelos receptores GPS cintilam ao atravessá-la. As placas de GPS possuem a capacidade de medir a intensidade dos sinais dos satélites GPS na frequência de 1,57542 GHz com uma taxa de 50 amostras/segundo e possuem 12 canais que processam digitalmente o sinal recebido simultaneamente de até 12 satélites que estão acima do horizonte.

3.1.2.4 - O Monitor de Cintilação

O monitor de cintilação ionosférica (SCINTMON) foi desenvolvido por pesquisadores da Universidade de Cornell (EUA) a partir de modificações de um Kit

desenvolvido pela GEC Plessey GPS Builder-2TM. Como tal, grande parte da sua operação é semelhante à operação do software que vem com o kit.

3.1.2.4.1 - Características Gerais do Hardware

O equipamento mínimo necessário consiste de uma antena GPS, computador pentium 100MHz, com hardisk mínimo de 1Gbyte e placa de interface Plessey GPS. Esta consiste de duas partes. A principal, com interface eletrônica de padrão ISA e uma outra, menor que a primeira, montada na placa principal, onde estão os circuitos integrados do GPS. Os jumpers na placa principal determinam o endereçamento do cartão para o processador do computador. Uma placa deste tipo determina o endereço DMA para controle e comunicação com a placa GPS.

Com relação à antena do GPS, a mesma deve ser montada numa placa de aço e colocada sobre um plano onde não haja obstrução da visão do céu. O ideal seria de horizonte a horizonte em todos os ângulos de azimute. Lembrando que o sinal de um GPS tem comprimento de onda de 19cm, logo pode difundir efetivamente de pequenas estruturas.

Quando o sinal do GPS dissipado em obstáculos atinge a antena, a sua interferência com o sinal direto do satélite é chamada *multipath*. O multipath causa variações na amplitude do sinal e altera o código de sincronização que GPS usa para determinar a distância.

3.1.2.4.2 - O Software de Controle e Aquisição de dados

O programa SCINTMON é controlado em dois modos diferentes. No primeiro modo, as teclas de funções F1 a F12 mostram cada tela específica do programa. A tela F3 mostra os status dos canais e é a primeira tela a ser mostrada, por default, após o programa SCINTMON ser inicializado. A tela principal do software está mostrada na Figura 3.6.

Além da teclas de funções, o programa também é controlado por comandos de duas letras. Para acessar este modo de comando deve-se pressionar a tecla "ESC", e logo a seguir digitar o comando desejado. Para maiores informações, deve ser consultado o Manual de Operação do Monitor de Cintilação SCINTMON [Manual traduzido por Neto, A.C.; Observatório Espacial de São Luís_MA].



Na parte central da tela F3, são mostrados quais os satélites que estão sendo rastreados em cada um dos 12 canais de cartão GPS. Os indicadores de status mais importantes nesta tela são os indicadores de lock (próximos à última coluna, chamada locks) e o indicador da taxa sinal ruído (última coluna, chamada C/No).

Algum tempo após a inicialização do programa pelo menos um dos canais deverá mostrar o símbolo “CCBF” na coluna de “lock” e o valor da taxa sinal-ruído (C/No) oscilando tipicamente entre 30 e 40 dB.

F3 Display

Lat	N 42°26.5998'	Spd	0.44	GDOP	1.9	Svs	7	Wk	065	Date	09/08/96	
Lon	W 76°28.8966'	Hdg	340.2°	PDOP	1.7	Nav	JD	Sec	478066.8	UTC	12:47:35	
Hgt	231.59	ROC	-0.03	VDOP	1.4	HIGH	EL	DO	-1548.0	OscErr	0.98	
CH	SV	ELV	AZI	DOPP	NC0	GERE	SF	PRerr	PRRerr	ICPerr	LOCKS	C/No
1	14	31	92	1252	-298	32	2	-4.8	-0.5	-6.0	CCBF	39.0
E	2	1	-7	14	799	-748	--	4	--	--	C	--
3	27	12	193	-1718	-5269	32	2	12.3	0.3	22.1	CCBF	37.4
L	4	19	-7	171	-3243	-4790	32	4	--	--	C	--
5	9	15	316	1743	198	32	2	13.2	0.2	14.6	CCBF	44.1
U	6	24	-2	220	1781	2232	--	--	--	--	C	--
7	2	74	161	-659	-2210	32	2	34.4	-0.2	34.1	CCBF	39.8
8	15	28	46	-3143	-4692	4	2	-6.4	0.3	-8.8	CCBF	39.2
9	7	66	311	929	-619	32	2	-12.2	-0.3	-11.9	CCBF	36.6
10	4	31	216	3148	1599	32	2	-15.4	-0.1	-38.2	CCBF	38.2
E11	11	-9	87	-2969	-4517	32	2	--	--	--	C	--
E12	26	-11	270	-2257	-3804	32	3	--	--	--	C	--

F1 Help F2-About F3-Channel Status F4-Satellite Summary
 F5-Processing Status F6-Fast Log F7-RINEX2 Data F8-Operating Parameters
 F9-Task Status F10-Data Log F11-Almanac Status F12-Ephemeris Status
 3-D GPS NAVIGATION IN PROGRESS (7 Pseudoranges)
 ScintMon, Ver. C1.20 (960729) GPS Builder-2(TM), Config. A-1.3

Figura 3.6 – Tela principal do software SCINTMON

A principal recomendação a respeito do programa SCINTMON é que ele somente pode ser executado em ambiente DOS, nunca em WINDOWS, devido a problemas que possam ocorrer durante a operação.

O utilitário SCANFILE permite que sejam verificados os dados dos arquivos depois que eles forem coletados, fornecendo uma amostragem qualitativa do conteúdo dos arquivos. Com este utilitário pode-se diagnosticar problemas de multipath e identificar a cintilações dos sinais.

3.1.3 - Riômetro Convencional

3.1.3.1 - Método de Riômetro

O Riômetro consiste de um simples receptor que registra a intensidade das ondas de rádio emitidas pelas estrelas, através de uma antena direcional. Como a intensidade das ondas é muito tênue, a antena e o Riômetro devem ser instalados em locais afastados de fontes de radiointerferência, tais como, os próprios radiotransmissores,

microcomputadores, motores elétricos entre outros. Ao atravessar a Ionosfera, as ondas de rádio estelares são grandemente absorvidas na camada ionosférica, onde a frequência das colisões entre elétrons e moléculas é da mesma ordem de magnitude que a frequência das ondas. A intensidade que consegue ultrapassar a Ionosfera chega as antenas para seu registro.

A potência do ruído cósmico de uma determinada área no espaço é suposta ser constante no tempo. Logo, a potência dos sinais recebidos por um sistema de recepção fixo é função apenas do tempo sideral, pois dependerá somente da rotação da Terra. Desta forma, a transparência da Ionosfera em um determinado instante de tempo será dada pela razão entre a potência do sinal recebido e a potência do sinal, à mesma hora sideral, quando a absorção é mínima.

Direcionando-se a antena numa determinada direção fixa, a intensidade registrada depende apenas da hora local. Assim, a Terra ao girar em torno do seu eixo, fará com que a antena varra uma determinada faixa do céu. Por isto, a intensidade registrada apresentara um ciclo diário, com um máximo e um mínimo. Logo, a amplitude do sinal dependerá da orientação da antena.

3.1.3.2 - A curva do dia quieto

A absorção ionosférica é obtida pela comparação do sinal recebido com o sinal que seria recebido na mesma hora sideral sob condições de absorção zero. Para determinar a quantidade de absorção ionosférica é necessário estabelecer a curva do dia quieto local. Esta curva é obtida com os dados de Riômetro, selecionados de maneira que correspondam a dias de pequena atividade geomagnética [Brum, 1998]. A Figura 3.7 representa o aspecto de uma curva diária.

A potência de ruído não absorvida que alcança um ponto particular na superfície, com a antena orientada em uma dada direção, na mesma hora sideral, é considerada constante. É necessário obter dados não perturbados diários por um período de tempo, transferir estes valores para hora sideral e comparar os dados para cada hora. Um valor é considerado perturbado quando ocorrem fenômenos como interferência ou explosões solares, ou seja, quando os dados registrados pelo Riômetro são modificados por anomalias. O mínimo de absorção ocorre antes do nascer do sol. Por este motivo, é suficiente considerar apenas os dados obtidos neste período e, após um ano é possível

descrever um dia sideral inteiro, pois a diferença entre a hora sideral e a hora solar é exatamente um dia, a cada ano.

A transparência da atmosfera terrestre, num particular instante de tempo é dada pela razão entre a intensidade do sinal recebido e o sinal recebido na mesma hora sideral sob condições de absorção ionosférica desprezível. É possível obter a absorção ionosférica (db_s) em um dado instante de tempo pela relação:

$$A(db) = 10 \log_{10} (I_r / I_q)$$

onde, I_r é a potência de ruído recebida numa dado instante de tempo e I_q é a potência de ruído da curva do dia quieto para a mesma hora sideral. Entretanto, os registros obtidos antes do nascer do sol para diferentes meses devem ser transferidos para diferentes partes da curva com um deslocamento de aproximadamente 4 minutos por dia. Logo, se houver absorção neste horário e sua amplitude depender da época do ano, um erro será introduzido na curva, pois a porção da curva correspondente aos meses de verão é mais baixa do que a porção correspondente aos meses de inverno, pois a absorção no verão é maior do que no inverno.

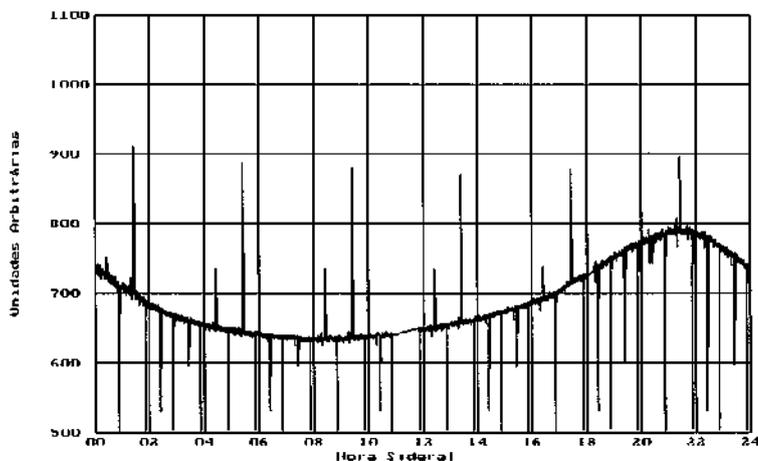


Figura 3.7 - Curva diária construída com dados registrados por Riômetro.

3.1.3.3- O Sistema Implantado no OES

Um dos instrumentos utilizados para o monitoramento ionosférico no OES é o Riômetro convencional, que opera na frequência de 38.2 MHz, a vista lateral da antena está ilustrada na Figura 3.8.

O sinal para este sistema é captado por duas antenas do tipo dipolo de meia onda, unidas por um divisor de potência, com um elemento refletor cada.

Relatório Final de Atividades

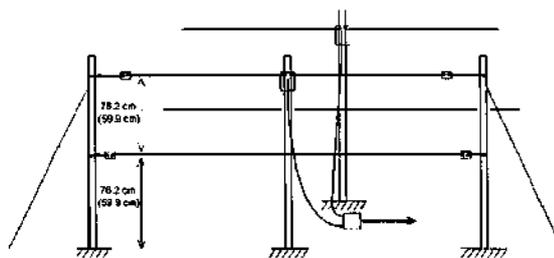


Figura 3.8 - Vista lateral da antena do Riômetro do OES

A antena foi instalada na direção Norte-Sul magnético, contudo, se o nível de ruído for demasiado esta direção pode ser alterada.

O receptor do Riômetro consiste basicamente de um amplificador, filtro e integrador. O cabo de sinal (coaxial) é conectado à porção posterior do receptor. Este sinal vem diretamente da antena pois este sistema não possui pré-amplificador (amplificador situado na base da antena). No receptor, há um display para indicação da potência do sinal; uma tecla que serve para fornecer um pulso de calibração (muito útil quando se utilizava um registrador sem timer e que necessitava de uma indicação de tempo) e uma saída para os dispositivos de registro e aquisição de dados (A/D). Nesta saída está conectado um filtro que tem por objetivo diminuir o nível de ruído proveniente da rede de energia.

3.1.4 - Riômetro Imageador

O Riômetro Imageador instalado no OES consiste de uma rede bidimensional (4X4) de 16 antenas, do tipo dipolo simples de meia onda, para a frequência de 30 MHz. Cada dipolo está conectado a um estube para o casamento de impedância em 50Ω . Os sinais captados pelas 16 antenas são enviados a um combinador de fase através de cabos coaxiais. A Figura 3.9, mostra a disposição dos 16 elementos da rede de antenas e os feixes de recepção resultantes da rede de antenas que são mostrados como projeções horizontais dos contornos de -3dB dos principais feixes, a uma altura de 90 km.

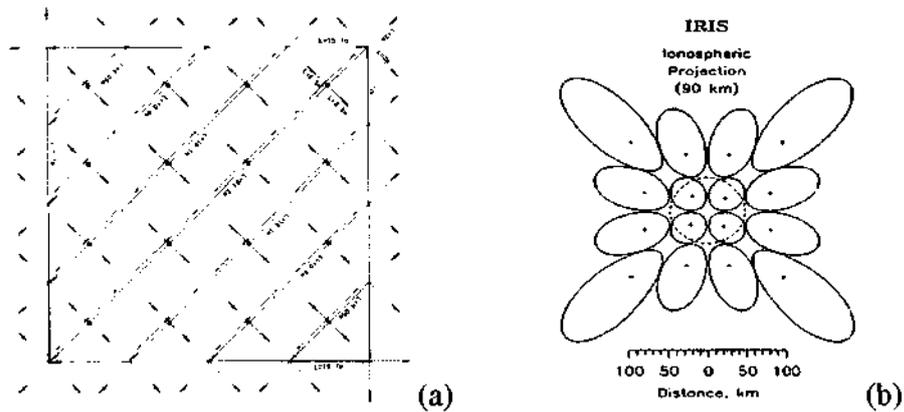


Figura 3.9 - (a) Disposição dos 16 elementos dipolos da antena do Riômetro imageador que opera no OES e (b) Projeção estimada dos contornos de -3dB dos principais feixes de recepção do Riômetro Imageador a uma altitude de 90 Km.

O receptor que realiza o condicionamento dos 4 sinais gerados pela Matriz de Butler, consiste, na verdade, de quatro receptores idênticos com as mesmas características de um receptor de Riômetro convencional. Durante a operação do Riômetro Imageador é possível utilizar-se três modos de operação chamados de “modo de observação”, “modo de calibração” e “AGC - Auto Gain Control”. A operação para adquirir os dados de intensidade de ruído cósmico é definida como modo de observação, enquanto que no modo de calibração sinais do gerador de ruído são utilizados. As saídas dos sinais de ruído são amostradas e arquivadas com os dados de observação e são utilizados para examinar os ganhos do receptor em análises posteriores. O modo AGC providencia um ajuste de ganho do receptor para reduzir o desvio de ganho pela comparação dos níveis de sinal detectado com um nível estável de referência gerado internamente.

3.1.4.1 - Sistema de Aquisição de Dados

O sistema de controle e aquisição de dados é feito por um computador dedicado situado no Laboratório de Aeronomia no prédio principal do OES a uma distância de aproximadamente 200 metros do receptor. O PC de controle no prédio envia sinais digitais ao sistema de faseamento para escolha dos feixes das antenas e para sistema receptor mudar os modos de operação. Neste mesmo tempo, os valores de tensão das 4 saídas do receptor são amostrados e convertidos em sinais digitais por uma placa de conversão analógica para digital de 12 bits. O gerenciamento da amostragem, controle e

plotagem dos dados são feitos pelo software Rio44A - V.2.0 onde atualmente está setado o intervalo de amostragem da placa de aquisição para 1 segundo e o intervalo de varredura de imagem para 4 segundos, a Figura 3.10 mostra a interface do software utilizado. O software possibilita a plotagem em tempo real das variações temporais da intensidade de ruído cósmico na forma de imagens bidimensionais ou na forma de curvas distintas de intensidade de ruído cósmico captado por cada antena.

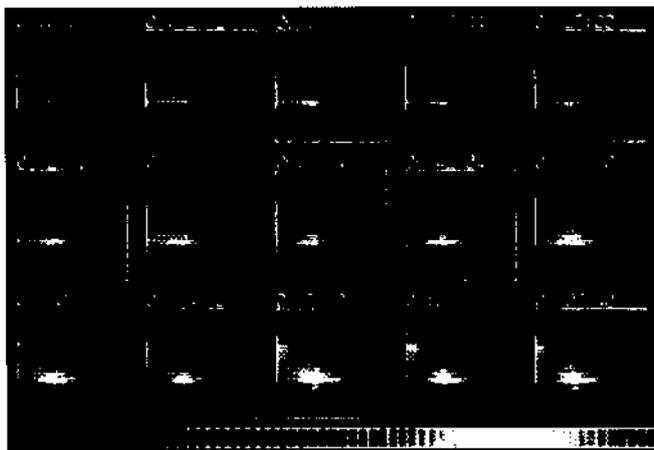


Figura 3.10- Exemplo de dados de intensidade de ruído de rádio cósmico obtidos com o Riômetro imageador instalado no OES.

3.1.5 - Receptores de Ondas ELF/VLF e VLF/LF

As ondas eletromagnéticas em frequências muito baixas (VLF: Very Low Frequencies) são de grande importância para o estudo da Magnetosfera Terrestre. As ondas de VLF podem ser emitidas através de fontes artificiais (por transmissores), ou de modo natural (relâmpagos). Os relâmpagos geram ondas eletromagnéticas em uma larga faixa de frequências, conhecidas como “*atmospherics*” ou “*spherics*”. A energia na banda de frequências muito baixas (3 a 30 kHz) propaga-se tanto no guia de ondas Terra-Ionosfera como através da Ionosfera. O sinal é guiado por regiões com maior densidade eletrônica que são alinhadas ao longo do campo geomagnético. Após efetuar uma propagação completa ao longo das linhas de campo, durante o qual ele se dispersa em frequência, pode penetrar na Ionosfera, propagando-se no guia de ondas Terra-Ionosfera de um hemisfério para outro. Quando a propagação no modo “*whistler*” ao longo do duto cruza o equador, ela pode interagir com elétrons energéticos espiralando na direção oposta causando uma precipitação de elétrons.

A precipitação de elétrons, que ocorre alguns segundos após os “whistlers”, à noite, foi pela primeira vez observada por M. L. Trimpi, operador da base americana de Siple. Estes eventos, denominados Trimpi, constituem-se em variações súbitas na fase e/ou amplitude de sinais de VLF como resultado de mudanças locais na condutividade do guia de ondas Terra-Ionosfera. Então, o evento Trimpi consiste numa rápida ($\sim 1s$) mudança de fase e amplitude do sinal de VLF proveniente de transmissores seguida por uma lenta recuperação ($\sim 40s$) aos níveis normais conforme diminui a ionização [Piazza L. R.; 1995]. A partir deste fenômeno, os receptores de ondas ELF/VLF e VLF/LF se baseiam para detectar variações da densidade ionosférica. Ou seja, a partir do momento que existe uma variação brusca de amplitude do sinal captado pelos receptores pode-se presumir que ocorreu uma variação da densidade ionosférica causando uma variação na condutividade do guia de onda Terra-Ionosfera.

Os sistemas instalados no OES são apenas detectores de amplitude, diferentemente de receptores com os quais já se trabalhou na Estação Antártica Comandante Ferraz [Piazza L.R.; 1995], que captam o sinal de um transmissor artificial conhecido e o submetem a um circuito comparador de fase obtendo-se a variação de fase do sinal. As antenas dos sistemas receptores instalados no OES são mostradas na Figura 3.11.

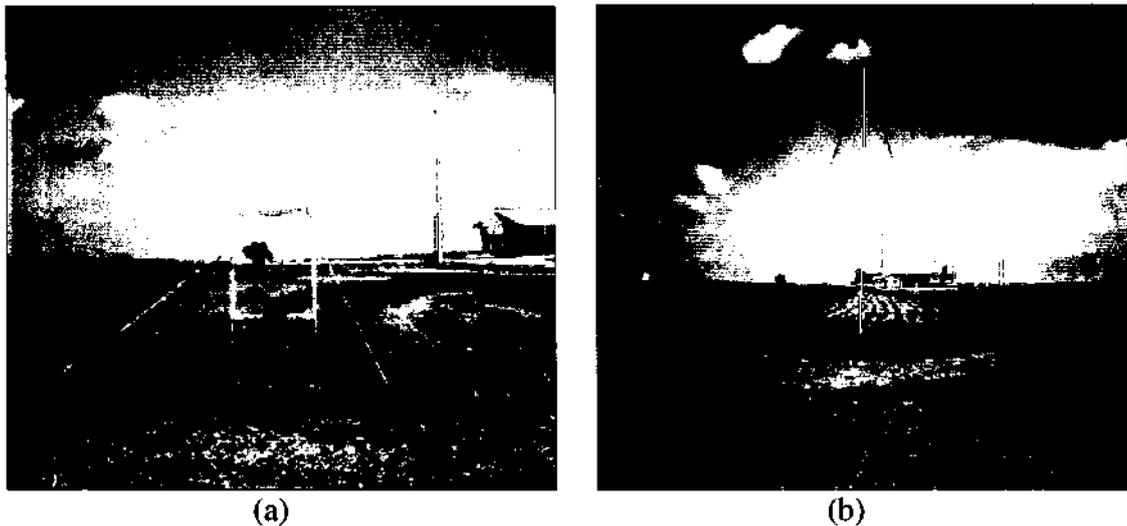


Figura 3.11 (a) Antena “Square Loop” do receptor de ondas e (b) Antena “Triangle Loop” do receptor de ondas VLF/LF instalados no OES.

Capítulo 4

RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 Relato das Atividades

Nesta fase do relatório será abordada a fase do projeto que se concentrou na parte de Instrumentação e análise de dados dos equipamentos. Inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica da literatura científica sobre Ionosfera e também estudos sobre o funcionamento e operação dos equipamentos que estão instalados no Observatório Espacial do Sul – OES, dedicados ao monitoramento ionosférico da região, cujo funcionamento e especificação estão descritos, no capítulo anterior.

Como o início da bolsa se deu em meados de Março de 2002, o bolsista procurou primeiramente o contato com os equipamentos através de vistas ao OES para manutenção e coleta de dados, posteriormente procurou reduzir diretamente os dados para um maior conhecimento do comportamento diário e sazonal da Ionosfera, bem como os fatores que acarretam a sua variabilidade e conseqüente variação nos sinais, que utilizam a Ionosfera como meio de propagação.

Após um conhecimento geral de todos os instrumentos citados anteriormente e que fazem parte do projeto de pesquisa, foi adotado o Rádio receptor como instrumento a ser estudado mais detalhadamente, isto devido aos importantes resultados previamente detectados e por se tratar de um equipamento recentemente instalado, requerendo assim estudos mais detalhados na parte de funcionamento e análise de dados.

Como citado anteriormente, o sinal de 6 MHz foi escolhido para objeto de estudo por apresentar um comportamento diário frente a outras freqüências de recepção do instrumento.

Foi realizada uma análise de dados para o ano de 2001, por se tratar de dados ainda não estudados e possibilitando um estudo completo ao longo de um ano, com o objetivo de verificar se a potência do sinal apresentava variabilidade sazonal.

Após a verificação de cada dia do ano de 2001, foram separados os dados que apresentavam eventos de absorção do sinal para posterior estudo e correlação com dados de raios-x e outros índices geomagnéticos, e a detecção de eventos de

desvanecimento do sinal de 6 MHz. Os dados foram estudados no período entre 08:00 e 24:00 UT, logo após o retorno de operação da estação transmissora.

Como citado no capítulo I, os raios-x constituem uma das maiores fontes de ionização da Ionosfera, juntamente com raios cósmicos e outros fatores, originando um acréscimo de ionização durante eventos de intensificação da atividade solar, acarretando absorção de ondas de rádio, observados como eventos de desvanecimento de rádio sinais [Davies. K, 1990; ITU, 1998], que utilizam a Ionosfera como meio de propagação. Para a verificação da influência de eventos de explosões solares nos dados de potência de 6 MHz, foi desenvolvido um banco de dados com valores de intensidade de raios-x, provenientes do satélite GOES - 8, cuja a obtenção e atualização é realizada através da internet, no endereço: <http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr/>. É feita uma análise diária destes dados, através de plots também disponíveis nesta página, para a detecção de eventos de explosões solares e a realização de futuras correlações.

4.2 Análise de Dados

4.2.1 – Análise da Variabilidade Diária e Sazonal dos Dados

Como ilustrados na Figura 3.3, do capítulo anterior, os dados de potência do sinal de 6 MHz, apresentam variabilidade diária, mostrando-se mais intenso durante o período noturno quando a ionização é mais baixa e dessa forma o sinal menos atenuado. Durante o dia o sinal é mais baixo por causa do aumento da ionização na baixa Ionosfera, principalmente na camada D e E, pela radiação solar. Este fenômeno é bem conhecido e ocorre principalmente porque durante o dia a frequência de colisões de elétrons e partículas neutras também aumenta, devido à ionização solar, ocorrendo absorção. De maneira didática, quando a ionização ocorre a energia da onda de rádio é transformada em calor e ruído eletromagnético por colisões de elétrons com partículas neutras e ionizadas.

Para a verificação da variabilidade sazonal foram calculadas as médias mensais para o ano de 2001, utilizando-se dados que não apresentavam problemas ou eventos de absorção, e posteriormente plotados, como mostra a Figura 4.1. Através do gráfico verifica-se que para alguns meses o equipamento começa a operar mais tarde, por volta das 10:00 UT, isto devido a uma mudança no horário do rádio para a realização de testes. A variabilidade sazonal é observada, e como esperado, para os meses de verão,

as curvas apresentam-se mais baixas, devido a intensificação do processo de ionização pela radiação solar, em comparação aos meses de inverno, onde os valores da potência de sinal apresentam-se mais elevados.

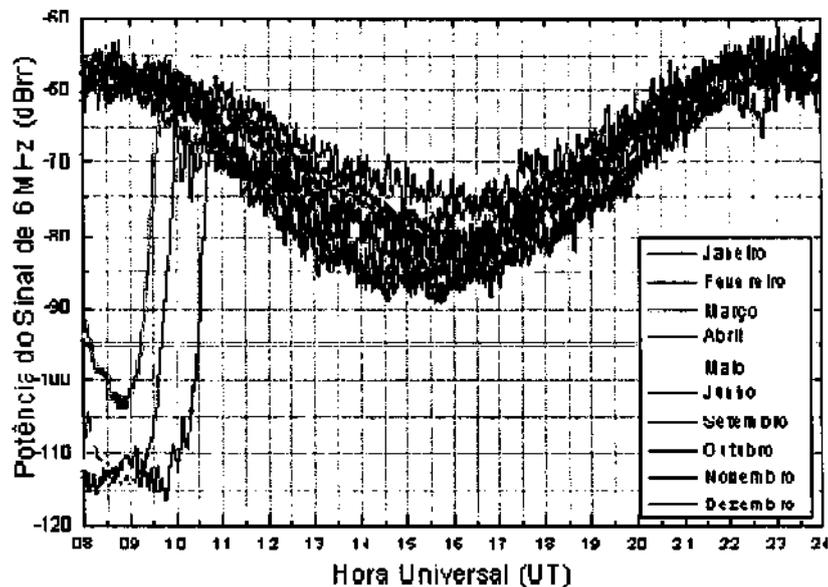


Figura 4.1 – Médias Mensais da potência de sinal de 6 MHz para o ano de 2001. Verifica-se que não há valores para os meses de julho e Agosto de 2001.

4.2.2 – Detecção de Explosões Solares de Raios-X

Eventos de absorção são flutuações na amplitude do sinal causadas por mudanças nas regiões de absorção (D e E). Tais mudanças na amplitude do sinal podem estar associadas a explosões solares de raios-x. De acordo com Campbell (1997), uma explosão solar pode ser definida como brilho transiente de uma pequena região na superfície solar observada na linha de emissão do $H\alpha$. Microondas e bandas estreitas de ondas de rádio, emissão ultravioleta, raios-x, e ejeções de partículas são associadas com os mais efetivos eventos de explosões solares. A Figura 4.2 mostra uma explosão solar de raios-x e a evolução da mesma. Explosões solares são classificadas pela área e emissão de raios-x. A ordem de magnitude do pico de intensidade é em watts por metro quadrado para uma banda de emissão de raios-x de 0.1 a 0.8 nanômetros, que classifica a magnitude da explosão em B, C, M e X classes de raios-x [Campbell, 1997]. A Figura 4.3 é um exemplo de dados usados para a detecção de explosões solares.



Figura 4.2 - Imagens de todo o disco e larga escala são disponíveis em comprimentos de onda $H\alpha$, luz branca, magnetogramas, hélio 1083.

FONTE: www.sec.noaa.gov/solar_images/index.html

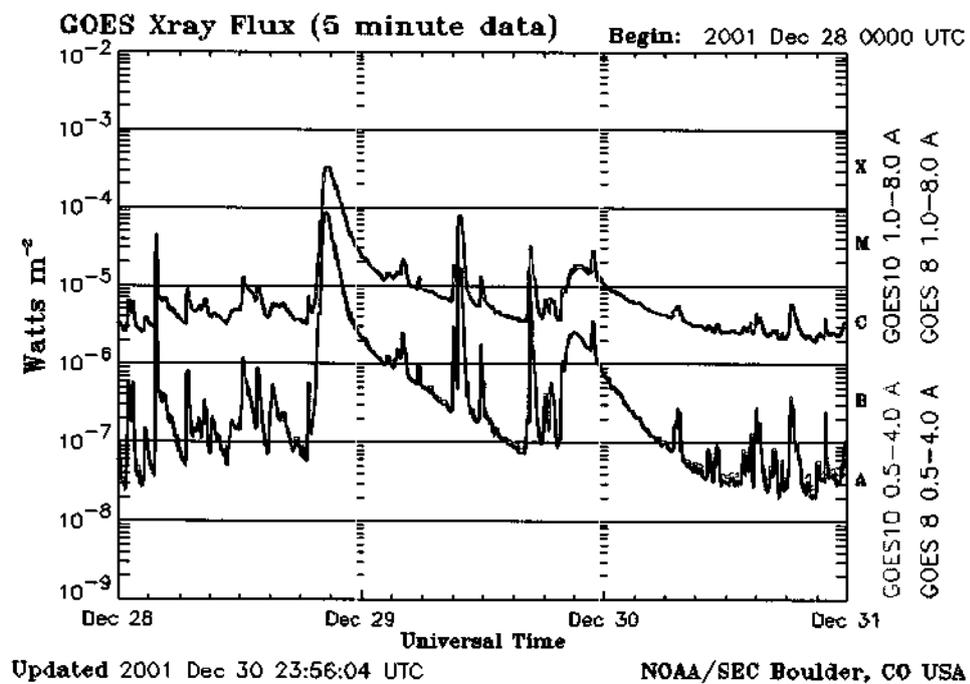


Figura 4.3 – Dados de raios-x provenientes do satélite GOES. Explosões solares são identificadas através de picos de intensidade de raios-x, como observado na figura. O dia 28 de dezembro de 2001, apresentou um pico de intensidade por volta das 20:00 UT, o qual pode ser verificado na Figura acima.

FONTE: www/ssc.noaa.gov/Data/goes.html

4.2.3 – Observações de Eventos de Desvanecimento

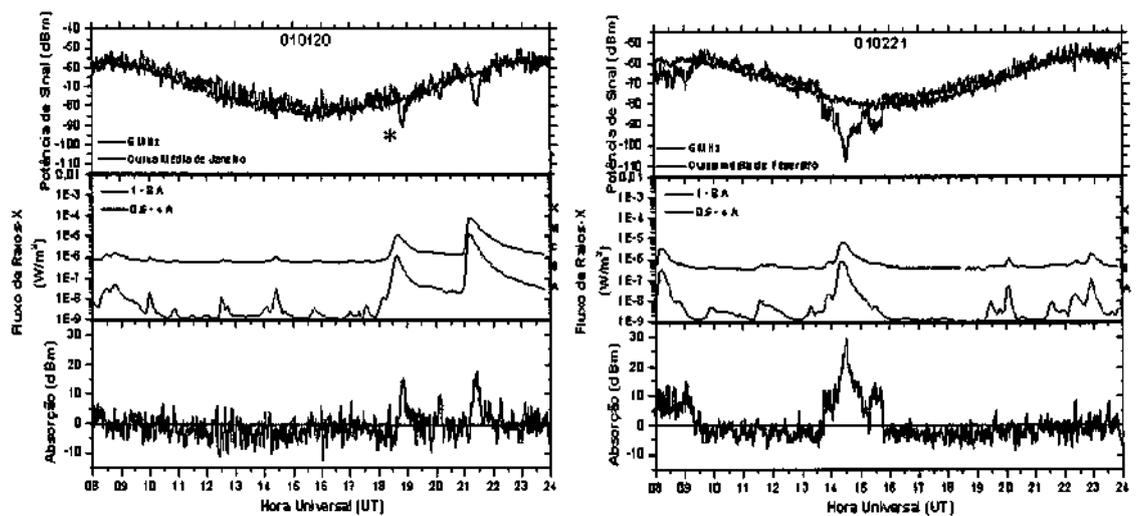
Primeiramente foi realizado um levantamento dos dias que apresentaram eventos de desvanecimento, “fading events”, ocorridos no ano de 2001, para o período entre 08:00 e 24:00 UT. Foram detectados 69 dias com eventos de desvanecimento do sinal de 6 MHz, onde cada evento foi correlacionado com a intensidade de raios-x e posteriormente calculada o valor de absorção (em dBm). A Tabela 4.1 relaciona o número de dias que apresentaram eventos de desvanecimento ocorridos em cada mês do ano de 2001, e também o número de dias com eventos classificados como significativos para esta análise, ou seja aqueles correlacionados a explosões solares de raios-x. Estes eventos ocorrem devido ao aumento de ionização da baixa Ionosfera causado principalmente por explosões solares de raios-x nas classes C ($10^{-6} \text{ W/m}^2 \leq \text{Fluxo Máximo} \leq 10^{-5}$) e M ($10^{-5} \text{ W/m}^2 \leq \text{Fluxo Máximo} \leq 10^{-4}$), que ocasionaram perdas na intensidade do sinal com duração total de mais de uma hora [ITU, 1998], na maioria dos casos mais significativos, até o sinal retornar ao seu nível normal. O imediato efeito da explosão solar pode ser verificado na Figura 4.4, onde foi selecionado um dia de cada mês do ano de 2001 para mostrar a correlação existente entre os dados. Foram detectados alguns eventos de desvanecimento, pouco significativos, que não estão relacionados a picos de raios-x, como exemplificado na Figura 4.5. Estes eventos serão estudados mais detalhadamente e comparados com outros dados a fim de se detectar a causa principal. A Tabela 4.2 apresenta os valores dos picos que estão plotados na Figura 4.4. Os meses de julho e agosto de 2001 não apresentam dados.

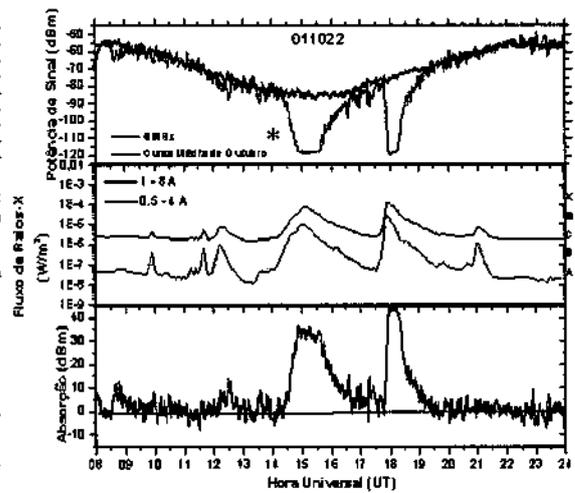
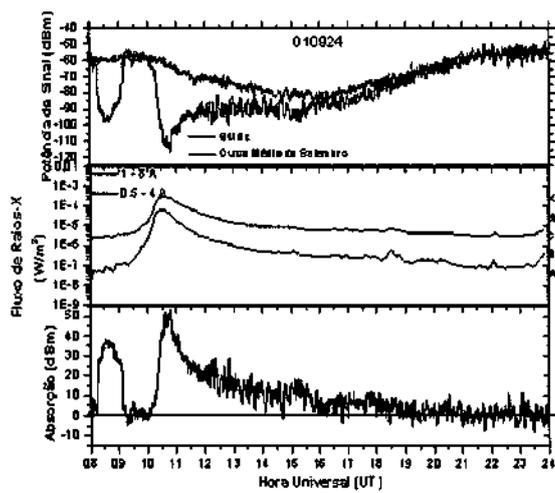
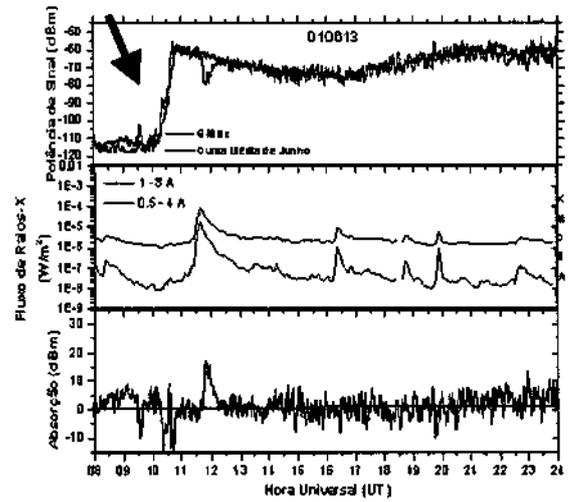
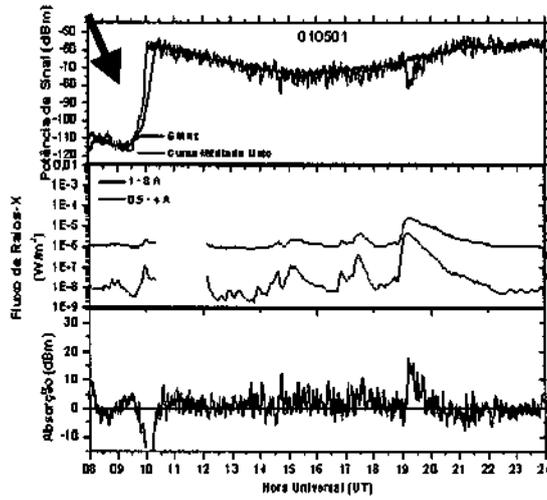
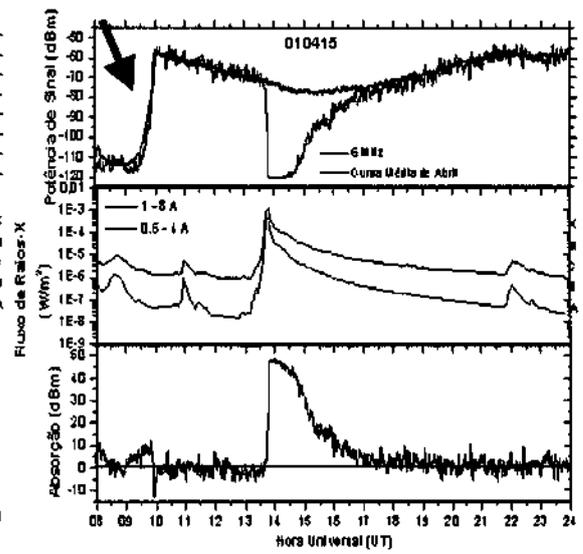
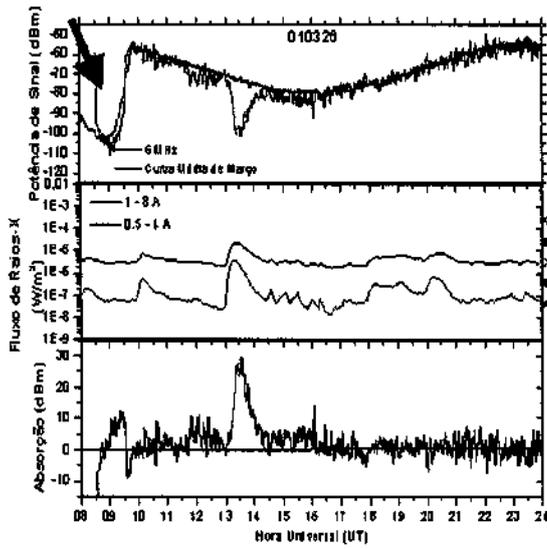
<i>Mês</i>	<i>Dias com Eventos</i>	<i>Dias com eventos significativos</i>
Janeiro	5	3
Fevereiro	6	3
Março	8	7
Abril	10	8
Maiο	2	1
Junho	3	1
Julho	-	-
Agosto	-	-
Setembro	3	2
Outubro	8	6
Novembro	12	10
Dezembro	12	10

Tabela 4.1 – Eventos de desvanecimento do sinal de 6 MHz para o ano 2001.

Data (aammdd)	Fluxo de raios-x (1-8A)W/m ²	Fluxo de raios-x (0.5-4A)W/m ²	Absorção (dBm)	Duração (minutos)
010120	*1,20E-5	1,05E-6	15	40
	7,36 E-5	1,34 E-5	17	50
010221	6,10 E -5	7,36 E-5	29	144
010326	2,15 E-5	3,22 E-6	29	98
010415	1,12 E-3	3,74 E-4	48	236
010501	2,42 E-5	4,38 E-6	17	60
010924	2,54 E-4	6,08 E-5	53	347
011022	*6,63 E-5	9,61 E-6	35	174
	1,10 E-4	2,85 E-5	44	120
011108	*1,38E-5	2,16E-6	20	50
	4,19 E-5	6,68 E-6	34	171
011228	*9,64E-6	9,15 E-7	27	104
	1,38 E-4	8,71 E-5	51	144

Tabela 4.2 – Exemplos de alguns eventos de desvanecimentos observados no ano de 2001.





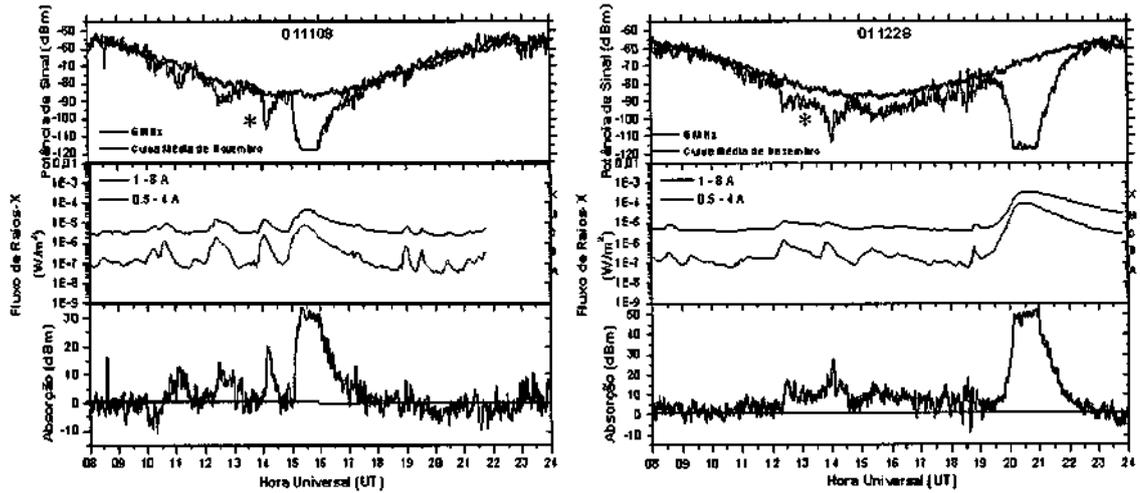


Figura 4.4 – Exemplos de eventos de desvanecimento do sinal de 6 MHz. Os painéis do topo indicam a curva diária, os painéis intermediários indicam o fluxo de raios-x obtidos do GOES-8 e os painéis inferiores mostram a curva de absorção que é construída a partir da subtração da curva diária com a curva média mensal. As setas indicam os meses em que o rádio começou a operar por volta das 10:00 UT.

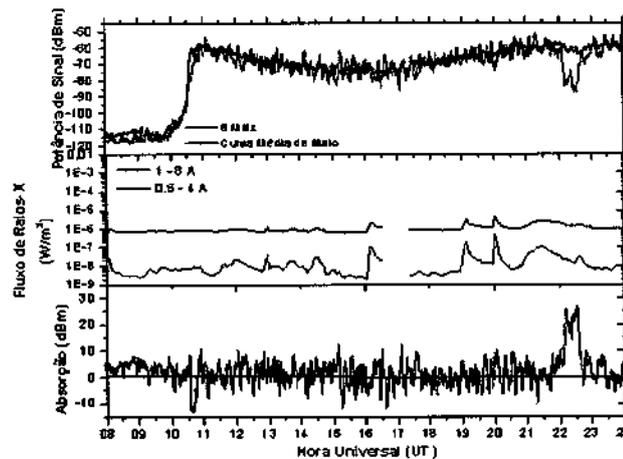


Figura 4.5 – Exemplo de evento de desvanecimento não correlacionado a picos de intensidade de raios-x.

Através dos dados obtidos, verifica-se que o sistema implementado no OES, permite identificar o comportamento diário dos sinais de comunicação, a variabilidade diária de ionização da baixa Ionosfera e a influência da atividade solar sobre a Ionosfera, causando perdas na intensidade do sinal que interferem diretamente nos sistemas de comunicação. O conhecimento da magnitude e escala temporal dos eventos de desvanecimento de rádio sinais é importante para a especificação de parâmetros como potência de transmissão, sistema de recepção e codificação a ser utilizada.

Capítulo 5

CONCLUSÕES

O desenvolvimento deste projeto de iniciação científica foi de relevante importância, pois possibilitou estudos de tópicos sobre Ionosfera e instrumentação para o seu monitoramento. O tratamento de dados possibilitou maior compreensão sobre o comportamento ionosférico e os fatores que acarretam a sua variabilidade. Para a realização de estudos sobre distúrbios ionosféricos foi utilizado o sistema Rádio receptor, o contato com os outros equipamentos que fazem parte deste projeto se desenvolveu a nível teórico e visualização de dados já reduzidos. Como citado no capítulo anterior, foi realizada uma análise de dados de rádio na frequência de 6 MHz para o período de 2001, onde detectou-se diversos eventos de desvanecimento do sinal de 6 MHz relacionados principalmente a explosões solares de raios-x, que constituem uma das mais importantes fontes de ionização da baixa Ionosfera. Através dos resultados obtidos verificou-se que este sistema permite o monitoramento da variação diária de ionização e também a possibilidade de estimar a magnitude de absorção do sinal durante eventos de explosões solares. É importante ressaltar que um longo período de observações e análises poderá proporcionar informações estatísticas sobre a relação entre a absorção de rádio sinais e o fenômeno que produz ionização anômala nas baixas camadas ionosféricas. Comparações com dados de Riômetro também são necessárias e serão realizadas em estudos futuros. Outro objeto de estudos futuros está relacionado aos eventos de desvanecimento que não apresentaram correlação com raios-x. Estes eventos devem ser analisados mais detalhadamente e comparações com dados de precipitação de partículas, índice AE e comparação com dados de Riômetros em médias latitudes, se fazem necessários a fim de se estabelecer as possíveis causas que poderão originar um aumento abrupto de ionização e conseqüente absorção ionosférica.

Com a realização destes estudos e o contato com equipamentos e dados propiciaram um maior conhecimento e segurança na interpretação de dados e resultados, experiências que se constituem de grande valia para o desenvolvimento profissional e formação de futuros pesquisadores.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq - Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica - PIBIC/INPE – CNPq pela concedimento da bolsa de Iniciação Científica e por todas as oportunidades que foram geradas através desta. Agradecimentos a todos os alunos que fazem parte do Laboratório de Aeronomia-LAE/LACESM/CT pelo apoio no desenvolvimento das atividades e realização de diversos outros trabalhos. Um agradecimento especial ao meu orientador, Dr. Nelson Schuch que procurou, sempre na medida do possível, orientar não somente a realização destas atividades, mas como também o crescimento humano, oportunizando diversos tipos de interações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Acunha A.N.; Tradução do *Manual de Operação do Monitor de Cintilação – SCINTMON* – São Luiz do Maranhão – MA; 1999.
2. Brum, C. G. M.; *A Importância do “Dia Quietos” na Absorção Ionosférica da Camada-D da Ionosfera e sua Aplicação para os Riômetros da Estação Antártica Comandante Ferraz*; Proposta de dissertação de mestrado sob orientação do Dr. René A. Medrano-Balboa; São José dos Campos - SP; 1998.
3. Brum, C.G.M.; Trabalho de Graduação: “*Software para Análise de Dados de Absorção Ionosférica de Ruído Cósmico na Antártica*”; Escola de Engenharia Industrial; São José dos Campos; SP; 1998.
4. Campbell, W. H.; *Introduction to Geomagnetic Fields*; Cambridge University Press, 1997.
5. Davies. K.; *Ionospheric Radio*, Peter Perigrinus, 1990.
6. ITU – International Telecommunications Union; Handbook – *The Ionosphere and its Effects on Radiowave Propagation*; Radiocommunication Bureau, 1998.
7. JRC – Japan Radio Company, Instruction Manual for Model NDR 535, 1996.
8. Kockarts, G.; *Definition of Space Aeronomy*; http://www.oma.be/BIRA-IASB/Institute_overview/Definition/definition.html.
9. Makita, K.; *Change of Earth Environment Due to Decreasing Geomagnetic Field*; The necessity of Observation in Brazilian Geomagnetic Anomaly Region, Rev. Takushoku University , 40, 15-24, 1996.
10. Makita, K.; Okano, S.; Yukimatsu, A.; Nishino, M.; Shibasaki, K.; Yamamoto, H.; Kikuchi, T.; Nozaki, K.; Fujitaka, K.; Furukawa, M.; Takahashi, H.; Schuch, N.J.; *Relatório Final de Atividades*



Upper Atmosphere Observations in the Brazilian Geomagnetic Anomaly Region,
Bulletin of Science and Engineering, Takushoku University, V. 1, No.2, 1997.

11. McNamara, L. F. *The Ionosphere: Communications, Surveillance, and Direction Finding*, Flórida: Krieger publishing company, 1991. 237 p.

12. Dos Santos, P.M.T.; *Estudo das Derivas Zonais das Irregularidades de Plasma Ionosférico na Região Brasileira*, Dissertação de Mestrado em Ciência Espacial/Geofísica Espacial, orientada pelos Drs. José Humberto Andrade Sobral e Mangalathayil Ali Abdu, INPE – São José dos Campos, 2001.

13. Piazza L. R.; *Estudo de Eventos Trimpi: Um Projeto Multinacional; Ciências Espaciais e da Atmosfera na Antártica/Trabalhos do Simpósio de Serra Negra*; Transtec Editorial; São José dos Campos, SP; 1995.

14. Rishbeth, H.; Garriott, O. K. *Introduction to ionospheric physics*. New York: Academic Press, 1969. 331.

15. Sobral, J. H. A.; *Experimentos de uma colaboração científica entre a NASA e o INPE sob a coordenação da Agência Espacial Brasileira, executado no Campo de Lançamento de Alcântara/MAer no período de agosto - outubro de 1994*. Resultados científicos da Campanha Guará, de estudos da Alta Atmosfera e Ionosfera; São Paulo; 1997.



ANEXOS

Anexo 1.

O cronograma de trabalho referente ao projeto de iniciação científica: Desenvolvimento e Análise de Metodologia Instrumental e Técnicas para Observações a partir da Superfície Terrestre de Parâmetros Ionosféricos, está disponibilizado nas páginas em anexo.

Plano de trabalho do bolsista:

- I. Revisão contínua da literatura técnico-científica nas áreas de Geofísica Espacial, Antenas, Rádio-Frequência e Sistemas de Aquisição e Comunicação de Dados.
 - II. Participação em nível discente na Cooperação Técnico-Científica Internacional Brasil-Japão em Ciências Espaciais e Atmosféricas.
 - III. Descrição da instrumentação para medição de parâmetros ionosféricos do OES/CRSPE/INPE.
 - IV. Estudo, análise e comparação das técnicas para medição de parâmetros ionosféricos do OES/CRSPE/INPE e demais técnicas sendo utilizadas por outros Laboratórios/Institutos que venham a participar deste trabalho.
 - V. Descrição e análise a respeito dos sistemas de registro e aquisição de dados sendo utilizados no OES/CRSPE/INPE, especificando seus parâmetros e suas características principais.
 - VI. Instalação dos instrumentos que por ventura venham a ser adquiridos pelo OES/CRSPE/INPE, para o Laboratório de Aeronomia - LAE/OES/CRSPE/INPE.
 - VII. Obtenção dos parâmetros mínimos e ideais para aquisição de dados em relação aos seguintes instrumentos:
 - Riômetro
 - Riômetro Imageador
 - Receptores de Ondas ELF/VLF/LF
 - Receptor de Ondas MF/HF
 - Sistema Receptor GPS
- e demais instrumentos que venham a ser analisados neste trabalho.
- VIII. Colaboração no desenvolvimento de software para redução e análise de dados de parâmetros ionosféricos para aplicação tanto nos dados do OES/CRSPE/INPE quanto

