



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

ESTUDOS DOS EFEITOS DAS TEMPESTADES MAGNÉTICAS NAS IRREGULARIDADES IONOSFÉRICAS UTILIZANDO SINAIS GPS

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

PROCESSO: 105375/2005-5

Lilian Piecha Moor (UFSM, Bolsista INPE - CNPq/MCT)

E-mail: lilian@lacesm.ufsm.br

Dr. Eurico Rodrigues de Paula (DAE/CEA/INPE - MCT, Orientador).

E-mail: eurico@dae.inpe.br

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

E-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br

Santa Maria, julho de 2006

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Título:

ESTUDOS DOS EFEITOS DAS TEMPESTADES MAGNÉTICAS NAS
IRREGULARIDADES IONOSFÉRICAS UTILIZANDO SINAIS GPS

Processo cnpq Nº: 105375/2005-5

Bolsista:

Lilian Piecha Moor

Curso de Física Licenciatura Plena

Centro de Ciências Naturais e exatas – CCNE/UFSM

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

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Orientador:

Eurico Rodrigues de Paula

Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE - MCT

Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas – CEA/INPE - MCT

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT

Co-Orientadores:

Dr. Nelson Jorge Schuch

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

Dr. Clezio Marcos Denardini – DAE/CEA/INPE-MCT

Divisão de Aeronomia - DAE/CEA/INPE – MCT

Colaboradores:

Maiquel Canabarro dos Santos – UFSM

Henrique Carlloto Aveiro – UFSM

Luís Felipe Rezende – DAE/CEA/INPE-MCT

Dr^a. Damaris Kirchhof Pinheiro – LACESM/CT – UFSM

Local de Trabalho/Execução do projeto:

Laboratório de Sondagem Ionosférica – LSI/CRSPE/INPE–MCT

Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT

Trabalho desenvolvido no âmbito da parceria INPE/MCT – UFSM, através do

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

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer aos meus pais, João e Nadir, pelo constante apoio e incentivo nos meus estudos.

A Deus pelo dom da vida, da sabedoria, da perseverança e do amor. Sem Ele nada seria possível.

Ao Dr. José Carlos Becceneri, Coordenador do programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, por ter acreditado no meu potencial para realizar este Projeto Científico.

Ao meu orientador Dr. Pesquisador Eurico Rodrigues de Paula, da Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE –MCT, em São José dos Campos, SP pela atenção e toda orientação que dedicou a bolsista durante o período de Projeto.

Em especial ao meu Co-Orientador Dr. Nelson Jorge Schuch, Coordenador da Ação de Implantação do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais CRSPE/INPE – MCT, em Santa Maria, RS, pela confiança depositada, pela orientação pessoal/profissional e acadêmica e pelo constante incentivo, sempre indicando a direção a ser tomada nos momentos de maior dificuldade.

A Dr^a. Damaris Kirsch Pinheiro, Diretora do Laboratório de Ciência Espaciais de Santa Maria, por toda atenção, paciência e orientação.

Ao Dr. Clezio Marcos Denardini, pesquisador da Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE –MCT pela orientação, pelo apoio ao desenvolvimento do projeto e pelo estímulo à vida acadêmica.

Aos colegas de Laboratório Henrique Carlloto Aveiro e Maiquel dos Santos Canabarro por toda atenção, companheirismo e ajuda imprescindível no desenvolvimento do projeto.

Aos funcionários da E.MANT. pelo apoio técnico fornecido à instalação das estações GPS.

Aos funcionários do LACESM/CT – MCT e da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, em especial ao Luis Fermino Nascimento e Francisco Almeida pelo apoio ao longo do Projeto.

Agradeço ao todos os funcionários do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, que de alguma forma contribuíram para a realização deste Projeto, em especial as secretárias Egídia e Angelita a Sr^a Maria Célia pelo constante apoio e atenção às necessidades dos alunos/estagiários do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais.

RESUMO

Com o intuito de estudar os efeitos das tempestades magnéticas, como por exemplo, as bolhas de plasma, a Divisão de Aeronomia – DAE/INPE, em colaboração com a Universidade de Cornell (EUA), mantém 13 receptores GPS instalados em 8 pontos de observação, distribuídos no Território Brasileiro. Estes receptores são monitores de cintilação em amplitude (SCINTMON) da portadora L1 transmitida pelos satélites GPS. O Sistema GPS consiste numa rede de 24 satélites distribuídos em 6 diferentes órbitas em torno da Terra. Cada satélite emite constantemente dois sinais com frequências na banda L, 1,57542 GHz e 1,22760 GHz. O sinal do GPS pode ser degradado ao transpor a Ionosfera. Esta região atmosférica que se estende desde os 60 km até aproximadamente 1500 km de altitude é formada, na sua porção superior, pela ionização de gases atmosféricos N₂, O₂ e O. A fonte de ionização mais significativa é a radiação solar no espectro do Extremo Ultra-Violeta (EUV) e Raios-X. A ionosfera apresenta irregularidades, entre elas citamos, por exemplo, as bolhas de plasma. Estas são regiões de rarefação do plasma ionosférico, as quais causam mudanças no índice de refração no meio, sendo capazes de dispersar ondas de rádios transionosféricas como o sinal emitido pelo GPS. Quando estas flutuações são devido ao efeito das bolhas de plasma sobre os sinais de GPS elas são denominadas como “cintilações ionosféricas”. O aparecimento destas bolhas tende a seguir um determinado padrão sazonal. A época de observação das bolhas ionosféricas normalmente tem início em setembro e segue até março. Com relação ao horário de ocorrência, elas são observadas nos períodos entre as 18 horas e 6 horas (hora local). Entretanto, as bolhas ionosféricas podem ser observadas em outras estações do ano em períodos magneticamente perturbados devido à penetração no equador magnético de campos elétricos de origem magnetosférica.

Através do processamento destes dados, obtemos a elevação de cada satélite no campo de visada do receptor e os valores de potência de sinal recebido. A partir deste último, identificamos a ocorrência ou não de cintilação do sinal.

O índice de atividade magnética Dst foi adotado para caracterizar magneticamente o período considerado neste estudo. Este índice permite ser utilizado para apresentarmos uma

correlação entre a observação das irregularidades ionosféricas sobre o território brasileiro utilizando dados de GPS e a atividade magnética, especialmente seus efeitos no Sul do Brasil. Trabalho de pesquisa desenvolvido no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT, em Santa Maria, RS.

SUMÁRIO

<i>ÍNDICE DE FIGURAS</i>	10
<i>CAPÍTULO 1</i>	12
<i>INTRODUÇÃO</i>	12
<i>CAPÍTULO 2</i>	13
<i>IONOSFERA</i>	13
2.1 Introdução	13
2.2 Princípio da teoria do dínamo atmosférico	15
2.3 Anomalia Equatorial ou Anomalia de Appleton	16
2.4 O Fenômeno da camada F espalhada – ESF	16
<i>CAPÍTULO 3</i>	20
<i>O SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS)</i>	20
3.1 Introdução	20
3.2 Estrutura do Sistema GPS	20
3.3 Posicionamento	21
3.4 Características do sinal GPS	22
3.1 Aplicações	26
<i>CAPÍTULO 4</i>	27
<i>TEMPESTADES MAGNÉTICAS</i>	27
4.1 Introdução	27
4.2 Sub-Tempestades Magnéticas	29
4.3 Índices Magnéticos	30
4.3.1 Índice Dst	30
4.3.2 Índice Kp	31
4.3.3 Índice Ae	32
<i>CAPÍTULO 5</i>	33
<i>EFEITOS DA IONOSFERA NO SINAL GPS</i>	33
5.1 introdução	33
5.2 Cintilações ionosféricas	34

5.3 O Índice de cintilação (S4)	36
5.4 O Índice S4 calculado pelos receptores SCINTMON	38
CAPÍTULO 6	41
MONITOR DE CINTILAÇÃO IONOSFÉRICA – SCINTMON	41
6.1 Introdução	41
6.2 Instalação das Estações (S) e (T) no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE - MCT – Santa Maria	45
CAPÍTULO 7	47
METODOLOGIA, DADOS, RESULTADOS	47
7.1 Metodologia	47
7.2 Dados	48
7.3 Seleção do Período de Análise dos Dados	49
7.4 Atividades Extras da Acadêmica	55
7.4.1 – Cursos:	55
7.4.2 – Congressos:	56
CAPÍTULO 8	59
CONCLUSÃO	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
APÊNDICE A	66
DESCRIÇÃO DO ARQUIVO SUMÁRIO:	66
APÊNDICE B	68
CERTIFICADOS DE PALESTRAS E CURSOS E RESUMOS DE CONGRESSOS, OS QUE A BOLSISTA FOI AUTORA E CO-AUTORA.	68

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - PERFIS VERTICAIS TÍPICOS DA DENSIDADE ELETRÔNICA. _____	14
FIGURA 2.3 – ILUSTRAÇÃO DA TEORIA DA INSTABILIDADE HIDRODINÂMICA RT, _____	18
FIGURA 3.1 (A). – CONSTELAÇÃO DE SATÉLITES DO SISTEMA GPS. (B) NÚMERO DE SATÉLITES NECESSÁRIO PARA O POSICIONAMENTO 3-D. _____	21
FIGURA 3.2 - MODULAÇÃO DO CÓDIGO SOBRE A ONDA PORTADORA. _____	23
FIGURA 4.1 – SEÇÃO TRANSVERSAL NORTE-SUL DA CAVIDADE GEOGRÁFICA E DO FLUXO DE PLASMA EXTERNO, MOSTRANDO A MAGNETOPAUSA E A FRENTE DE CHOQUE. _____	28
FIGURA 4.2 – FASES CARACTERÍSTICAS DE UMA TEMPESTADE MAGNÉTICA. _____	29
FIGURA 4.3 – VARIAÇÃO DO ÍNDICE DST PARA O MÊS DE MAIO, 1998. _____	30
TABELA 4.1 – CLASSIFICAÇÃO DAS TEMPESTADES MAGNÉTICAS. _____	31
TABELA 4.2 - DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES KP CONFORME A ATIVIDADE MAGNÉTICA. _____	32
FIGURA 5.1 – ILUSTRAÇÃO DA CINTILAÇÃO DO SINAL AO PASSAR A CAMADA IONOSFÉRICA. _____	33
FIGURA 5.2 - EXEMPLO DE CINTILAÇÃO E CORRESPONDENTES VALORES DE S4 CALCULADOS PARA INTERVALOS DE 1 MINUTO. _____	40
TABELA 6.1 - COORDENADAS DAS ESTAÇÕES GPS DISTRIBUÍDAS NO TERRITÓRIO BRASILEIRO. _____	42
FIGURA 6.1 - DISPOSIÇÃO DOS 13 RECEPTORES GPS INSTALADOS EM 8 PONTOS SOBRE O TERRITÓRIO BRASILEIRO. _____	42
FIGURA 6.2 - OS PAINÉIS MOSTRAM OS VALORES DE POTÊNCIA EM BANDA LARGA DE SINAL RECEBIDO, WBP EM DECIBÉIS, PARA CADA SATÉLITE RASTREADO NA NOITE DE 02/01/06 PARA 03/01/06, JUNTO A ESTAÇÃO (S) – SANTA MARIA NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL DO CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – OES/CRSPE/INPE – MCT. _____	44
FIGURA 6.3 - OS PAINÉIS MOSTRAM OS VALORES DO ÍNDICE S4, CALCULADOS PARA OS SINAIS MOSTRADOS NA FIGURA 6.2. VALORES DE S4 ACIMA DE 0.2 ESTÃO ASSOCIADOS A IRREGULARIDADES, JUNTO A ESTAÇÃO (S) – SANTA MARIA NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL DO CENTRO	

REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – OES/CRSPE/INPE – MCT. _____	44
FIGURA 6.4 – PRÉDIO SEDE DO CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – CRSPE/INPE - MCT – LOCALIZADO EM SANTA MARIA - RS. INSTALAÇÃO PROVISÓRIA DA ESTAÇÃO (T) DO SISTEMA GPS. _____	46
FIGURA 6.5 – PRÉDIO SEDE DO CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – CRSPE/INPE - MCT – LOCALIZADO EM SANTA MARIA - RS. INSTALAÇÃO PROVISÓRIA DA ESTAÇÃO (S) DO SISTEMA GPS. _____	46
FIGURA 7.1 – PRÉDIO 2 DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL – OES/CRSPE/INPE – MCT, EM SÃO MARTINHO DA SERRA, RS. _____	47
FIGURA 7.2 – RECEPTORES SCINTMON INSTALADOS EM 4 PONTOS DIFERENTES SOBRE O TERRITÓRIO BRASILEIRO, EM SÃO MARTINHO DA SERRA - RS, SÃO JOSÉ DOS CAMPOS - SP, CUIABÁ - MT E SÃO LUÍS - MA. _____	49
FIGURA 7.3 – GRÁFICO DO ÍNDICE DST PARA O MÊS DE MAIO DE 2003. OCORRÊNCIA DE TEMPESTADE MAGNÉTICA INTENSA PODE SER OBSERVADA NOS DIAS 29 E 30. _____	50
FIGURA 7.4 – NÚMERO DE DIAS COM TEMPESTADE MAGNÉTICA INTENSA (DST < -100 NT) NO PERÍODO DE JAN/2001 ATÉ DEZ/2005. _____	51
TABELA 7.1 - NÚMERO DE DIAS COM TEMPESTADE MAGNÉTICA INTENSA (DST < -100 NT) ANUAL DESDE JAN/2001 ATÉ DEZ/2005. _____	52
FIGURA 7.5 – GRÁFICO DO ÍNDICE S4 (VERMELHO) E DO ÂNGULO DE ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES (AZUL) PARA O DIA 24/11/01 PARA A ESTAÇÃO-S EM SÃO MARTINHO DA SERRA, RS DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL DO CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – OES/CRSPE/INPE – MCT. _____	53
FIGURA 7.6 – GRÁFICO DO ÍNDICE S4 (VERMELHO) E DO ÂNGULO DE ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES (AZUL) PARA O DIA 29/05/03 PARA A ESTAÇÃO-S EM SÃO MARTINHO DA SERRA, RS DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL DO CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – OES/CRSPE/INPE – MCT. _____	53
TABELA 7.2 – ANÁLISE DOS 9 DIAS DE DADOS PARA OS 4 SÍTIOS SOBRE O TERRITÓRIO BRASILEIRO COM O DIA E A HORA DA FASE PRINCIPAL DE CADA TEMPESTADE MAGNÉTICA. _____	54

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O aparecimento das irregularidades ionosféricas, tais como a bolha de plasma, segue um determinado padrão sazonal. A época de observação das bolhas ionosféricas normalmente tem início em setembro e segue até março. Com relação ao horário de ocorrência, elas são observadas nos períodos entre as 18 horas e 6 horas (hora local). Entretanto, as bolhas de plasma podem ser observadas em outras estações do ano em períodos magneticamente perturbados. As bolhas de plasma causam mudanças no índice de refração e dispersam ondas de rádios transionosféricas. Estas flutuações causadas pelas bolhas de plasma são denominadas de “cintilações ionosféricas”.

As irregularidades ionosféricas são muito estudadas, pois afetam drasticamente os sistemas de telecomunicações e de posicionamento global, GPS. No Brasil foram afetados pelas irregularidades ionosféricas alguns sistemas de telecomunicações da Embratel, sistemas de posicionamento por DGPS, GPS diferencial, das plataformas em águas profundas da Petrobrás e o sistema de navegação aérea CNS/ATM, que se encontra em teste e será implantado pela Força Aérea Brasileira.

Nos Capítulos 2 e 4 é realizada uma revisão bibliográfica sobre a Ionosfera e tempestades magnéticas, e suas características relevantes para o assunto discutido. O Capítulo 3 traz um relato do sistema GPS. No Capítulo 5 são relatados alguns efeitos da Ionosfera no sinal GPS. No Capítulo 6 é descrita a instrumentação utilizada no trabalho. No Capítulo 7 consta a análise de dados relativos ao objetivo deste Trabalho, o estudo do efeito das tempestades magnéticas nas irregularidades ionosféricas com sinal GPS, a metodologia e atividades extras exercida pelo bolsista no período do Projeto. Considerando os resultados obtidos através da análise dos dados selecionados o Capítulo 8 descreve as conclusões deste Projeto.

CAPÍTULO 2

IONOSFERA

2.1 Introdução

A parte ionizada da atmosfera terrestre, a Ionosfera, contém um significativo número de elétrons livres e íons positivos (Hargreaves, 1995). A Ionosfera é considerada eletricamente neutra em larga escala, pois o número de elétrons livres é igual ao número de íons positivos.

A Ionosfera é formada pela ionização de gases atmosféricos N₂, O₂ e O. Em médias e baixas latitudes é ionizada em maior parte pela radiação solar no espectro do Extremo Ultra-Violeta e Raios-X. Uma vez formados os íons e elétrons tendem a se recombinar. A equação da continuidade que expressa a taxa de variação temporal da densidade eletrônica é dada por:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = q - L - \text{div}(Nv) \quad 2.1$$

onde q é a taxa de produção de elétrons, L é a taxa de perda da ionização por recombinação eletrônica, e div(nv) expressa a perda de elétrons por transporte, e v é a velocidade das partículas ionizadas. A produção q de elétrons é dada por:

$$q = \eta \sigma n I \quad 2.2$$

sendo I e a intensidade da radiação ionizante no topo da atmosfera e n e a concentração de átomos ou moléculas capazes de serem ionizadas por este espectro de radiação (Hargreaves, 1995).

Em altas latitudes outra fonte de ionização importante é a precipitação de partículas energéticas, que está associada com as auroras polares. Essas partículas energéticas são emitidas pelo Sol e se intensificam durante as Explosões Solares.

À medida que a radiação penetra na atmosfera mais densa a produção de elétrons aumenta até um nível onde a densidade eletrônica é máxima. Abaixo deste nível, a produção de elétrons decresce, pois a maior parte da radiação já foi absorvida, predominando a taxa de perda sobre a taxa de produção de elétrons. Conseqüentemente distintas regiões são formadas na Ionosfera, as quais são chamadas de camadas D, E, F1 e F2. A Figura 2.1 ilustra o perfil típico da densidade eletrônica da Ionosfera, tanto para o dia quanto para a noite.

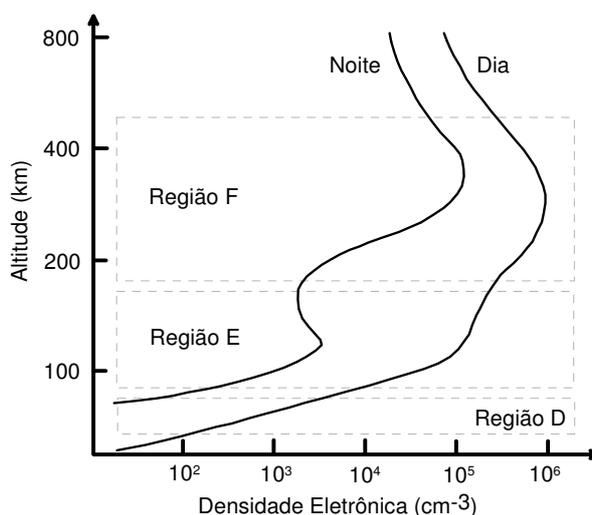


FIGURA 2.1 - Perfis verticais típicos da densidade eletrônica.

FONTE: Adaptado de Baumjohann e Treumann (1997, p. 63), retirada da dissertação Rodrigues, 2003.

A região D está mais próxima da superfície terrestre e está situada entre 60 km e 90 km de altitude, e existe somente durante o dia, pois durante a noite os elétrons livres se recombinam com moléculas formando íons negativos (Tascione, 1988). Este processo é conhecido como “attachment”. Contudo com a presença da radiação os elétrons voltam a aparecer devido ao processo de “dettachment”. Logo acima da região D encontramos a região E, que se encontra aproximadamente entre 105 km e 160 km. Ambas as regiões D e

E são controladas primariamente por processos fotoquímicos de produção e perda, embora os processos de transporte de plasma desempenham papel fundamental em algumas situações.

A partir dos 160 km até 1000 km de altitude a atmosfera é conhecida como região F e durante o dia bifurca-se em duas camadas distintas conhecidas como camadas F1 e camada F2. A região F1 está situada entre aproximadamente 160 km e 180 km de altitude e é representativa do máximo de produção de íons por fotoionização sendo controlada por processos fotoquímicos. A região F2 estende-se desde 180 km de altura até o início da plasmasfera, em aproximadamente 1000 km. A principal característica desta camada é a existência de uma região de máxima concentração eletrônica conhecida como “pico da camada F”, situada tipicamente aproximadamente aos 300 km de altitude, cuja formação deve-se à competição entre processos químicos e de transporte de plasma. A radiação ionizante desta camada é basicamente a mesma radiação responsável pela ionização da camada F1 (Fedrizzi, 1999).

2.2 Princípio da teoria do dínamo atmosférico

Segundo Rishbet e Garriot (1969), a teoria do dínamo explica o surgimento de campos elétricos e correntes na Atmosfera e seu mecanismo pode ser resumido da seguinte forma: O Sol e a Lua produzem forças de marés na Atmosfera, causando movimentos de gases neutros da Atmosfera que, em primeira ordem, podem ser considerados movimentos horizontais. Os movimentos destes gases neutros através das linhas de campo geomagnético produzem correntes em níveis onde a condutividade elétrica é apreciável, camada E. Devido às variações horizontais e verticais de condutividade, as correntes não podem fluir livremente em todas as direções. Desta forma, assim são geradas cargas de polarização que, por sua vez, modificam o fluxo de corrente. Os campos eletrostáticos associados com estas cargas são transmitidos à região F equatorial, através das linhas de campo magnéticas que são altamente condutoras. Na região F, estes campos eletrostáticos dão origem às derivas eletrostáticas, ExB , (Rodrigues, 2003).

2.3 Anomalia Equatorial ou Anomalia de Appleton

Uma característica da região-F ionosférica em baixas latitudes, aproximadamente entre 20° Sul e 20° Norte, é a Anomalia Equatorial ou Anomalia de Appleton. Esta região possui uma alta densidade eletrônica devido à deriva vertical $E \times B$ do plasma nessa camada ionosférica (Muralikrishna et al; 2003).

A interpretação teórica da anomalia Equatorial é dada geralmente nos termos “do efeito fonte” - o campo elétrico zonal existente na ionosfera equatorial é dirigido para leste durante o dia, criando uma deriva vertical $E \times B/B^2$. Logo após o pôr-do-sol, este campo elétrico dirigido para leste é acentuado (pico pré-reversão) e o plasma da região F deriva até elevadas altitudes. Enquanto isso, o plasma de baixas altitudes decai rapidamente devido à diminuição da intensidade de radiação solar incidente (Kelley, 1989). Quando uma determinada altitude é alcançada, devido à ação do gradiente de pressão e da gravidade, o plasma inicia um movimento de descida ao longo das linhas do campo geomagnético conduzindo às baixas latitudes como se fosse o fluxo de uma fonte (Muralikrishna et al; 2003).

2.4 O Fenômeno da camada F espalhada – ESF

O Fenômeno da camada F espalhada (do inglês “Equatorial Spread F” - ESF) foi o nome dado ao espalhamento observado em traços de ionogramas na camada F de baixas latitudes, o qual é considerado como uma hierarquia de instabilidades do plasma nesta região. O fenômeno de ESF foi estudado extensivamente com técnicas experimentais e de modelagem, que revelaram características importantes. O ESF foi investigado por ionossondas, radares de espalhamento coerente, sensores a bordo de foguetes ou satélites, flutuações na fase e amplitude de sinais transionosféricos (cintilação), dentre outros (ver,

por exemplo; (Abdu et al., 1992; Aarons, 1993, and references therein) (Woodman and LaHoz, 1976; Tsunoda, 1980). (Raghavarao et al;1999).

Atualmente, o termo ESF está associado a um amplo espectro de irregularidades de plasma, com escalas de tamanho variando desde dezenas de centímetros até centenas de quilômetros e ocorrendo desde alturas da região F até alturas em torno de 1500 km (Fejer, 1996). Cada instrumento ou técnica é sensível a uma determinada escala de tamanho ou faixa de escalas (Rodrigues, 2003).

Dungey (1956) foi o primeiro a propor a Teoria da Instabilidade Gravitacional Rayleigh-Taylor (RT) como processo gerador do ESF. Outras teorias também foram apresentadas nas décadas de 50 e 60. Contudo, Farley et al. (1970) concluíram a partir das primeiras medidas realizadas pelo Rádio Observatório de Jicamarca, que nenhuma teoria até então poderia explicar os dados obtidos. Com isto, a Teoria RT juntamente com todas as outras teorias apresentadas até então foram temporariamente rejeitadas, pois estas teorias podiam explicar apenas a geração de estruturas na porção inferior do perfil de densidade de plasma da camada F. Com o passar dos anos, novos estudos foram realizados e uma maior quantidade e qualidade de dados foram obtidos, de forma que a Teoria RT foi aprimorada e generalizada, incluindo parâmetros do ambiente ionosférico, tais como campo elétrico ambiente (E) e a ação de ventos neutros (U) e com isto, muitas das características do ESF podem agora ser explicadas pela denominada teoria RT generalizada (GRT).

Um perfil vertical típico da Ionosfera Equatorial para o período do pôr-do-sol é apresentado na Figura 2.2.

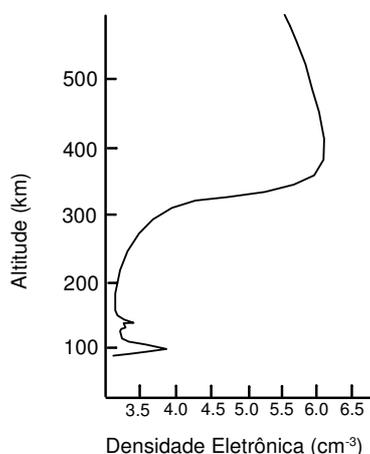


FIGURA 2.2 - Perfil vertical típico da ionosfera equatorial para o período do pôr-do-sol.
FONTE: Adaptado de Baumjohann e Treumann (1997, p. 63), retirada da dissertação Rodrigues, 2003.

É possível observar um acentuado gradiente de densidade na porção inferior da camada F separando duas regiões distintas: uma de baixa densidade e outra, de alta densidade, localizadas respectivamente abaixo e acima de aproximadamente 300 km de altura. Em termos didáticos faz-se uma analogia deste perfil com o caso da instabilidade hidrodinâmica RT, no qual um fluido mais denso é sustentado por um fluido menos denso. Na instabilidade hidrodinâmica RT uma pequena perturbação surge na superfície de contato dos dois fluidos e com o auxílio da gravidade, esta perturbação evolui até que o fluido menos denso tende a se elevar enquanto que o fluido mais denso desce como ilustrado na Figura 2.3.



FIGURA 2.3 – Ilustração da Teoria da instabilidade hidrodinâmica RT,
FONTE: Kelley (1989, pag. 76 e 122) retirada da dissertação Rodrigues, 2003.

Contudo, o processo de instabilidade RT generalizada o qual se aplica à ionosfera não é tão simples como ilustra a Figura 2.3. Processos eletrodinâmicos intrínsecos da ionosfera equatorial e de médias latitudes, assim como efeitos de acoplamento ionosfera-magnetosfera em altas latitudes controlam o processo de geração e evolução das irregularidades ionosféricas (Fejer, 1996, Aarons, 1991).

Acredita-se que as condições necessárias para a ocorrência de irregularidades de larga-escala são: 1) presença de uma perturbação inicial de larga-escala, 2) um gradiente direcionado para cima, do perfil de densidade eletrônica da ionosfera e 3) um aumento do campo elétrico para leste. O início do ESF pode também ser afetado por perturbações de campo elétrico originadas em altas latitudes durante condições magneticamente perturbadas. Existem ainda vários processos tais como ventos neutros meridionais e condutividade das camadas E conjugadas, que podem inibir o crescimento das irregularidades. O grande número de efeitos potencialmente importantes faz com que os termos de variabilidade dia-a-dia constituam os problemas a serem mais analisados no estudo do ESF (Fejer, 1996; Batista et al., 1999; Abdu, 2001) (Rodrigues, 2003).

CAPÍTULO 3

O SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS)

3.1 Introdução

O Sistema de Posicionamento Global ou GPS (abreviação do inglês “Global Positioning System”) teve início em 1958 quando os americanos lançaram o satélite Vanguard tendo assim o início do desenvolvimento do sistema Navstar (Navigation satellite with Timing and Ranging). A partir de 1967 foi liberado para uso civil, o sistema denominado Navy Navigation Satellite System (NNSS) também chamado de Transit. Em 1973, iniciou-se o desenvolvimento do Global Positioning System (GPS), projetado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América (EUA). O sistema GPS entrou em operação em 1991 e em 1993 a constelação dos satélites utilizados pelo sistema foi concluída (LETHAM, 1996).

3.2 Estrutura do Sistema GPS

O GPS é um sistema de rádio navegação, que utiliza satélites artificiais para determinar a posição de um objeto, fixa ou móvel, situado em qualquer ponto sobre a superfície terrestre. Os primeiros protótipos (Bloco I) foram lançados entre 1978 e 1985, totalizando 11 satélites dispostos em dois planos orbitais com 63° de elevação (Seeber, 1993), sendo que quatro ou mais satélites pudessem ser observados durante uma considerável fração do dia numa mesma região (Beutler, 1995). Em 1989 para fazer parte da primeira constelação operacional, foram lançados os primeiros satélites do Bloco II, constituindo no total 24 (Blocos I, II, IIA) satélites, distribuídos em 6 rotas orbitais com inclinação de 55° . Em dezembro de 1993 foi declarada a capacidade operacional do sistema. Atualmente a constelação é formada no total por 28 satélites (Blocos I, II, IIA, IIR) (USNO, 2003a). Os satélites constituem o segmento espacial do sistema e estão dispostos em órbitas circulares, em uma altitude de aproximadamente 20.200 km e com período orbital de 12

horas siderais (Beutler, 1995). Isto significa que a posição do satélite se repete, a cada dia, com 4 minutos de adiantamento em relação ao dia anterior (FEDRIZZI, 1999).

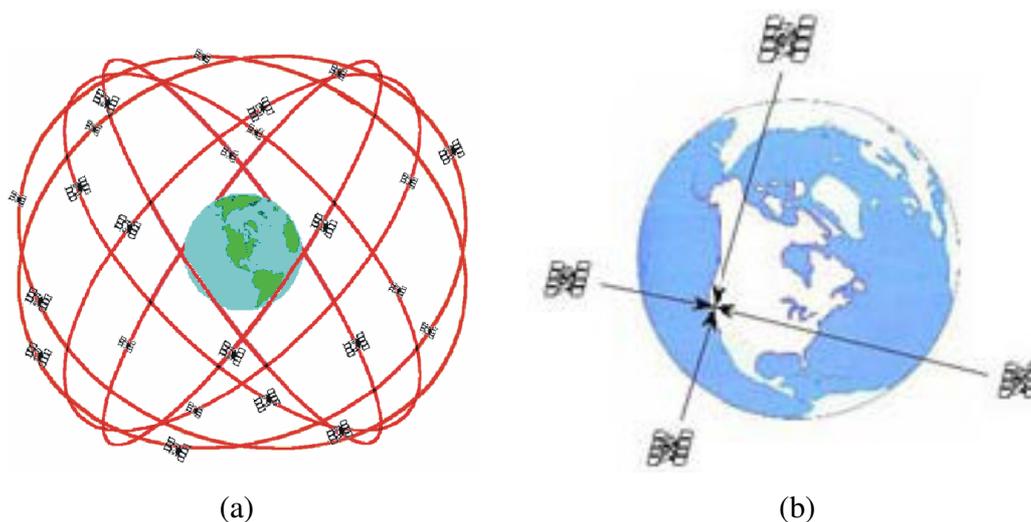


FIGURA 3.1 (a). – Constelação de satélites do sistema GPS. (b) Número de satélites necessário para o posicionamento 3-D.

FONTE: Adaptado de <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textogps.pdf>.

3.3 Posicionamento

O sistema GPS foi desenvolvido fundamentalmente com o objetivo de fornecer um posicionamento com precisão aos usuários, através de medidas da distância entre satélite e receptor. O processo para determinação destas medidas é baseado no tempo de propagação do sinal enviado pelo satélite, desde o instante da emissão até o momento de sua chegada no receptor. Admitindo-se que os relógios dos satélites e receptores estivessem perfeitamente sincronizados com o tempo GPS, o tempo de propagação deste sinal corresponderia à distância geométrica entre o satélite e o receptor. Todavia, os relógios dos receptores, por serem menos precisos, apresentam uma pequena diferença em relação ao tempo GPS e, apesar da precisão dos osciladores atômicos instalados a bordo dos satélites, periodicamente são efetuados ajustes em seus relógios. Isto significa que as distâncias obtidas através do sistema GPS não correspondem às distâncias reais entre satélites e

receptores, pois em ambos, os relógios estão defasados em relação ao sistema de tempo do GPS. Estas medidas incorretas de distância recebem, portanto, o nome de pseudo-distâncias (“pseudoranges”). Além do atraso dos relógios, estão incluídos nas medidas de pseudo-distância os erros devido à propagação e à limitação na precisão do sinal GPS e os erros relacionados aos receptores e satélites.

O posicionamento do receptor em um referencial tridimensional ocorre, aproximadamente, da seguinte forma: considerando-se que o receptor esteja situado a uma distância R de um determinado satélite e os relógios dos satélites e receptores estejam perfeitamente sincronizados com o tempo GPS, é possível dizer que o receptor encontra-se em algum ponto sobre a superfície de uma esfera que envolve o satélite e cujo raio é igual a R . Entretanto, se o receptor estabelecer as distâncias relativas a dois satélites, então ele pode estar localizado em qualquer ponto sobre o círculo formado pela intersecção entre duas esferas. Adicionando-se um terceiro satélite, apenas dois pontos (um dos quais, fisicamente incorreto) resultam da intersecção entre três esferas.

Admitindo-se que os relógios estejam incorretos, a intersecção das esferas ocorrerá em pontos falsos. Todavia, a medida de um quarto satélite visível ao receptor elimina os erros de posicionamento devido à imprecisão dos relógios dos receptores (Hofmann-Wellenhof et al., 1994) (Fedrizzi, 1999).

3.4 Características do sinal GPS

Cada satélite GPS transmite duas ondas portadoras, chamadas “Link 1” e “Link 2” ou L1 e L2 (Spilker Jr. e Parkinson, 1996). Estas duas portadoras são geradas simultaneamente a partir de uma frequência fundamental de 10,23 MHz. L1 e L2 correspondem à frequência fundamental multiplicada por 154 e 120, respectivamente. Desta forma, L1 corresponde à frequência de 1,57542 GHz, enquanto que L2 corresponde a 1,22760 GHz.

Os satélites também emitem uma mensagem de navegação, onde podem ser identificados através de um número relacionado a um segmento particular do código pseudo-aleatório (“Pseudo Random Noise - PRN”), definido a partir de uma seqüência de códigos

modulados sobre as portadoras, que é atribuído sobre cada uma das portadoras L1 e L2. A modulação de códigos permite realizar medidas de distâncias a partir da estimativa do tempo de propagação da modulação. Os códigos são reconhecidos através de uma seqüência de valores binários (0 e 1, ou +1 e -1).

A modulação é feita por um deslocamento de 180° na fase da portadora quando ocorre a mudança de estado (“biphase modulation”) (Rodrigues, 2003). Ver Figura 3.2.

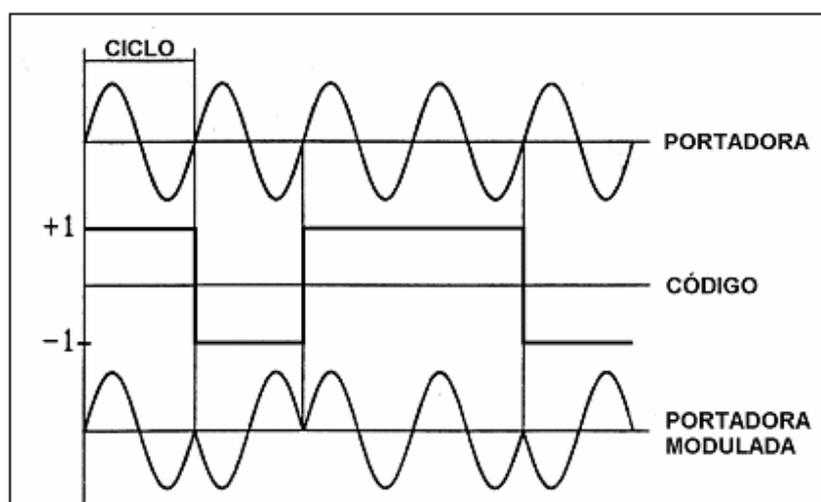


FIGURA 3.2 - Modulação do código sobre a onda portadora.

FONTE: Hofmann-Wellenhof et al. (1994, p. 77), retirada da dissertação de Fedrizzi, 1999.

Dois códigos formam a seqüência PRN: O código C/A (“Coarse/Aquisição” ou “Clear/Access”) que possui uma freqüência de 1,023 MHz e é repetido a cada milissegundo e o código P (“Precision” ou “Protection”) que possui freqüência de 10,23 MHz e são repetidos aproximadamente cada 266,4 dias. Existe ainda o código W utilizado para criptografar o código P, transformando-o no código Y, não disponível aos usuários civis. A criptografia do código P só é utilizada quando o procedimento “Anti-Spoofing” (AS) é acionado. O objetivo principal do AS é evitar que o código P seja fraudado, mediante a geração de uma réplica do mesmo. Já a mensagem de navegação consiste de 1500 bits transmitidos em 30 segundos e que contém informações sobre o relógio do satélite, a sua órbita, suas condições operacionais e outras informações. Pode-se observar que existem três

tipos de sinais envolvidos no GPS: as portadoras (L1 e L2), os códigos C/A e P(Y) e a mensagem de navegação (D). Esta estrutura permite medir a fase da portadora e sua variação e o tempo de propagação da modulação.

As portadoras moduladas podem ser representadas pelas seguintes equações:

$$L1(t) = a_1 P(t) D(t) \cos[\omega_1 t + \phi(t)] + a_1 C/A(t) D(t) \sin[\omega_1 t + \phi(t)] \quad 3.1$$

e

$$L2(t) = a_2 P(t) D(t) \cos[\omega_2 t + \phi(t)] \quad 3.2$$

onde $\cos[\omega_i t + \phi(t)]$ é a portadora não modulada, $D(t)$ contém a mensagem de navegação, $P(t)$ e $C/A(t)$ representam as seqüências de pulsos dos códigos P e C/A, respectivamente. O termo $a_1 C/A(t) D(t) \sin[\omega_1 t + \phi(t)]$ indica que o código C/A é modulado em quadratura de fase (deslocamento de 90o) com o código P(t). O índice $i=1,2$ representa a portadora L1 ou L2, ω_i é a freqüência angular da portadora e $\phi(t)$ é o ruído da fase.

Todos os satélites transmitem em mesma freqüência e utilizam a técnica CDMA (“Code Division Multiple Access”) na qual cada satélite é identificado pelo seu código característico. Além disso, o sinal é espalhado em freqüência (“spread spectrum”) de forma a evitar efeitos de interferência eletromagnética (Rodrigues, 2003).

Receptores

Atualmente, existem diversos tipos de receptores que possuem características próprias e são utilizados em áreas específicas, tais como navegação, geodésia, atividades militares, entre outras. Apesar desta diversidade de equipamentos, os receptores em geral são compostos basicamente pelos seguintes elementos (Seeber, 1993), como mostrado na Figura 3.3.

- antena com pré-amplificador
- seção de rádio frequência (RF)
- oscilador de precisão
- dispositivo de armazenamento
- microprocessador
- interface para o usuário (painel de visualização e controle)
- fonte de energia

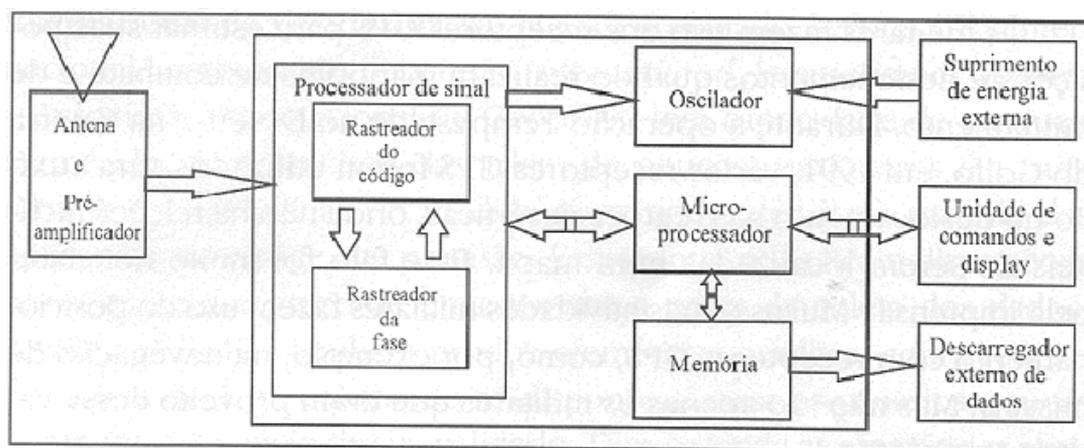


FIGURA 3.3 - Esquema de recepção do sinal GPS.

FONTE: Adaptado de <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textogps.pdf>

Uma antena detecta os sinais dos satélites que são amplificados e filtrados para eliminar a maior quantidade possível de interferências. Em geral, os receptores utilizam uma antena onidirecional hemisférica, cujo diagrama de radiação permite a recepção do sinal em todas as elevações e azimutes do hemisfério visível. O sinal é enviado, posteriormente, à seção de rádio frequência e processado em um ou mais canais, de acordo com o tipo de receptor. Alguns receptores podem sintonizar quatro ou mais satélites simultaneamente, enquanto outros fazem um rastreamento alternado entre os satélites. A seção de rádio frequência é formada por osciladores (onde é gerada a frequência de referência), multiplicadores, filtros e misturadores. A frequência de referência é controlada por osciladores de cristal quartzo, menos precisos do que os osciladores atômicos dos satélites, denominados osciladores de

precisão. Os dados recebidos (observáveis e mensagens de navegação) devem estar constantemente disponíveis para um posterior processamento e, por este motivo, um dispositivo de armazenamento torna-se necessário. Alguns receptores têm memórias internas ou armazenam os dados em fitas magnéticas. Todavia, os dados podem ser gravados diretamente em micro-computadores conectados ao receptor. As operações do receptor, tais como aquisição e processamento dos sinais, decodificação das mensagens transmitidas e cálculos de posição e velocidade, são controladas pelo microprocessador. A comunicação entre o receptor e o usuário é estabelecida por meio de um painel de visualização e controle e o fornecimento de energia para o funcionamento dos receptores pode ocorrer através de baterias internas recarregáveis ou fontes externas, conforme o período de tempo de utilização e tipo de receptor.

3.1 Aplicações

Foi desenvolvido inicialmente para atender às necessidades militares, porém com o passar dos anos vem ocupando um espaço crescente em diversas aplicações da área civil.

Atualmente o GPS tem um elevado número de aplicações em várias áreas, entre os quais podemos citar:

- Orientação de navegação aérea e marítima;
- Determinação de órbita e posição de outros satélites;
- Agricultura de precisão;
- Exploração de petróleo;
- Telecomunicações;
- Obtenção de medidas ionosféricas;

Além dessas aplicações, qualquer pessoa que queira saber sua posição, conhecendo a velocidade e direção de seu deslocamento, pode fazer uso deste sistema. Todavia, existem aplicações onde a precisão torna-se um fator crítico e o efeito da degradação do sinal pode ser minimizado através da utilização do GPS Diferencial (“Differential GPS” - DGPS).

CAPÍTULO 4

TEMPESTADES MAGNÉTICAS

4.1 Introdução

As tempestades magnéticas são grandes perturbações no campo magnético da Terra, tendo recebido esta denominação desde a metade do século XIX (Gonzalez et al, 1994). Emissões supersônicas de plasma oriundas do vento solar confinam e distorcem as linhas do campo magnético terrestre em uma cavidade longa com uma cauda que se estende por centenas de raios terrestres na direção anti-solar, esta cavidade denomina-se magnetosfera, ver Figura 4.1. A característica principal de uma tempestade magnética é o decréscimo da componente H do campo Geomagnético e a posterior fase de recuperação (Kamide et al., 1998). O decréscimo é atribuído ao aumento de partículas aprisionadas na magnetosfera. Essas emissões são chamadas de “Solar Flares” ou ejeções de massa coronal (“Coronal Mass Ejections” – CME), as quais provêm do Sol em direção a Terra. Contudo, esses eventos não têm acesso direto a Atmosfera Terrestre. A magnetosfera que é formada pelo campo magnético da Terra atua como uma camada protetora para o planeta Terra desviando o campo magnético e o plasma interplanetário. Deriva devido ao gradiente do campo magnético da Terra e a sua curvatura produzem a “Corrente de Anel”.

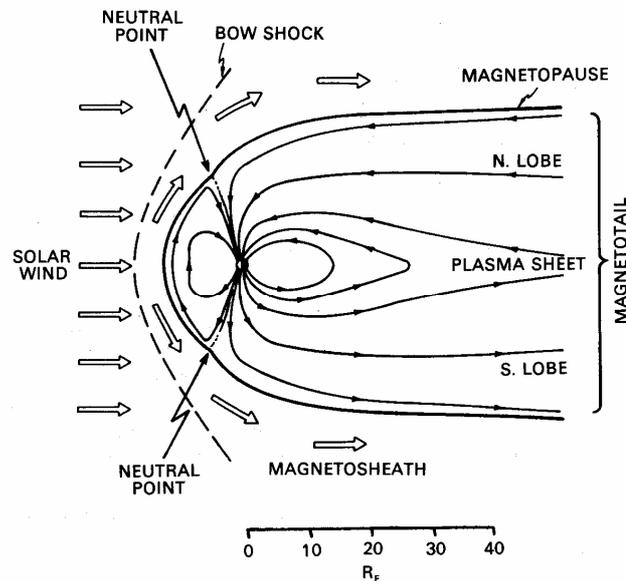


FIGURA 4.1 – Seção transversal norte-sul da cavidade geográfica e do fluxo de plasma externo, mostrando a Magnetopausa e a frente de choque.

FONTE: Hargreaves, 1995.

Essa corrente é gerada pelo movimento de partículas eletricamente carregadas, sendo que prótons derivam da meia-noite em direção ao anoitecer e elétrons da meia-noite em direção ao amanhecer, devido distribuição de partículas injetadas e aprisionadas na magnetosfera interna.

Esta corrente diminui a intensidade do campo magnético terrestre e um aumento na sua intensidade é o primeiro indicador de uma tempestade magnética. De acordo com Gonzalez et al. (1994), a tempestade magnética é um intervalo de tempo quando um campo elétrico de convecção interplanetário de longa duração e suficientemente intenso produz através de uma substancial energização no sistema magnetosfera-ionosfera, uma corrente de anel suficientemente intensa para exceder o limiar da magnitude do índice Dst (definido posteriormente), o qual quantifica a intensidade da tempestade magnética.

Uma tempestade magnética caracteriza-se por três fases: (1) Um início súbito – sudden commencement – ou fase inicial, esta associada ao aumento da pressão dinâmica, incidência de partículas do vento solar, que comprime a magnetosfera indicando um aumento brusco no campo magnético. (2) Fase principal – main phase – e caracterizada por uma redução na intensidade do campo magnético na Superfície Terrestre, essa redução esta associada a Corrente de Anel e (3) Uma fase de recuperação – recovery phase – caracterizada pela diminuição e eliminação gradual da pressão passando a predominar os processos de perda da Corrente de Anel. A Figura 4.2 mostra as fases de uma tempestade magnética.

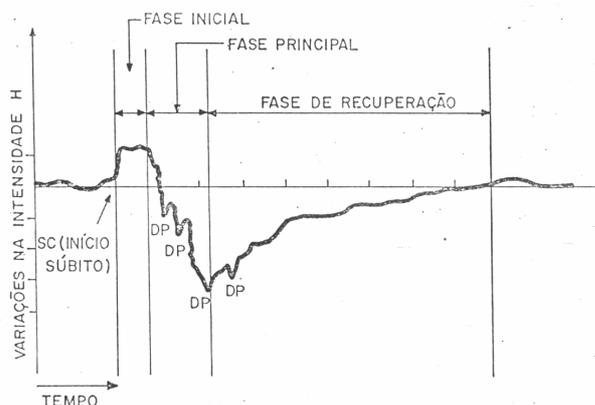


FIGURA 4.2 – Fases características de uma tempestade magnética.
FONTE: de Paula et al, 1987.

4.2 Sub-Tempestades Magnéticas

Muitos estudos mostram que Tempestades magnéticas são resultados de constantes sub-tempestades. Uma sub-tempestade magnetosférica é um processo transiente, iniciando no lado noturno da Terra, através da qual uma significativa quantidade de energia derivada da interação vento solar-magnetosfera é depositada na magnetosfera e ionosfera auroral.

Em períodos de sub-tempestades há a injeção de partículas carregadas na Corrente de Anel e no Cinturão de Van Allen, estas partículas provenientes do vento solar ficam depositadas

na magnetosfera interna. São sugeridos processos importantes associados às sub-tempestades, como a rápida penetração do campo elétrico de convecção na Magnetosfera interna, resultando na injeção de plasma da bainha de plasma na região de aprisionamento.

4.3 Índices Magnéticos

Os distúrbios geomagnéticos são monitorados a partir de estações terrenas, instaladas em observatórios magnéticos que registram a intensidade do campo geomagnético.

4.3.1 Índice Dst

O índice Dst (Disturbance Storm-Time), é uma medida simétrica da Corrente de Anel e obtido em unidades de nano Tesla (nT) e resolução temporal de uma hora, a Figura 4.3 mostra um esboço do índice Dst para maio de 1998.

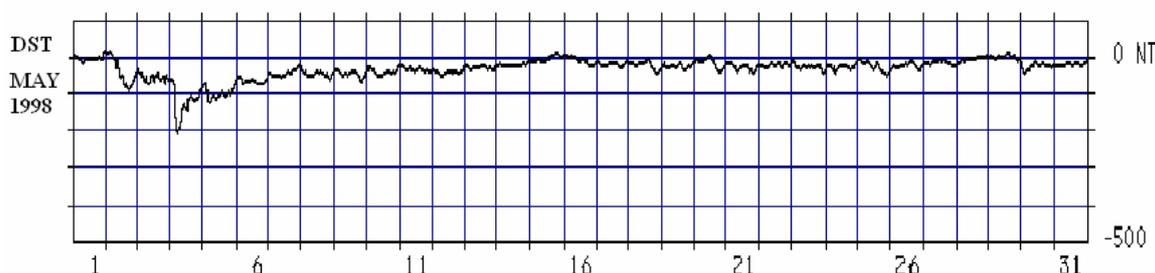


FIGURA 4.3 – Variação do índice Dst para o mês de maio, 1998.

FONTE: <http://swdcd.db.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir>

Para a determinação deste índice, utiliza-se a medida da componente horizontal (H) do campo geomagnético de superfície fornecida por estações localizadas em baixas latitudes e distribuídas longitudinalmente. Ele é obtido pela subtração da componente de períodos calmos, o valor médio das componentes H das estações contribuintes e calculado e multiplicado pela secante da latitude média das estações contribuintes (Rostoker et al., 1997). O índice Dst contém contribuições de sistemas de correntes que não são azimutalmente simétricas, como por exemplo, a Corrente de Anel assimétrica, “magnetoital

current”. Considera-se o valor da Corrente de Anel simétrica mais um erro associado com outros sistemas de correntes assimétricas.

Podemos classificar uma tempestade magnética de acordo com a sua intensidade que é fornecida pelo índice Dst, conforme mostrado na Tabela 4.1.

TABELA 4.1 – Classificação das Tempestades Magnéticas.

Intensidade da Tempestade	Dst (nT)
Muito Intensa	< -250
Intensa	-100 a -250
Moderada	-50 a -100
Fraca	-30 a -50

FONTE: Retirada da dissertação de Fedrizzi, 1999.

4.3.2 Índice Kp

O índice Kp global (planetary index) é obtido a partir de uma média que envolve 13 observatórios distribuídos entre 46 e 63 ao norte e -46 e -63 ao sul do equador geomagnético (Komjathy, 1997). Os níveis locais dos distúrbios geomagnéticos K são determinados, para um período de observação de 3 horas, através da diferença entre o maior e o menor valor observado na componente horizontal, do campo geomagnético, a mais afetada pelos distúrbios. Este índice diário tem uma escala de 28 níveis, variando de 0 (muito calmo) até 9 (muito perturbado), sendo cada intervalo subdividido em três partes. Como o índice K tem características locais, aplica-se uma tabela de conversão (GFZ, 2001) para eliminar os efeitos locais gerando então o índice Kp global. Ver Tabela 4.2.

TABELA 4.2 - Distribuição dos valores Kp conforme a atividade magnética.

Comportamento	Kp
Muito calmo	0 a 1
Calmo	1 a 2-
Normal	2- a 3+
Perturbado	3+ a 4+
Muito perturbado	4+ a 9

FONTE: Wrenn et al., 1987.

4.3.3 Índice Ae

O índice Ae é utilizado para o estudo da atividade geomagnética na região auroral. Este índice é obtido a partir de medidas das várias variações da componente horizontal H do campo geomagnético, coletados de observatórios selecionados e distribuídos uniformemente ao longo da região auroral no hemisfério norte (Kamei et al. 2000). Os dados são normalizados em relação a um valor base mensal para cada estação, que posteriormente, é subtraído dos dados obtidos para cada minuto do mês considerado.

CAPÍTULO 5

EFEITOS DA IONOSFERA NO SINAL GPS

5.1 introdução

A Ionosfera representa a maior fonte de erro para o Sistema de Posicionamento Global – GPS fato esse decorrer da natureza dispersiva da ionosfera (Smita et al; 2005) e existe uma relação direta entre a velocidade de propagação da onda eletromagnética e sua frequência como ilustrado na Figura 5.1.

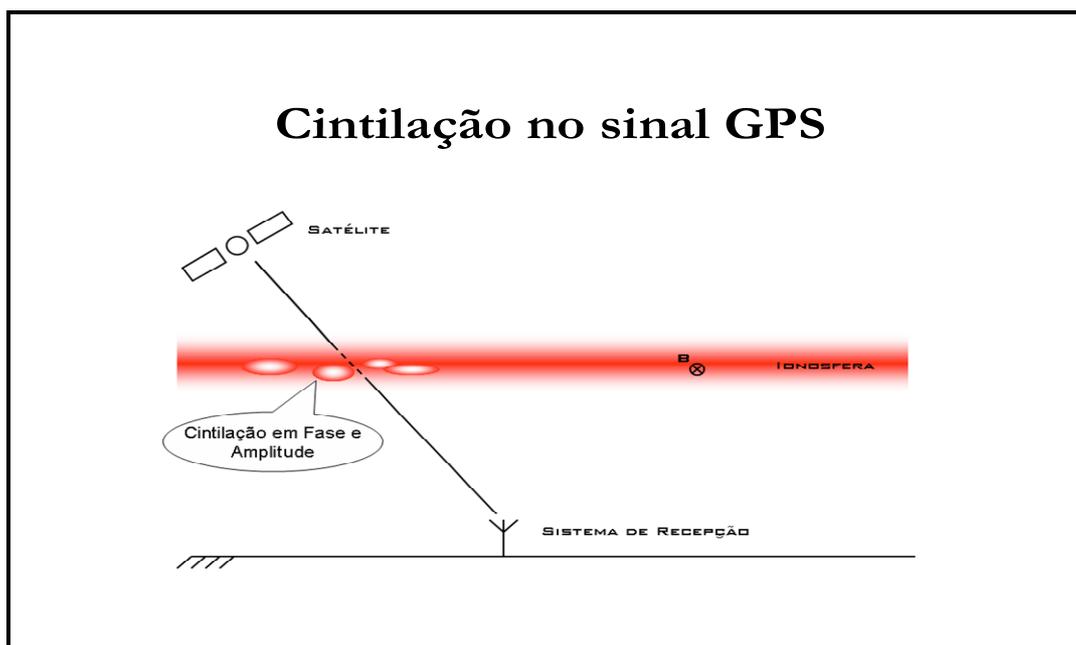


FIGURA 5.1 – Ilustração da cintilação do sinal ao passar a camada ionosférica.

Os principais efeitos desta região Atmosférica sobre os sinais do GPS são: o atraso de grupo na modulação do sinal, o avanço na fase portadora, o deslocamento Doppler, a rotação da polaridade

do sinal, a refração da onda de rádio, a distorção na forma de onda do pulso, a cintilação da fase do sinal, o desvanecimento e a cintilação da amplitude do sinal (Klobuchar, 1996).

5.2 Cintilações ionosféricas

Em 1946 foram observadas, pela primeira vez, flutuações irregulares de curto período de tempo na intensidade da radiação na banda de rádio (64 MHz) emitida pela estrela Cygnus (Hey et al; 1946). Inicialmente, considerou-se que as flutuações eram inerentes à fonte de emissão. Observações posteriores indicaram que não existia correlação entre flutuações registradas em duas estações espaçadas 210 km, enquanto que se observou boa correlação para uma separação de 4 km. Isto sugeriu que o fenômeno seria produzido localmente, provavelmente pela atmosfera terrestre. Observações subseqüentes confirmaram as especulações e isto marcou a primeira observação do fenômeno de cintilação ionosférica (Rodrigues, 2003). As cintilações ionosféricas são flutuações da amplitude ou fase de uma onda de rádio, causadas por irregularidades na densidade eletrônica da Ionosfera. (Smita et al; 2005).

Após o lançamento do primeiro satélite artificial em 1957, tornou-se possível observar cintilações ionosféricas em sinais emitidos por rádio-transmissores a bordo de satélites. O interesse no estudo deste fenômeno tem continuado com dois objetivos principais, um científico e outro prático. Do ponto de vista científico, os dados de cintilação fornecem informações sobre a ocorrência das irregularidades ionosféricas, cuja climatologia ainda não é totalmente compreendida. Do ponto de vista prático, o estudo da cintilação está diretamente relacionado a problemas de estabilidade de enlaces de comunicação e navegação por satélite (Rodrigues, 2003).

De acordo com Rodrigues (2003), o estudo de teorias que explicassem as cintilações iniciou com a consideração de que o meio pelo qual o sinal de rádio se propaga seria equivalente à uma tela de difração, “diffracting screen”, com irregularidades aleatórias de densidade que não se deformam e que se movem com direção e velocidade fixas. Se a região de difração é suficientemente fina, as variações na frente de onda emergente estarão presentes somente

na fase e não na amplitude do sinal. À medida que a onda se propaga além da região de difração, as flutuações em amplitude começam então a surgir.

Inicialmente, esta aproximação foi utilizada em diversos casos tais como os de uma tela de difração unidimensional e de uma tela de difração bidimensional. Logo em seguida, considerou-se o caso de uma tela de difração espessa tri-dimensional. Referências de trabalhos que consideraram diferentes aproximações para a tela de difração podem ser encontradas no Apêndice A de Kelley (1989). Os casos prévios foram então revistos por Salpeter (1967) que estendeu a teoria a importantes regimes que não haviam sido considerados e derivou condições suficientes para validação da aproximação de uma tela fina de difração, “thin phase screen”.

Para o caso de espalhamento fraco causado por uma tela fina de difração, o espectro de potência das flutuações de densidade deve ser multiplicado por uma função que depende da altura da camada de irregularidades e da frequência da onda incidente o que produziria o espectro de potência das cintilações observadas. Sob estas aproximações, o espectro de potência da cintilação é uma versão linearmente filtrada do espectro de potência das flutuações de densidade. A função multiplicadora, conhecida como filtro de Fresnel age como um filtro passa alta (Kelley, 1989) e apresenta mínimos em pontos proporcionais à raiz quadrada de números inteiros de frequência. Recentemente, Bhattacharyya et al. (2001) encontrou tais mínimos de Fresnel, em espectros de potência de cintilações em sinais VHF. Os mínimos de Fresnel não são observados quando a camada de irregularidades é espessa. Matematicamente a teoria das cintilações é amplamente demonstrada em Yeh e Liu (1982). Já sobre cintilações com enfoque à sua aplicação no estudo das irregularidades ionosféricas pode ser encontrada em Aarons (1982). É importante salientar que a maioria das teorias considera apenas o caso de espalhamento fraco. Teorias para explicar matematicamente o caso de espalhamento forte ainda estão em desenvolvimento.

5.3 O Índice de cintilação (S4)

O índice de cintilação S4 tem sido amplamente utilizado para quantificar a magnitude das cintilações em amplitude de sinais transionosféricos e é definido em termos da intensidade (I) do sinal recebido, como mostra a Equação (5.1), (Yeh e Liu, 1982):

$$S_4^2 = \frac{\langle I^2 \rangle - \langle I \rangle^2}{\langle I \rangle^2} \quad 5.1$$

É possível mostrar, a partir da Teoria para Cintilação Fraca, que o índice S4 está relacionado ao desvio de densidade do plasma ionosférico (ΔN) ao longo do caminho de propagação do sinal e à espessura da camada de irregularidades ionosféricas (L), pela seguinte expressão (Yeh e Liu, 1982):

$$S_4^2 \cong 8\pi^2 r_e^2 \lambda^2 L \iint \left[1 - \frac{2k}{k_{\perp}^2 L} \sin\left(\frac{k_{\perp}^2 L}{2k}\right) \cos\left(\frac{k_{\perp}^2}{k} \left(k - \frac{L}{2}\right)\right) \right] \Phi_{\Delta N}(\vec{k}_{\perp}, 0) d^2 k_{\perp} \quad 5.2$$

Onde r é o raio do elétron, λ é o comprimento de onda do sinal e $\Phi_{\Delta N}(\vec{k}_{\perp}, 0)$ é o espectro tridimensional da flutuação de densidade ΔN com $k_z = 0$ e k_{\perp} está na direção perpendicular à propagação da onda. A integral na Equação (5.2) indica que a contribuição para a cintilação, das irregularidades de diversos números de onda (k), é ponderada por uma função filtro espacial, isto é, a expressão em colchetes na Equação (5.2).

A Equação (5.2) não é facilmente interpretável e trabalhos de modelagem das cintilações, como o realizado por Basu e Basu (1980) apresenta equações mais simples nas quais, tanto as cintilações em amplitude quanto em fase são expressas em quantidades que podem ser obtidas experimentalmente. Contudo, apesar de explicarem muitas das características das cintilações, estas equações não podem explicar fenômenos mais complexos observados e,

por esta razão, modelos computacionais têm sido desenvolvidos (por exemplo, Fremouw e Secan, 1984; Secan et al., 1995). Fremouw e Secan (1984) já incluem o efeito de foco que ocorre nas cintilações e que dá origem a valores de $S_4 > 1$ (Singleton, 1970).

A Equação (5.3) abaixo foi utilizada por Basu e Basu (1980) para modelagem das cintilações equatoriais e inclui os principais parâmetros responsáveis pela cintilação em amplitude.

$$S_4^2 = 8\pi^2 (r_e\lambda)^2 L \sec\theta < \Delta N^2 > \frac{\lambda z \sec\theta}{4\pi} k_o F \quad (5.3)$$

Além da dependência do S_4 com relação ao desvio RMS médio (ΔN) de densidade, ao longo do caminho de propagação do sinal, e com relação à espessura da camada de irregularidades (L), Basu e Basu (1980) também deixaram evidente a dependência do índice S_4 com relação à altura (z) da camada, ao ângulo de zênite (θ) do sinal na altura da camada de irregularidades e ao comprimento de onda do sinal (λ). F é um fator relacionado à geometria das irregularidades e k_o se refere ao menor número de onda que contribui para a cintilação.

De acordo com Kintner et al. (2001), a magnitude da cintilação depende da distribuição espacial e da amplitude das irregularidades de densidade. Contudo, a escala de tempo do desvanecimento (“fading”) depende da velocidade das irregularidades e de uma escala espacial conhecida como comprimento de Fresnel, o qual, em primeira ordem, depende somente do comprimento de onda do sinal GPS e da distância às irregularidades ionosféricas. A escala de Fresnel tem origem no filtro de Fresnel.

De acordo com Salpeter (1967), para o caso de espalhamento fraco, o espectro de potência horizontal da intensidade do sinal tem a seguinte forma:

$$\varphi_1(k) = 4\Phi_\varphi(k) \sin^2\left(\frac{k^2 r_F^2}{4\pi}\right) \quad (5.4)$$

onde k é o número de onda horizontal, r_F é o comprimento de Fresnel ($r_F = \sqrt{\lambda d}$, onde d é a distância até a camada espalhadora e λ é o comprimento de onda do sinal), e $\Phi_\varphi(k)$ é a densidade espectral de potência das irregularidades que causam o espalhamento. Tipicamente, $\Phi_\varphi(k)$ decresce rapidamente com o aumento de k (Basu e Basu, 1993), de forma que o primeiro máximo na função \sin^2 domina o espectro de potência. Isto significa que o espectro de potência mostrará um número de onda dominante dado por:

$$k = \frac{\sqrt{2\pi}}{r_F} \quad (5.5)$$

Ou,

$$\lambda_F = \sqrt{2}r_F \quad (5.6a)$$

Mas como $r_F = \sqrt{\lambda d}$, tem-se que:

$$\lambda_F = \sqrt{2\lambda d} \quad (5.6b)$$

Considerando que a camada de irregularidades se encontra a uma distância $d = 350$ km e que o satélite encontra-se no zênite, pode-se dizer que as irregularidades que mais contribuem para a cintilação em sinais GPS ($L1 = 1,57542$ GHz) são as irregularidades com escalas de tamanho de aproximadamente $\lambda_F = 400$ metros.

5.4 O Índice S4 calculado pelos receptores SCINTMON

De acordo com Beach (1998), o procedimento computacional para o cálculo do S4 realizado pelo programa de redução de dados dos receptores SCINTMON, que serão

realizados neste estudo, pode ser resumido da seguinte forma: utiliza-se um filtro passa-baixas com frequência de corte em 0,1 Hz, de modo a obterem-se valores médios locais do canal de potência em banda larga P_k e do canal de ruído em banda larga N_k , onde k é o número da amostra numérica. Estes valores filtrados de P_k e N_k são denotados por $\langle P \rangle_k$ e $\langle N \rangle_k$, respectivamente. Definiu-se então a variância da intensidade de sinal para o intervalo de um minuto a partir de:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M (P_k - \langle P \rangle_k)(P_{k-1} - \langle P \rangle_{k-1}) \quad (5.7)$$

Onde $M = 3000$ é o número de amostras por minuto enquanto que P_0 e $\langle P \rangle_0$ são definidos como os valores finais de potência e potência média do intervalo de 1 minuto anterior. Além disso, determina-se a potência média sobre o mesmo período a partir de:

$$\hat{S} = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M (\langle P \rangle_k - \langle N \rangle_k) \quad (5.8)$$

A partir destas definições o índice de cintilação para o, devido, intervalo de 1 minuto torna-se (Beach, 1998):

$$S_4 = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}^2}}{\hat{S}} \quad (5.9)$$

Pode-se observar pela Equação (5.9) que o índice S_4 também pode ser interpretado como o desvio padrão normalizado pela potência média do sinal. A Figura 5.2 mostra um exemplo de sinal amostrado por um receptor SCINTMON e os valores de S_4 calculados para este caso. Observa-se que os valores de S_4 aumentam à medida que a flutuação do sinal (cintilação) também aumenta. O índice S_4 apresentado neste exemplo foi calculado por um

dos receptores SCINTMON utilizados neste trabalho e que serão descritos posteriormente (Rodrigues, 2003).

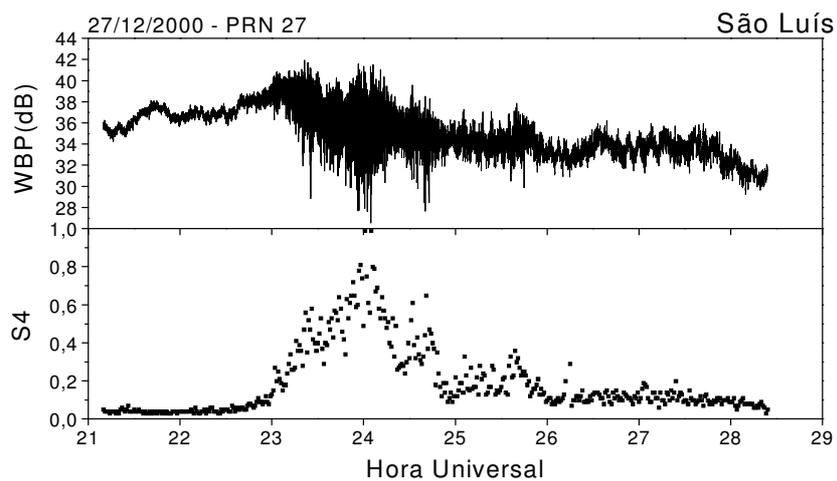


FIGURA 5.2 - Exemplo de cintilação e correspondentes valores de S4 calculados para intervalos de 1 minuto.

FONTE: Retirada da dissertação de Rodrigues, 2003.

CAPÍTULO 6

MONITOR DE CINTILAÇÃO IONOSFÉRICA – SCINTMON

6.1 Introdução

Para investigar o ambiente onde ocorrem cintilações no sinal GPS, o grupo de pesquisadores Space Physics da Universidade de Cornell – E.U.A desenvolveu um receptor especializado do sinal GPS, denominado de Monitor de Cintilação Ionosférica – SCINTMON.

O SCINTMON é um software computacional desenvolvido a partir de um kit GEC Plessey Builder - 2TM. Ele permite monitorar a frequência L1 transmitida pelo GPS, e é capaz de amostrar simultaneamente 11 satélites, porém somente coleta dados de satélites com uma elevação superior a 10°.

Atualmente, a Divisão de Aeronomia – DAE/INPE, em colaboração com a Universidade de Cornell, mantém 13 receptores GPS – SCINTMON instalados sobre o Território Brasileiro, como mostrado na figura 6.1. Esta rede de receptores SCINTMON tem sido ampliada e recentemente já foram instalados receptores em Boa Vista (Roraima), São João do Cariri (Paraíba), Presidente Prudente (SP) e Campinas (SP), os quais não estão mostrados na Figura 6.1. A Tabela 6.1 mostra as coordenadas das estações GPS distribuídas no território brasileiro.

TABELA 6.1 - Coordenadas das estações GPS distribuídas no Território Brasileiro.

Station	Geog. Lat.	Geog. Long.	Magnetic Declination	Dip Lat.
S. Martinho da Serra	29,28° S	53,82° O	12,90° O	-18,57
S. J. dos Campos	23,07° S	45,86° O	20,03° O	-18,01
Cachoeira Paulista	22,57° S	45,01° O	20,54° O	-18,12
Palmas	26,36° S	51,98° O	15,36° O	-17,27
Cuiabá	15,45° S	56,07° O	14,98° O	-6,1
São Luís	02,57° S	44,2° O	20,74° O	-1,3
Manaus	03,08° S	59,97° O	13,96° O	+5,79

FONTE: <http://www.dae.inpe.br/iono/iongps/mapPort.html>.



FIGURA 6.1 - Disposição dos 13 receptores GPS instalados em 8 pontos sobre o Território Brasileiro.

FONTE: <http://www.dae.inpe.br/iono/iongps/mapPort.html>.

O programa é executado em ambiente DOS e permite ao usuário definir um modo de operação no qual o sistema opera de forma automática. Recentemente foram instalados

receptores SCINTMON que rodam no ambiente Linux (CASCADE) e permitem visualização do S4 e outros parâmetros como azimute e elevação em tempo real. O usuário deve apenas definir os horários de início e fim de gravação de dados. Como as irregularidades formam-se no período do anoitecer e permanecem até aproximadamente meia-noite local, em períodos magneticamente calmos, e até em algumas vezes até o amanhecer, para períodos magneticamente perturbados, sendo feitas observações entre as 18h00min e 06h00min horas locais para todas as estações GPS brasileiras.

Cada período de observação gera dois arquivos:

- “fsl” que contém informações de amplitude do sinal recebido de todos os satélites rastreados;

- “n” que contém informações gerais sobre cada satélite rastreado.

A partir desses arquivos é gerado um terceiro arquivo sumário, que contém informações coletadas a cada um minuto sobre a posição de cada satélite, potência do sinal recebido e índice de cintilação “índice S4”, como também outras informações referentes ao sinal GPS. As Figuras 6.2 e 6.3 mostram a potência em banda larga (WBP) e o índice de cintilação S4 calculado a partir do WBP, respectivamente para a estação S e para 02 de janeiro de 2006.

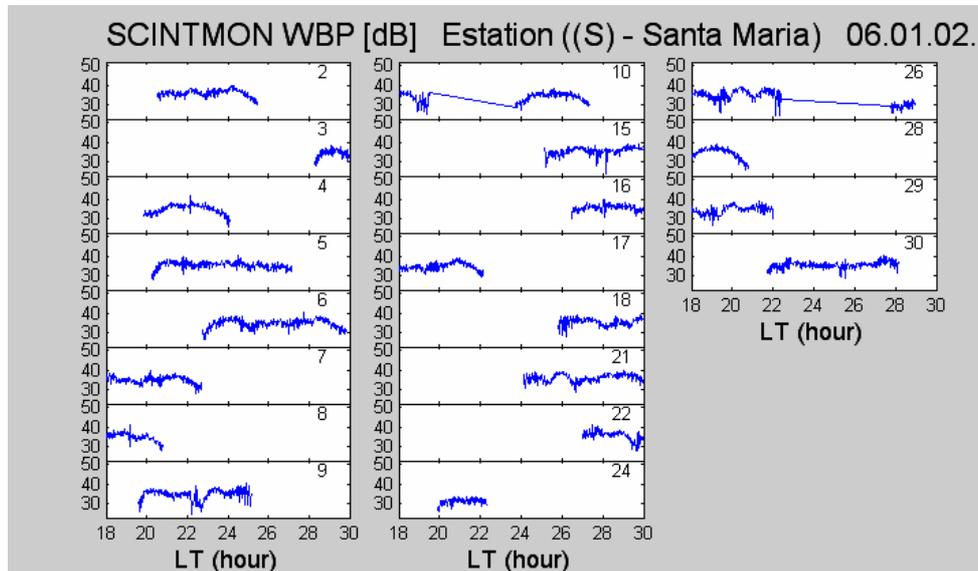


FIGURA 6.2 - Os painéis mostram os valores de potência em banda larga de sinal recebido, WBP em decibéis, para cada satélite rastreado na noite de 02/01/06 para 03/01/06, junto a Estação (S) – Santa Maria no Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – OES/CRSPE/INPE – MCT.

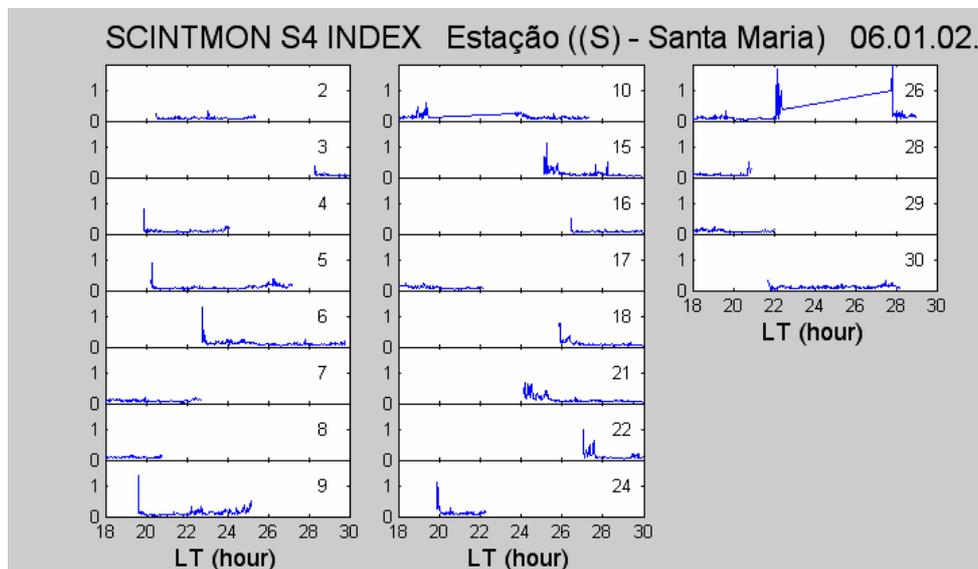


FIGURA 6.3 - Os painéis mostram os valores do índice S4, calculados para os sinais mostrados na Figura 6.2. Valores de S4 acima de 0.2 estão associados a irregularidades, junto a Estação (S) – Santa Maria no Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – OES/CRSPE/INPE – MCT.

6.2 Instalação das Estações (S) e (T) no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE - MCT – Santa Maria

Em 2000 foram instaladas as estações (S) e (T) no Observatório espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE - MCT (latitude: 29,28°; longitude: 53,82°), localizado em São Martinho da Serra – RS. Em dezembro de 2005 elas foram transferidas, provisoriamente, para o prédio sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT, (latitude: 29,42°; longitude: 53,43°) EM Santa Maria, RS. As Figuras 6.4 e 6.5 mostram as instalações das antenas T e S, respectivamente. A instalação definitiva está prevista para área destinada ao Laboratório de Sondagem Ionosférica - LSI/CRSPE/INPE – MCT no campus da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM.



FIGURA 6.4 – Prédio Sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE - MCT – localizado em Santa Maria - RS. Instalação provisória da Estação (T) do Sistema GPS.



FIGURA 6.5 – Prédio Sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE - MCT – localizado em Santa Maria - RS. Instalação provisória da Estação (S) do Sistema GPS.

CAPÍTULO 7

METODOLOGIA, DADOS, RESULTADOS

7.1 Metodologia

A Acadêmica desenvolveu este Projeto de Pesquisa nas dependências do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE–MCT, em Santa Maria, RS. No Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE–MCT, em São Martinho da Serra, Prédio 2, Figura 7.1, onde foram instaladas duas estações, S e T, do Sistema GPS, no âmbito da Parceria INPE – Cornell University, até dezembro de 2005.



FIGURA 7.1 – Prédio 2 do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS.

Para o estudo das irregularidades ionosféricas que causam cintilações no sinal GPS foram utilizadas as informações contidas nos arquivos sumários. O cronograma de atividades compreendia o desenvolvimento de rotinas computacionais em Matlab para a extração das informações dos arquivos sumários, posterior geração de gráficos e análise.

Os algoritmos computacionais desenvolvidas fazem extração de informações tais como: data da observação, hora universal (UT), números de satélites rastreados e seus correspondentes PRN's, elevação e azimute de cada satélite, valor de S4 e informação sobre a perda de sinal do satélite pelo receptor naquele intervalo de minuto. Logo após a extração destas informações, os algoritmos computacionais fazem a seleção dos dados para períodos, elevações de satélites e condições geomagnéticas necessárias ao estudo a ser realizado.

7.2 Dados

Neste Capítulo é apresentado o estudo da ocorrência de cintilação e inibição da cintilação no sinal GPS durante dias que apresentavam tempestades magnéticas intensas ($DST < -100nT$). Para este estudo foram utilizados dados coletados durante 5 anos (jan/2001 a dez/2005) para 4 receptores SCINTMON instalados em 4 pontos diferentes sobre o território brasileiro, mostrados na Figura 7.2 (São Martinho da Serra - RS, São José dos Campos - SP, Cuiabá - MT e São Luís – MA).

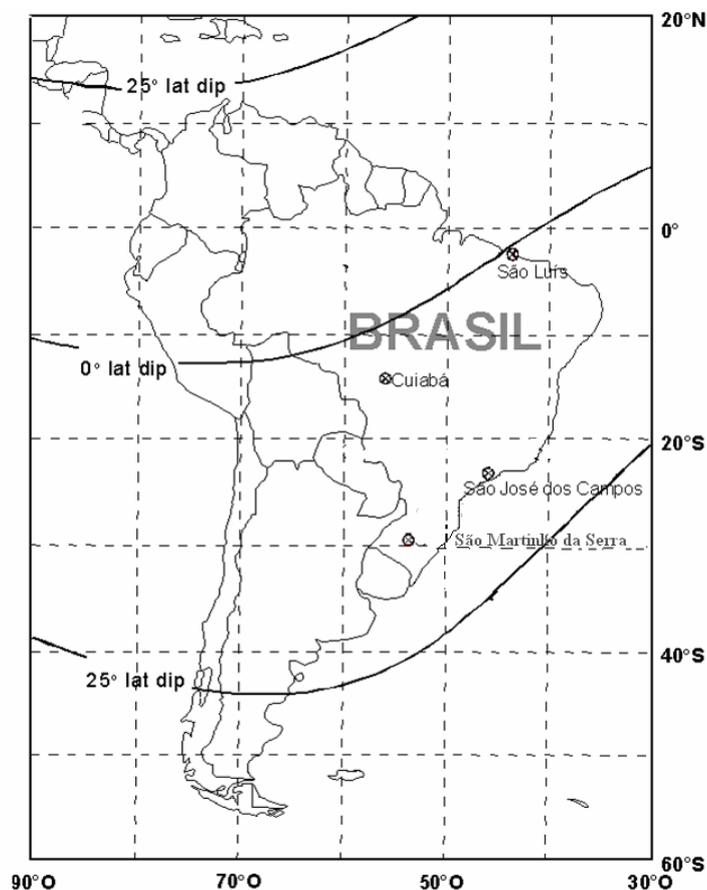


FIGURA 7.2 – Receptores SCINTMON instalados em 4 pontos diferentes sobre o território brasileiro, em São Martinho da Serra - RS, São José dos Campos - SP, Cuiabá - MT e São Luís - MA.

FONTE: Adaptada de <http://www.dae.inpe.br/iono/iongps/mapPort.html>.

7.3 Seleção do Período de Análise dos Dados

A princípio fizemos uma seleção de todos os dias que apresentavam perturbações no campo magnético da Terra para o período de jan/2000 até dez/2005 utilizando o índice de atividade magnética Dst, quando este índice $Dst < -100nT$, representando tempestades intensas, como pode ser visto na Figura 7.3.

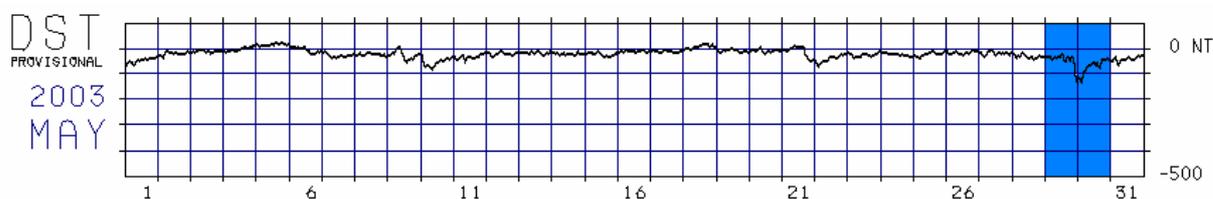


FIGURA 7.3 – Gráfico do índice Dst para o mês de maio de 2003. Ocorrência de tempestade magnética intensa pode ser observada nos dias 29 e 30.

FONTE: Adaptada de <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/dst1/prov.html>

O período de dados selecionado é o período de crescimento do índice Dst, o que ocorre quando a atividade solar (erupção, CME) diminui. Escolheu-se essa intensidade ($Dst < -100$) de tempestade magnética, pois nessas ocasiões se verifica um aumento apreciável na radiação solar do EUV e Raios-X que produz um aumento da ionização nas camadas mais baixas da ionosfera. Durante uma tempestade magnética, tanto o campo magnético terrestre quanto a Ionosfera sofrem mudanças drásticas (Kirchhoff, 1991). Nesses 5 anos de período selecionado tivemos um número de aproximadamente 84 dias com tempestades magnéticas intensas, distribuídos anualmente como mostra a Figura 7.4.

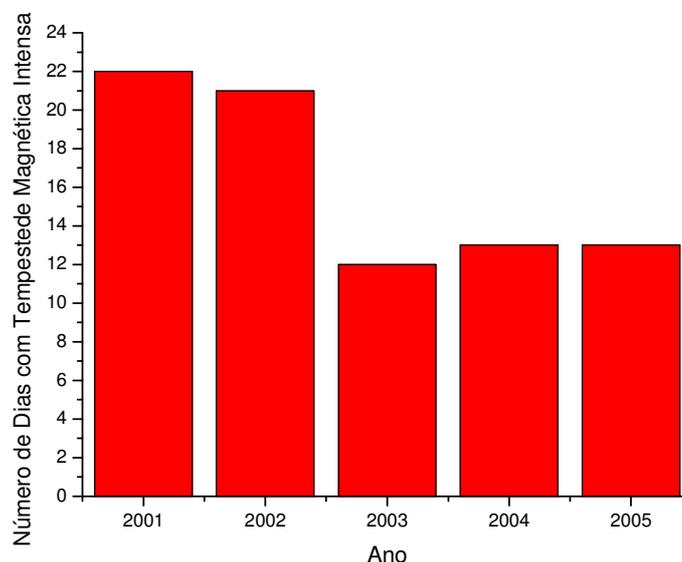


FIGURA 7.4 – Número de dias com tempestade magnética intensa ($Dst < -100$ nT) no período de jan/2001 até dez/2005.

Como se pode perceber, o ano de 2001 é o ano com maior número de tempestades magnéticas; 2001 foi o ano em que o ciclo Solar estava em seu máximo, ou seja, o ano em que ocorreu um maior número de explosões solares e conseqüentemente um maior número de perturbações no campo magnético da Terra.

Depois da seleção do período, começamos a fazer a seleção dos dados de GPS existentes em 4 sítios, simultaneamente, sobre o território brasileiro (já citados) para dias em que havia perturbações no campo magnético da Terra.

Para o número de 84 dias com tempestades magnéticas tivemos 9 dias de dados coletados para os 4 sítios selecionados sobre o território brasileiro, que são mostrados na Tabela 7.1.

TABELA 7.1 - Número de dias com tempestade magnética intensa ($Dst < -100$ nT) anual desde jan/2001 até dez/2005.

Ano	Número de dias com tempestade magnética	Dias de dados coletados simultaneamente nos 4 sítios
Jan/2001	22	2
2002	21	
2003	12	5
2004	13	2
Dez/2005	13	

Para cada dia foram gerados gráficos do índice de cintilação S4 para verificar o que ocorria com o sinal do GPS quando o mesmo incidia na camada ionosférica durante a incidência de tempestades magnéticas. A Figura 7.5 mostra um exemplo em que se observa inibição da cintilação da amplitude do sinal de GPS de São Martinho da Serra durante a tempestade de 24 de novembro de 2001, período este em que se espera ocorrência de cintilações. A Figura 7.6 mostra um exemplo de forte cintilação na amplitude do sinal de vários satélites GPS em São Martinho das Serra para a tempestade magnética de 29 de maio de 2003. Como neste mês de maio normalmente não tem ocorrência de irregularidades do plasma conclui-se que as cintilações observadas foram geradas por influência da tempestade magnética.

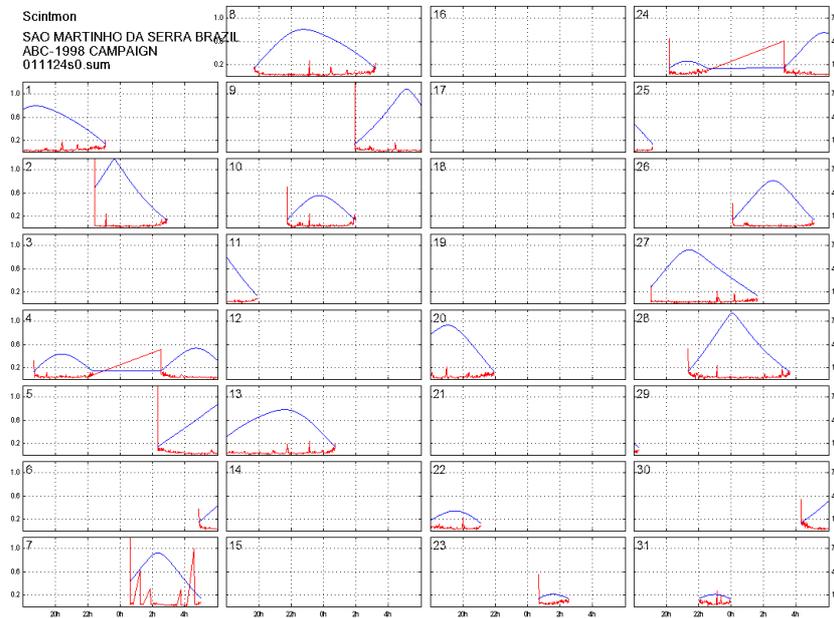


FIGURA 7.5 – Gráfico do índice S4 (vermelho) e do ângulo de elevação dos satélites (azul) para o dia 24/11/01 para a estação-S em São Martinho da Serra, RS do Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – OES/CRSPE/INPE – MCT.

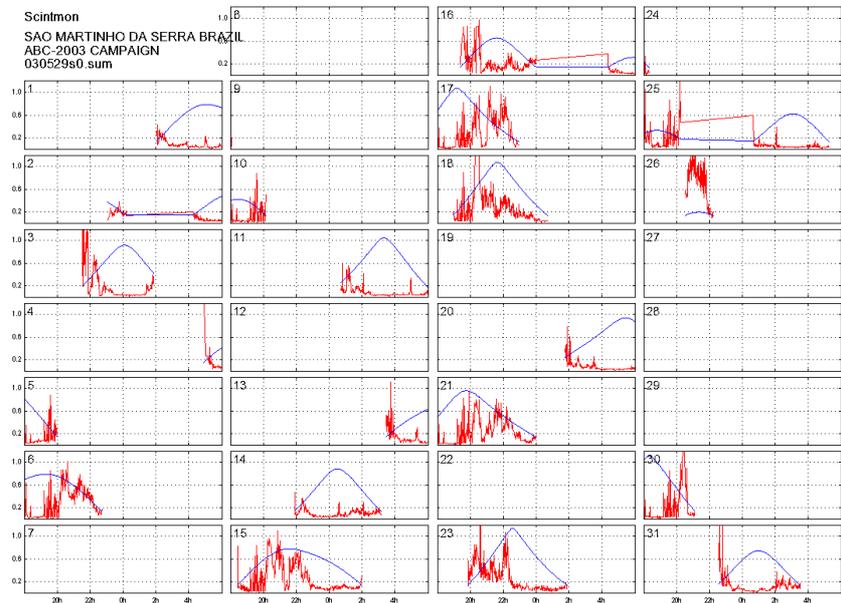


FIGURA 7.6 – Gráfico do índice S4 (vermelho) e do ângulo de elevação dos satélites (azul) para o dia 29/05/03 para a estação-S em São Martinho da Serra, RS do Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – OES/CRSPE/INPE – MCT.

Para a análise dos gráficos consideramos satélites que tinham um ângulo de elevação superior a 40°.

A partir desta análise confeccionamos uma tabela (Tabela 7.2) onde o número de dias com tempestade magnética foram colocados em ordem crescente em relação à intensidade da tempestade, da menos intensa até a mais intensa; juntamente com a hora de ocorrência da fase principal, a data de ocorrência da tempestade magnética, referentes aos 9 dias de seleção, como também a análise dos efeitos das tempestades sobre o sinal GPS para os 4 sítios.

TABELA 7.2 – Análise dos 9 dias de dados para os 4 sítios sobre o território brasileiro com o dia e a hora da fase principal de cada tempestade magnética.

Índices Dst (nT)	Data	Hora da fase principal (UT)	São Martinho da Serra	São José dos Campos	Cuiabá	São Luis
-126	19/08/2001	1 h	Inibição	Inibição	Inibição	Inibição
-128	07/11/2004	24 hs	Ocorrência	Ocorrência	Ocorrência	Ocorrência
-135	30/05/2003	3 hs	Inibição	Inibição	Inibição	Inibição
-144	29/05/2003	24 hs	Ocorrência	Ocorrência	Inibição	Inibição
-145	25/11/2001	2 hs	Ocorrência	Ocorrência	Ocorrência	Inibição
-221	24/11/2001	17 hs	Inibição	Inibição	Inibição	Inibição
-289	10/11/2004	11 hs	Inibição	Inibição	Inibição	Inibição
-345	29/10/2003	24 hs	Ocorrência	Inibição	Inibição	Inibição
-441	30/10/2003	2 hs	Ocorrência	Ocorrência	Inibição	Inibição

7.4 Atividades Extras da Acadêmica

A Acadêmica durante o período do Projeto de Iniciação Científica interagiu com pesquisadores japoneses em estudos de geofísica básica através da Cooperação Brasil – Japão.

No período do Projeto, o bolsista participou de palestras, cursos e congressos, os quais são listados a seguir. Os certificados encontram-se no Apêndice B.

7.4.1 – Cursos:

1 - Título: The Association of Coronal Mass Ejections With Their Effects near The Earth.

Local: Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE-MCT, Santa Maria – RS.

Ministrante: Dr. Alisson Dal Lago, pesquisador do INPE, São José dos Campos.

Período: 05 de maio de 2005.

Carga horária: 04 horas.

2 - Título: Variação da Intensidade dos Raios Cósmicos em Resposta a Diferentes Estruturas Magnéticas no Meio Interplanetário.

Local: Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE-MCT, Santa Maria – RS.

Ministrante: Mestrando Marlos Rochenbach da Silva, INPE, São José dos Campos.

Período: 13 de abril de 2005.

Carga horária: 04 horas.

3 - Título: Instalação Preliminar do Telescópio Multidirecional Detector de Muons.

Local: Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE-MCT, Santa Maria - RS

Período: 22 e 24 de novembro de 2005.

Carga horária: 30 horas.

4 - Título: 8ª Semana Acadêmica de Física da UFSM.

Local: Campus da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria – RS.

Período: 02 a 06 de maio de 2005.

Carga horária: 20 horas.

5 - Título: Introdução ao Matlab.

Local: Campus da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria – RS.

Ministrante: Integrantes do programa de Educação Tutorial – Curso de Engenharia Elétrica da UFSM.

Período: 1, 2, 5 e 6 de dezembro de 2005.

Carga horária: 12 horas.

7.4.2 – Congressos:

A bolsista participou de congressos, os quais são listados a seguir. Os resumos encontram-se no Apêndice B.

1 - Título: ESTUDO DAS BOLHAS IONOSFÉRICAS UTILIZANDO A REDE GPS DE SATÉLITES.

Autores: Lilian Piecha Moor, Eurico Rodrigues de Paula, Henrique Carlotto Aveiro, Maiquel dos Santos Canabarro, Nelson Jorge Schuch, Clezio Marcos Denardini.

Evento: XX Congresso Regional de Iniciação Científica em Engenharia – IV Feira de Protótipos.

Local: Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Foz do Iguaçu – PR.

Período: 5 a 7 de novembro de 2005.

2 - Título: EQUIPAMENTOS DE SONDAÇÃO IONOSFÉRICA NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL .

Autores: Lilian Piecha Moor, Eurico Rodrigues de Paula, Henrique Carlotto Aveiro, Maiquel dos Santos Canabarro, Nelson Jorge Schuch, Clezio Marcos Denardini.

Evento: XX Jornada Acadêmica Integrada.

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

Período: 8 a 10 de Março de 2006.

3 - Título: STORMTIME POST-MIDNIGHT IONOSPHERIC IRREGULARITIES.

Autores: E.R. de Paula, L.F.C. de Rezende, I.J. Kantor, M.T.A. H. Muella, M. A. Abdu, J. H. A. Sobral, I.S Batista, P. Smorigo, L. P. Moor and N. J. Schuch.

Evento: 11th Quadrennial Solar Terrestrial Physics Symposium.

Local: Rio de Janeiro – RJ.

Período: 6 a 10 de março de 2006.

4 - Título: REDUÇÃO DE RÚIDO AMOSTRAL DE DADOS OBSERVACIONAIS DE RADAR IONOSFÉRICO DE ESPALHAMENTO COERENTE UTILIZANDO FILTRO SAVITZKY-GOLAY.

Autores: Henrique Carlotto Aveiro, Fagner C. Rother, Lilian Piecha Moor, Clezio Marcos Denardini, Nelson Jorge Schuch, Mangalathayil A. Abdu.

Evento: XX Congresso Regional de Iniciação Científica em Engenharia – IV Feira de Protótipos.

Local: Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Foz do Iguaçu – PR.

Período: 5 a 7 de novembro de 2005.

5 - Título: DETERMINAÇÃO DA EVOLUÇÃO DIÁRIA DO CAMPO ELÉTRICO DO ELETROJATO EQUATORIAL UTILIZANDO DADOS DE AGNETÔMETROS.

Autores: Henrique Carlotto Aveiro, Fagner C. Rother, Lilian Piecha Moor, Clezio Marcos Denardini, Nelson Jorge Schuch, Mangalathayil A. Abdu.

Evento: XX Congresso Regional de Iniciação Científica em Engenharia – IV Feira de Protótipos.

Local: Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Foz do Iguaçu – PR.

Período: 5 a 7 de novembro de 2005.

6 – Título: ANÁLISE DO TEMPO DE CONVERGÊNCIA DA ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS DE ESPECTROS DE POTÊNCIA DE IRREGULARIDADES IONOSFÉRICAS.

Autores: Henrique Carlotto Aveiro, Fagner C. Rother, Lilian Piecha Moor, Clezio Marcos Denardini, Nelson Jorge Schuch, Mangalathayil A. Abdu.

Evento: XX Congresso Regional de Iniciação Científica em Engenharia – IV Feira de Protótipos.

Local: Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Foz do Iguaçu – PR.

Período: 5 a 7 de novembro de 2005.

7 – Título: ANALYSIS OF METEORS PRECIPITATION USING IONOSPHERIC BACK-SCATTER RADAR.

Autores: Henrique Carlotto Aveiro, Lilian Piecha Moor, Clezio Marcos Denardini, Mangalathayil A. Abdu, Nelson Jorge Schuch.

Evento: 36th COSPAR Scientific Assembly.

Local: Beijing, China.

Período: 16 a 23 de julho de 2006.

CAPÍTULO 8

CONCLUSÃO

A análise dos efeitos das tempestades magnéticas nas irregularidades ionosféricas mostrou que em alguns casos ocorrem cintilações e até mesmo a perda do sinal do GPS em períodos em que não se espera ocorrência de cintilações e que em outros casos a cintilação que era esperada para aquele período fica inibida e o sinal do GPS não apresenta nenhuma alteração durante a propagação. O efeito das tempestades magnéticas nas cintilações é bem complexo e as seguir vamos descrever os efeitos de algumas tempestades:

1) Tempestades magnéticas ocorridas nos dias 24/11/2001, 19/08/2001, 30/05/2003 e 10/11/2004.

As irregularidades do plasma sempre são geradas no equador magnético, contudo a amplitude da cintilação devido a estas irregularidades depende da ionização. Nessas quatro tempestades se verificou inibição da cintilação no sinal GPS nas estações analisadas. As tempestades de 24/11/2001 e de 10/11/2004 certamente inibiram as cintilações pois no mês de novembro se espera ocorrência de cintilações, enquanto que para se certificar o efeito das tempestades de 19/08/2001 e 30/05/2003, quando não se espera cintilações, se faz necessário uma análise mais criteriosa para verificar qual foi o efeito das tempestades. A inibição das cintilações ocorre quando um campo elétrico apontando para oeste, gerado pelo dínamo perturbado (devido à tempestade) inibe a subida da deriva do plasma no equador magnético e conseqüentemente inibe a formação de irregularidades do plasma que causam as cintilações da amplitude do sinal do GPS. Pode acontecer que durante tempestades magnéticas fortes a densidade eletrônica é varrida do equador magnético e é transportada para latitudes baixas devido à intensificação do efeito fonte, que foi causado pela penetração de campo elétrico de origem magnetosférica dirigido para leste. Neste último caso as cintilações ficam inibidas em latitudes equatoriais ou de latitude bem baixa, onde a densidade eletrônica cai a níveis bem baixos.

2) Tempestade magnética ocorrida no dia 25/11/2001, 29/05/2003, 29/10/2003, 30/10/2003. Durante essas tempestades foi verificada a ocorrência de cintilação no sinal GPS apenas para as estações de São Martinho da Serra do Observatório Espacial do Sul OES/CRSPE/INPE – MCT, e São José dos Campos, provavelmente devido à intensificação do efeito da anomalia equatorial, que foi causada pela penetração de campo elétrico de origem magnetosférica dirigido para leste. A Anomalia equatorial é caracterizada por uma subida rápida do plasma da região equatorial devido à presença de uma deriva vertical (efeito fonte), fazendo com que a ionização difunda ao longo das linhas de campo magnético e seja depositada em médias latitudes (São Martinho da Serra e São José dos Campos), formando cristas, onde a concentração eletrônica é máxima e conseqüentemente gerando aumento na amplitude da cintilação no sinal GPS dessas estações.

O efeito das tempestades magnéticas sobre a Ionosfera em diferentes latitudes e longitudes depende de vários fatores tais como, atividade solar, estação do ano, hora local, condições magnéticas anteriores ao início da tempestade e início súbito da tempestade. Portanto mais pesquisas se fazem necessárias a fim de entender melhor os processos envolvidos no acoplamento de energia entre a Terra e o Sol durante períodos magneticamente perturbados.

No contexto do estudo dos efeitos das tempestades magnéticas nas irregularidades ionosféricas, o GPS se mostrou um equipamento eficiente para a realização do estudo, por apresentar uma cobertura global da camada ionosférica.

O desenvolvimento do Projeto de Iniciação Científica foi muito importante, pois possibilitou à acadêmica a realização de diversos estudos na área da Geofísica Espacial, estudo o qual procura agregar conhecimento para esclarecer os mecanismos de geração e desenvolvimento desses fenômenos na Ionosfera, para assim explicar a forte influência dessas irregularidades nos sistemas de telecomunicações com aplicações espaciais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aarons, J. Global morphology of ionospheric scintillations. **Proceedings of the IEEE**, v. 70, n. 4, p. 360-378, Abr. 1982.
- Banks, P. M.; Kocharts, G. **Aeronomy**: Part B. New York: Academic, 1973. 355 p.
- Basu, S.; Basu S. Modeling of equatorial phase and amplitude scintillations from OGO-6 and AE irregularity data. **Low Latitude Aeronomical Processes**, COSPAR Symposium Series, v. 8, p. 187-199, 1980.
- Basu, S.; Basu, S. Ionospheric structures and scintillation spectra. In: Tatarskii, V. I.; Ishimaru, A.; Zavorotny, V. U. ed. **Wave propagation in random media (scintillation)**, Soc. for Opt. Eng.; Bellingham, Wash and Institute of Physics Publishing; 1993, p. 139-155.
- Beach, T. L. **Global Positioning System Studies of Equatorial Scintillations**. Ithaca. 335 p. Tese (Doutorado) - Cornell University, 1998.
- Beach T. L.; Kintner, P. M. Development and Use of a GPS Ionospheric Scintillation Monitor. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 39, n. 5, p. 918-928, May 2001.
- Beard, E. D. **A background report on total electron content measurements**. Illinois: Hq Air Force Weather Service (MAC), 1975. 23 p. (AWS-TR-75-260).
- Bhattacharyya, A.; Basu, S.; Groves, K. M.; Valladares C. E.; Sheehan, R. Dynamics of equatorial F region irregularities from spaced receiver scintillation observations. **Geophysical Research Letters**, v. 28, n. 1, p. 119-122, 2001.
- Dana, P. H. **Global Positioning System Overview** [online]. <http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html>. Aug. 2002.
- David N. Anderson, Bodo Reinisch, Cesar Valladare, Jorge Chau, Oscar Veliz. Forecasting the occurrence of ionospheric scintillation activity in the equatorial ionosphere on a day-

to-day basis. **Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics**, n. 66, p. 1567-1572, 2004.

Davies, K. Ionospheric radio, London: Peter Peregrinus LTD., 1990. 580 p.

de Paula, E. R. **Resposta da região F ionosférica às tempestades magnéticas em baixas latitudes no Brasil**. São José dos Campos. 210 p. (INPE-4106-TDL/259). Tese (Doutorado em Ciência Espacial) – Instituto de Pesquisas Espaciais, 1987.

de Paula, E. R.; Rodrigues, F. S.; Iyer, K. N.; Kantor, I. J.; Abdu, M. A.; Kintner, P. M.; Ledvina, B.; Kil, H. Equatorial anomaly effects on GPS scintillations in Brazil. **Advances on Space Research**, v.31, No. 3, 749-754, 2003.

Doherty, P. H.; Dehel, T.; Klobuchar, J. A.; Delay, S. H.; Datta-Barua, S.; de Paula, E. R.; Rodrigues, F. S. Ionospheric effects on low-latitude space based augmentation systems. In: ION GPS, Portland-Oregon, 2002. **Proceedings**: Institute of Navigation, 2002.

Dungey, J. W. Convective diffusion in the equatorial F – region. **Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics**, v.9, n. 5-6, p. 304-310, 1956.

Farley, D. T.; Bonneli, E.; Fejer, B. G.; Larsen, M. F.; The prereversal enhancement of the zonal electric field in the equatorial ionosphere. **Journal of Geophysical Research**. v. 91, n. A12, p. 3723-3728, Dec. 1986.

Fedrizzi, M. **Observações do conteúdo eletrônico total com dados do GPS**. São José dos Campos. 123 p. (INPE-7259-TDI/703). Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1999.

Fremouw, E. J.; Secan J. A. Modeling and scientific application of scintillation results. **Radio Science**, v. 19, n. 3, p. 687-694, May-Jun. 1984.

G. A. Mansilla. Disturbances at F2-region heights of equatorial anomaly during geomagnetic storms. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 65, n. 9, p. 987-995, 2003.

Gonzalez, W. D., Joselyn, J. A. ; Kamide, Y.; Kroehl, H. W.; Rostoker, G.; Tsurutani, B. T.; Vasyliunas, V. M. What is a geomagnetic storm? **Journal of Geophysical Research**, v. 99, n. A4, p. 5771-5792, 1994.

GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ). Geomagnetic Kp Index. Disponível em: <http://www.gfz-potsdam.de/pb2/pb23/GeoMag/niemegk/kp_index/kp.html>. jul. de 2003.

Graduate School of Science, Kyoto University (KYOTO). **Geomagnetic Data Service**. [online]<<http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/dst1/prov.html>> Mar. 2004.

Hargreaves, J. K. *The solar-terrestrial environment*. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.

Hey, J. S.; Parsons, S. J.; Phillips, J. W. Fluctuations in cosmic radiation at radiofrequencies. **Nature** (London), v. 158, p. 247, 1946.

Kamei, T.; Sugiura, M.; Araki, T. **On AE index (description in the data book No25)**. [online]. <http://swdcdbd.kugi.kyoto-u.ac.jp/ae2/onAEindex.html>., 28 september 2000.

Kelley, M. C. **The earth's ionosphere: plasma physics and electrodynamics**, San Diego: Academic Press, 1989. 484 p.

Kintner, P. M.; Kil, H.; Beach, T. L.; de Paula, E. R. Fading timescales associated with GPS signals and potential consequences. **Radio Science**, v. 36, n. 4, p. 731-743, 2001.

Kirchhoff, Vol ker W. J. H., **Introdução à Geofísica Espacial**, 1991.

Klobuchar, J. A. . Ionospheric effects on GPS. In: Parkinson, B. W.; Spliker Jr. J. J. ed. **Global Positioning System: theory and applications**. Washington: AIAA, 1996. Cap. 12, p. 485-515. (Progress in Astronautics and Aeronautics, 163).

McNamara, L. F. **The ionosphere: communications, surveillance and direction finding**. Malabar: Krieger, 1991. 237 p.

M. Materassi, C. N. Mitchell and P. S. J. Spencer. Ionospheric imaging of the northern crest of the Equatorial Anomaly. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, n. 65, n.16-18, p. 1393-1400, 2003.

National Oceanic and Atmospheric Administration. National Geophysical Data Center (NOAA.NGDC). **Geomagnetic Observatory Data Sampled at One Minute and Hourly Rates On-Line at NGDC**. [online]<<http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr/index.html>> Mar. 2004.

Monico, J. F. G. **Posicionamento pelo Navstar – GPS: descrição, fundamentos e aplicações**, São Paulo: Editora UNESP, 2000. 287 p.

Rich, F. J. Structure of the ionosphere. In: Jursa, A . S. ed. **Handbooks of geophysics and space environment**. Springfield: Air Force Geophysics Laboratory, 1985. Cap. 9, section 9.1, p. 9-1 - 9-4.

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

Rodrigues, F. S.; de Paula; E. R.; Iyer, K. I.; Kintner, P. M.; Hysell, D. L.; Abdu, M. A.; Jardim, A. C. ESF irregularity characteristics over São Luís (Brazil) using VHF radar and GPS scintillations techniques. **Radio Science**, Vol. 39, No. 1, RS1S31, 24 fevereiro de 2003.

Rodrigues, F. S. **Estudo das Irregularidades Ionosféricas equatoriais utilizando sinais GPS: Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, 2003.

R. Raghavarao, R. Suhasini, H.G. Mayr, W.R. Hoegy, L.E. Wharton. R. Raghavarao, R. Suhasini, H.G. Mayr, W.R. Hoegy, L.E. Wharton. **Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics**, n. 61, p. 607-617, 1999.

Rush, J. Current issues in the use of the Global Positioning System aboard satellites. **Acta Astronautica**, v. 47, n. 2-9, p. 377-387, 2000.

Salpeter, E. E. Interplanetary scintillations, I. Theory. **Astronomical Journal**, v. 7, n. 9, 869, 1967.

Secan, J. A.; Bussey, R. M.; Fremouw, E. J.; Basu Sa. An improved model of equatorial scintillation. **Radio Science**, v. 30, n. 3, p. 607-617, May-Jun, 1995.

Seeber, G. **Satellite Geodesy: Foundations, methods, and applications**. Berlim: Walter de Gruyter, 1993. 531 p.

Smita Dubey, Rashmi Wahi, A.K. Gwal. **Ionospheric effects on GPS positioning**, Advances in Space Research, India, 2005.

Singleton, D. G. Saturation and focusing effects in radio-star and satellite scintillations. **Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics**, v. 32, n. 2, p. 187-208, 1970.

Spilker Jr., J. J.; Parkinson, B.W. Overview of GPS operation and design. In: Parkinson, B. W.; Spilker Jr. J. J. ed. **Global Positioning System: theory and applications**. Washington: AIAA, 1996. Cap. 2, p. 29-55. (Progress in Astronautics and Aeronautics, 163).

Standards on wave propagation: definition of terms. **Proceeding of the IRE**, v.38, n. 11, p. 1264-1268, Nov. 1950.

Tascione, T. F. **Introduction to the space environment**. Malabar: Orbit Book Company, 1988. 166 p.

Tsurutani, B. T.; Gonzalez, W. D. Magnetic Storms. In: Suessm S. T.: Tsurutani, B. T ed. **From the sun: auroras, magnetic storms, solar flares, cosmic rays**. Washington: American Geophysics Union, 1998. P. 57-66.

Wrenn, G. L. (1987): Time-weighted accumulations $ap(t)$ and $Kp(t)$, J.Geophys. Res., 92, 10,125-10,129.

Yeh, K. C.; Liu, C. H. Radio wave scintillations in the ionosphere. **Proceedings of the IEEE**, v. 70, n. 4, p.324-360, Abr. 1982.

APÊNDICE A

DESCRIÇÃO DO ARQUIVO SUMÁRIO:

A descrição do arquivo sumário gerado pelo programa SCINTMON é especificada na Tabela A.1.

Tabela A.1 – EXEMPLO DE DADOS GRAVADOS NO ARQUIVO SUMÁRIO.

SAO JOSE DOS CAMPOS BRAZIL
ABC-1998 CAMPAIGN
4085.0 -4209.2 -2498.5
2000 3 31 21 2
1
2100 8 104
02 11318.3 -15618.5 -17488.8 -1363 2458 0 0.09 90 9999
07 19999.4 -16823.2 4172.9 2271 2263 0 0.06 40 9999
08 19252.3 -3828.9 -18176.3 -885 3612 0 0.05 9999 9999
10 -1533.4 -26399.5 -650.3 -2016 2305 0 0.06 90 9999
13 19510.3 -17005.2 -5668.0 -1537 2540 0 0.08 94 9999
18 23117.5 -6180.0 11411.9 -3773 4663 0 0.04 9999 9999
26 -6198.2 -13952.5 -21722.0 3051 2656 0 0.05 51 9999
27 22290.1 -1129.8 -14684.3 -1603 3194 0 0.05 9999 9999

As cinco primeiras linhas fazem parte de um cabeçalho inicial de arquivo com as seguintes informações:

- 1ª linha: Estação de Observação
- 2ª linha: Informação adicional
- 3ª linha: Coordenadas ECEF do receptor
- 4ª linha: Ano Mês Dia Hora Minuto

5ª linha: 1 (fim do cabeçalho)

A partir da sexta linha são gravados conjuntos de dados referentes a análise de um minuto, 3000 amostras, do sinal GPS, L1 = 1,57542 GHz, de cada satélite rastreado naquele minuto. Logo após, segue uma linha de sub-cabeçalho com as informações:

1ª coluna: Hora (HHMM)
2ª coluna: Número de satélites (n) rastreados naquele minuto
3ª coluna: Potência de ruído

E então, segue-se “n” linhas com as seguintes informações sobre os satélites rastreados:

1ª coluna: Identificação do satélite (PRN)
2ª coluna: Coordenada ECEF X
3ª coluna: Coordenada ECEF Y
4ª coluna: Coordenada ECEF Z
5ª coluna: Deslocamento Doppler (Hz) do sinal GPS
6ª coluna: Potência em banda larga (WBP)
7ª coluna: Número que indica quantas vezes o “lock” foi perdido naquele minuto
8ª coluna: Índice de cintilação S₄
9ª coluna: Largura de auto-correlação do sinal
10ª coluna: Não utilizado

APÊNDICE B

**CERTIFICADOS DE PALESTRAS E CURSOS E RESUMOS DE CONGRESSOS,
OS QUE A BOLSISTA FOI AUTORA E CO-AUTORA.**



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS ESPACIAIS DE SANTA MARIA



ATESTADO

Atestamos que o acadêmico **LILIAN PIECHA MOOR**, participou da **SEMINÁRIO “ VARIÇÃO DA INTENSIDADE DOS RAIOS CÓSMICOS EM RESPOSTA A DIFERENTES ESTRUTURAS MAGNÉTICAS DO MEIO INTERPLANETÁRIO”** proferido pelo Mestrando Marlos Rothenbach da Silva, no dia 04 de maio de 2005, com uma carga horária de 04 horas, realizado no Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM e no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/CEP/INPE.


Prof. Damaris Kirsch Pinheiro
Diretora do LACESM/CT/UFSM

Santa Maria, 05 de maio de 2005.



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS ESPACIAIS DE SANTA MARIA

ATESTADO

Atestamos que o acadêmico **LILIAN PIECHA MOOR**, participou da **SEMINÁRIO “ THE ASSOCIATION OF CORONAL MASS EJECTIONS WITH THEIR EFFECTS NEAR THE EARTH”** proferido pelo Dr. Alisson Dal Lago, no dia 13 de abril de 2005, com uma carga horária de 04 horas, realizado no Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM e no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/CEP/INPE.

Santa Maria, 13 de Abril de 2005.


Prof.ª Damaris Kirsch Pinheiro
Diretora do LACESM/CT/UFSM



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS ESPACIAIS DE SANTA MARIA

ATESTADO

Atestamos, para fins de contabilidade de horas em Atividades Complementares de Graduação, que a acadêmica **Lílian Piecha Moor** participou da instalação preliminar do Telescópio Multidirecional Detector de Muons no Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, RS, no período de 22 a 24 de novembro de 2005, totalizando 30 horas de atividades. O Telescópio pertence à Universidade Federal de Santa Maria, tendo sido doado pela Universidade de Shinshu, no Japão, e é parte integrante da Rede Mundial de Detectores de Muons, sendo operado em Parceria entre o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT – UFSM e o Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT.

Santa Maria, 12 de dezembro de 2005.



Prof.ª Damaris Kirsch Pinheiro
Diretora do LACESM/CT/UFSM



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
CURSO DE FÍSICA
DIRETÓRIO ACADÊMICO DA FÍSICA



CERTIFICADO

Certificamos que **LILIAN PIECHA MOOR** participou da 8ª Semana Acadêmica do Curso de Física da UFSM, no período de 02 a 06 de maio de 2005, no campus desta universidade, perfazendo um total de 20 horas de participação no evento.

Santa Maria, 10 de maio de 2005.

Prof. Edgardo Ramos Medeiros
Diretor do CCNE

Prof. João Carlos Denardin
Coordenador do Curso de Física



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA



PROGRAMA DE EDUCAÇÃO TUTORIAL
ENGENHARIA ELÉTRICA

CERTIFICADO

Lilian Moor

Certifico que

concluiu o curso de Introdução ao MATLAB, registrado no Gabinete de Projetos do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria sob o nº 018248 e ministrado pelos integrantes do Programa de Educação Tutorial - Engenharia Elétrica, realizado nos dias 01, 02, 05 e 06 de dezembro de 2005, totalizando 12 horas de instrução e atingindo o nível necessário de aproveitamento e frequência.


Prof. Felipe Martins Müller
Diretor do Centro de Tecnologia


Prof. Alexandre Campos
Tutor do PET-EE

ESTUDO DAS BOLHAS IONOSFÉRICAS UTILIZANDO A REDE GPS DE SATÉLITES

**Lilian Piecha Moor^{1,3}, *Eurico Rodrigues de Paula*², Henrique Carlotto Aveiro^{1,3},
Maiquel dos Santos Canabarro^{1,3},
Nelson Jorge Schuch³, Clezio Marcos Denardini²**

¹Universidade Federal de Santa Maria - Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Divisão de Aeronomia

Caixa Postal 515 - São José dos Campos - SP

³Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - Observatório Espacial do Sul

Av.Roraima - Bairro Camobi - Caixa Postal 5021 - 97110-970 - Santa Maria-RS

lilian@lacesm.ufsm.br, eurico@dae.inpe.br, aveiro@lacesm.ufsm.br, maiquel@lacesm.inpe.br

njschuch@lacesm.ufsm.br, denardin@dae.inpe.br

A ionosfera é a porção ionizada da atmosfera terrestre, situada entre aproximadamente 60 e 1000 km de altitude. Possui densidade eletrônica que depende de vários fatores, entre eles: posição geográfica, estação do ano, hora local e atividade solar cuja radiação varia com um ciclo de 11 anos e que é a principal fonte de ionização da atmosfera neutra. Também durante tempestades magnéticas devido a processos no Sol a densidade eletrônica da ionosfera apresenta variações. Devido as diferentes composições químicas, processos de ionização, densidade eletrônica e altura, a ionosfera é dividida em três regiões básicas: camadas D, E e F. Nas regiões E e F, devido a instabilidades da densidade eletrônica, podemos encontrar irregularidades no plasma, tais como: as irregularidades do eletrojato equatorial (Região E) e as bolhas de plasma (Região F). Estas últimas consistem em regiões de rarefação do plasma ionosférico, paralelas ao campo geomagnético e deslocando-se no sentido oeste-leste. Este fenômeno ocorre no período noturno e com mais frequência nas regiões equatoriais e de baixas latitudes. Estas irregularidades podem provocar interferências nos sinais de rádio, radares espaciais e sistemas de orientação de aviação e navegação. O grupo de pesquisadores do Observatório Espacial do Sul (OES), situado em

São Martinho da Serra - RS, em cooperação com os pesquisadores da Divisão de Aeronomia (DAE) da Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA) e com os pesquisadores da Universidade de Cornell, EUA, vêm desenvolvendo pesquisas baseadas no estudo dessas irregularidades através do monitoramento da cintilação da amplitude do sinal recebido via satélites GPS. Os dados são coletados diariamente por placas GEC *Plessey GPS Builder II*[®], capaz de rastrear simultaneamente até 11 satélites com uma taxa de 50 amostras por segundo. A aquisição dos dados é feita com o auxílio de um software desenvolvido exclusivamente para monitorar as cintilações ionosféricas durante irregularidades do plasma, denominado SCINTMON. Também são estudados os efeitos das irregularidades sobre a performance do próprio sistema GPS. Neste trabalho são apresentados estudos das bolhas de plasma ionosférico utilizando receptores GPS, bem como a análise de danos causados às telecomunicações. Ele visa proporcionar um melhor entendimento funcional da ionosfera, bem como acumular conhecimento para que sistemas/processos sejam desenvolvidos para amenizar tais problemas na transmissão de sinais.

EQUIPAMENTOS DE SONDAGEM IONOSFÉRICA NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL

Lilian Picha Moor², Eurico Rodrigues de Paula³, Henrique Carlotto Aveiro⁴, Maiquel S. Canabarro⁵, Nelson J. Schuch⁶, Clezio Marcos Denardini⁷

A ionosfera é uma região da atmosfera terrestre que está localizada entre aproximadamente 60 e 1000 km de altitude, caracterizada por apresentar uma alta densidade de íons e elétrons. Seu principal fator de ionização é a absorção da radiação solar. Mas também são fontes de ionização as partículas energéticas carregadas de origem solar e galácticas. O estudo da ionosfera é importante por diversos fatores, entre eles citamos o fato dela apresentar instabilidades de plasma as quais evoluem em irregularidades ionosféricas que, por sua vez, afetam as propagações transionosféricas. Os pesquisadores do Observatório Espacial do Sul (OES) do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRSPE), em São Martinho da Serra - RS, desenvolvem pesquisas sobre o comportamento e sobre os processos dinâmicos, eletrodinâmicos e químicos do plasma ionosférico na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS), local onde se encontra a menor intensidade do campo magnético terrestre. No estudo dos diferentes processos nesta região são utilizados diferentes equipamentos de sondagem ionosférica com diferentes propósitos. Para estudo da absorção ionosférica pela região D são utilizados receptor de ondas eletromagnéticas de média frequência (MF, do inglês: *Medium Frequency*) e de alta frequência (HF, do inglês: *High Frequency*), conhecidos como Riômetro e Riômetro Imageador. O primeiro equipamento baseia-se na comparação do sinal captado com o sinal transmitido por uma rádio AM. A técnica de riometria busca analisar a variação da radiação cósmica incidente no solo visando determinar a densidade eletrônica da baixa ionosfera. Na pesquisa de bolhas de plasma são empregadas duas estações do Sistema Monitor de Cintilação Ionosférica GEC *Plessey*. Este sistema consiste, entre outras coisas, de duas antenas que monitoram continuamente o sinal de frequência de 1.57542 GHz (também conhecida como L1), a mais baixa das frequências transmitidas pelos satélites GPS. A partir da cintilação do sinal recebido pode ser determinada a presença de irregularidades de plasma. Nesse trabalho são apresentados alguns equipamentos de estudo da ionosfera instalados no

OES/CRSPE/INPE - MCT, com foco no estudo das irregularidades ionosféricas. Este estudo procura agregar conhecimento para esclarecer os mecanismos de geração e desenvolvimento desses fenômenos na ionosfera na AMAS, para assim explicar a forte influência dessas irregularidades nos sistemas de telecomunicações com aplicações espaciais.

1 - Trabalho desenvolvido no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE e LACESM/CT - UFSM

2 - Apresentadora: Acadêmica do Curso de Física – CCNE/UFSM

3 - Orientador: Dr. Eurico Rodrigues de Paula – DAE/CEA/INPE – MCT

4 - Co-Autor: Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica – CT/UFSM

5 - Co-Autor: Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica – CT/UFSM

6 - Co-Orientador: Dr. Nelson Jorge Schuch Coordenador das Ações 1275 e 6237 do PNAE – e Instalação e Funcionamento do CRSPE/INPE - MCT

7 - Co-Orientador: Dr. Clezio Marcos De Nardini – DAE/CEA/INPE – MCT

ESTUDO DOS EFEITOS DAS TEMPESTADES MAGNÉTICAS NAS IRREGULARIDADES IONOSFÉRICAS UTILIZANDO SINAIS GPS

Lílian Piecha Moor¹ (LACESM/CT/UFMS, Bolsista PIBIC/INPE - CNPq/MCT)

Dr. Eurico Rodrigues de Paula² (DAE/CEA/INPE – MCT, Orientador)

Dr. Clezio M. De Nardin³ (DAE/CEA/INPE – MCT, Co-orientador)

Dr. Nelson J. Schuch⁴ (CRSPE/INPE – MCT, Co-orientador)

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo estudar os efeitos causados pelas tempestades magnéticas na Ionosfera utilizando o sinal transmitido pelo Sistema de Posicionamento Global (GPS). Este Sistema consiste numa rede de 24 satélites distribuídos em 6 diferentes órbitas em torno da Terra. Cada satélite emite constantemente dois sinais com frequências na banda L, 1,57542 GHz e 1,22760 GHz. O sinal do GPS pode ser degradado ao transpor a Ionosfera. Esta região atmosférica se estende desde os 60 km até aproximadamente 1500 km de altitude. A fonte de ionização mais significativa é a radiação solar no espectro do Extremo Ultra-Violeta (EUV) e Raios-X. A Ionosfera apresenta irregularidades, entre elas citamos as bolhas de plasma. Estas são regiões de rarefação do plasma ionosférico que causam mudanças no índice de refração no meio, sendo capazes de dispersar o sinal emitido pelo GPS. Estas flutuações também são denominadas “cintilações ionosféricas”. O aparecimento destas bolhas segue um determinado padrão sazonal. A observação das bolhas ionosféricas, normalmente tem início em setembro e segue até abril. Elas são observadas nos períodos entre as 18 horas e 6 horas (hora local). Entretanto, as bolhas de plasma podem ocorrer em outras estações do ano em períodos magneticamente perturbados. No presente estudo utilizou-se dados coletados por uma rede de 4 receptores de sinal GPS instalados em 4

sítios no território brasileiro. Estes receptores são monitores de cintilação em amplitude dos sinais na frequência de 1,57542 GHz. Através do processamento destes dados, obtemos os valores de potência de sinal recebido pelo qual identificamos a ocorrência ou não de cintilação do sinal. Assim, como resultado deste estudo desenvolvido no CRSPE/INPE - MCT, em Santa Maria, RS, pretende-se apresentar um estudo do efeito das tempestades magnéticas na ocorrência de bolhas, identificadas através de cintilação nos sinais de GPS. O índice de atividade magnética Dst foi adotado para caracterizar os períodos magneticamente perturbados e para apresentarmos uma correlação entre a observação dessas irregularidades sobre o Brasil utilizando dados de GPS e a atividade magnética.

¹Aluno de Graduação em Física Licenciatura Plena, UFSM. **E-mail: lilian@lacesm.ufsm.br**

²Pesquisador da Divisão de Aeronomia, Coordenação Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas, DAE/CEA/INPE – MCT. **E-mail: eurico@dae.inpe.br**

³Pesquisador da Divisão de Aeronomia, Coordenação Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas, DAE/CEA/INPE – MCT. **E-mail: denardin@dae.inpe.br**

⁴Pesquisador, Coordenador da Ação 1275 de Implantação do CRSPE e chefe da RSU/INPE –MCT. E-mail: **njschuch@lacesm.ufsm.br**

STORMTIME POST-MIDNIGHT IONOSPHERIC IRREGULARITIES

E.R. de Paula¹, L.F.C. de Rezende¹, I.J. Kantor¹, M.T.A. H. Muella, M. A. Abdu¹, J. H. A. Sobral¹, I.S Batista¹, P. Smorigo, L. P. Moor² and N. J. Schuch²

1- National Institute for Space Research, Aeronomy Division, Av. dos Astronautas
1758, São José dos Campos, São Paulo, Brazil

2- Universidade Federal de Santa Maria, LACESM/CT/UFSM, Santa Maria, RS,
Brazil....

ABSTRACT

The magnetically quiet-time ionospheric irregularities are generated on the equatorial region after sunset due to plasma instabilities, they grow along the magnetic field lines and their occurrences are limited to the premidnight local time sector. These irregularities cause strong phase and amplitude scintillations in the GPS receiver signal. During some magnetic storms these irregularities are observed also in the postmidnight local time sector reaching, in some events, presunrise hours. In this work, to analyze the postmidnight irregularities it was used GPS amplitude data from an array of GPS scintillation monitors located in the Brazilian territory covering since the equatorial region up to the south Ionospheric Equatorial Anomaly (EIA) peak. This scintillation data set is from 1997 to 2005 covering the last solar maximum activity period. Many examples of midnight-sunrise sector GPS scintillations are shown. Such occurrences are explained by the magnetospheric eastward electric field penetration, reinforced or not by stormtime dynamo electric field, that is able to decelerate or even to invert the nighttime downward vertical plasma drift at the magnetic equator, what can trigger ionospheric plasma instabilities at these late hours.

REDUÇÃO DE RUÍDO AMOSTRAL DE DADOS OBSERVACIONAIS DE RADAR IONOSFÉRICO DE ESPALHAMENTO COERENTE UTILIZANDO FILTRO SAVITZKY-GOLAY

**Henrique C. Aveiro^{1,3}, Lilian P. Moor^{1,3}, Fagner C. Rother^{1,3},
Clezio M. Denardini², Nelson J. Schuch³, Mangalathayil A. Abdu³**

1Universidade Federal de Santa Maria - Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria

2Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Divisão de Aeronomia

Caixa Postal 515 - São José dos Campos-SP

3Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - Observatório Espacial do Sul

Av. Roraima – Bairro Camobi – Caixa Postal 5021 - 97110-970 – Santa Maria-RS

aveiro@lacesm.ufsm.br, lilian@lacesm.ufsm.br, rother@lacesm.ufsm.br, denardini@dae.inpe.br

njschuch@lacesm.ufsm.br, abdu@dae.inpe.br

Com o objetivo de estudar o eletrojato equatorial (EEJ) e irregularidades presentes na ionosfera equatorial, tais como bolhas de plasma, foi construído pela Divisão de Aeronomia da Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas, DAE/CEA/INPE - MCT, um radar de espalhamento coerente. Operando em 50 MHz, o radar detecta as irregularidades de plasma com escala de 3 metros de comprimento perpendiculares ao campo geomagnético. A análise espectral dos ecos recebidos das irregularidades do EEJ permite determinar o deslocamento Doppler e identificar os tipos de espectros que caracterizam as suas irregularidades. O Radar de ESpalhamento COerente de 50 MHz (RESCO) está instalado no Observatório Espacial de São Luís do Maranhão -MA (2,33° S; 44,20° O). Neste sítio, o ângulo de inclinação do campo magnético terrestre é de 0,5 S. O radar é operado durante duas semanas a cada mês, de acordo com o Calendário Geofísico Internacional ou devido a necessidades emergentes. A análise da variação temporal do sinal recebido pelo radar RESCO mostra a presença de picos espúrios em meio aos dados devidos à presença de ruído aleatório na recepção do sinal retro-espalhado pelas irregularidades do EEJ. O constante desenvolvimento dos modernos sistemas de rádio sondagem proporciona uma

melhor compreensão da fenomenologia dos eventos observados. Neste contexto, o grupo de pesquisa da Parceria INPE-UFSM sempre procura aprimorar as técnicas de observação e análise dos fenômenos, especialmente no que tange ao aprimoramento da resolução espacial e/ou temporal. Para este fim, desenvolveu-se uma rotina de *software* para corrigir o ruído durante o pré-processamento do sinal utilizando o filtro Savitzky-Golay. Esta ferramenta se encontra completamente integrada à biblioteca de rotinas do Radar RESCO e está sendo utilizada para as análises atuais. Neste trabalho, apresentamos estudos do EEJ utilizando dados do radar RESCO, bem como análise das vantagens e desvantagens da aplicação do filtro Savitzky-Golay para redução do ruído amostral.

DETERMINAÇÃO DA EVOLUÇÃO DIÁRIA DO CAMPO ELÉTRICO DO ELETROJATO EQUATORIAL UTILIZANDO DADOS DE MAGNETÔMETROS

**Henrique C. Aveiro^{1,3}, Lilian P. Moor^{1,3}, Fagner C. Rother^{1,3},
Clezio M. Denardini², Nelson J. Schuch³, Mangalathayil A. Abdu³**

1Universidade Federal de Santa Maria - Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria

2Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Divisão de Aeronomia

Caixa Postal 515 - São José dos Campos-SP

3Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - Observatório Espacial do Sul

Av. Roraima – Bairro Camobi – Caixa Postal 5021 - 97110-970 – Santa Maria-RS

aveiro@lacesm.ufsm.br, lilian@lacesm.ufsm.br, rother@lacesm.ufsm.br, denardini@dae.inpe.br

njschuch@lacesm.ufsm.br, abdu@dae.inpe.br

Entre aproximadamente 70 a 2000 km de altitude, encontra-se a porção ionizada da atmosfera terrestre, denominada ionosfera. Dentre os mais diversos processos que ocorrem nesta faixa de alturas, podemos citar o dínamo atmosférico da Região E ionosférica, tendo seu principal motor nos gradientes de pressão proporcionado pelo aquecimento solar. É na região E ionosférica, que as condutividades Pedersen e Hall apresentam seus máximos valores. Na sua porção equatorial, a geometria entre o campo magnético terrestre e os campos elétricos, devidos ao dínamo atmosférico, proporcionam um efeito combinado destas condutividades, que resulta em uma condutividade máxima em torno de 105 km e a circulação de uma forte corrente horizontal, denominada eletrojato equatorial (EEJ). Ela flui de oeste para leste, no lado iluminado pelo sol, e de leste para oeste, do lado da noite, possuindo maior intensidade entre as 11 e 14 horas local. A presença desta corrente ao longo do equador magnético terrestre gera campos magnéticos induzidos que podem ser sentidos ao nível do solo, sobrepondo-se ao campo magnético terrestre. Para medir as diferentes componentes do campo magnético terrestre são utilizados magnetômetros. Estes equipamentos são, essencialmente, bobinas orientadas em direções específicas para registrar variações de campos magnéticos, em três direções distintas, de forma a compor o

campo total. As variações observadas nas componentes do campo magnético terrestre servem de identificadores e/ou qualificadores de distúrbios devido as tempestades e sub-tempestades magnéticas. O efeito aproximado do campo magnético do EEJ sobre a componente horizontal (H) do campo magnético terrestre também pode ser investigado analisando-se a diferença entre as medidas desta componente obtidas por magnetômetros (ΔH). Para isso, é necessário que estes equipamentos estejam instalados em observatórios magnéticos adequadamente localizados. Um observatório deve estar localizado na região de influência do campo magnético do EEJ, como São Luís-MA, e o outro em uma latitude magnética próxima ao primeiro, mas fora da região de influência do EEJ, como em Eusébio-CE, Deste modo, obtemos um instrumento avaliador do comportamento diário o efeito do EEJ ao nível de solo, uma vez que o campo elétrico do EEJ possui relação direta com seu campo magnético induzido em solo. Neste trabalho são apresentados estudos do campo magnético induzido em solo devido ao EEJ, obtidos pela análise de dados de magnetômetros. É apresentada uma avaliação da excursão diária do traço do campo elétrico para períodos magneticamente calmos e perturbados.

ANÁLISE DO TEMPO DE CONVERGÊNCIA DA ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS DE ESPECTROS DE POTÊNCIA DE IRREGULARIDADES IONOSFÉRICAS

**Henrique C. Aveiro^{1,3}, Lilian P. Moor^{1,3}, Fagner C. Rother^{1,3},
Clezio M. Denardini², Nelson J. Schuch³, Mangalathayil A. Abdu³**

1Universidade Federal de Santa Maria - Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria

2Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Divisão de Aeronomia

Caixa Postal 515 - São José dos Campos-SP

3Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - Observatório Espacial do Sul

Av. Roraima – Bairro Camobi – Caixa Postal 5021 - 97110-970 – Santa Maria-RS

aveiro@lacesm.ufsm.br, lilian@lacesm.ufsm.br, rother@lacesm.ufsm.br, denardini@dae.inpe.br

njschuch@lacesm.ufsm.br, abdu@dae.inpe.br

Desde 1998, tem sido operado no Observatório Espacial de São Luís (2.33° S, 44.2° W, DIP: -0.5°), OESLZ/INPE - MCT, na região do equador geomagnético, um radar de retro-espalhamento de 50 MHz (RESCO) para estudar fenômenos da ionosfera equatorial, com especial interesse no eletrojato equatorial (EEJ). A análise espectral do eco recebido do EEJ nos permite identificar os dois tipos de irregularidades de plasma dominantes, observadas por radar no volume do eletrojato. Pelo estudo dos espectros de potência obtidos pela análise espectral dos ecos recebidos pelo radar, é possível obter as características das irregularidades de plasma que geraram estes ecos. Para tanto, é importante determinar-se com precisão o centro da distribuição de frequências, a largura e a potência espectral. A partir dos centros de distribuição de frequências é possível deduzir os deslocamentos Doppler das irregularidades em relação ao radar, o qual é relacionado aos campos elétricos que controlam as instabilidades de plasma. Um meio bastante usual para determinar parâmetros espectrais é através do ajuste de duas curvas gaussianas utilizando-se do método de Mínimos Erros Quadráticos para estimação de parâmetros. Neste trabalho foram simulados ecos de radar coerente para gerar espectros de potência contendo as

características das irregularidades do EEJ. Estas simulações foram feitas baseadas em parâmetros conhecidos das irregularidades de plasma como velocidade de grupo e largura espectral. Foram considerados diferentes níveis para a razão sinal/ruído (SNR). Em seguida, o método de estimação de parâmetros pelo método de Mínimos Erros Quadráticos foi aplicado a cada espectro de potência, para que fosse ajustado o somatório de duas curvas gaussianas, representando as distribuições de potências que se observa nos espectros, devido à presença dos dois tipos de irregularidades de plasma no EEJ. A partir disso, foi determinada o tempo de convergência do método para que as curvas fossem bem ajustadas aos espectros. Além disso, comparamos as respostas entre os três diferentes valores de SNR. Neste trabalho são apresentados os resultados de estudos da estimação de parâmetros utilizando o método de Mínimos Erros Quadráticos para o ajuste de curvas gaussianas a espectros de potência simulados de retro-espalhamento das irregularidades do EEJ. A análise do tempo de convergência do método para três diferentes valores de SNR é discutida.

ANALYSIS OF METEORS PRECIPITATION USING IONOSPHERIC BACK-SCATTER RADAR

H. C. Aveiro^(1,2), L. P. Moor^(1,2), C. M. Denardini⁽³⁾, M. A. Abdu⁽³⁾, N. J. Schuch⁽¹⁾

(1) Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, ZIP 97.105-900 - Sta. Maria, RS, Brazil

(2) Universidade Federal de Santa Maria, ZIP 97.105-900 - Sta. Maria, RS, Brazil

(3) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, PO 515 - S. J. Campos, SP, Brazil

Corresponding author: aveiro@lancesm.ufsm.br

Abstract

A 50 MHz coherent back-scatter radar, also known by the anachronism RESCO, has been operated since 1998 at São Luís Space Observatory (2.33° S, 44.2° W, DIP: -0.5) near the dip equator. The main purpose of RESCO is to study the equatorial electrojet dynamics through spectral analyses of the received echoes that allow us to identify the dominant type of plasma instabilities and its drift speed in the electrojet. Using the RESCO radar we are also able to collect data from reflection of the transmitted signal caused by meteor trail, generally observed at about 100 km of altitude. The energy received in the reflection process is higher than that expected by the back-scatter in the equatorial electrojet irregularities. So, even during the presence of plasma irregularities it is possible to observe echoes from meteor trail. To characterize the presence of meteor reflection over the equatorial electrojet plasma irregularities data, it was developed a methodology of detection of “meteor” echoes due to reflection in meteor trail. In this paper, we analyze the presence of meteors deduced from the presence of their echoes in the equatorial electrojet heights and discuss the methodology of meteors detection in the 50 MHz coherent back-scatter radar data.

