



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**ESTUDO COMPARATIVO SOBRE AS PRESENÇAS DE
CAMADAS IONOSFÉRICAS ESPORÁDICAS EM PERÍODOS
CALMOS E PERTURBADOS NAS ESTAÇÕES DE SÃO LUÍS (MA)
E CACHOEIRA PAULISTA (SP)**

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

Concedido pelo CNPq em 04/08/2005.

PROCESSO: 105374/2005-2

**Laysa Cristina Araújo Resende - (INPE, Bolsista PIBIC/INPE –
CNPq/MCT)
E-mail: laysa@dae.inpe.br**

**Dr. Clezio Marcos De Nardin - (Orientador, DAE/CEA/INPE – MCT)
E-mail: denardin@dae.inpe.br**

**São José dos Campos
Julho de 2007**





Dados de Identificação

Bolsista:

Laysa Cristina Araújo Resende

Curso: Licenciatura em Física

ETEP - Faculdades

Orientador:

Dr. Clezio Marcos De Nardin

Divisão de Aeronomia - DAE/CEA/INPE – MCT

Instituto nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT

São José dos Campos - SP

Colaboradores:

Maria Goreti S. Aquino – DAE/CEA/INPE - MCT

Local de Trabalho/Execução do Projeto:

O projeto foi desenvolvido na Divisão de Aeronomia (DAE) da Área de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), sob a orientação do Dr. Clezio Marcos De Nardin, Pesquisador da Divisão.



*Feliz aquele que transfere o que sabe e aprende
o que ensina. (Cora Coralina)*



*Aos meus pais,
Arlindo Resende e
Lucinete Araújo Resende (in memoriam),
e ao meu orientador
Dr. Clezio Marcos De Nardin.*



Agradecimentos

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE pela oportunidade de estudos e utilização de suas instalações.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo auxílio financeiro.

A Deus, pela vida.

Ao meu orientador Dr. Clezio Marcos De Nardin, por todo o apoio, dedicação e compreensão a fim de realizar um bom trabalho.

A minha família, pelo carinho e presença de todos os dias.

Aos meus amigos de trabalho, Goreti, Pedro Daniel, Paulo Alexandre, Roberta, Everaldo, e a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

Em especial, ao meu pai Arlindo Resende, e aos meus irmãos, Arlen Araújo Resende e Matheus Alex Araújo Resende, pelo amor, pelo esforço, pela atenção e por, principalmente acreditar que é possível concretizar um sonho.

Índice

INTRODUÇÃO	9
1 – REVISÃO TEÓRICA.....	11
1.1-A Propagação de Ondas de Rádio na Ionosfera	11
1.1.1 - Aspectos Históricos sobre Sondadores ao Redor do Mundo	11
1.1.2 – Técnicas Experimentais	12
1.1.3- A Ionossonda em Geral	13
1.1.4 – Medidas de Absorção	16
1.1.4.1 – O método de reflexão de Pulso	16
1.1.4.2– Gravações de Intensidade de Campo Elétrico em Ondas Contínuas	17
1.1.4.3 – O Método Riômetro	17
1.2 – A Ionosfera Calma vista pela Digissonda.....	19
1.2.1 – Ionogramas e suas Interpretações	19
1.3- O Radar de Espalhamento COerente (RESCO)em 50 MHz.....	25
1.3.1 – Características Operacionais do Radar RESCO	25
1.3.2 – O Sistema do Radar RESCO	26
2 – ATIVIDADES DE PROCESSAMENTO DE DADOS	29
2.1-Classificação dos Dias Seleccionados.....	29
2.1.1-Seleção dos Dados Reduzidos pela Bolsista	30
2.1.2-Resultados do Processamento dos Dados Reduzidos	30
2.2 – Processamento dos Dados do Radar RESCO.....	33
3-ANÁLISE DOS DADOS REDUZIDOS E PUBLICAÇÕES	35
3.1-Resultados das Análises dos Dados de São Luís e Cachoeira Paulista	35
3.2 -Discussão dos Resultados.....	36
3.3 – Resultados Científicos	38
3.3.1 – Participação em Congressos/ Submissão de Resumos	38
3.3.2 – Cursos realizados.	39
4-CONCLUSÕES	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

Índice de Figuras

Figura 1.1 – Mapa Mundial das Estações Instaladas durante o Ano Internacional de Geofísica (IGY).	12
Figura 1.2 - Diagrama em blocos de uma ionossonda típica.	14
Figura 1.3a - Mostrador do tipo <i>Scan A</i>	15
Figura 1.3b - Mostrador do tipo <i>Scan B</i>	15
Figura 1.3c - Mostrador do tipo Panorâmico	15
Figura 1.4 – Bloco do diagrama do riômetro.....	18
Figura 1.5 Ionograma de um dia quieto em médias latitudes.	20
Figura 1.6. Ionograma de um dia quieto de verão em médias latitudes.	20
Figura 1.7. Ionograma de altas latitudes, Lago Baker, 22 de abril de 1949, 1530 90° WMT.....	21
Figura 1.8. Ionograma de baixa frequência.	21
Figura 1.9 - Amostra F plot de Adak, no verão e inverno do Alaska.	23
Figura 1.10. Ecos de Esporádica E.	24
(a) Equatorial – Huancayo, 1457 LST, 20 de maio de 1961.	24
(b) Médias latitudes – White Sands, 1604 LST, 8 de maio de 1961.	24
(c) Altas latitudes noturno – Pólo Sul, 2055 UT, 1° de agosto de 1960.	24
Figura 1.11. Fração de tempo em que $fEs > 5$ MHz.	25
Figura 1.12– Fotografia do Observatório Espacial de São Luís do Maranhão do INPE/MCT, onde se localiza o conjunto de antenas do Radar de Espalhamento Coerente - RESCO.....	26
Figura 1.13– Sinal de onda senoidal sendo modulado por uma onda quadrada pulsada. 27	
Figura 1.14– Esquematização do Sistema de Recepção do radar RESCO.....	27
Figura 3.1- Variação da frequência crítica média em relação ao tempo para os períodos calmo e perturbado, nas estações do ano analisadas, obtidos a partir de dados de digissonda no sítio de São Luís- MA.....	35
Figura 3.2- Variação da altura média do pico da camada F em relação ao tempo para os períodos calmo e perturbado, nas estações do ano analisadas, obtidos a partir de dados de digissonda no sítio de Cachoeira Paulista-SP.....	36

INTRODUÇÃO

No período de bolsa, a aluna realizou as atividades previstas em seu plano de trabalho de acordo com as suas capacidades específicas e com o tempo disponível para o desenvolvimento do projeto.

Neste trabalho é apresentada uma descrição das atividades desenvolvidas no período de agosto de 2006 a julho de 2007. A finalidade deste trabalho é qualificar e desenvolver um estudo estatístico sobre o ambiente ionosférico Brasileiro, o qual pode ser de grande utilidade no desenvolvimento de ferramentas para o estudo da ionosfera. Para tanto, atividades de redução de dados, estudos e análise (incluindo comparações) são necessárias. Neste caso, entre outras atividades, foi desenvolvido um estudo comparativo dos perfis ionosféricos obtidos nas estações de São Luís - MA (2°31' S, 44°16' O) e Cachoeira Paulista-SP (22° 39' S, 45° 00' O). Foram analisados dados do sondador digital, equipamento capaz de obter os perfis, donde são extraídos os parâmetros ionosféricos. Efetuou-se um estudo estatístico dos parâmetros da região E da ionosfera em épocas de ocorrência de tempestades magnéticas. Nesse contexto, as análises encontradas serão submetidas à apresentação do Seminário de Iniciação Científica do INPE (SICINPE 2007).

No capítulo 1 deste relatório serão apresentados trabalhos de revisão teórica que consistem na leitura de bibliografias especializadas sobre os equipamentos utilizados no desenvolvimento dos trabalhos. Estes trabalhos tiveram como objetivo o aperfeiçoamento e conhecimento da bolsista sobre os radares sondadores ionosféricos em HF e VHF (Davies, 1965; Janardhanan, 1983). No capítulo 2 apresentaremos um resumo das atividades de processamento de dados. Ainda neste capítulo, estão listadas as publicações destes trabalhos. Além disso, são relatados as atividades decorrentes ao treinamento básico dos métodos de análise dos dados de radar coerente com os softwares específicos para interpretação a fim de principiar um conhecimento sobre os parâmetros e modos de operação do Radar Coerente RESCO. No capítulo 3 apresentaremos alguns estudos realizados a partir dos dados analisados. Ainda neste capítulo, estão listadas as publicações destes trabalhos. E por fim, concluímos este relatório no capítulo 4.



1 – REVISÃO TEÓRICA

Entre os objetivos do projeto, foram incluídos trabalhos teóricos visando o aprimoramento dos conhecimentos da bolsista sobre a instrumentação utilizada e sobre conceitos correlacionados com o seu tema de projeto. Estes trabalhos consistiram no estudo e preparo de monografias sobre aspectos de instrumentação: sondagens ao longo do mundo, técnicas experimentais de sondagens, medidas de altura, medidas de absorção, medidas de fase, medidas de ângulo de chegada do sinal, medidas de radares coerentes em VHF, medidas de sondadores digitais em HF, medidas de satélites e medidas de foguetes. Eles também envolveram temas científicos relacionados ao projeto, tais como, o estudo da ionosfera calma a partir da interpretação de ionogramas. Para esta fase foi utilizada bibliografia específica (Davies, 1965, Janardhanan, 1983). Neste capítulo serão mostrados os aspectos mais importantes relacionados às monografias preparadas pela bolsista, destinadas à revisão teórica.

1.1-A Propagação de Ondas de Rádio na Ionosfera

1.1.1 - Aspectos Históricos sobre Sondadores ao Redor do Mundo

Depois da Segunda Guerra Mundial, as estações de sondadores ionosféricos existentes, eram instalados em poucos lugares, como por exemplo, em Slough, Inglaterra, Whashington, D.C., Estados Unidos, Huancayo, Peru, Watheroo, Austrália, e Slutsk, URSS. A necessidade de se ter uma melhor comunicação conduziu muitas instalações de ionossondas analógicas durante as décadas de 40 a 50. No Ano Internacional de Geofísica (IGY) em 1957 foram também instaladas muitas estações, um total de 150. As instalações das estações durante a IGY são mostradas na figura 1.1.

Mas o que ocasionou a pesquisa ionosférica veio certamente de organizações Internacionais como a International Union of Radio Science (URSI) e o Consultative Committee on Ionospheric Radio (CCIR). Estas organizações encorajam investigadores a estudar a variação da distribuição eletrônica espacial e temporal na ionosfera, a medida da absorção da ionosférica de ondas de rádio, movimentos ionosféricos, ruídos e os espalhamentos de ondas de rádio de irregularidades ionosféricas.

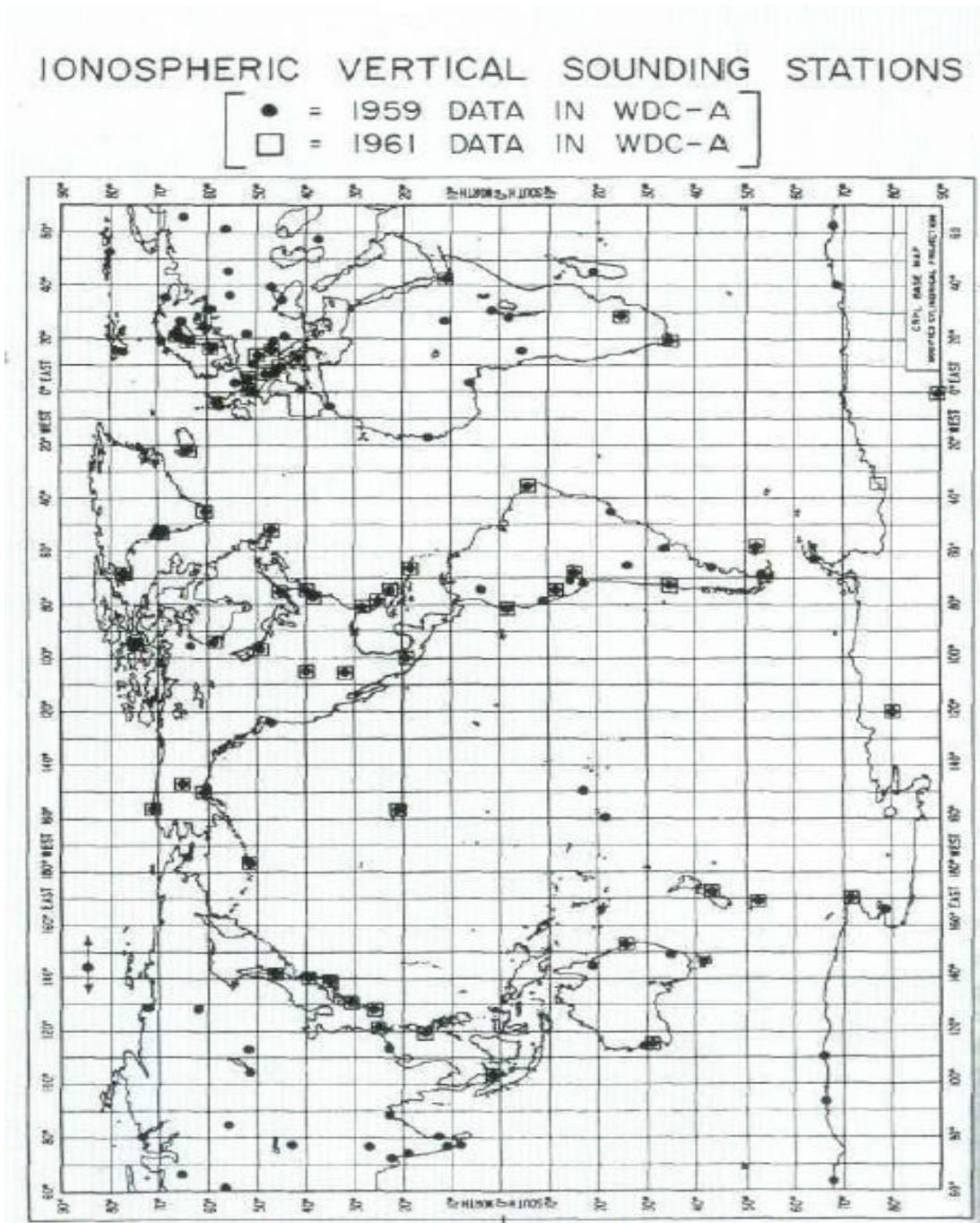


Figura 1.1 – Mapa Mundial das Estações Instaladas durante o Ano Internacional de Geofísica (IGY).

FONTE: Davies (1965, p. 102).

1.1.2 – Técnicas Experimentais

Neste tópico mostraremos as técnicas utilizadas para a investigação da ionosfera através dos estudos de reflexão das ondas de rádio. Por exemplo, nós podemos usar pulsos eletromagnéticos (PW) ou técnicas de ondas contínuas (CW). Ainda podemos escolher entre ondas com frequência fixada ou uma varredura em uma faixa específica de frequência, entre outros. Nas seções que se seguem, nós apresentaremos estudos usando a técnica da ionosonda. Em seguida, apresentaremos alguns detalhes sobre aspectos específicos da instrumentação, tais como as técnicas de absorção de emitidas, variações de fases dos sinais, entre outros.

1.1.3- A Ionossonda em Geral

A Ionossonda é essencialmente um radar pulsado com alta frequência que varia entre uma escala de 1 MHz até 30 MHz. Naturalmente a varredura completa pode ter que ser coberta por uma série de faixas de frequência. A descrição detalhada da ionossonda é dada por Wright et al. (1957). Ela usa medida direta do tempo t que um pulso de onda de rádio que propaga até a ionosfera e volta em função da frequência. Assim, as medidas do grupo de altura h' da ionosfera são dadas por:

$$h' = \frac{1}{2}ct = 0.15t \quad (1)$$

onde c é a velocidade da luz no vácuo ($\sim 3 \times 10^5$ km/s) e t é dado em μ s. Este grupo de altura também é dado pela altura equivalente e altura virtual.

Nas versões mais antigas, a ionossonda analógica, o transmissor e receptor eram mantidos em sintonia por processos eletrônicos apropriados. O sinal era transmitido por um sistema com uma antena log-periódica. Este sinal era refletido na ionosfera e captado por 4 ou mais antenas, do tipo loop-cruzado, por exemplo. Os sinais recebidos eram mostrados em gráficos de frequência versus altura através de um osciloscópio. Os sinais são enviados na forma de pulsos estreitos e eles interrompem o traço de varredura cada $1/3$, $2/3$, e $6 \ 2/3$ ms que corresponde ao grupo de altura de 50, 100 e 1000 km, respectivamente. Além disso, a frequência do transmissor é variada, portanto o traço inteiro do sinal pode ficar interrompido por curtos intervalos das passagens de frequência a cada 0,1 MHz. Assim as grades de linhas de referência são produzidas com grupos de altura virtuais que podem ser determinadas em qualquer frequência.

A estrutura da Ionossonda NBS C-4, cujo diagrama de blocos mostrado na figura 1.2, consiste na transmissão de pulsos (de potência de pico em torno de 10 kW) e um receptor em banda larga. O transmissor de pulso é composto de um oscilador de ondas contínuas (CW) que varrem na frequência de 31 a 55 MHz; um oscilador pulsado na frequência de 30MHz; um misturador balanceado que produz a diferença de frequência entre as frequências-variáveis e as frequências fixas; e um amplificador de potência de banda larga do tipo vídeo-acoplado. Nota que a diferença da frequência é de um fator de 30 a 1, enquanto o oscilador de varredura varia de 2 a 1. O receptor usa o mesmo oscilador que o transmissor em outro misturador balanceado que converte a frequência do eco recebido para 30MHz. As antenas, geralmente deltas verticais ou rômnicos verticais, apesar de possuírem impedância resistiva e razoavelmente constante, não são muito eficientes para varreduras de baixas frequências.

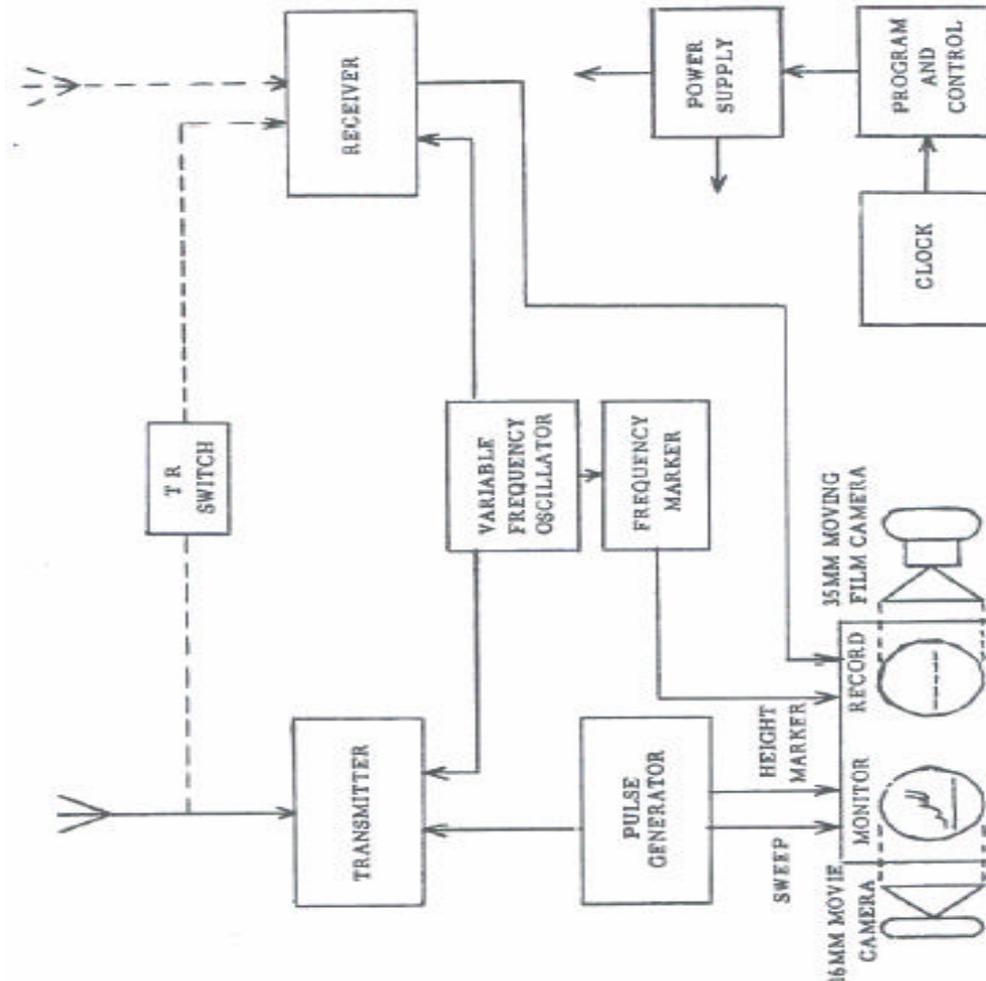


Figura 1.2 - Diagrama em blocos de uma ionossonda típica.
 FONTE: Davies (1965, p. 105).

Um gerador de pulso fornece pulsos para controlar os tempos do transmissor e do mostrador. Ele emprega um cristal estável em 1 MHz junto com o circuito divisor de frequência para obter frequências de 3 kHz das quais, de forma apropriada varrem a marca de 50 km. Novas divisões de 1500 Hz e 300 Hz produzem as marcas de 100 km e 500 km, respectivamente. As marcas de frequências de calibração são obtidas da recepção sintonizada com os harmônicos de 1 MHz do oscilador.

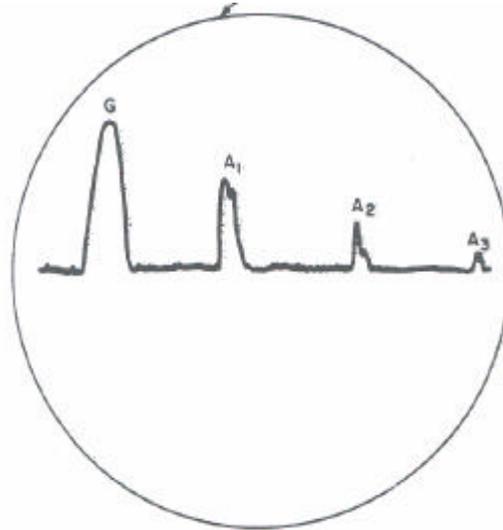
Vários tipos de mostradores são usados:

- *Scan A*: (Está ilustrada na figura 1.3a.): A base do tempo do osciloscópio de raio catódico é sincronizada com a frequência de repetição de pulsos do transmissor para que seja obtido o padrão do pulso estacionário. A base do tempo é aplicada na placa horizontal do osciloscópio, e a saída do receptor é aplicada na placa vertical, junto com os sinais da marca de altura. Para as gravações fotográficas os filmes são colocados na frente do tubo. O movimento do filme depois de passado pela fenda acrescenta a base de frequência. Com o aumento da frequência, o tempo de atraso também aumenta e as rupturas dos ecos na base do tempo mudam de direção, movendo-se para a direita. As câmaras que controlam a frequência do transmissor e do receptor são dadas em formas escalas apropriadas desejadas no filme (por exemplo, linear ou logarítmica).

Relatório Final de Atividades

- *Scan B*: Este é similar com o *Scan A*, exceto pelo fato de que a saída do receptor e os sinais de altura são aplicados no osciloscópio como pulsos “nulos” e as placas verticais são aterradas. A saída esta representada na figura 1.3b.

- *Mostrador panorâmico* : O *Scan B* é usado com a base do tempo aplicada na placa vertical e com uma tensão, que é em função da frequência do transmissor, aplicada na placa horizontal. O parâmetro $h'F$ é fotografado num único quadro de filme de 16 mm ilustrado na figura 1.3c.



G = pulso direto; A₁, A₂, A₃ = Sinais refletidos uma, duas e três vezes

Figura 1.3a - Mostrador do tipo *Scan A*

FONTE: Davies (1965, p.106).



Figura 1.3b - Mostrador do tipo *Scan B*

FONTE: Davies (1965, p.106).

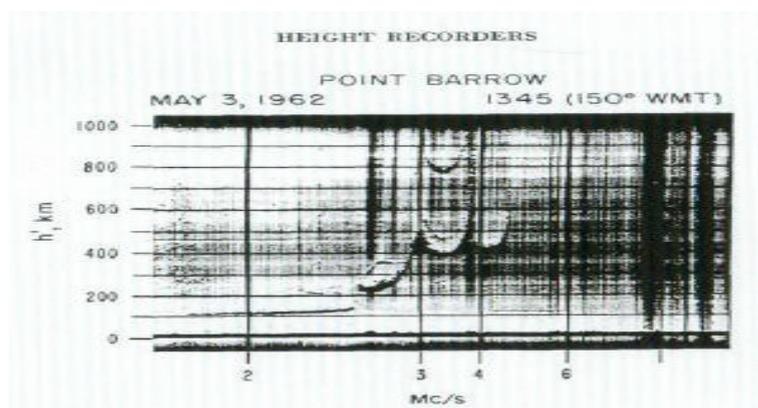


Figura 1.3c - Mostrador do tipo Panorâmico

FONTE: Davies (1965, p.107).

Nas ionossondas digitais, como por exemplo as digissondas, o funcionamento é basicamente semelhante. O sistema da digissonda é constituído por uma antena transmissora, antenas receptoras, um computador para controle da transmissão-recepção e outro para transmissão e armazenamento dos dados. As sondagens de densidade eletrônica são feitas, em geral, em intervalos de 15 minutos. As ondas refletidas em

diferentes alturas, de acordo com a densidade eletrônica, são captadas pelas antenas receptoras. Elas sofrem um pré-processamento digital e são arquivadas diretamente no formato de ionogramas em arquivos binários. Os dados obtidos permitem a inferência de perfis de densidade eletrônica da ionosfera e o software de redução é o *SAO Explorer*.

Os sondadores ionosféricos são equipamentos versáteis e são usados para a observação da ionosfera. Eles são programados, automaticamente, em varreduras que se passa em intervalos (por exemplo, a cada 15 min). A duração da varredura depende do projeto mecânico da ionossonda. Se a varredura é muito rápida, o receptor fica fora de sintonia com o eco que é refletido pela ionosfera. Este processo é o que acontece com os pulsos de duração que duram um pouco mais de 15 segundos. Por outro lado, a varredura pode ser também longa, pois a ionosfera pode apreciavelmente ter mudado entre o começo e o final de uma varredura. E, além disso, a ionossonda pode produzir interferências excessivas em outros sistemas de rádio.

1.1.4 – Medidas de Absorção

Existem diversos métodos para a recepção dos sinais refletidos na ionosfera. Entre eles, as medidas de absorção, utilizados mais freqüentemente para pesquisas da região D ionosférica. A ionossonda dá poucas informações sobre a região D porque as reflexões nesta região tendem a ser do tipo parcial como a refração, entre outros fatores. Também, as freqüências dessa camada são fortemente absorvidas na ionosfera porque a taxa de colisão é alta. As medidas da absorção são usadas nesta região para se ter informações, por exemplo, sobre o conteúdo eletrônico total (CET).

1.1.4.1 – O método de reflexão de Pulso

Este método é usado extensivamente envolvendo as medidas de amplitudes de sucessivos ecos com display *scan A*. As amplitudes são geralmente visualizadas externamente.

É conveniente expressar a razão da amplitude em termos de reflexão aparente r . Este parâmetro é a razão da amplitude I da onda que é dado por apenas uma reflexão na ionosfera com a amplitude – com o qual o sinal tenha sido recebido na ausência de atenuações.

$$I = I'_o \exp - \int (kds) = \int kds = \ln p \quad (2)$$

$$I = I'_o \exp - \int (kds) \quad (3)$$

$$\frac{I}{I'_o} = \exp - \int k.ds \quad (4)$$

$$\ln \frac{I}{I'_o} = \ln(\exp - \int k.ds) \quad (5)$$

$$\int kds = - \ln p \quad (6)$$

Na prática, a absorção (L) é medida em termos de perda em decibel (dB), onde:

$$L = -20 \log p = -8,7 \ln p \quad (7)$$

Na absorção de perda a amplitude I da onda de reflexão do grupo de altura $h'F$ é dado por:

$$Ih' = I_0 h_0 \quad (8)$$

onde I_0 é a amplitude recebida da reflexão ocorrido do padrão de altura h_0 . Na absorção está presente a primeira amplitude I_1 , a segunda I_2 , e outras reflexões I_r que são dadas:

$$I_1 h' = r I_0 h_0 = rG \quad (9)$$

$$2I_2 h' = p p g I_1 h' = p^2 r g G \quad (10)$$

$$r I_r h' = r^r p g^{r-1} G \quad (11)$$

onde pg é o coeficiente de reflexão aparente da terra e $G = (I_0 h_0)$ é considerada a constante de calibração.

O fator de calibração, G pode ser encontrado medindo os múltiplos sinais refletidos quando a absorção é baixa (noite) e pode, então ser usado para medir p quando a absorção é alta, por exemplo, quando há apenas uma reflexão. Quando se sabe G e p pode ser encontrado no grupo de altura e amplitudes dos ecos refletidos.

O principal problema prático das medições de absorção usada nesta técnica é que a introdução dos sinais refletidos está continuamente desaparecendo. Esta questão também é complexa, pois estes sinais requerem estatísticas adequadas usando a média derivada da amplitude. Para as medidas verticais da banda de HF, períodos entre 15 a 50 min são comuns e se pode usar a proporção através destes períodos. Com certeza, o período das medições é excessivo, pois a absorção pode mudar durante este intervalo.

A principal desvantagem do sistema é que as medidas são monótonas para se fazer com os valores de L . Além disso, imprecisões podem ocorrer devidos ao ruído e à interferência, polarização, dispersões dos pulsos, reflexões parciais, e espalhamentos (Piggot, 1957).

1.1.4.2– Gravações de Intensidade de Campo Elétrico em Ondas Contínuas

Neste método é usada a emissão de ondas contínuas. Os sinais recebidos antena calibrada são registrados em um arquivo.

O método de gravação das medidas ionosféricas de absorção em ondas contínuas (CW), por ser contínua, tem uma vantagem em relação à gravação. Porém, têm a desvantagem permitir a separação em vários ecos. O campo total recebido em um dado instante é proporcional à diferença da intensidade do eco para as ondas ordinárias e extraordinárias. De forma aproximada, podemos dizer que a intensidade média do campo elétrico recebido é proporcional à raiz quadrada dos quadrados das diferenças médias das componentes ordinárias e extraordinárias. Conhecido à intensidade do campo médio, isto é, a absorção, podemos determinar a intensidade da onda ordinária, usando a regra da raiz dos somatórios quadrados.

1.1.4.3 – O Método Riômetro

O riômetro (rio=relativo à opacidade) é um receptor que mede a intensidade dos ruídos aleatórios. O uso de ruídos cósmicos de ondas de rádio é usado para medir a absorção na ionosfera e é explicado por Piggot et al (1957). Este princípio consiste na potência do ruído de rádio incidente num ponto ao lado externo da atmosfera terrestre em uma direção do espaço é assumido ser constante com relação ao tempo. A potência do ruído recebido em relação à superfície da Terra deve, portanto, ser uma função do tempo sideral.

Os equipamentos mais simples capazes de medir ruídos cósmicos consistem em receptores conectados na antena como na ilustração do diagrama do bloco na figura 1.4. também há um diodo usado para calibração e para manter o nível de potência estabilizado.

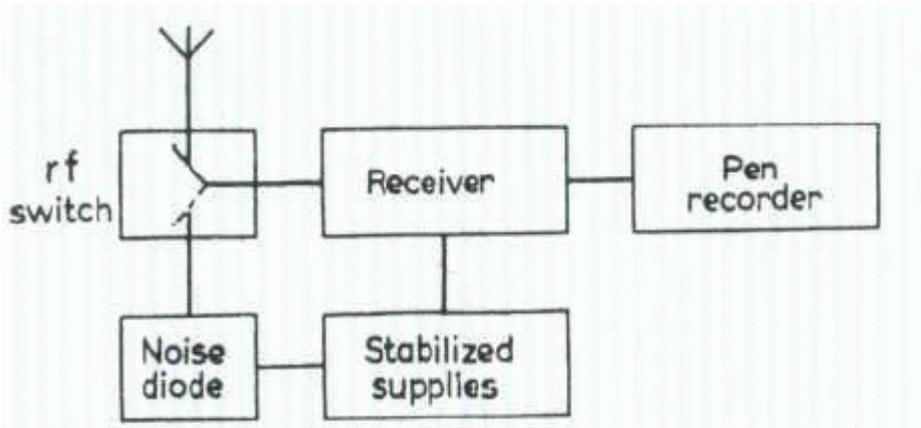


Figura 1.4 – Bloco do diagrama do riômetro
 FONTE: Davies (1965, p.106).

Para entender este método basta considerar uma antena orientada verticalmente, numa temperatura T : Neste caso, a largura de banda de frequências do sistema receptor é B , a potência disponível será:

$$P = kTB \tag{12}$$

onde K é a constante de Boltzman.

Se alguma absorção média (tais como absorção ionosférica) com um coeficiente de transmissão de potencia a e temperatura T é inserido sobre todo o feixe da antena, a potência recebida verticalmente pode ser reduzida para $akTB$. A absorção média pode, portanto, radiar ruídos em proporção à temperatura se comportando como um absorvente. A antena receberia um sinal adicional $P=k(1-a)TB$ da absorção média. Nos casos onde o sinal é transferido para o receptor via transmissão a cabo, o coeficiente de transmissão da potência E , a transmissão atuará como um atenuador e um gerador de ruído de onda de rádio P_c . O ruído alcançando o receptor será dado por

$$E [a k T_s B + k (1 - a) T_i B] + (1 - E) k T_c B \tag{13}$$

Onde T_c é a temperatura do sinal de transmissão linear. É assumido que a antena e o receptor são combinado para a transmissão linear e que a potência transferida da antena

para o receptor é completa. Diante disso a potência recebida será adicionada ao ruído gerado dentro do receptor, qual é dado por:

$$P_r = (F - 1)kTB \quad (14)$$

Assim o sistema receptor de ruído de radio cósmico, a potência de saída P_o do receptor pode ser escrita como :

$$P_o = G(P_s + P_i + P_c + P_r + I) \quad (15)$$

Onde: P = força do ruído no céu =

P_i = força ruído na ionosfera

T_{si}, T_i = temperatura efetiva do céu e da ionosfera

P_c = força do ruído no cabo

P_r = força do ruído no receptor

I = Interferência

G = ganho de recepção.

O problema introduzido por interferência pode ser particularmente removido gravando o sinal mínimo recebido enquanto o receptor de frequência é varrido sobre uma pequena variação de frequência. Deve-se lembrar que o riômetro usado somente para frequências acima das frequências de penetração. Uma frequência típica é aproximadamente 30MHz. A desvantagem de tais frequências altas é que a absorção ionosférica é baixa e é necessário, portanto, medir pequenas mudanças na absorção. Um riômetro pode usualmente medir baixas mudanças da absorção aproximadamente 0.1dB.

1.2 – A Ionosfera Calma Vista pela Digissonda

Esta seção visa descrever as observações das principais características ionosféricas. Estas características podem incluir a interpretação de ionogramas - curvas do $h'F$ e de variações geográficas e temporais da densidade eletrônica.

1.2.1 – Ionogramas e suas Interpretações

Um ionograma é a saída fotográfica de uma ionossonda. O mais simples ionograma (noturno) é do tipo mostrado na figura 1.5. Nesta figura pode ser visto que o grupo de altura h' aumenta com a frequência enquanto a penetração ocorre e que há dois traços distintos. O traço contendo a frequência de penetração f_oF_2 mais baixos é o traço da onda ordinária e os outros que contém penetração de frequência mais baixos f_xF_2 são da onda extraordinária. As frequências de penetração são referidas como frequências críticas. Um ionograma que caracteriza médias latitudes durante o dia de verão (figura 1.5) mostra reflexões na camada E, F_1 e F_2 do traço ordinário e extraordinário.

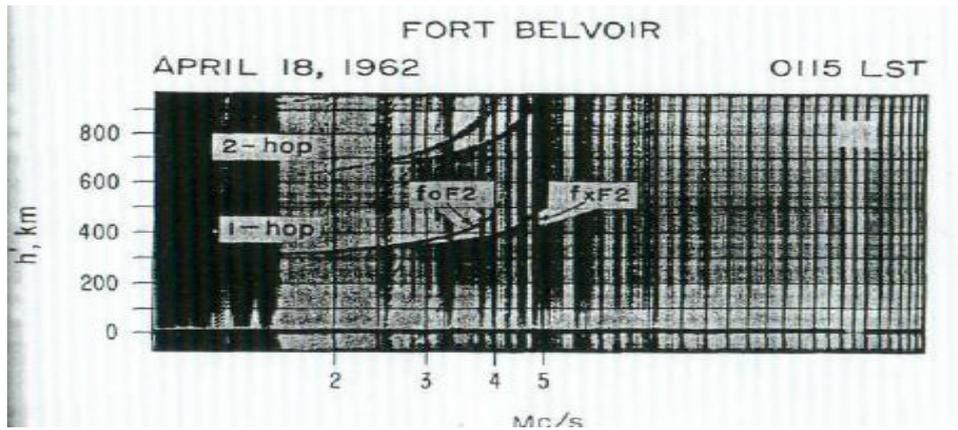


Figura 1.5 Ionograma de um dia quieto em médias latitudes.

FONTE: Davies (1965, p.117).

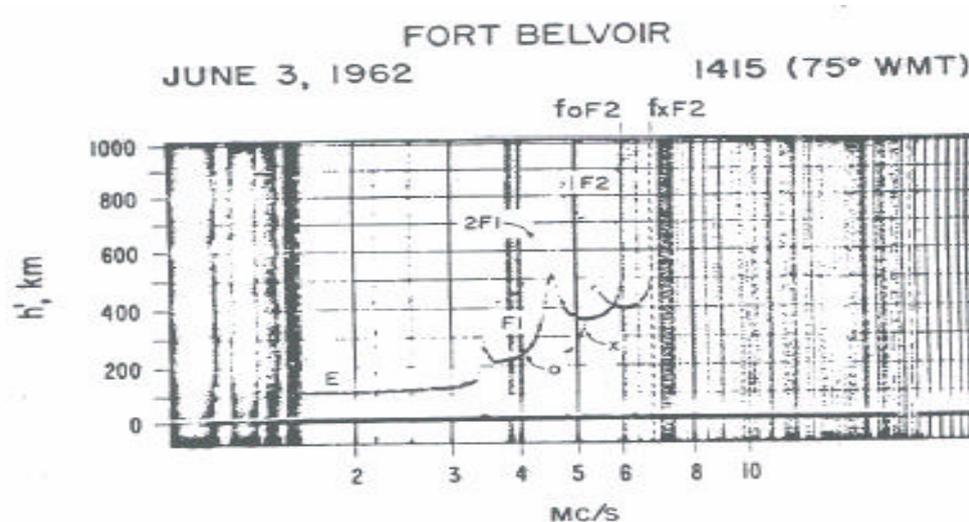


Figura 1.6. Ionograma de um dia quieto de verão em médias latitudes.

FONTE: Davies (1965, p.118).

Note que justamente sobre a frequência crítica da camada E e F, o grupo de altura diminui com o incremento da frequência. Isto ocorre porque o retardo na velocidade abaixo do nível de reflexão vai diminuindo com a frequência mais rapidamente do que o retardo perto da reflexão que é incrementado com a frequência. A altura mínima do traço ordinário é chamada de altura virtual mínima da respectiva camada. A figura 1.7 mostra um exemplo de um ionograma de alta latitude com um traço traço adicional z o qual pode ocorrer para altos valores de inclinação magnética. Note também que o traço perto do nível de 120 km é marcado Es. Este pode ser a reflexão em uma camada mais fina, sobre muitas alturas a camada E normal. Esta camada varia numa maneira imprevisível, portanto, é chamada de esporádica Es. Às vezes esta camada é suficientemente densa, com frequências críticas bem definidas (foEs e fbEs).

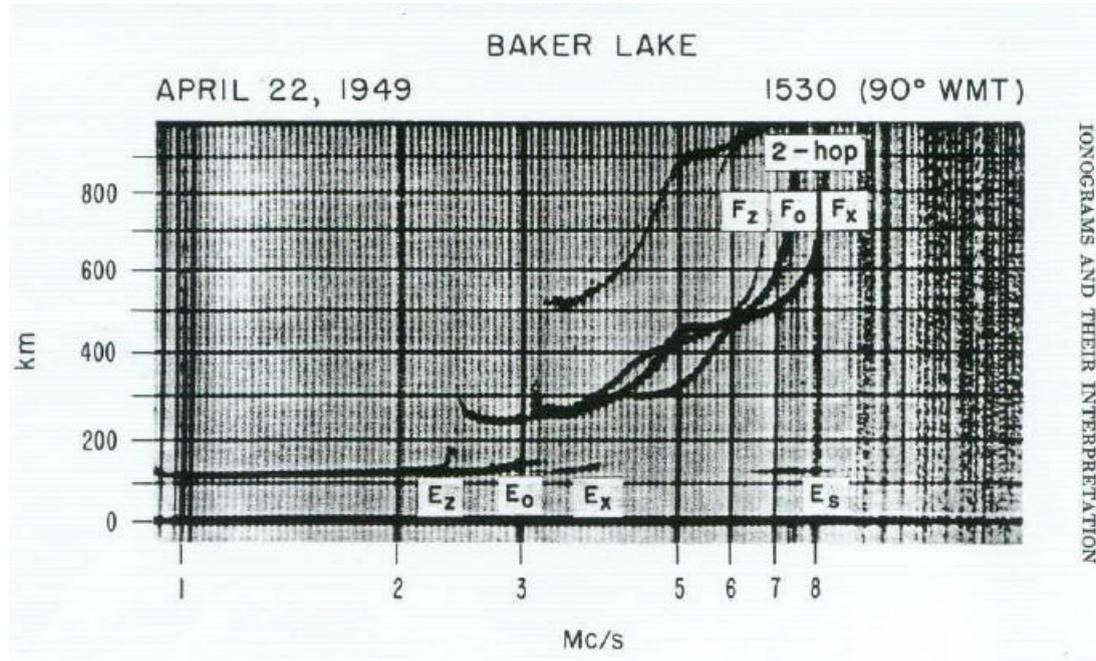


Figura 1.7. Ionograma de altas latitudes, Lago Baker, 22 de abril de 1949, 1530 90° WMT
 FONTE: Davies (1965, p.119).

Muitas ionossondas têm uma frequência de operação inferior em torno de 1 MHz a 1,5 MHz por razões práticas, tais como a grande absorção diurna, interferências de rádio difusão e limitações da antena.

Um exemplo de um ionograma de baixa frequência noturno é mostrado na figura 1.8 onde se observa a reflexão das alturas de aproximadamente 90 a 100, 120 a 150, e 220 a 230 km. As camadas, ou bordas, que produzem estas reflexões serão referentes a E, E, e F, respectivamente. Note que a região E_s parece estar remendada (transparente) e estar razoavelmente fina. A frequência crítica do traço z extraordinário é menor que do ordinário. Ionogramas variam em aparência dependendo da localização geográfica das estações. Uma grande quantidade de ionogramas está disponível para estudos no Atlas de ionogramas do IGY (Wright et al; 1957).

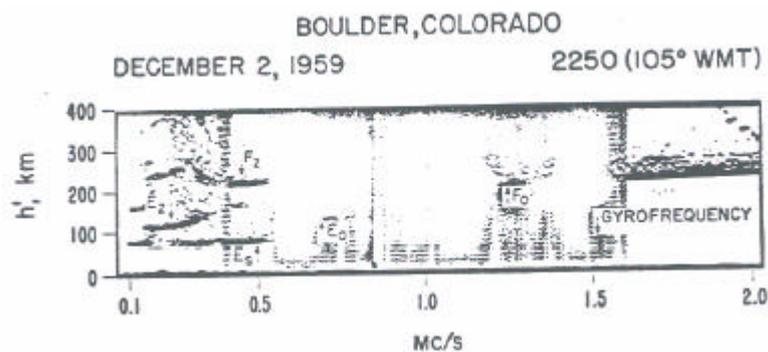


Figura 1.8. Ionograma de baixa frequência.
 FONTE: Davies (1965, p.122).

Dados ionosféricos estão disponíveis, em muitas formas diferentes, em um dos quatro Centros Mundiais de Dados (*World Data Centers*). Estas formas podem ser ionogramas originais ou valores horários tabelados dos vários parâmetros (frequências críticas e alturas virtuais mínimas) ou simplesmente valores médios mensais destes parâmetros

Relatório Final de Atividades

como publicado na série CRPL F, Parte A. Esta publicação contém tabelas e gráficos de médias mensais dos parâmetros ionosféricos de aproximadamente 80 estações. Outra forma de apresentação (originada por J. H. Meek) é a *f plot*. Um *f plot* é um gráfico diário das frequências características dos ionogramas em função do tempo, usando convenções ajustadas internacionalmente para comparação entre estações. Isto foi originalmente desenvolvido para reduzir a complicação dos ionogramas de altas latitudes que mudam rapidamente. Alguns exemplos de *f plots* são mostrados na figura 1.9.

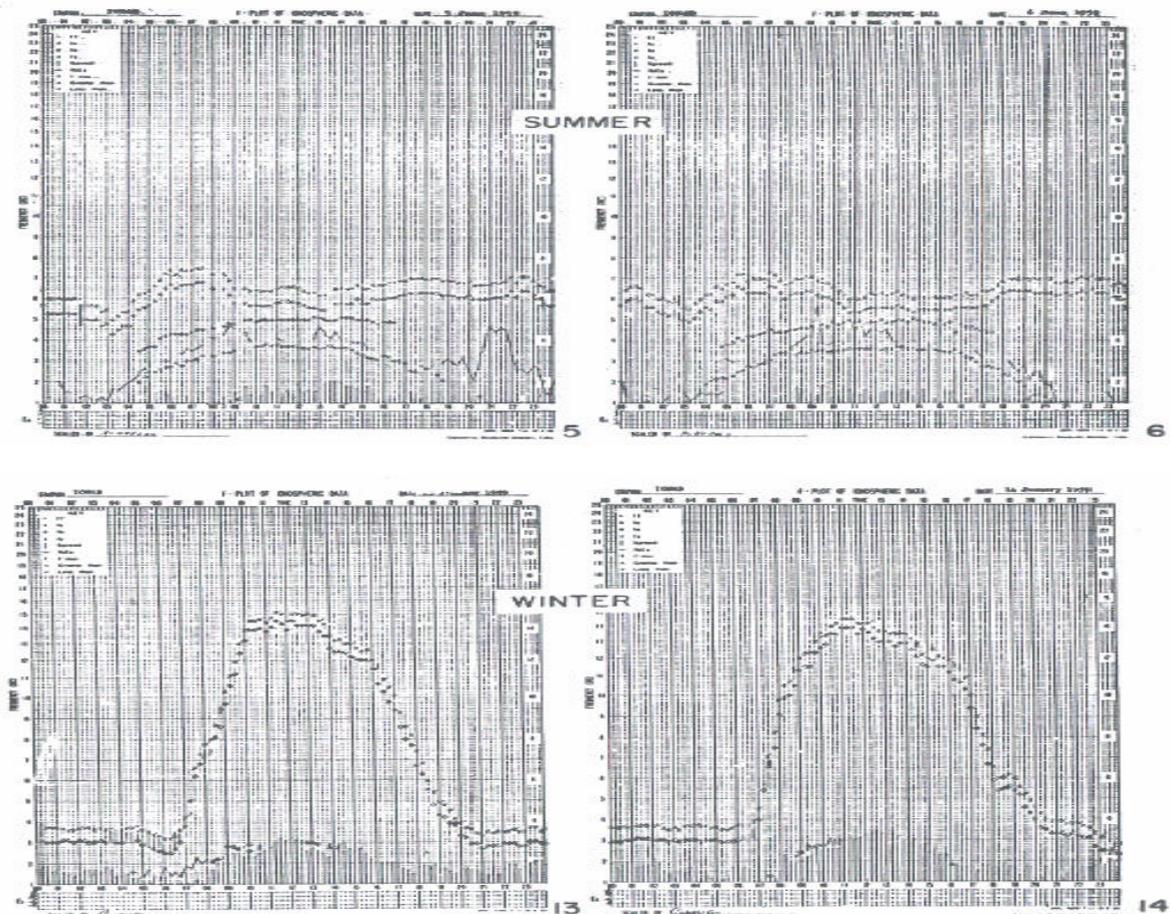


Figura 1.9 - Amostra F plot de Adak, no verão e inverno do Alaska.

FONTE: Davies (1965, p.123).

Em adição as camadas regulares da ionosfera há muitas de natureza irregular ou transitória. A mais importante delas é a camada esporádica E, frequentemente representada como Es. Alguns exemplos comuns de reflexões na Es em ionogramas são mostrados na figura 1.10. Pode ser visto que a frequência máxima retornada desta camada pode ser muito maior que a frequência da camada E normal. Algumas vezes o traço Es mostra retardo próximo à frequência máxima, indicando uma camada relativamente densa com um máximo de densidade eletrônica bem definido. Abaixo em outras condições o eco não exibe retardos, sugerindo que a camada é extremamente fina ou que há uma grande mudança no gradiente de densidade eletrônica. Em algumas ocasiões a camada Es é opaca e cobre as camadas superiores; em outras ocasiões as camadas superiores podem ser vistas através da Es, o que sugere que a Es é um caminho e que as ondas de rádio estão penetrando através de “aberturas”.

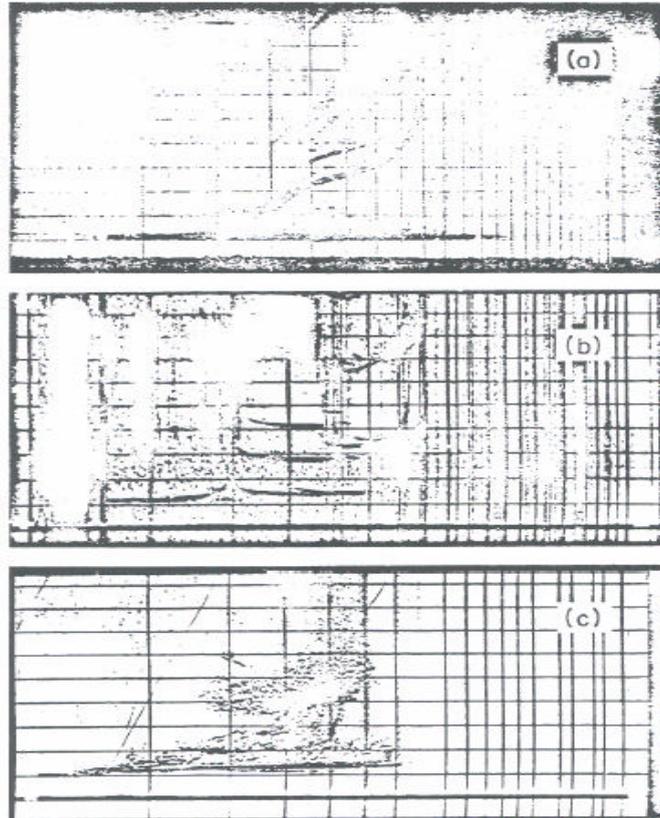


Figura 1.10. Ecos de Esporádica E.

(a) Equatorial – Huancayo, 1457 LST, 20 de maio de 1961.

(b) Médias latitudes – White Sands, 1604 LST, 8 de maio de 1961.

(c) Altas latitudes noturno – Pólo Sul, 2055 UT, 1º de agosto de 1960.

FONTE: Davies (1965, p.151).

Ecos da Esporádica E podem ocorrer em alturas de 90 a 120 km ou mais. Evidências têm sido estudadas com o objetivo de descobrir as alturas favoritas para a ocorrência do fenômeno (Seddon, 1962). Há algumas evidências que originam uma idéia de que um tipo de E_s é devido à ionização por meteoros. Também está quase absolutamente certo que diversos fenômenos físicos diferentes são incorporados sob o título geral de Esporádica E.

Devido a ela variar naturalmente, a E_s tem sido amplamente estudada por meios estatísticos (Smith, 1957), usualmente pelo cálculo da fração do tempo que a frequência máxima fE_s excede alguns valores de referência. Alguns resultados obtidos dessa forma são mostrados na figura 1.11. Próximo ao equador, a esporádica E é essencialmente um fenômeno diurno com pequenas variações sazonais. Por outro lado, nas zonas aurorais, a E_s é predominantemente um fenômeno noturno, mas novamente há pequena variação sazonal.

Em médias latitudes fE_s é menor que em qualquer outro lugar e a ocorrência é sujeita a variações diurnas e sazonais. Em geral, a E_s é mais freqüente no verão do que no inverno e no horário diurno do que no noturno. Dados de ocorrência de E_s são publicados mensalmente nas Séries CRPL F, Parte A.

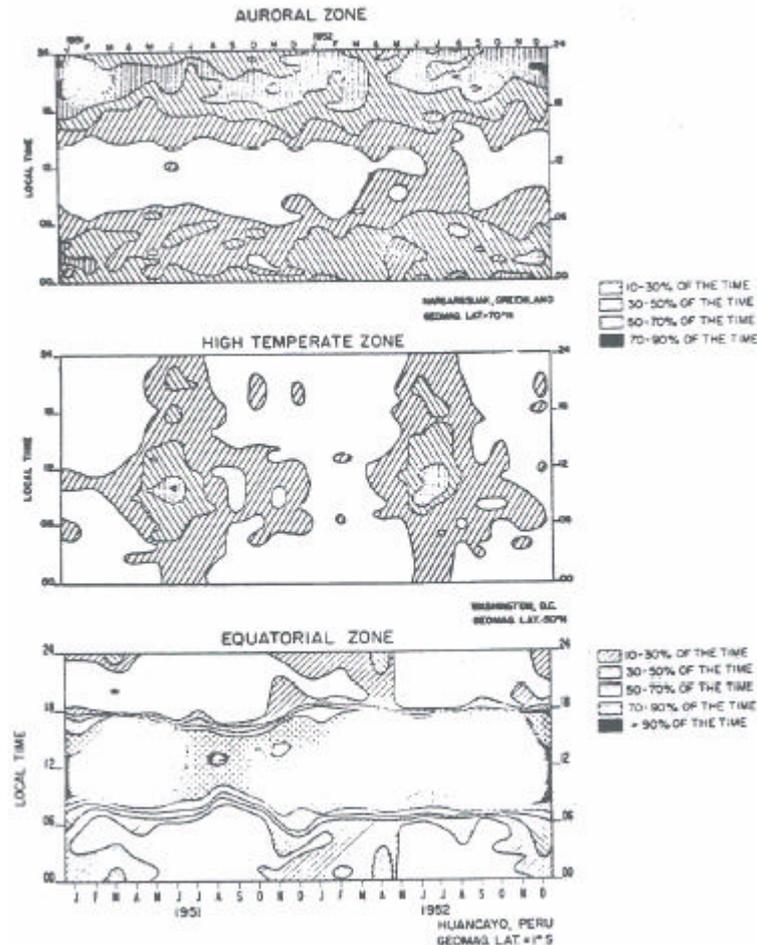


Figura 1.11. Fração de tempo em que $fEs > 5$ MHz.

FONTE: Davies (1965, p.152).

1.3- O Radar de Espalhamento COerente (RESCO) em 50 MHz

O Radar de Espalhamento Coerente (RESCO) foi construído com o objetivo de estudar as irregularidades existentes nas camadas E e F da ionosfera, pela Divisão de Aeronomia da Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas, CEA-INPE/MCT. Instalado no Observatório Espacial de São Luís, OESLZ/INPE - MCT, no Maranhão, com coordenadas geográficas 2,33° S; 44,20° O e 0,5° S de ângulo dip.

1.3.1 – Características Operacionais do Radar RESCO

As características operacionais do Radar RESCO foram determinadas pelos objetivos de estudos a que ele se propunha. A frequência de operação escolhida para o radar foi de 50 MHz, pois frequências abaixo de 30 MHz e acima de 54 MHz são utilizadas para radiodifusão e TV. O sistema pulsado foi escolhido para o Radar RESCO porque a Frequência de Repetição de Pulsos (Pulse Repetition Frequency - PRF) deve ser maior do que duas vezes o máximo deslocamento pretendido, mas as alturas e velocidades nas regiões estudadas são diferentes, por isso foi determinado um PRF que varia de 100 a 1000 Hz. Já a largura de pulso e a potência do transmissor foram escolhidas a partir das solicitações de cada uma dessas regiões. A Região E da Ionosfera estende-se de 90 a 120 km, enquanto que a Região F localiza-se entre 120 a 400 km. Desta forma, a largura

do pulso varia de 5 a 100 μ s e a potência totaliza 120 kW, dividida entre oito transmissores.

1.3.2 – O Sistema do Radar RESCO

O Sistema do Radar RESCO possui um arranjo de antenas que é composto por 768 dipolos de cabo coaxial, dispostos no arranjo de 32 x 24, ver Figura 1.12. As 32 antenas estão agrupadas, quatro a quatro, para sua alimentação pelos 8 transmissores. Cada antena consiste de 24 dipolos ligados em série, dois a dois, alinhados no sentido norte-sul, resultando num ganho de 32.5 dB.



Figura 1.12– Fotografia do Observatório Espacial de São Luís do Maranhão do INPE/MCT, onde se localiza o conjunto de antenas do Radar de Espalhamento Coerente - RESCO.

Fonte: Cortesia de Dr. Clezio Marcos De Nardin.

O Sistema Transmissor do Radar RESCO é composto por dois osciladores, um oscilador de 30 MHz e um oscilador de 80 MHz, dois aparelhos que modulam o pulso, um misturador, um amplificador de 80 MHz, um divisor de potência, oito deslocadores de fase, oito transmissores e oito módulos pré-amplificadores duplexadores.

Os dois osciladores são conectados aos moduladores de pulso que recebem os sinais e os modulam. Este tipo de misturador recebe os sinais pulsados em 80 MHz e 30 MHz e disponibiliza na sua saída à diferença e a soma de frequência entre eles. O sinal de soma é descartado e a diferença, um sinal de 50 MHz, é mandado ao modulador de onda quadrada. Com isso, o sinal resultante, o qual é um sinal de onda senoidal modulado por uma onda quadrada pulsada (veja figura 1.13), é passado para o pré-amplificador de baixa potência. No amplificador o sinal é amplificado e sua saída é conectada ao divisor de potência, onde o sinal é dividido igualmente em oito partes. Este sinal chega aos oito transmissores, onde são conectados individualmente a um módulo pré-amplificador duplexador, que habilita o uso da antena para transmissão e recepção.

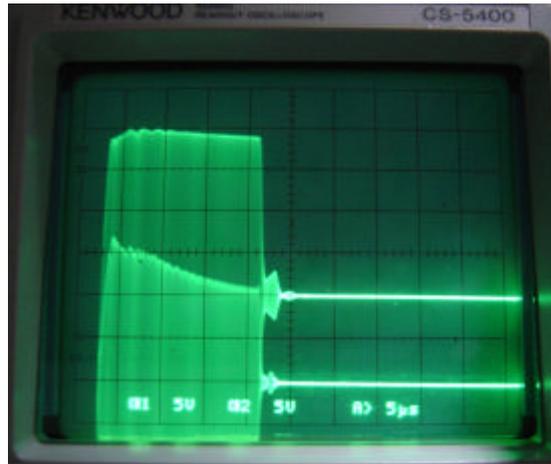


Figura 1.13– Sinal de onda senoidal sendo modulado por uma onda quadrada pulsada.
 Fonte: Cortesia de Dr. Clezio Marcos De Nardin.

O Sistema de Recepção do Radar RESCO é composto de oito pré-amplificadores, oito deslocadores de fase, um circuito combinador e um circuito para sua devida recepção. O sinal, após sua chegada as antenas, é encaminhado através do pré-amplificador duplexador aos deslocadores de fase, que funcionam identicamente aos utilizados no sistema transmissor. Após, o circuito combinador soma os oito sinais e os envia ao circuito receptor. Este circuito amplifica o sinal, converte-o para 30 MHz e o divide em duas partes idênticas. Uma destas partes passa por um detector de fase junto à saída do oscilador de 30 MHz. A outra parte do sinal passa por um segundo detector junto com a saída do oscilador de 30 MHz defasado eletricamente de 90° . Suas saídas chegam a um filtro onde é removida a frequência de 30 MHz, restando somente o efeito da interferência que o sinal sofreu ao interagir com o seu alvo na ionosfera. Estas saídas do receptor são chamadas de sinal em fase e sinal em quadratura. A figura 1.14., apresenta uma ilustração simplificada da matemática envolvida no processo.

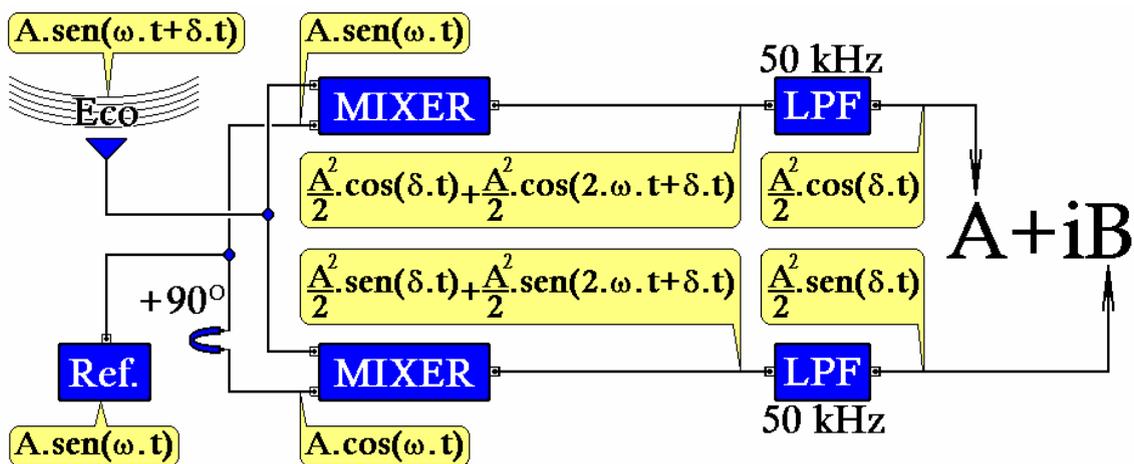


Figura 1.14– Esquematização do Sistema de Recepção do radar RESCO.
 Fonte: Cortesia de Dr. Clezio Marcos De Nardin.

O Sistema de Controle do Radar RESCO é responsável por toda parte de geração de pulsos de controle, para os sinais transmitidos, sinais recebidos, sistema de armazenamento dos dados e alteração da posição do feixe da antena, bem como, toda a parte de configuração do Radar e ainda é responsável pela atenuação dos dados

recebidos. A unidade de armazenamento do radar possui um circuito de interface e um computador para o devido armazenamento dos dados. Os sinais analógicos do sinal em fase e do sinal em quadratura são convertidos em dados digitais de 16 bits e após são salvos no disco de computadores. Juntamente com os dados é gravado um arquivo de nome "RDATA.HDR". Este arquivo contém as informações sobre os parâmetros de operação do radar, tais como: a taxa de repetição de pulso (IPP), largura de pulso (PW), tempo de atraso (TD), tempo de intervalo (TI), tempo de amostragem (SW), número de pulsos (NP), número de alturas (NG), feixe utilizado (BEAM) e tempo de repetição por feixe (RT). A análise dos dados envolve o cálculo de potência espectral. Para isso é usado a Fast Fourier Transform (FFT). Após serem processados nas rotinas desenvolvidas no software Interactive Data Language (IDL®), os dados brutos fornecem-nos como principal resultado um mapa da variação temporal de intensidade versus altura, no qual podemos verificar a presença das irregularidades no eletrojato equatorial.

2 – ATIVIDADES DE PROCESSAMENTO DE DADOS

Neste capítulo vamos apresentar as atividades de coleta e redução de dados relacionados ao relatório e a organização dos dados do Radar RESCO. Serão expostas análises de dados de duas estações através da digissonda que foram os trabalhos desenvolvidos para o projeto SICINPE 2007. Foram estudados os perfis ionosféricos obtidos por sondadores digitais a fim de se verificar comparativamente a altura de reflexão e frequências relacionadas com as camadas E e Es.

2.1-Classificação dos Dias Seleccionados

Para este estudo, que foi submetido ao SICINPE 2007, foram considerados dias calmos e perturbados antes, durante e posterior a forte tempestade magnética que ocorreu nos dias 29-31 de outubro de 2003, área hachurada da figura 2.1. Esses dias foram classificados de acordo com o índice magnético Dst, um índice geomagnético que monitora o nível de perturbações magnéticas com base em estações ao largo de médias e baixas latitudes. Ele é construído a partir da a média do componente horizontal do campo geomagnético obtido por magnetômetros em latitudes equatoriais e médias ao longo do equador (Rishbeth e Garriott, 1969). Os valores negativos de Dst indicam que uma tempestade magnética está em andamento. Quanto mais negativo o Dst, mais intensa é a tempestade magnética. As deflexões negativas no índice de Dst são causadas pela corrente anelar do tempo da tempestade que flui nos cinturões de radiação de Van Hallen. O gráfico da figura 1 mostra a variação do índice Dst ao longo dos meses de outubro e novembro de 2003.

Neste gráfico é possível verificarmos duas grandes tempestades magnéticas. A primeira ocorreu em 28 de outubro, logo após um período relativamente perturbado que se inicia em torno do dia 14 de outubro. Na fase principal, onde o índice mostra uma queda brusca no valor da sua intensidade, o índice Dst chegou à -370 nT. A fase de recuperação, caracterizada pela subida do índice até atingir os valores quiescentes, parece ter durado até o dia 4 de novembro. A partir deste dia, conforme visto na figura, podem ser observadas outras duas sub-tempestades. Outra forte tempestade ocorreu no dia 20 de novembro.

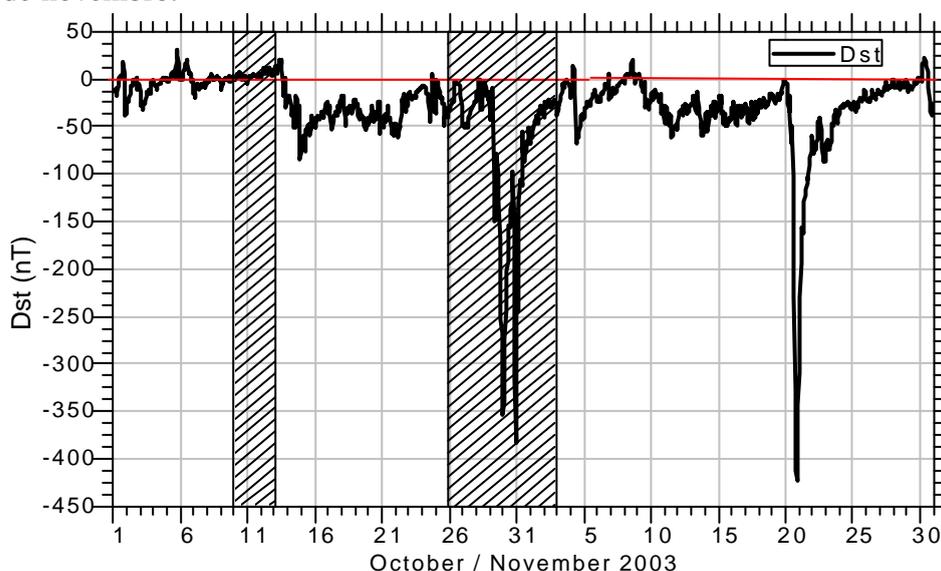


Figura 2.1 – Variação do índice Dst em função dos dias do mês de outubro e novembro de 2003.

2.1.1-Seleção dos Dados Reduzidos pela Bolsista

Neste trabalho vamos analisar a variação dos parâmetros ionosféricos durante a primeira tempestade (28-31 de outubro) para regiões de altas e médias latitudes. Os perfis ionosféricos necessários para este trabalho foram obtidos de sondadores digitais. Estes sondadores, já mencionados nos capítulos anteriores, são radares de alta frequência constituídos de um transmissor e sua respectiva antena, que emite curtos pulsos na faixa de rádio-frequência, e de um sistema receptor com um conjunto de antenas e circuitos de detecção dos sinais recebidos, que registra a intensidade do pulso refletido nas camadas ionosféricas e o tempo decorrido entre a transmissão e a recepção. Os pulsos são transmitidos com potência de pico da ordem de 10 kW, potência média em torno de 500 W e cobrem a faixa de frequências de 0,5 a 30 MHz. Os dados coletados pela digisonda são ecos do sinal refletidos pelas camadas ionosféricas de densidade correspondente à frequência do sinal transmitido. Estes ecos são registrados em ionogramas, gráficos de frequência versus altura virtual, a partir dos quais é possível se obter parâmetros ionosféricos das diferentes camadas, como mostrado na figura 2.2.

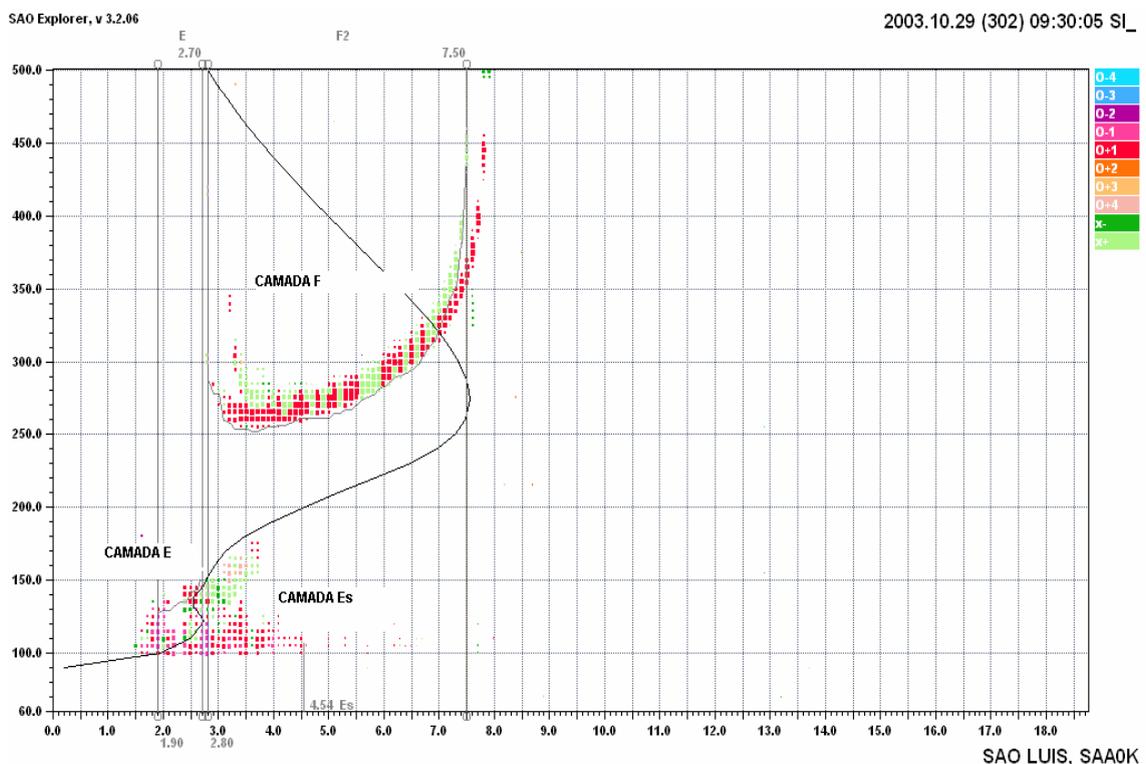


Figura 2.2-Ilustração gráfica mostrando o perfil da ionosfera no dia 14 de agosto de 2003 em São Luís - MA às 09:30 UT.

2.1.2-Resultados do Processamento dos Dados Reduzidos

Os parâmetros utilizados para este estudo são os derivados de altura e de frequência relacionadas com a camada Es, objeto deste estudo. Portanto, foram selecionadas as frequências críticas e alturas do pico das camadas E e da camada E esporádica (Es). O parâmetro utilizado para a altura é o $h'E$, que corresponde à altura virtual da camada E. Os parâmetros de frequências utilizados foram o foEs e fbEs. O foEs corresponde à frequência crítica ou frequência de corte da camada Es. Esta frequência crítica subentende-se a frequência máxima que a camada Es responde. O fbEs é o parâmetro

Relatório Final de Atividades

conhecido como frequência de bloqueio. Quando a camada Es bloqueia o recebimento de ecos de regiões mais altas da ionosfera, a maior frequência que isto ocorre é chamada frequência de bloqueio simbolizada por fbEs. Como resultado desta atividade de processamento dos dados foram obtidas imagens gráficas, os ionogramas, sobrepostos pelos perfis ionosféricos. A seguir, apresentamos uma seqüência ionogramas (figura 2.3) como exemplo dos dias reduzidos da região E pela bolsista do ano de 2003.

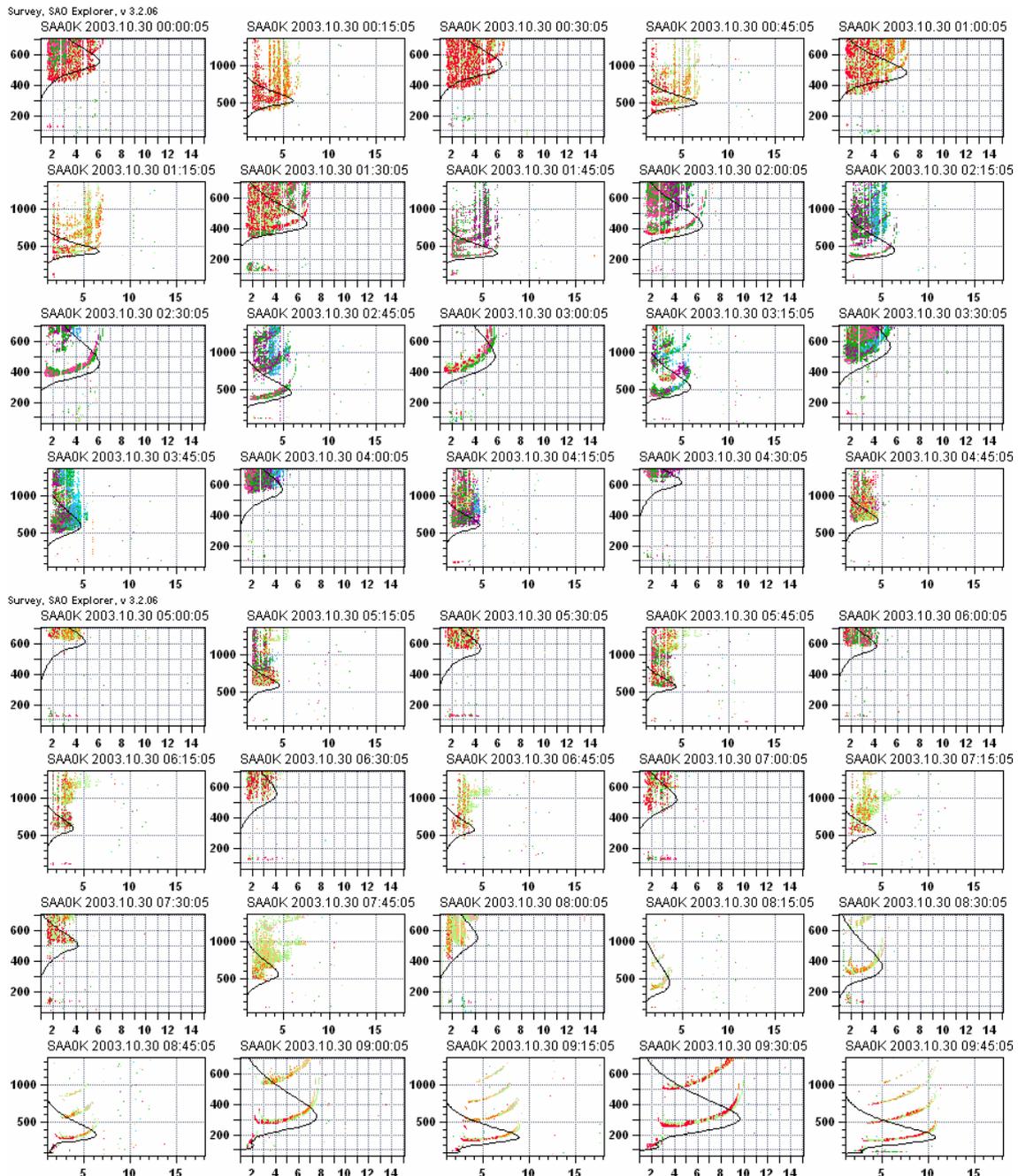


Figura 2.3 (a) - Série de ionogramas obtidos no dia 30 de outubro de 2003 no sítio de São Luís – MA.

Relatório Final de Atividades

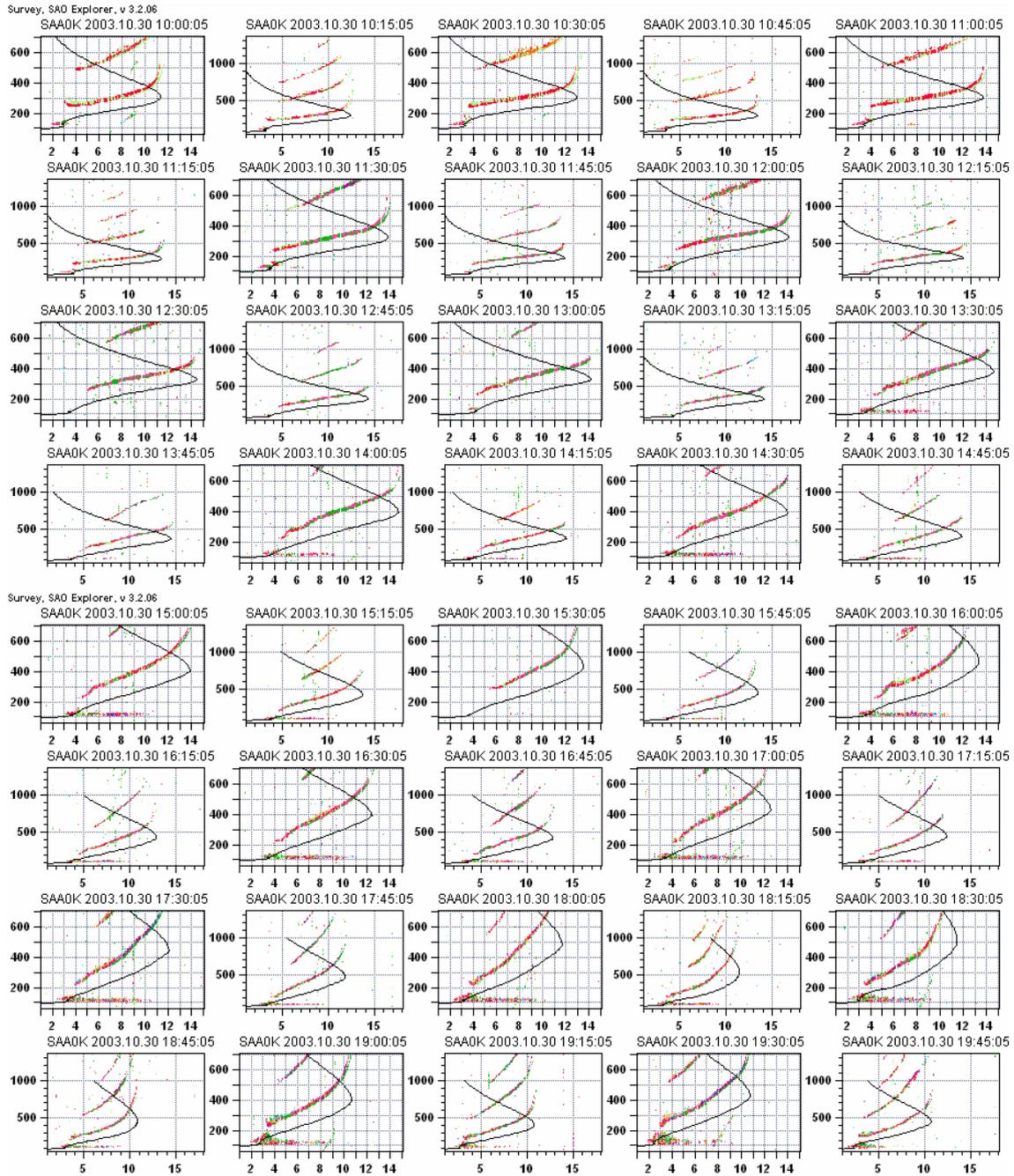


Figura 2.3 (b) - Série de ionogramas obtidos no dia 30 de outubro de 2003 no sítio de São Luís – MA.

Relatório Final de Atividades

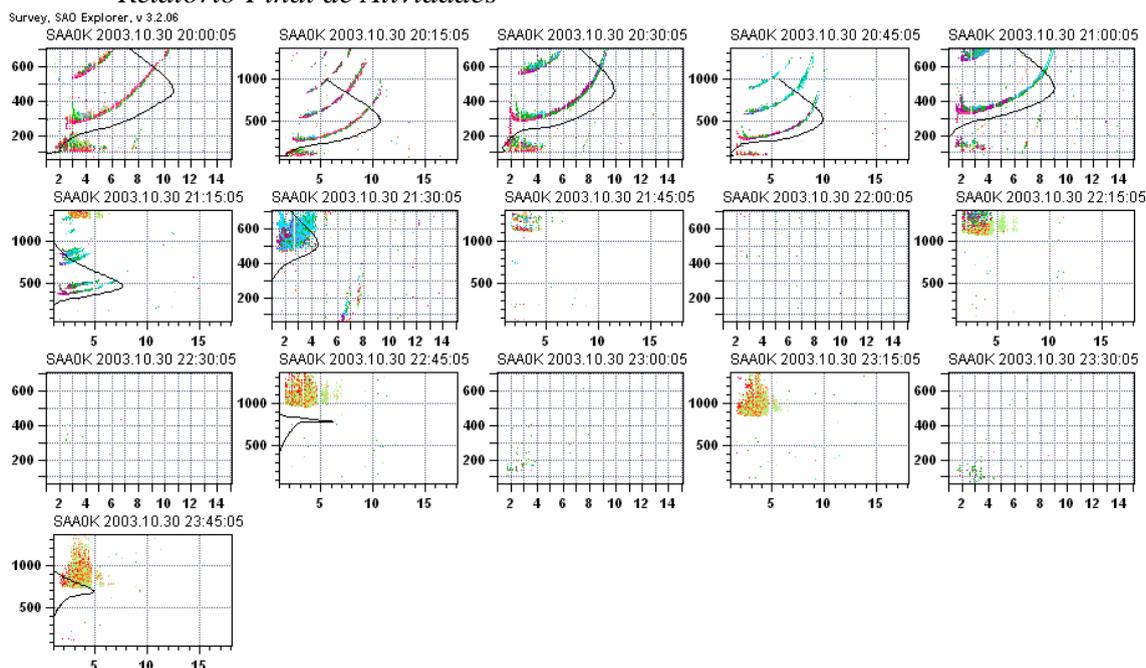


Figura 2.3(c)- Série de ionogramas obtidos no dia 30 de outubro de 2003 no sítio de São Luís – MA.

2.2 – Processamento dos Dados do Radar RESCO.

Foi selecionado o ano de 2003 para a organização dos dados brutos do radar de retro-espalhamento RESCO instalado em São Luís – MA ($2^{\circ}31' S$, $44^{\circ}16' O$). Primeiramente foi desenvolvida uma planilha de dados e informações. Essa planilha foi feita para os feixes leste, oeste e vertical com o objetivo de facilitar o processamento nas rotinas desenvolvidas no software Interactive Data Language (IDL[®]). A figura 2.4 mostra um exemplo dessa planilha para o feixe leste. As colunas são seguidas respectivamente: data do dia em que o radar operou, número de diretórios de dados; número de canais da placa de aquisição; início da operação; resolução temporal; número de interrupções.

Relatório Final de Atividades

Date [AAAAAMDD]	Nr. Dirs	Nr. Chans	Turn On [hh:mm:ss]	Data Resol [s]	Data Att [dB]	Data Gaps
20030120	4	4	08:14:00	12.00000	[50,50,00,00,00,00,00,00,00,00]	[11,00,00,00,00,00,00,00,00,00]
20030121	4	4	08:23:00	12.00000	[50,50,00,00,00,00,00,00,00,00]	[82,00,00,00,00,00,00,00,00,00]
20030122	1	4	08:26:00	12.00000	[50,00,00,00,00,00,00,00,00,00]	[00,00,00,00,00,00,00,00,00,00]
20030123	4	4	08:13:00	12.00000	[50,50,00,00,00,00,00,00,00,00]	[00,00,00,00,00,00,00,00,00,00]
20030124	4	4	08:28:00	12.00000	[50,50,00,00,00,00,00,00,00,00]	[00,00,00,00,00,00,00,00,00,00]
20030127	4	4	08:21:00	12.00000	[50,50,00,00,00,00,00,00,00,00]	[00,00,00,00,00,00,00,00,00,00]
20030128	0	4	00:00:00	12.00000	[00,00,00,00,00,00,00,00,00,00]	[00,00,00,00,00,00,00,00,00,00]
20030129	1	4	08:21:00	12.00000	[50,00,00,00,00,00,00,00,00,00]	[00,00,00,00,00,00,00,00,00,00]
20030130	1	4	08:16:00	12.00000	[50,00,00,00,00,00,00,00,00,00]	[00,00,00,00,00,00,00,00,00,00]
20030131	1	4	08:10:00	12.00000	[50,00,00,00,00,00,00,00,00,00]	[00,00,00,00,00,00,00,00,00,00]
20030217	1	4	08:26:00	12.00000	[47,00,00,00,00,00,00,00,00,00]	[00,00,00,00,00,00,00,00,00,00]
20030218	1	4	08:20:00	12.00000	[47,00,00,00,00,00,00,00,00,00]	[01,00,00,00,00,00,00,00,00,00]
20030219	4	4	08:31:00	12.00000	[50,50,00,00,00,00,00,00,00,00]	[00,00,00,00,00,00,00,00,00,00]
20030220	1	4	08:21:00	12.00000	[47,00,00,00,00,00,00,00,00,00]	[00,00,00,00,00,00,00,00,00,00]
20030221	1	4	08:26:00	12.00000	[47,00,00,00,00,00,00,00,00,00]	[00,00,00,00,00,00,00,00,00,00]
20030224	1	4	08:20:00	12.00000	[47,00,00,00,00,00,00,00,00,00]	[00,00,00,00,00,00,00,00,00,00]
20030225	4	4	08:07:00	12.00000	[47,47,00,00,00,00,00,00,00,00]	[00,00,00,00,00,00,00,00,00,00]
20030226	4	4	08:10:00	12.00000	[47,47,00,00,00,00,00,00,00,00]	[02,00,00,00,00,00,00,00,00,00]
20030227	1	4	08:18:00	12.00000	[47,00,00,00,00,00,00,00,00,00]	[00,00,00,00,00,00,00,00,00,00]
20030228	0	4	00:00:00	12.00000	[00,00,00,00,00,00,00,00,00,00]	[00,00,00,00,00,00,00,00,00,00]
20030317	1	4	08:10:00	12.00000	[50,00,00,00,00,00,00,00,00,00]	[00,00,00,00,00,00,00,00,00,00]
20030318	1	4	08:35:00	12.00000	[50,00,00,00,00,00,00,00,00,00]	[00,00,00,00,00,00,00,00,00,00]
20030324	1	4	16:26:00	12.00000	[50,00,00,00,00,00,00,00,00,00]	[00,00,00,00,00,00,00,00,00,00]
20030325	3	4	08:39:00	12.00000	[50,50,50,00,00,00,00,00,00,00]	[00,10,00,00,00,00,00,00,00,00]
20030326	1	4	08:34:00	12.00000	[50,00,00,00,00,00,00,00,00,00]	[00,00,00,00,00,00,00,00,00,00]
20030327	4	4	08:22:00	12.00000	[50,50,00,00,00,00,00,00,00,00]	[31,00,00,00,00,00,00,00,00,00]
20030328	0	0	00:00:00	12.00000	[00,00,00,00,00,00,00,00,00,00]	[00,00,00,00,00,00,00,00,00,00]
20030331	1	4	08:15:00	12.00000	[50,00,00,00,00,00,00,00,00,00]	[00,00,00,00,00,00,00,00,00,00]
20030401	4	4	08:20:00	12.00000	[50,50,00,00,00,00,00,00,00,00]	[00,00,00,00,00,00,00,00,00,00]
20030404	4	4	08:11:00	12.00000	[50,50,00,00,00,00,00,00,00,00]	[00,00,00,00,00,00,00,00,00,00]

Figura 2.4- Exemplo de uma planilha de organização feita para o feixe leste do ano de 2003.

A partir disso foi realizada uma separação dos dados brutos como mostra a figura 2.2. Os arquivos foram separados e organizados em binários, cabeçalho, imagens, parâmetros e dados brutos.

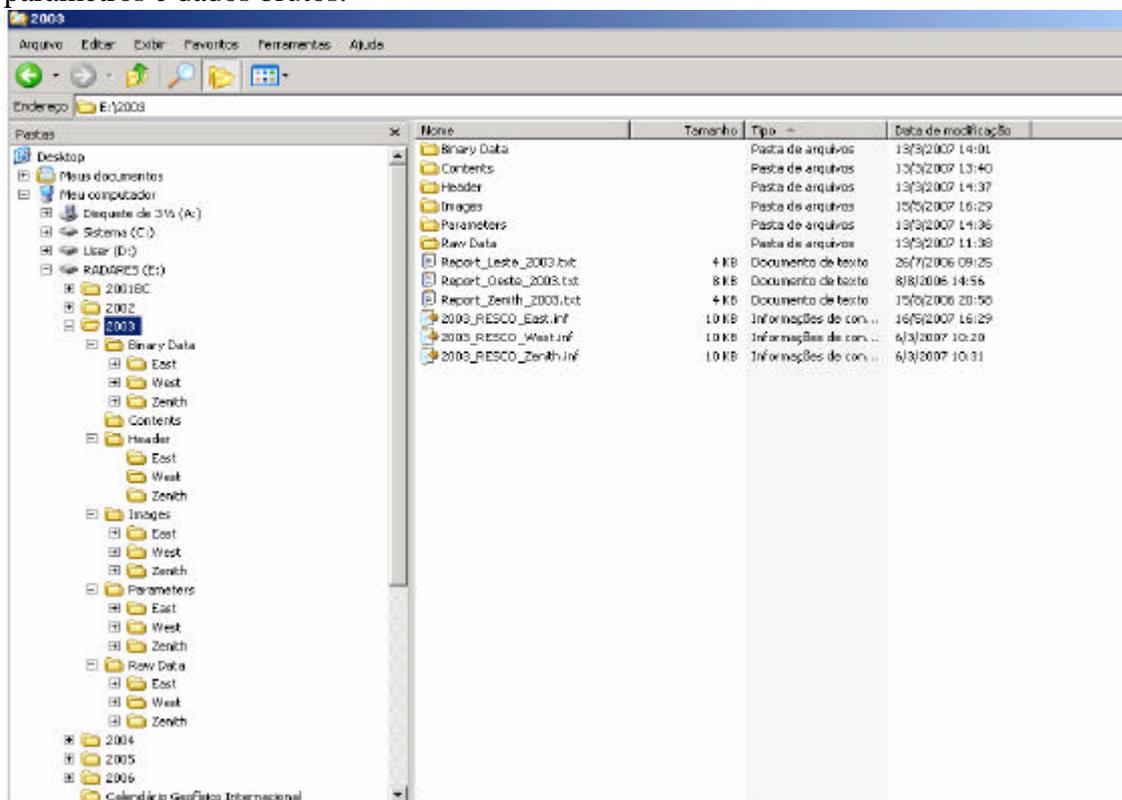


Figura 2.5- Exemplo da organização dos dados do radar.

3-ANÁLISE DOS DADOS REDUZIDOS E PUBLICAÇÕES

Neste capítulo apresentaremos o estudo realizado com os dados reduzidos pela bolsista. Conforme mencionamos anteriormente, este trabalho teve como foco o estudo do comportamento da região E ionosférica durante um período de uma atividade magnética em comparação com o período calmo que antecedeu a tempestade. Deste modo, vamos apresentar um estudo sobre a presença de camadas Es em períodos calmos e perturbados para a região de São Luís-MA ($2^{\circ}31' S$, $44^{\circ}16' O$) e Cachoeira Paulista-SP ($22^{\circ} 39' S$, $45^{\circ} 00' O$), em outubro do ano de 2003, nos períodos antecedente e durante uma tempestade magnética. Para este estudo, consideramos a variação dos parâmetros de frequências do fbEs, foEs.

3.1-Resultados das Análises dos Dados de São Luís e Cachoeira Paulista

Nos gráficos da figura 3.1 apresentamos os gráficos comparativos das frequências críticas da camada E (foEs e fbEs) para a região de São Luís-MA.

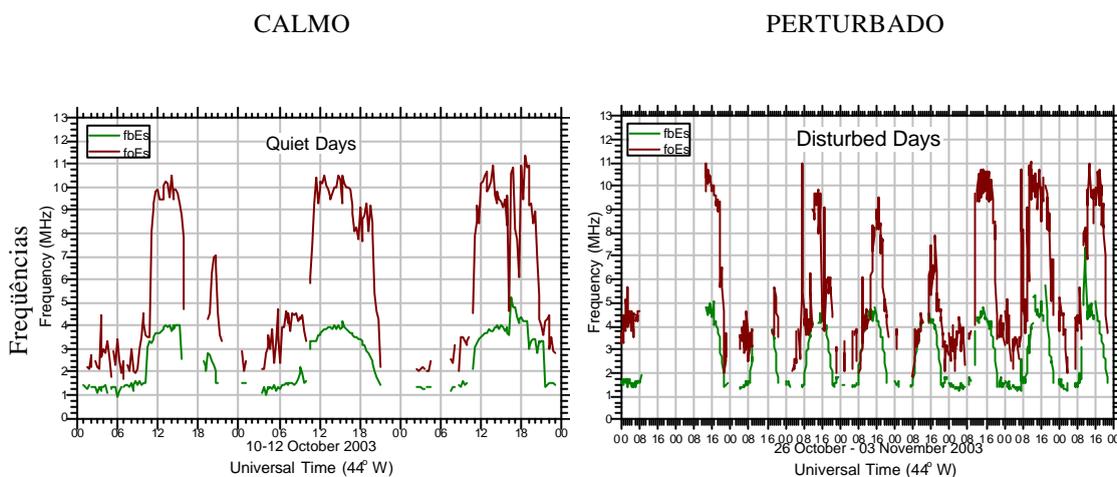


Figura 3.1- Variação da frequência crítica média em relação ao tempo para os períodos calmo e perturbado, nas estações do ano analisadas, obtidos a partir de dados de digissonda no sítio de São Luís - MA.

Nos gráficos da figura 3.2 apresentamos os gráficos comparativos das frequências críticas da camada E (foEs e fbEs) para a região de Cachoeira Paulista-SP.

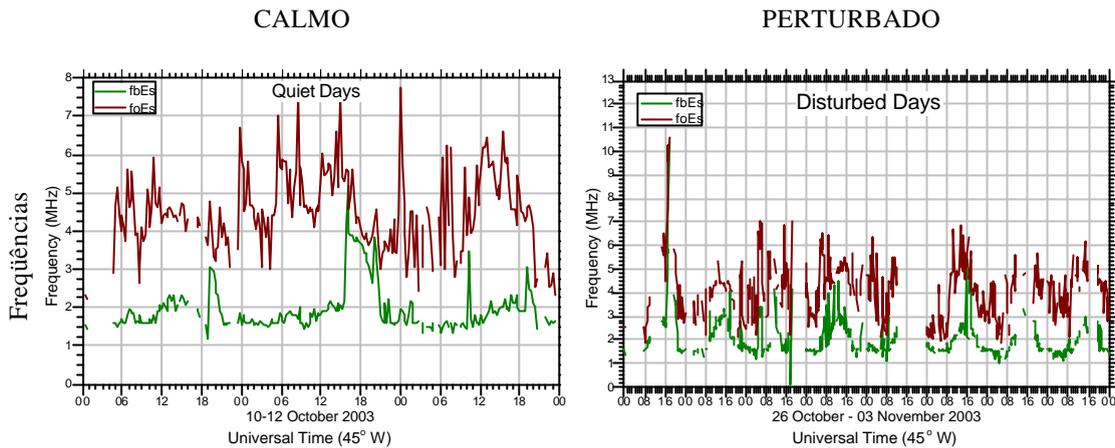


Figura 3.2- Variação da altura média do pico da camada F em relação ao tempo para os períodos calmo e perturbado, nas estações do ano analisadas, obtidos a partir de dados de digissonda no sítio de Cachoeira Paulista-SP.

3.2 -Discussão dos Resultados

Como foi dito acima, esses dias foram classificados de acordo com o índice magnético Dst, um índice geomagnético que monitora o nível de perturbações magnéticas com base em estações ao largo de médias e baixas latitudes.

Na figura 3.1 apresentamos os gráficos da variação temporal das frequências relacionadas à camada Es (fbEs e foEs) para o período de 10 a 12 de outubro de 2003 e de 26 de outubro a 03 de novembro de 2003 em hora UT obtidos dos ionogramas da digissonda de São Luís. Nesta região temos a forte presença do eletrojato equatorial e da camada Esporádica (Es) do tipo q. Esta camada Es tipo q está notavelmente presente nos ionogramas. Com relação ao parâmetro foEs mostrado nos gráficos nesta região, no período magneticamente calmo, ele se caracterizou por um aumento rápido da frequência até atingir aproximadamente 10 MHz em torno das 11 UT. A partir deste horário, o foEs se caracteriza por oscilações nos valores entre 6 e 10 MHz. Esse valor do foEs dura até às 21 UT para todos os dias da condição magneticamente calma, quando então ele decresce pra seu valor noturno (~2 MHz), no presente estudo. Entre horários da meia noite às 06 UT observamos uma variabilidade de 2 a 4,5 MHz. Analisando a frequência crítica da camada E para os períodos perturbados, percebe-se que, para todos os dias nos horários da madrugada, este parâmetro se comporta variável de 4 a 6 MHz. No dia 26 de outubro, a análise foi prejudicada pela ausência de dados. No dia 27 de outubro, em torno das 13 UT, o foEs apresenta um aumento para 11 MHz. Entre os dias 29-31 de outubro, foi visto a ocorrência de um comportamento singular que se caracterizou por máximos sucessivamente menores que se iniciaram na fase principal e terminaram no primeiro dia da na fase de recuperação da tempestade. No dia 29 de outubro a frequência crítica da camada E, em torno das 07 UT, possuía valores de 11 MHz. Após este dia, nos horários ao entardecer, a frequência crítica sofreu um declínio sucessivo. O pico mais expressivo do dia 30 de outubro foi de 9,5 MHz e no dia posterior atingiu uma frequência de 08 MHz. Em seguida, o foEs retornando a frequência de 11 MHz. Este decréscimo sucessivo no valor máximo diário do foEs ainda é objeto de estudo e não possui uma explicação. Com relação à frequência de bloqueio da camada esporádica (fbEs), durante toda a ocorrência da tempestade: fase inicial, fase principal e fase de recuperação; ela manteve seu comportamento típico

tanto nos períodos calmos quanto nos períodos perturbados. No período calmo, o aumento do fbEs iniciou-se a partir das 10 UT para todos os dias analisados. A densidade eletrônica aumentou consistentemente até alcançar a frequência equivalente à frequência de 4 MHz em torno do meio-dia local. Em seguida, a densidade eletrônica apresentou um decréscimo até alcançar o valor de fundo às 21 UT, o qual corresponde à frequência em torno de 1,2 MHz. Contudo, um aumento súbito chama a atenção. No dia 12 de outubro em torno das 16 UT, a frequência apresentou um aumento súbito elevando-se de 3,8 MHz para 5,2 MHz. A variabilidade diária do fbEs no período perturbado é bastante similar ao seu comportamento na condição magneticamente calma. Porém, no período perturbado a densidade eletrônica parece apresentar picos de aumento súbito que se sobrepõe ao comportamento descrito anteriormente. A presença de alguns destes picos parece ter contribuído para que a frequência de bloqueio tenha atingido um valor equivalente a 5 MHz em torno do meio-dia local. Mas alguns deles se destacam e sua amplitude parece ter aumentado à medida que a fase de recuperação evolui. No dia 01 de novembro, segundo dia da fase de recuperação da tempestade magnética, parece surgir um aumento evidente da frequência de bloqueio da camada Es, a julgar pelos picos que se observam em torno das 15 UT deste dia. No dia seguinte (02 de novembro) observa-se um claro pico durante a madrugada (08 UT) e vários picos ao longo do dia que deformaram o perfil e atingem aproximadamente 6 MHz por volta das 19 UT. O evento mais significante ocorreu no dia 03 de novembro onde se observa um expressivo aumento de 7,5 MHz por volta das 12 UT.

Na figura 3.2 apresentamos os gráficos da variação temporal das frequências relacionadas à camada Es (fbEs e foEs) para o período de 10 a 12 de outubro de 2003 e de 26 de outubro a 03 de novembro de 2003 em hora UT obtidos dos ionogramas da digissonda de Cachoeira Paulista. Em relação à Cachoeira Paulista (CXP), a camada Es é caracterizada pela presença de camadas nomeadas dos tipos “a” e “c”. No período calmo, analisando a frequência de bloqueio fbEs, percebe-se um comportamento variável entre 1 e 3 MHz com um notável pico de aproximadamente 5 MHz no dia 11 de novembro. No período perturbado o fbEs a frequência é bastante variável. No período perturbado o fbEs teve sua ascensão no dia 26 de outubro (~11 MHz). Durante a fase principal da atividade magnética o fbEs não ultrapassou a frequência de 5 MHz. Aumentos significativos da frequência de bloqueio da camada Es que ocorrem 2 e 3 dias após as tempestades magnéticas já foram observados em médias latitudes na região brasileira. Batista e Abdu (1977) publicaram um estudo de tempestades ocorridas em 1973 e 1975, no qual o fbEs obtido dos ionogramas da digissonda instalada em Cachoeira Paulista (CXP), 1 a 3 dias após a tempestade, atingiu valores superior à 7 MHz. Naquela época eles classificaram essas camadas esporádicas como sendo do tipo “a” e após estudos de ventos e taxa de recombinação eles verificaram que o aumento da densidade eletrônica deveria estar associado à precipitação de partículas do cinturão de Van Hallen e/ou da ionosfera superior. No nosso estudo, como podemos visualizar, o fbEs retornou a frequência de 3 MHz. O foEs se caracterizou por frequência em torno de 8 MHz no período calmo. E no período perturbado os picos no dia 26 de outubro teve um acréscimo (~11 MHz). Na fase principal da tempestade e na fase de recuperação este parâmetro de frequência não ultrapassou os 7 MHz.

Estudos mais detalhados, como as comparações destas estações serão analisadas para o Seminário de Iniciação Científica do INPE (SICINPE 2007)

3.3 – Resultados Científicos

Nesta seção serão listadas os trabalhos desenvolvidos pela bolsista, a partir dos dados e análises discutidas nas seções anteriores, no período que refere-se este relatório.

3.3.1 – Participação em Congressos/ Submissão de Resumos

- Título: Estudo Comparativo dos Parâmetros Ionosféricos obtidos por Sondadores Digitais nas Estações de São Luís (MA) e Cachoeira Paulista (SP).
Autores: **Laysa Cristina Araújo Resende**, Pedro S. C. Almeida, Clezio Marcos Denardini.
Seminário de Iniciação Científica do INPE de 11 e 12 de julho de 2006, São José dos Campos, SP, Brasil.
- Título: Estudo Comparativo de Simulações Numéricas e Análise de Dados.
Autores: Pedro S. C. Almeida, **Laysa Cristina Araújo Resende**, Clezio Marcos Denardini.
Seminário de Iniciação Científica do INPE de 11 e 12 de julho de 2006, São José dos Campos, SP, Brasil.
- Título: Estudo Comparativo das Derivas Verticais obtidos por Sondadores Digitais nas Estações de São Luís (MA) e Cachoeira Paulista (SP).
Autores: **Laysa Cristina Araújo Resende**, Pedro S. C. Almeida, Clezio Marcos Denardini.
Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia de 23 a 26 de outubro de 2006, São José dos Campos, SP, Brasil.
- Título: Estudos Quantitativos de Simulações Numéricas e Análises de Dados de Perfis de Densidades Eletrônicas para a Região Brasileira.
Autores: Pedro S. C. Almeida, **Laysa Cristina Araújo Resende**, Clezio Marcos Denardini.
Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia de 23 a 26 de outubro de 2006, São José dos Campos, SP, Brasil.
- Título: Comparação dos Resultados obtidos pelo Software de Redução Automática com os Resultados após a Revisão do Operador na Determinação da Densidade Eletrônica Ionosférica.
Autores: **Laysa Cristina Araújo Resende**, Pedro S. C. Almeida, Clezio Marcos Denardini
Simpósio 14º Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP de 8 a 10 de novembro de 2006, São Paulo, SP, Brasil.
- Título: Análise da Eficiência do Modelo IRI na Determinação da Altura do Pico da Camada da Região F na Região de São Luís (MA) nos Horários de Pré-Reversão durante Períodos Magneticamente Calmos.
Autores: Pedro S. C. Almeida, **Laysa Cristina Araújo Resende**, Clezio Marcos Denardini.
14º Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP de 8 a 10 de novembro de 2006, São Paulo, SP, Brasil.

Relatório Final de Atividades

- Título: Comparação da Amplitude da Deriva de Pré-Reversão (Vz) em Cachoeira Paulista (SP) E São Luís (MA).
Autores: **Laysa Cristina Araújo Resende**, Pedro S. C. Almeida, Henrique Carlotto Aveiro, Lilian P. Moor, Clezio Marcos Denardini
XXI Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia e V Feira de protótipos de 04 a 06 de outubro de 2006, na Universidade de Ijuí, Ijuí, RS, Brasil.
- Título: Análise da Eficiência do Modelo IRI na Determinação da Altura do Pico da Camada da Região F de São Luís (Ma) nos Horários de Pré-Reversão durante Períodos Magneticamente Calmos.
Autores: Pedro S. C. Almeida, **Laysa Cristina Araújo Resende**, Henrique Carlotto Aveiro, Lilian P. Moor, Clezio Marcos Denardini.
XXI Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia e V Feira de protótipos de 04 a 06 de outubro de 2006, na Universidade de Ijuí, Ijuí, RS, Brasil.
- Título: Metodologia para Detecção de Rastros Meteóricos utilizando Radars Coerentes.
Autores: Henrique Carlotto Aveiro, Lilian Piecha Moor, Tiago Jaskulski, **Laysa C. A. Resende**, Pedro S. C. Almeida, Clezio Marcos Denardini, Mangalathayil A. Abdu, Nelson Jorge Schuch.
XXI Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia e V Feira de protótipos de 04 a 06 de outubro de 2006, na Universidade de Ijuí, Ijuí, RS, Brasil.
- Título: Estudo sobre as Presenças de Camadas Ionosféricas Esporádicas em Períodos Calmos e Perturbados em São Luís (MA): Um Caso Estudado.
Autores: **Laysa Cristina Araújo Resende**, Pedro S. C. Almeida, Henrique Carlotto Aveiro, Clezio Marcos Denardini.
10º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, 10 e 11 de dezembro de 2007. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Título: Ângulo de Inclinação Magnética em São Luís (MA): Modelo IGRF X Magnetômetro.
- Autores: Pedro S. C. Almeida, **Laysa Cristina Araújo Resende**, Henrique Carlotto Aveiro, Lilian P. Moor, Clezio Marcos Denardini.
10º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, 10 e 11 de dezembro de 2007. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

3.3.2 – Cursos realizados.

- Título: IDL e Métodos Matemáticos
Local: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos-SP.
Ministrante: Dr. Clezio Marcos Denardini, pesquisador do INPE, São José dos Campos.
Carga horária: 40 horas



4-CONCLUSÕES

Como mostrado no capítulo 1, a rotina desenvolvida foi à realização de trabalhos referentes ao assunto proposto, e ao processamento de dados. O método utilizado para o processamento de dados foi à redução dos dados da Digissonda e o estudo de literatura específica. O estudo da digissonda é importante para a análise e o monitoramento da ionosfera. Uma vez que, através da análise dos dados pode-se verificar os parâmetros ionosféricos e as anomalias que ocorrem de acordo com a hora do dia. Também foi introduzido trabalhos referentes ao Radar Coerente RESCO a fim de aprimorar seus conhecimentos sobre as ferramentas que serão úteis nos próximos trabalhos.

A bolsista também aprimorou suas habilidades em análise de dados geofísicos e desenvolveu suas capacidades de escrever trabalhos científicos completos. Para atingir estes objetivos ela trabalhou com o software de interpretação de dados do sondador digital *SAO-Explorer* e processou dados reais de medidas de perfil de densidade eletrônica para duas estações de coleta de dados geofísicos.

Ainda dentro do período de bolsa, a bolsista teve oportunidade de participar eventos de iniciação científica onde interagiu com a comunidade científica da área. Ela participou de palestras e seminários, juntamente com pesquisadores, alunos de doutorado e mestrado, tecnologistas e pesquisadores visitantes. Além de participação como apresentadora em congressos já expostos acima.

Finalmente, as atividades teóricas e técnicas cumpriram o cronograma do projeto sendo: estudo da bibliografia referente ao trabalho a ser desenvolvido, treinamento, familiarização e desenvolvimento de aplicativos referentes à instrumentação utilizada no trabalho.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Batista, I.S.; Abdu, M. A., *Magnetic storm delayed sporadic E enhancements in the Brazilian geomagnetic anomaly*, **Journal of Geophysics Research**, 1977.
- Crochet, M., C. Hanuise, et al. *Hf Radar Studies of 2-Stream Instability During an Equatorial Counter-Electrojet*. **Journal of Geophysical Research-Space Physics**, v.84, n.NA9, p.5223-5233. 1979.
- Denardini, C. M., M. A. Abdu, et al. *VHF radar observations of the dip equatorial E-region during sunset in the Brazilian sector*. **Annales Geophysicae-Atmospheres Hydrospheres and Space Sciences**, v.24, n.9, JUL, p.1617-1623. 2006.
- Davies, K. *Ionospheric Radio Propagation*. Washington D. C.: **National Bureau of Standards**. 1965. 470 p.
- Devasia, C. V., V. Sreeja, et al. *Solar cycle dependent characteristics of the equatorial blanketing E-s layers and associated irregularities*. **Annales Geophysicae**, v.24, n.11, p.2931-2947. 2006.
- Findlay, J.W. *The phase and group paths of radio waves returned from region E of the ionosphere*, **J. Atmospheric and Terrest. Phys**, 1.353, 1951.
- Hargreaves, J. K. *The Solar-Terrestrial Environment*. Cambridge: **Cambridge University Press**, v.5. 1992. 420 p. (Cambridge Atmospheric and Space Science)
- Janardhanan, K. V. *A coherent VHF backscatter radar for INPE*. **São José dos Campos: INPE**, 1983. (INPE-2808-NTI/180).
- Moura, M.S.S.M.; *Estudos dos Sinais Propagados Via Camada E-esporádica em 44, 893 MHz*, **Tese de Doutorado, São José dos Campos**, 1994.
- Piggott, W.R., Beynon, W.J. G., G.M. Brown, and C. G.Little *The measurement of ionospheric absorption*, **Annals of the IGY**, Vol. III, Parte II., 1957
- Rishbeth H.; e Garriott, O.K, *Introduction to ionosphere physics*. **New York: Academic**, 1969.
- Seddon, J.C., *Sporadic E as observed with rockets*, **Ionospheric Sporadic E**, p. 78, 1962.
- Smith, E.K., *Worldwide occurrence of Sporadic E*, **NSB Circ.582**,1957.
- Wright, J. W., Knecht, R. W., Davies, K., *Annals of the IGY*, Vol. III, Part I: **Pergamon Press.**, 1992.