

Caracterização do Comportamento da Ionosfera Sobre a Região De Santa Maria, Rs

Rafael Krummenauer¹ (UFSM/INPE, Bolsista PIBIC/CNPq - MCT)
Dra. Inez Staciarini Batista² (DAE/CEA/INPE - MCT)

RESUMO

Com o objetivo de conduzir estudos detalhados na caracterização da Ionosfera local na grande região central do Estado do Rio Grande do Sul, centrada em Santa Maria, o Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, CRSPE / INPE – MCT, adquiriu um Radar Ionosférico do tipo DIGISSONDATM - Modelo DPS-4, desenvolvido pelo Centro de Pesquisa Atmosférica da Universidade de Massachusetts Lowell, UMLCAR.

O Projeto previa coletar informações referentes à Ionosfera na região de Santa Maria e comparar com informações coletadas pelo Radar DIGISSONDA em operação na região de Cachoeira Paulista – SP, e com modelos Ionosféricos existentes. Em virtude do atraso sofrido na instalação do equipamento em Santa Maria, o plano foi redirecionado, sendo analisados dados obtidos pelo equipamento do CRSPE/INPE – MCT, quando em operação no sítio de Campo Grande, MS, durante o experimento de Pontos Conjugados, *Conjugate Point Equatorial Experiment in Brazil* - COPEX, realizado pelo Grupo de Pesquisa em Ionosfera do INPE.

O centro-sul do Brasil está localizado em uma região conhecida como Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS), na qual a intensidade de Campo Magnético é bastante reduzida, possibilitando uma maior precipitação de partículas de alta energia, e, portanto, as características Ionosféricas locais podem diferir daquelas de outras regiões da Terra.

Análises de parâmetros Ionosféricos foram feitos utilizando o *software* SAO-X, produzido pela UMLCAR, permitindo a análise dos parâmetros: perfil de densidade eletrônica, conteúdo eletrônico total - TEC, variação diária das frequências críticas, contornos de camadas para as frequências críticas indicando altura virtual, real e ionogramas. Análises adicionais foram feitas utilizando o *software* MATLAB, com a finalidade de comparar resultados do Modelo Ionosférico IRI (International Reference Ionosphere) com dados obtidos de observações feitas em Campo Grande, MS, durante a campanha COPEX. Os resultados das comparações mostraram discrepâncias da ordem de 30%, sugerindo que o modelo Ionosférico IRI precisa ser aperfeiçoado para que possa ser considerado um modelo adequado para a região em estudo, a qual está localizada próximo ao centro da AMAS.

¹ Aluno do Curso de Engenharia Elétrica, UFSM, UFSM. E-mail: rafakrum@lacs.m.ufsm.br

² Pesquisador da Divisão de Aeronomia, Coordenação Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas. E-mail: inez@dae.inpe.br



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

RELATÓRIO FINAL DE ATIVIDADES

**PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
PIBIC – INPE - CNPq**

PROCESSO: 107625/2003-2

**CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DA IONOSFERA
SOBRE A REGIÃO DE SANTA MARIA, RS**

Bolsista:
Rafael Krummenauer
E-mail: rafakrum@lacesm.ufsm.br

Orientadora:
Dra. Inez Staciarini Batista
E-mail: inez@dae.inpe.br

Maio de 2004



SUMÁRIO

IDENTIFICAÇÃO	4
Projeto	4
Número do Processo	4
Bolsista	4
Orientador	4
Colaboradores	4
Local de Execução	4
Vigência	4
CAPÍTULO 1 – OBJETIVO	7
CAPÍTULO 2 – INTRODUÇÃO	12
CAPÍTULO 3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 PROPAGAÇÃO IONOSFÉRICA E ONDAS ELETROMAGNÉTICAS	15
3.1.1 A Ionosfera	15
3.1.2 Propagação de ondas em Plasmas	16
3.1.2.1 Reflexão e Refração na Ionosfera	16
3.1.2.2 Freqüências Críticas e Alturas Virtuais das camadas Ionosféricas	19
3.1.2.3 Máxima Freqüência Usável	20
3.1.2.4 Presença do Campo Geomagnético	21
3.1.3 Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS	21
3.2 DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS	22
3.3 CONCEITOS BÁSICOS DE RADAR	26
3.4 PROCESSAMENTO DIGITAL DE SINAIS	28



3.4.1 Modulação de Fase Coerente e Compressão de Pulso	29
3.4.2 Técnicas de Medição do Ângulo de Chegada	29
CAPÍTULO 4 – JUSTIFICATIVA	32
CAPÍTULO 5 – DESENVOLVIMENTO	33
5.1 TREINAMENTO COM O SOFTWARE DE ANÁLISE SAO-X	33
5.2 TREINAMENTO COM O MODELO IONOSFÉRICO IRI	43
5.3 ESCOLHA DO SÍTIO DE INSTALAÇÃO DO DPS-4, INCLUINDO PRÉ-MEDIÇÃO	50
5.4 MANUTENÇÃO DO COMPUTADOR DE ANÁLISE E ARMAZENAMENTO DOS DADOS	52
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO E DIREÇÕES FUTURAS	57
AGRADECIMENTOS	58
BIBLIOGRAFIA	59
PARTICIPAÇÃO EM ATIVIDADES DE EXTENSÃO / CURSOS / PALESTRAS E CONGRESSOS	61
ANEXOS	65
Anexo 1.1	65
Anexo 1.2	66
Anexo 1.3	67



IDENTIFICAÇÃO

Projeto:

**CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DA IONOSFERA SOBRE A
REGIÃO DE SANTA MARIA, RS**

Número do processo: 107625/2003-2

Bolsista:

Rafael Krummenauer
Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
Santa Maria – RS

Orientadora:

Dra. Inez Staciarini Batista
Divisão de Aeronomia – DAE
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE - MCT
São José dos Campos – SP

Colaboradores:

Dr. Mangalathayil Ali Abdu
Divisão de Aeronomia - DAE
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE - MCT
São José dos Campos – SP

Dr. Nelson Schuch
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE / INPE - MCT
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE - MCT
Santa Maria – RS



CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – CRSPE/INPE - MCT

Eng. Sinval Domingos

Divisão de Aeronomia - DAE

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE - MCT

São José dos Campos - SP

Dr. Clézio Marcos De Nardin

Divisão de Aeronomia – DAE

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE - MCT

São José dos Campos – SP

Henrique Carlotto Aveiro

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

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

Santa Maria – RS

Maiquel dos Santos Canabarro

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

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

Santa Maria – RS

Noli José Kozenieski

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

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

Santa Maria – RS

Thiago Brum Pretto

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

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

Santa Maria – RS



CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – CRSPE/INPE - MCT

Diego dos Santos

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

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

Santa Maria – RS

Marcos Roberto Signore

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

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

Santa Maria – RS

Local de execução:

Laboratório de Rádio-Frequência e Telecomunicações

Laboratório de Atmosferas Planetárias e Terrestre

Laboratório de Sondagem Ionosférica, da Média e Alta Atmosfera Terrestre

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

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

Universidade Federal de Santa Maria, UFSM

Vigência: 2003 / 2004



Capítulo 1 – OBJETIVO

O objetivo inicial proposto no plano de trabalho foi o de conduzir estudos detalhados na caracterização da Ionosfera local na região central do estado do Rio Grande do Sul, em Santa Maria, utilizando o Radar/Sondador Ionosférico DPS-4, comparar com a região de Cachoeira Paulista e com modelos Ionosféricos existentes. Em virtude do atraso sofrido na instalação do equipamento em Santa Maria, o plano foi redirecionado, e foram analisados dados obtidos pelo mesmo equipamento, durante a sua operação no sítio de Campo Grande, MS, durante o experimento de Pontos Conjugados, *Conjugate Point Equatorial Experiment in Brazil - COPEX*, realizado pelo grupo de pesquisa em ionosfera do INPE.

Dentro da estratégia de que no sítio do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT serão instalados equipamentos de natureza passiva, isto é, equipamentos que detectam as condições do meio ambiente e captam sinais eletromagnéticos, e que **equipamentos de natureza ativa, isto é, equipamentos que emitem radiação ou pulsos eletromagnéticos e, por conseqüência, podem causar rádio-interferência em partes específicas do Espectro Eletromagnético, seriam instalados na sede do CRSPE/INPE – MCT, em Santa Maria, nas áreas do terraço da cobertura – antenas & radares ativos, no Prédio Sede do Centro e do Laboratório de Sondagem Ionosférica, da Média e Alta Atmosfera, em outra área, adjacente ao Prédio Sede, no “campus – Camobi” da UFSM, com a instalação de um Complexo de Digissonda e Radares de Monitoramento e Pesquisa da Ionosfera e Alta Atmosfera.**

Em atendimento ao Ofício do CINDACTA II, N.º 172/DO-OTA/537, de 18/04/2002, foi notificado o indeferimento da autorização da instalação da torre da antena Digissonda modelo DPS-4 e das antenas de rastreamento e controle de satélites do



Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT, dentro do “Plano Diretor” do “campus – Camobi” da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, no terreno adjacente ao Prédio Sede e próximo à Base Aérea de Santa Maria – BASM, por violarem a superfície delimitadora de obstáculos da área de aproximação da Pista N.º 11 do Aeroporto da BASM.

O Reitor da UFSM, entendendo a importância da matéria, no que se refere aos aspectos:

- segurança aos vôos relativos à Base Aérea de Santa Maria, com a necessidade de atender ao disposto na Portaria V COMAR nº 14/CMT, de 17/12/1997;
- necessidade de segurança referente à construção do **novo terminal civil de passageiros de Santa Maria**; e
- as vantagens logísticas e antropogênicas das instalações das antenas do Complexo de Digissonda e Radares de Monitoramento e Pesquisa da Ionosfera e Alta Atmosfera do CRSPE/INPE – MCT, em terreno dentro do perímetro do “campus” da UFSM, sugeriu que fosse estudada a possibilidade da instalação desses sistemas em terreno fora do atual “Plano Diretor do Campus - Camobi da UFSM”, que é densamente construído e que foi planejado no sentido norte-sul, perpendicular à prolongação/projeção do eixo da Pista nº 11 da BASM. As construções do referido Complexo de Sistemas Ativos seriam transferidas para dentro da extensa área conhecida como “área nova do campus” da UFSM, contígua do comumente conhecido “campus - Camobi” da UFSM, área que é somente cortada por uma estrada municipal, apresentando contornos e forma oblíqua ao prolongamento do eixo imaginário da Pista N.º 11 da BASM, portanto, afastando-se do eixo da Pista.

A distribuição dos equipamentos na “área nova” do “campus”, liberada pelo Conselho Universitário para ser cedida pela UFSM ao INPE/MCT, para a instalação da Estação Terrena de Rastreamento e Controle de Satélites de Santa Maria e do Laboratório de Sondagem Ionosférica, Média e Alta Atmosfera Terrestre é apresentada na Figura 1.1.

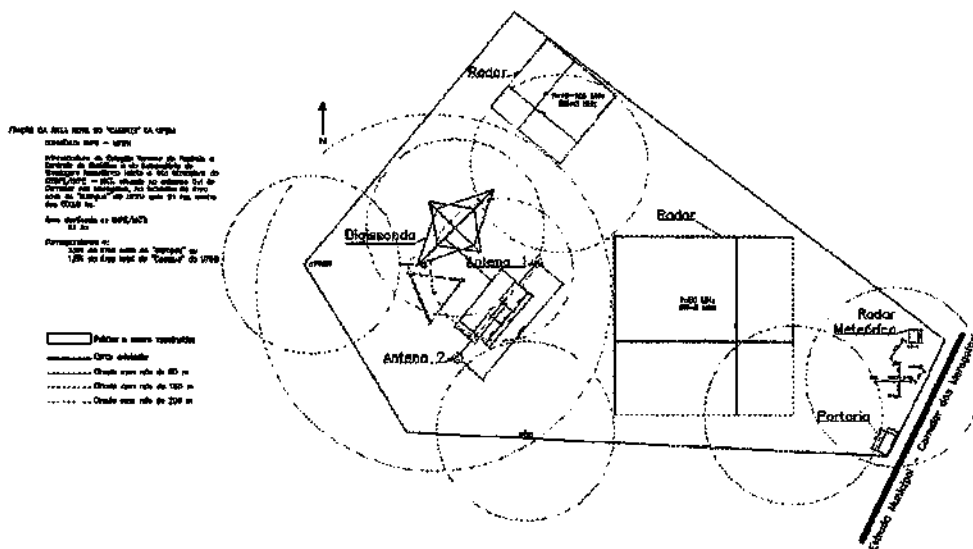


Figura 1.1. Disposição dos equipamentos do Laboratório de Sondagem Ionosférica Média e Alta Atmosfera Terrestre do CRSPE/INPE - MCT, com sua Digisonda, Radares Ionosféricos e Radar de Rastros Meteorícos no “Campus – Pains” da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, na “área nova” destinada para a Estação Terrena de Rastreamento e Controle de Satélites do CRSPE/INPE - MCT, com disposição do prédio principal e das antenas 1 – rastreamento e 2 – controle de satélites e de sua Portaria.

A distribuição do Complexo de Sistemas Ativos de equipamentos da Figura 1.1, mostra claramente que 95,2% da “nova área” seria utilizada por equipamentos, como o Sistema de Radar Meteorológico, pela Digisonda – DPS4 e pelos Radares Ionosféricos do Laboratório de Sondagem Ionosférica, Média e Alta Atmosfera Terrestre, Projetos que estão sendo planejados e desenvolvidos no âmbito da Parceria INPE – UFSM, com a Divisão de Aeronômica da CEA/INPE – MCT, atendendo as exigências técnicas quanto a área ser plana, sem árvores, sem obscurecimento de horizonte, etc. A área é e foi definida especificamente, e somente ela, para atender o planejamento estratégico das instalações dos equipamentos do Laboratório de Sondagem Ionosférica, Média e Alta Atmosfera Terrestre e da Estação Terrena de Rastreamento e Controle de Satélites de Santa Maria, obtendo autorizações específicas do Comando



do CINDACTA II e da Secretaria de Gestão Ambiental da Prefeitura Municipal de Santa Maria, RS.

Com a colaboração da Prefeitura da UFSM uma porteira, via de acesso, foi construída para o livre trânsito de entrada e saída de veículos, inclusive de caminhões pesados, nesta nova área destinada ao Laboratório de Sondagem Ionosférica, Média e Alta Atmosfera Terrestre e Estação Terrena de Rastreo e Controle de Satélites de Santa Maria.

Dentro desta estratégia, no sítio do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, só foram e poderão ser instalados **equipamentos de natureza passiva**, isto é, equipamentos que detectam as condições do meio ambiente e captam sinais eletromagnéticos, os **equipamentos de natureza ativa**, isto é, equipamentos que emitem radiação ou pulsos eletromagnéticos e que conseqüentemente podem causar rádio-interferência em partes específicas do Espectro Eletromagnético, só poderão ser instalados junto às áreas destinadas pela UFSM para o CRSPE/INPE - MCT, no seu “campus”, em Santa Maria, para a implantação e instalação da Estação Terrena de Rastreo e Controle de Satélites, no Pains, em Santa Maria. O CRSPE/INPE – MCT, na área do Laboratório de Sondagem Ionosférica, Média e Alta Atmosfera Terrestre e da Estação Terrena de Rastreo e Controle de Satélites, **atenderia às necessidades relacionadas à instalação de equipamentos de natureza ativa**, tais como radares, ionossondas, antenas e outros equipamentos do gênero.

O Diretor do INPE/MCT postergou o processo de aceitação da “nova área” do “campus” da UFSM, impedindo a instalação e a utilização apropriada de Sistemas Digisonda –DPS4 e de equipamentos que foram adquiridos com a devida aprovação de seus processos pela Direção/Administração do INPE e pelo MCT.

O Reitor da UFSM afim de colaborar com o INPE/MCT com as questões relativas ao TCU forneceu Autorização Administrativa para dar inicio ao processo de instalação provisória em outra área do Sistema Digisonda dentro do Plano Diretor do



“campus – Camobi” da UFSM, em Santa Maria, RS, o que está em processo de implementação administrativa.

Por esses motivos, a instalação física do Radar/Sondador DPS-4 (DigissondaTM) ainda não foi iniciada e a conclusão das obras e funcionamento provavelmente ultrapassará o período de vigência da bolsa de Iniciação Científica. Portanto, a análise do dados do equipamento, como proposto inicialmente no plano de trabalho, ficou comprometida.

Desta forma, tentou-se contornar essa situação através de revisão bibliográfica e simulações, de modo que este relatório sirva, para os futuros estudantes envolvidos neste equipamento e nesta área de pesquisa, como uma referência no desenvolvimento dos trabalhos e no entendimento dos conceitos relativos ao fenômeno e meio estudado, a conceitos básicos de radar, a métodos matemáticos de processamento de sinais, à interpretação dos dados do equipamento e a modelos de simulação para respectiva comparação.



Capítulo 2 - INTRODUÇÃO

Por ser constituída por partículas ionizadas, a Ionosfera está sujeita à ação das forças eletromagnéticas que atuam na região. Por esse motivo o Campo Magnético terrestre tem forte influência no comportamento da Ionosfera de uma dada localidade. Sobre o território brasileiro o Campo Magnético apresenta diversas peculiaridades, as quais tornam os estudos Ionosféricos nessa região únicos no mundo. Entre estas peculiaridades destaca-se o fato de o território brasileiro estar praticamente todo confinado em baixas latitudes magnéticas, com o Equador Magnético cobrindo uma vasta extensão do país, estendendo-se do litoral do estado do Maranhão até o sul do estado de Rondônia, Figura 2.1. A Ionosfera das regiões equatoriais e de latitudes baixas é frequentemente perturbada por irregularidades de plasma que muitas vezes evoluem de tal forma a gerar grandes regiões de diminuição do plasma Ionosférico conhecidas por bolhas de plasma. As bolhas de plasma interferem nas comunicações trans-Ionosféricas, podendo afetar sinais de satélites até frequências da ordem de Gigahertz.

A eletrodinâmica da Ionosfera nas horas do pôr do Sol caracteriza-se pela subida brusca do plasma da camada *F* Ionosférica. Tal subida é produzida pela interação do vento termosférico com o gradiente longitudinal de condutividade da camada *E* (Heelis et al., 1974; Batista et al., 1986). A subida do plasma faz com que a camada *F* se torne instável. Nessa situação, uma perturbação no plasma, produzida, por exemplo, por uma onda de gravidade, torna-se instável e cresce em amplitude formando as bolhas de plasma que se desenvolvem verticalmente em direção à parte superior da Ionosfera. Tal geração das bolhas é explicada através do mecanismo de instabilidade Rayleigh-Taylor (Abdu et al., 1983). As bolhas são alinhadas à linha de Campo Magnético e, portanto, existem em forma de tubos de fluxo magnético rarefeitos de plasma. As bolhas têm dimensões de centenas de quilômetros na direção leste-oeste e milhares de quilômetros na direção meridional, atingindo grandes alturas sobre o equador e se estendendo de um hemisfério para outro. Embora já tenhamos um conhecimento razoável dos fatores que controlam as variações sazonais e anuais (e com a atividade solar) desse fenômeno,



aqueles que controlam as variações a curto prazo (de um dia para outro) são quase totalmente desconhecidos.

Outro ponto peculiar à região brasileira é a existência da Anomalia Magnética do Atlântico Sul, a qual é caracterizada por um mínimo global na intensidade total do Campo Magnético Terrestre. O centro dessa região de Campo Magnético mínimo está localizado na costa sudeste do Brasil, como mostrado na Figura 2.1. Devido a essa anomalia no Campo Magnético Terrestre, as partículas energéticas dos cinturões de radiação que circundam a terra (e que sofrem uma deriva ao seu redor enquanto realizam o movimento de vai-e-vem ao longo de uma linha de Campo Magnético) atingem altitudes mais baixas na região brasileira, podendo sofrer colisões com a atmosfera mais densa, perdendo energia e se precipitando na Ionosfera. Esse efeito constitui uma fonte adicional de ionização à Ionosfera sobre a região brasileira e é importante tanto durante períodos calmos (Abdu e Batista, 1977; Souza, 1997), quanto durante períodos perturbados (Batista e Abdu, 1977).

O terceiro aspecto peculiar à região brasileira é o alto valor da declinação magnética, a qual atinge um máximo global no nordeste do Brasil. Isso faz com que as coordenadas magnéticas sejam bem distintas das coordenadas geográficas em nossa região. O vento termosférico, por ser provocado basicamente pelo aquecimento solar, pode sempre ser descrito em função das coordenadas geográficas. Já a Ionosfera, por ser um plasma é mais bem descrita em termos de coordenadas geográficas. Como consequência, a interação Termosfera – Ionosfera – Campo Magnético apresenta comportamento bastante distinto daqueles observados em longitudes onde a declinação é baixa. Portanto, os estudos e modelos desenvolvidos para outras longitudes não são válidos na região brasileira, tornando necessário o desenvolvimento de nossos próprios modelos (Batista, 1986; Batista et al., 1986; Batista et al., 1996).



Figura 2.1 – Localização do Equador Magnético e Isolinhas de intensidade total do Campo Magnético.

Fonte: Figura fornecida por Dra. Inez Staciari Batista.



Capítulo 3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Propagação Ionosférica e Ondas Eletromagnéticas

Em 1901, Marconi demonstrou pela primeira vez que a transmissão de ondas de rádio a longas distâncias era possível, estabelecendo uma comunicação através do oceano Atlântico.

Sabe-se que os efeitos da difração não seriam suficientes para permitir uma transmissão ao redor da curvatura da Terra como a de Marconi, portanto alguma outra explicação precisava ser dada para preencher esta lacuna da ciência.

A existência de uma região em uma parte mais alta da Atmosfera foi proposta (independentemente) por A.E. Kennelly e Oliver Heaviside, e a camada Kennelly-Heaviside, ou Ionosfera como hoje é conhecida, se tornou uma parte bastante discutida nos fenômenos de radio propagação.

3.1.1 A Ionosfera

A Ionosfera é a porção ionizada da atmosfera terrestre, onde os gases que a constituem são ionizados principalmente pela radiação Solar.

A ionização dos gases ocorre desde aproximadamente 50 Km até 1000 Km de altitude, formando uma curva característica peculiar de Densidade Eletrônica *versus* Altitude, que varia dependendo da latitude considerada. Uma camada mais densa de ionização se forma durante o dia, quando o sol está incidindo diretamente na Atmosfera Neutra.

Um perfil de densidade eletrônica típico é apresentado na figura 3.1, mostrando a existência de camadas de densidade de ionização definidas. Estas camadas são chamadas de camadas D, E e F em ordem de altura.

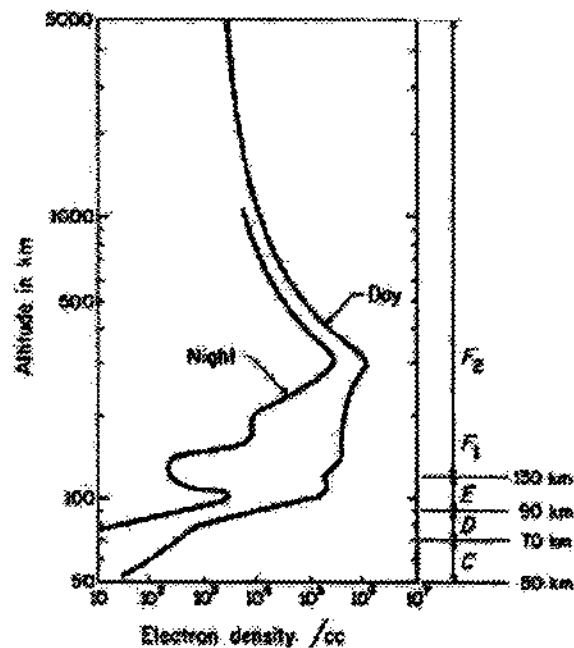


Figura 3.1 – Perfil de Densidade Eletrônica da Ionosfera

Fonte: Jordan e Balmain, 1968

O máximo da ionização ocorre por volta dos 300 Km de altitude, o pico da região F. Durante o dia a camada F se divide em duas camadas chamadas F1 e F2.

Embora o perfil se altere durante o dia, a camada F tem uma existência permanente, e pode refletir ondas de rádio tanto ao dia como à noite.

3.1.2 Propagação de Ondas em Plasmas

Sabe-se que o plasma é constituído por elétrons e íons e que a inércia dos íons se comparada a dos elétrons é muito grande, e portanto, podem ser considerados inertes, nas regiões inferiores da Ionosfera, camadas D e E. As características de propagação em plasmas diferem das características de propagação no espaço livre.

3.1.2.1 Reflexão e Refração na Ionosfera

A refração e a reflexão são fenômenos que ocorrem quando uma onda viajante incide na intersecção entre o meio atual e o meio incidente.



Os efeitos são dependentes do índice de refração dos dois meios e do ângulo de incidência.

Nem sempre o índice de refração muda abruptamente de um meio a outro, podendo ter uma variação gradativa, como é o caso da Atmosfera e da Ionosfera Terrestre.

Na Ionosfera, os efeitos da reflexão e da refração são dependentes do comprimento de onda, e assim, pode-se dividir o estudo para baixas e altas frequências.

Baixas Frequências

O comprimento de onda é suficientemente grande e, portanto, há uma grande mudança na densidade eletrônica ao longo de distâncias iguais ao comprimento de onda. Desta forma pode-se considerar a Ionosfera como uma grande superfície refletora, e desta forma há apenas reflexão.

Altas Frequências

Neste caso a densidade eletrônica não varia muito ao longo do curso do comprimento de onda e o fenômeno de refração ocorre juntamente com o de reflexão.

Quando a mudança na velocidade de fase é pequena ao longo do curso do comprimento de onda as leis da ótica podem ser usadas para explicar o processo.

Neste caso, a pequena mudança na velocidade de fase significa uma pequena mudança na densidade eletrônica.

Para um meio com poucas perdas:

$$v_p = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{c}{\sqrt{\mu_r\epsilon_r}} \quad (1)$$

onde $c = 1/\sqrt{\mu_v\epsilon_v}$ é a velocidade da luz do vácuo

Assumindo a permeabilidade da Ionosfera como sendo igual a do vácuo, $\mu_r = 1$

$$v_p = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

onde ϵ_r depende da densidade eletrônica N.

Neste caso, a onda penetra na parte mais baixa da Ionosfera sem reflexão, e ao longo do percurso a trajetória é encurvada, para longe da região de máxima densidade eletrônica.



Em todo o trajeto, a lei de Snell é respeitada.

$$\text{sen } \phi_i = n \cdot \text{sen } \phi$$

$$\text{sen } \phi = \frac{\text{sen } \phi_i}{n} \quad (3)$$

Em qualquer meio

$$n = \frac{c}{v_p} \quad (4)$$

Para o caso de poucas perdas

$$n = \sqrt{\epsilon_r} \quad (5)$$

Em geral, a condutividade efetiva da Ionosfera não pode ser desprezada, mas para este caso, altas frequências, a reflexão é predominante nas camadas F e considerando pequenos os efeitos da condutividade, para $\omega^2 \gg \nu^2$:

$$\epsilon_r = \left(1 - \frac{Ne^2}{\epsilon_0 m \omega^2} \right) \quad (6)$$

onde $e = 1,59 \times 10^{-19}$ Coulombs, $m = 9 \times 10^{-31}$ kg

Substituindo em (37) os valores acima:

$$\epsilon_r = \left(1 - \frac{81N}{f^2} \right) \quad (7)$$

onde f é a frequência em Hz e N é a densidade eletrônica.

O índice de refração decresce com a penetração da onda nas regiões de mais alta densidade eletrônica e o ângulo de refração cresce na mesma proporção.

Quando n decresce ao ponto onde $n = \text{sen } \phi_i$, o ângulo de refração ϕ será 90° e a onda viaja na horizontal.

O ponto mais alto alcançado pela onda é o ponto onde a densidade eletrônica satisfaz a condição:

$$\sqrt{1 - \frac{81N'}{f^2}} = \text{sen } \phi_i \quad (8)$$

ou

$$N' = \frac{f^2 \cos^2 \phi_i}{81} \quad (9)$$



Então, se em algum ponto a densidade eletrônica N respeitar a condição acima, a onda é refletida.

Quando o ângulo de incidência ϕ_i for zero, a densidade eletrônica máxima é encontrada. Para qualquer camada a frequência de corte será

$$f_{cr} = \sqrt{81N_{max}} \quad , \quad (10)$$

onde, N_{max} é a máxima densidade de ionização e f_{cr} é a frequência crítica ou de corte para a camada.

3.1.2.2 Frequências Críticas e Alturas Virtuais das Camadas Ionosféricas

As características Ionosféricas podem ser determinadas com a análise de ecos de pulsos transmitidos, medindo-se o tempo de atraso dos ecos em função da frequência.

A figura 3.2 mostra um esboço do trajeto da onda desde a transmissão até a recepção.

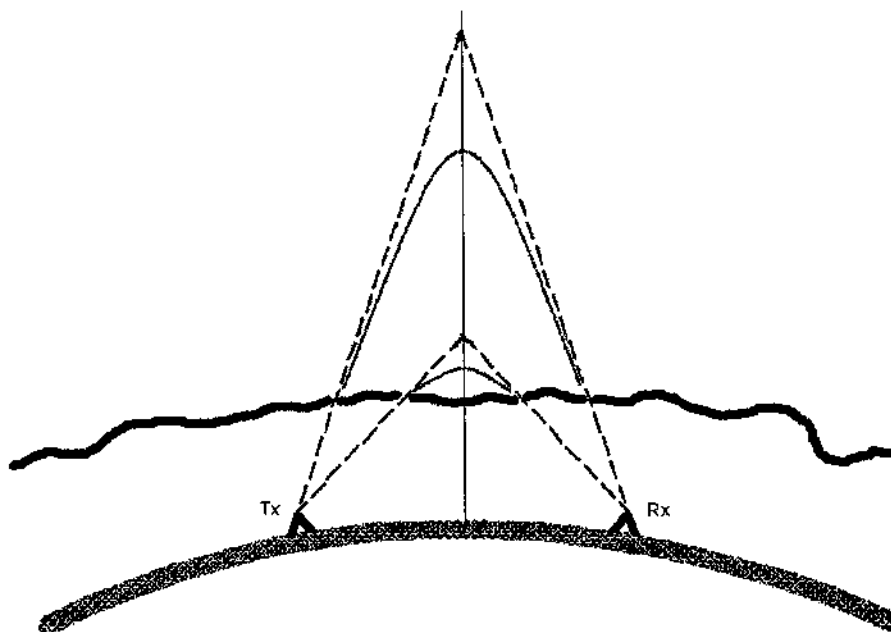


Figura 3.2: Trajetos de propagação de uma onda refletida na Ionosfera

Fonte: Adaptado de University of Massachusetts Lowell, Center for Atmospheric Research.



As linhas tracejadas denotam os caminhos hipotéticos retilíneos e as linhas contínuas denotam as trajetórias reais.

Nota-se que a altura virtual medida é maior que a altura real devido ao encurtamento do trajeto do sinal. Embora o comprimento do caminho retilíneo seja maior, a velocidade de grupo do sinal na Ionosfera é menor que no espaço livre. A diferença na velocidade de grupo do sinal, para as trajetórias retilínea e real, é tal que torna os tempos de atraso dos dois caminhos iguais.

À medida que se incrementa a frequência, a partir de 1 MHz, a altura virtual aumenta gradativamente, indicando os níveis das camadas em função da frequência.

3.1.2.3 Máxima Frequência Usável (MUF)

A equação (10) representa a máxima frequência que será refletida com incidência vertical. Para outras inclinações, a máxima frequência que será refletida de volta é dependente do ângulo de incidência da onda e, portanto, para uma dada camada, depende da distância entre os pontos de transmissão e recepção.

Assim, para uma dada distância, a frequência máxima de uma onda eletromagnética que pode ser refletida de volta é denominada Máxima Frequência Usável (MUF).

$$MUF = f_{cr} \sec \phi_i \quad (11)$$

Nota-se pela equação acima que a máxima frequência usável é maior que a frequência de corte.

Por causa da curvatura da terra, e da camada Ionosférica, o maior ângulo de incidência ϕ , que se pode obter na reflexão da camada F é da ordem de 74 graus (Jordan e Balmain, 1968).

Portanto,

$$MUF(\max) \approx \frac{f_{cr}}{\cos 74^\circ} \approx 3,6 f_{cr} \quad (12)$$



3.1.2.4 Presença do Campo Geomagnético

O comportamento do plasma muda significativamente na presença do Campo Magnético Terrestre. A Equação de Appleton para o índice de refração é uma das equações fundamentais usadas no campo da propagação Ionosférica. Esta equação mostra que há dois valores para o índice de refração, resultando em uma divisão da onda linearmente polarizada que incide na Ionosfera, em duas componentes, a componente ordinária e a componente extraordinária. Estas se propagam com uma velocidade diferente e portanto, aparecem como dois ecos distintos. Elas também exibem duas polarizações distintas, aproximadamente circular à direita e circular à esquerda.

3.1.3 Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS

A Terra é envolvida pelo seu Campo Geomagnético, o qual a protege de partículas de alta energia provindas principalmente do Sol. Contudo, algumas partículas podem penetrar nas regiões polares onde as linhas de campo são ‘abertas’.

A Figura 3.3 mostra a distribuição da intensidade de Campo Magnético em todo o Globo. A imagem é gerada usando o Modelo Geomagnético IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*) para o ano 2000.

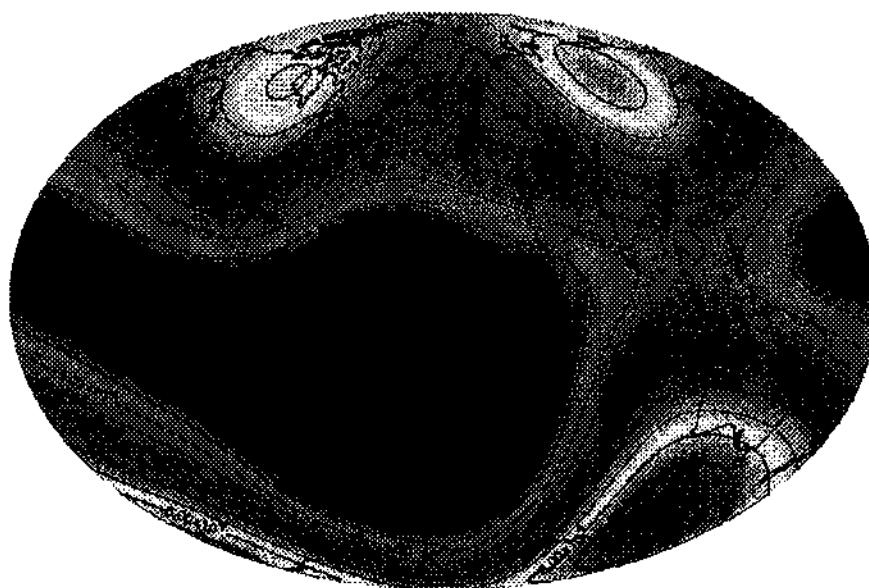


Figura 3.3 - Distribuição da Intensidade de Campo Geomagnético

Fonte: NOAA / NESDIS / NGDC



Nota-se que na região Sul da América do Sul, a intensidade de Campo Magnético é bastante reduzida. Este fenômeno foi chamado de Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS). Nesta região, há uma maior precipitação de partículas de alta energia que em outras áreas do globo devido à redução da intensidade de campo.

Os efeitos nesta área mais vulnerável na atmosfera são bastante relevantes, entre elas citamos:

- equipamentos eletrônicos sofrem indução das partículas, podendo operar sem confiabilidade ou mesmo deixar de operar por danos mais sérios, sendo os satélites os equipamentos mais atingidos;
- Ionosfera local pode sofrer influência da precipitação de partículas; e
- sistemas biológicos alterados por sensibilidade às partículas.

Pesquisas têm apontado que está ocorrendo uma diminuição geral da intensidade de Campo Magnético Terrestre e com isso, a área da AMAS tende a ser ainda mais afetada pela precipitação de partículas de alta energia.

3.2 DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

O Centro de Pesquisa Atmosférica da Universidade de Massachusetts Lowell desenvolveu uma versão reduzida dos radares Ionosféricos do tipo Digisonde™, o Radar de Sondagem Portátil Digissonda (DPS), capaz de fazer medições das camadas da ionosfera e com isso prover em tempo real as condições Ionosféricas locais.

A maior obstáculo de tornar prático o uso dos dados dos radares Ionosféricos e a difusão da informação computada associada está na disseminação destes dados por um sítio de processamento e análise de dados (ULMCAR, *Digisonde™ Vertical Incidence Sounder, System Manual*).

Este sistema é vantajoso se comparado às versões antigas da Digissonda™, dado que a potência foi reduzida em torno de 20 dB na transmissão, ficando em torno de 300 W.

Esta característica se torna interessante nos casos em que o equipamento está instalado em algum lugar remoto distante de rede de energia. Com um conversor



adequado, pode-se retirar a energia necessária ao funcionamento de todo o equipamento mesmo de um veículo com uma bateria ou célula elétrica de tensão contínua e voltagem reduzida.

O motivo desta melhoria está no fato do uso de técnicas de processamento digital de sinais, com foco no ganho por processamento. Técnicas como codificação de fase intra-pulsos, compressão digital de pulso e integração Doppler, são capazes de oferecer um ganho bastante expressivo usando algoritmos de cálculo numérico no processamento do sinal que foi enfraquecido pela reflexão no alvo e pela atenuação devido a distância de propagação da onda.

Atualmente o INPE possui três Digissondas em operação. Duas delas são do modelo DGS256 e estão instaladas em Cachoeira Paulista, desde 1990, e em São Luís, desde 1994. A terceira é de um modelo mais moderno, modelo DPS, e está instalada em Fortaleza desde 2000.

Recentemente, o Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais CRSPE / INPE - MCT adquiriu uma Digissonda do Modelo DPS-4. Este modelo é composto por 4 antenas receptoras do tipo loop-cruzado, antena de transmissão, um transceptor integrado e um computador dedicado trabalhando como estação receptora dos dados.

Nas figuras 3.4 e 3.5 são mostradas as partes principais da Digissonda modelo DPS-4, adquirido pelo Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE / INPE – MCT, para o seu Laboratório de Sondagem Ionosférica, da Média e Alta Atmosfera Terrestre Laboratório de Atmosferas Planetárias e Terrestre que se encontra em fase de instalação provisória no “Plano Diretor” do “campus” da UFSM, em Santa Maria, RS.

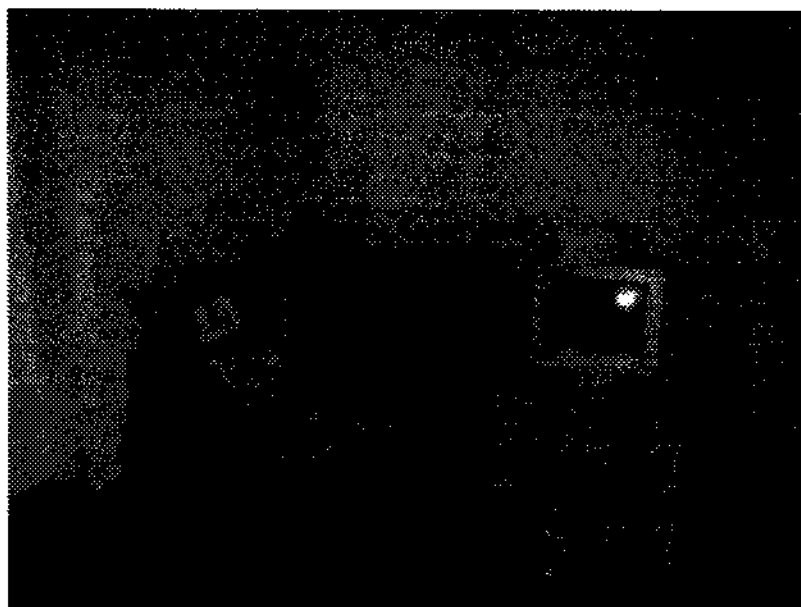


Figura 3.4 – O gabinete abaixo do monitor contém os dois computadores dedicados da Digissonda modelo DPS-4 juntamente com um transceptor integrado, para a transmissão e recepção. Ao lado estão as estruturas das antenas.

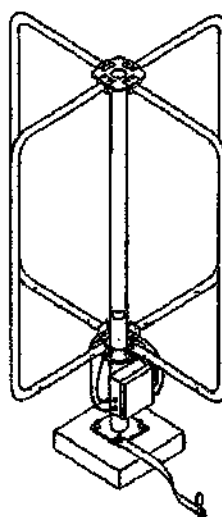


Figura 3.5 – Configuração da antena receptora de loop-cruzado.

Fonte: University of Massachusetts Lowell, Center for Atmospheric Research



O sistema Digissonda™ envolve as seguintes tecnologias:

- Antena receptora ativa de loop cruzado com *switch* eletrônico;
- Processador Digital de Sinal (DSP) comercial 10 MIPS TMS320C25;
- Buffer de memória do DSP de 4 milhões de amostras;
- Sintetizador digital de 71 a 110 MHz num cartão de 4"x5";
- Conversor compacto DC-DC permitindo operação em uma única bateria;
- Placa digitalizadora de 4 canais de alta velocidade (10^6 x 12-bit amostras/s);
 - Barramento de dados paralelo com velocidade de 160 Mbits/s entre o digitalizador e o DSP;
 - Um sistema operacional multi-tarefa para interação remota via conexão de modem;
 - Osciladores coerentes sintetizados digitalmente;
 - 21 dB em ganho de processamento por compressão de pulso codificado;
 - 21 dB em ganho adicional de processamento por integração Doppler; e
 - Identificação automática das camadas ionosféricas e escalamento de parâmetros por um sistema inteligente embutido.

O objetivo do projeto do DPS foi desenvolver um pequeno radar Ionosférico de incidência vertical o qual poderia coletar e analisar automaticamente medições de parâmetros Ionosféricos por sítios de operação remota de forma a proporcionar uma seleção de frequências ótima para comunicações oblíquas ou caminhos de propagação para radar. Objetivos intermediários foram assumidos serem necessários para desenvolver a capacidade de produzir formas de onda otimamente eficientes, e de geração e processamento de sinais densos e circuitos auxiliares funcionais.

A necessidade de um computador embutido de propósito geral foi um fator imperativo. Portanto *softwares* de controle em tempo-real foram desenvolvidos para



incorporar tantas funções quantas fossem praticáveis dentro deste computador. Com isso, circuitos adicionais e componentes para desempenhar estas funções foram reduzidos. O DPS inclui medições simultâneas de sete parâmetros de sinais enviados e posteriormente refletidos pela Ionosfera:

- 1) frequência;
- 2) alcance (altitude para medidas de incidência vertical);
- 3) amplitude;
- 4) fase;
- 5) deslocamento Doppler e espalhamento;
- 6) ângulo de partida; e
- 7) polarização.

3.3 CONCEITOS BÁSICOS DE RADAR

Radar é uma sigla de “Radio Detection and Ranging”. O termo “radio” se refere ao uso de ondas eletromagnéticas com comprimentos de onda em uma determinada porção do espectro (10^4 km até 1 cm). Por exemplo, um radar que trabalha em 30 MHz, usa comprimentos de onda de 10 m. Os termos “Detection” e “Ranging” estão relacionados com o tempo de atraso entre a transmissão de um pulso de energia e seu subsequente retorno.

Com um tempo de atraso de Δt , o alcance pode ser determinado pela simples fórmula:

$$R = \frac{c \cdot \Delta t}{2} \quad (13)$$

onde c = velocidade de propagação da onda eletromagnética no meio. O fator 2 na fórmula, vem do fato que o pulso deve viajar até o alvo e depois retornar ao radar.

Um trem de pulsos de radar é um tipo de modulação em amplitude (AM) na onda portadora de emissão do radar, da mesma forma como em outros sistemas de comunicação. A diferença está no fato de que a informação é muito simples, sendo apenas uma seqüência pré-definida de pulsos em intervalos regulares. A figura a seguir mostra uma transmissão típica de pulso de radar em função do tempo.

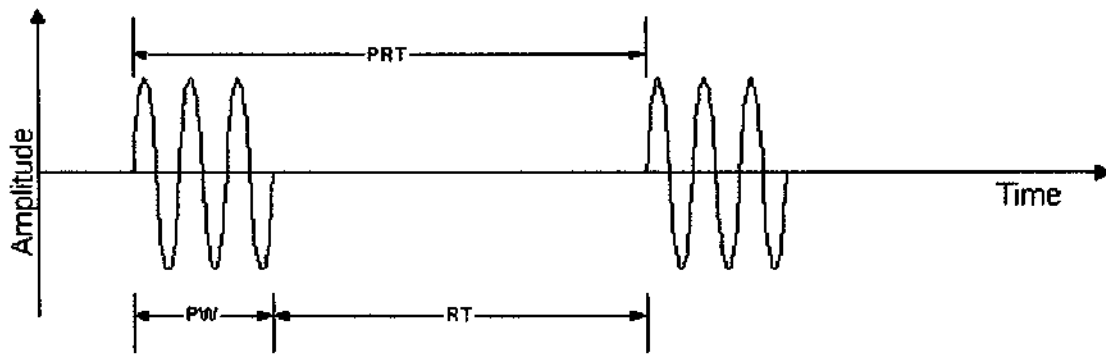


Figura 3.6 – Transmissão Típica de Pulsos de Radar

Fonte: MacMaster University (ASL - Adaptive Systems Laboratory)

Os parâmetros comuns de um radar referidos à Figura 3.6 acima, são detalhados a seguir:

a) **PW (Pulse Width)** = Largura de Pulso. Tem sua unidade em tempo, geralmente expressa em μs ;

b) **RT (Rest Time)** = Pausa entre pulsos. É o intervalo de tempo entre pulsos;

c) **PRT (Pulse Repetition Time)** = Tempo de Repetição do Pulso. Tem sua unidade em tempo, geralmente expressa em μs . PRT é o intervalo entre o começo de um pulso e o começo do próximo;

$$\text{PRT} = \text{PW} + \text{RT} ;$$

d) **PRF (Pulse Repetition Frequency)** = Frequência de Repetição de Pulso. Tem sua unidade em tempo⁻¹, geralmente expresso em Hz ou em pulsos por segundo (pps). PRF é o inverso de PRT; e

e) **RF (Radio Frequency)** = Rádio Frequência. Tem sua unidade em Hz, geralmente expresso em MHz e GHz. É a frequência da portadora a qual está sendo modulada para formar o trem de pulsos.



3.4 PROCESSAMENTO DIGITAL DE SINAIS

Um sinal pode ser definido como uma função que carrega informação, geralmente sobre o estado ou comportamento do sistema físico. Embora os sinais possam ser representados de várias maneiras, em todos os casos a informação está contida em algum padrão de variações.

Sinais são representados matematicamente como funções de uma ou mais variáveis independentes, como o tempo, frequência, posição, temperatura e várias outras grandezas.

A variável independente em uma representação matemática de um sinal pode ser ou contínua ou discreta, dependendo da conveniência e/ou da natureza do sinal.

Sinais de tempo discreto podem ser obtidos amostrando-se um sinal de tempo contínuo ou podem ser gerados diretamente de algum processo de tempo discreto. Por qualquer que seja a origem dos sinais de tempo discreto, sistemas de processamento de sinais de tempo discreto possuem muitas características atrativas. Eles podem ser realizados com grande flexibilidade com uma variedade de tecnologias tais como dispositivos SAW (*Surface Acoustic Wave*), computadores digitais de propósito geral, ou por microprocessadores de alta velocidade. Sistemas completos de processamento de sinal podem ser implementados usando técnicas VLSI (*Very Large Scale Integration*). Sistemas de tempo discreto podem ser usados para simular sistemas analógicos ou, mais importante, realizar transformações no sinal que não podem ser implementados com hardware de tempo contínuo. Assim, as representações de tempo discreto dos sinais são freqüentemente desejáveis quando processamentos de sinais sofisticados e flexíveis são requeridos (Oppenheim e Shafer, 1989).

A adição de compressão digital de pulso no DPS torna possível o uso de pouca potência, a implementação em *software* de processos que foram previamente implementados em hardware resulta em uma menor embalagem física, e a linguagem de alto nível do software de controle e padrão de formato de dados PC-DOS (isto é, IBM/PC) viabilizam um novo nível de flexibilidade na operação do sistema e no processamento dos dados.



3.4.1 MODULAÇÃO DE FASE COERENTE E COMPRESSÃO DE PULSO

O VIS/DPS (*Vertical Incidence Sounder/Digisonde™ Portable Sounder*) foi capaz de ser miniaturizado através do alongamento do pulso transmitido para além da largura de pulso requerida de forma a obter a faixa de resolução desejada.

A faixa de resolução do radar é definida como,

$$\Delta R = \frac{c}{2B} \quad (14)$$

onde B é a banda passante do sistema em Hz, c é a velocidade da luz em m/s e ΔR é a faixa de resolução do radar em metros.

Ou

$$\Delta R = \frac{cT}{2}, \quad (15)$$

para uma forma de onda de um pulso retangular simples, com T sendo a largura do pulso retangular.

O pulso mais longo permite que um amplificador do estado sólido para baixas voltagens transmita uma porção da energia igual àquela transmitida por um transmissor de pulso de alta potência sem ter que prover componentes para altas tensões por níveis de dezenas de kilowatts de potência. A resolução de tempo do pulso curto é provida pela modulação de fase intra-pulso usando códigos de fase programáveis, os Códigos Complementares, e códigos-M. O uso da técnica de compressão de pulso com Código Complementar mostra que uma potência de transmissão de 300 W a qualidade de medição esperada é a mesma que para um radar convencional de aproximadamente 500 kW de pico de potência do pulso.

3.4.2 TÉCNICAS DE MEDIÇÃO DO ÂNGULO DE CHEGADA

O sistema VIS/DPS usa duas técnicas distintas para determinar o ângulo de chegada dos sinais recebidos pelo arranjo das quatro antenas receptoras, uma técnica de resolução de abertura usando direcionamento digital de feixe, desempenhada no sítio em



tempo-real, e uma técnica de super-resolução a qual é realizada quando os dados coletados estão sendo analisados, em pós-processamento.

Ambas as técnicas utilizam os princípios básicos da interferometria. Este método é baseado na diferença de caminho entre a fonte distante e cada uma das antenas receptoras. A diferença de fase, $\Delta\phi$, entre as antenas é proporcional a diferença de caminho no espaço livre, Δl , baseada na fração do comprimento de onda representado por

$$\Delta l = d \cdot \text{sen}\theta \quad (16)$$

e

$$\Delta\phi = \frac{2\pi \cdot \Delta l}{\lambda} = \frac{2\pi \cdot d \cdot \text{sen}\theta}{\lambda} \quad (17)$$

onde θ é o ângulo no Zênite, d é a separação entre as antenas na direção do sinal incidente, isto é, no mesmo plano que θ é medido, e λ é o comprimento de onda no espaço livre do sinal de RF.

Esta relação é usada para computar os deslocamentos de fase requeridos para combinar coerentemente as quatro antenas dos sinais chegando em uma dada direção de irradiação, e esta relação, resolvida para θ , é também baseada na determinação do ângulo de chegada diretamente das medições de fase independentes feitas em cada antena.

A Figura 3.7 mostra a configuração física das quatro antenas receptoras. As várias distâncias de separação de 17,3 m, 34,6 m, 30 e 60 m são repetidas em seis diferentes planos azimutais, isto é, em seis modos simétricos deste arranjo, e por essa razão, as variações de ϕ , $\Delta\phi$, computadas para uma direção também se aplicam às outras cinco direções. Esta simetria de seis modos é explorada definindo as seis direções azimutais tornando os cálculos do direcionamento de feixe muito eficientes.

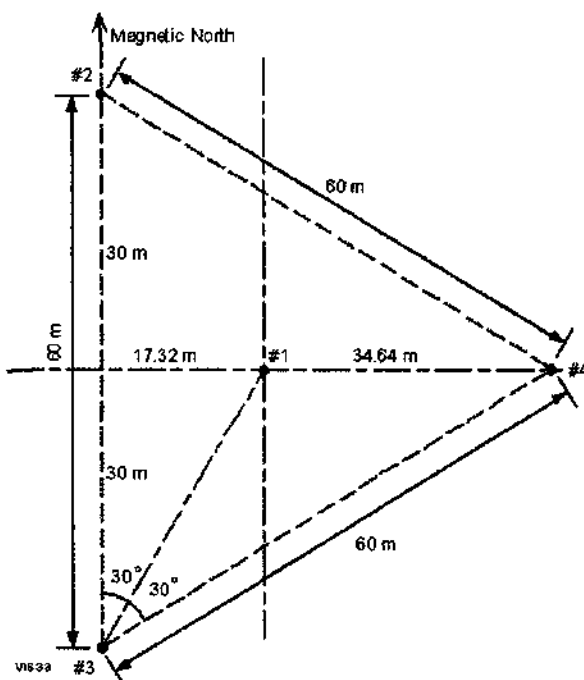


Figura 3.7 – Configuração do Arranjo das Antenas Receptoras da Digisonda modelo DPS-4 que está sendo instalado pelo Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE / INPE – MCT, no “campus” da UFSM.

Fonte: University of Massachusetts Lowell, Center for Atmospheric Research.



Capítulo 4 – JUSTIFICATIVA

O equipamento DPS descrito no Capítulo anterior fornece uma grande quantidade de dados que são de importância para o estudo e caracterização da Ionosfera. No Brasil apenas três outros equipamentos desta natureza estão em operação. Dada a extensão territorial de nosso País, o equipamento que está sendo instalado em Santa Maria no âmbito da Parceria INPE – UFSM, virá complementar a lacuna de informações que existe na Região Sul do Brasil, onde a precipitação de partículas de alta energia ocorre com maior facilidade devido à reduzida intensidade do Campo Magnético Terrestre. Por esse motivo a formação e treinamento de pessoas capazes de trabalhar com o DPS e com os seus dados é, neste momento, tarefa de grande urgência.



Capítulo 5 – DESENVOLVIMENTO

Esta parte do Relatório descreve as atividades práticas desenvolvidas pelo bolsista em conjunto com os colaboradores. Como o problema abordado pelo Projeto é de grande abrangência, envolvendo atividades diversas, o desenvolvimento foi dividido em atividades diretamente ligadas ao projeto e atividades indiretamente ligadas ao Projeto.

As atividades diretamente ligadas ao Projeto são:

- 5.1 Treinamento com o *software* de análise SAO-X
- 5.2 Treinamento com o modelo Ionosférico IRI

As atividades indiretamente ligadas ao Projeto são:

- 5.3 Escolha do sítio provisório no “campus” da UFSM, para a instalação da Digissonda modelo DPS – 4 do CRSPE / INPE - MCT, incluindo pré-medição.
- 5.4 Manutenção do computador de análise e armazenamento dos dados.

5.1 TREINAMENTO COM O SOFTWARE DE ANÁLISE SAO-X

O SAO-X é um programa desenvolvido pelo Centro de Pesquisas Atmosféricas da Universidade de Massachusetts Lowell - UMLCAR, com o objetivo de analisar dados coletados pela DigissondaTM. O programa, além de oferecer resultados gráficos, disponibiliza as informações em formato de texto, permitindo a extração de informações de interesse para análise em outros *softwares* oferecendo uma grande flexibilidade para utilização das informações. O SAO-X disponibiliza dados dos seguintes parâmetros listados conforme Tabela 5.1.



Tabela 5.1 – Características Ionosféricas Escaladas medidas e calculadas pela Digissonda modelo DPS-4 adquirida pelo Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE / INPE – MCT.

Descrição	Unidades	Precisão
foF2 : F2 layer critical frequency, including the adjustment by the true height profile algorithm	MHz	at least quarter of frequency increment
foF1 : F1 layer critical frequency	MHz	1 frequency increment
M(D) = MUF(D)/foF2	-	-
MUF(D) : Maximum usable frequency for ground distance D	MHz	1 frequency increment
Fmin: minimum frequency of ionogram echoes	MHz	1 frequency increment
foEs : Es layer critical frequency	MHz	1 frequency increment
fminF : Minimum frequency of F-layer echoes	MHz	1 frequency increment
fminE : Minimum frequency of E-layer echoes	MHz	1 frequency increment
foE : E layer critical frequency	MHz	1 frequency increment
fxI : Maximum frequency of F-trace	MHz	1 frequency increment
h'F : Minimum virtual height of F trace	km	1 height increment
h'F2 : Minimum virtual height of F2 trace	km	1 height increment
h'E : Minimum virtual height of E trace	km	1 height increment
h'Es : Minimum virtual height of Es trace	km	1 height increment
zmE : Peak height of E-layer	km	1 height increment
yE : Half thickness of E layer	km	1 height increment
QF : Average range spread of F layer	km	1 height increment
QE : Average range spread of E layer	km	1 height increment
DownF : Lowering of F trace to the leading edge	km	1 height increment
DownE : Lowering of E trace to the leading edge	km	1 height increment
DownEs : Lowering of Es trace to the leading edge	km	1 height increment
FF : Frequency spread between fxF2 and fxI	MHz	1 frequency increment
FE : Frequency spread beyond foE	MHz	1 frequency increment
D : Distance for MUF calculation	km	1 km
fMUF : MUF/OblFactor	MHz	1 frequency increment
h'(fMUF) : Virtual height at MUF/OblFactor frequency	MHz	1 height increment
delta_foF2 : Adjustment to the scaled foF2 during profile inversion	MHz	1 kHz
foEp : predicted value of foE	MHz	±0.3 MHz
f(h'F) : frequency at which h'F occurs	MHz	1 frequency increment
f(h'F2) : frequency at which h'F2 occurs	MHz	1 frequency increment
foF1p : predicted value of foF1	MHz	± 0.5 MHz
Peak height of F2 layer	km	
Peak height of F1 layer	km	



zhalfNm : the true height at half the maximum density in the F2 layer	km	1 km
foF2p : predicted value of foF2	MHz	± 2.0 MHz
fminEs : minimum frequency of Es layer	MHz	1 frequency increment
yF2 : half thickness of the F2 layer, parabolic model	km	100 m
yF1 : half thickness of the F1 layer, parabolic model	km	100 m
TEC : total electron content	10^{16} m^{-2}	-
Scale height at the F2 peak	km	1km
B0, IRI thickness parameter	km	-
B1, IRI profile shape parameter	-	-
D1, IRI profile shape parameter, F1 layer	-	-
foEa, critical frequency of auroral E layer	MHz	1 frequency increment
h'Ea, minimum virtual height of auroral E layer trace	km	1 height increment
foP, highest ordinary wave critical frequency of F region patch trace	MHz	1 frequency increment
h'P, minimum virtual height of the trace used to determine foP	km	1 height increment
fbEs, blanketing frequency of Es layer	MHz	1 frequency increment

Fonte: <http://ulcar.uml.edu/%7Eiag/SAO-4.3.htm>

Como dados da Ionosfera sob a região de Santa Maria ainda não puderam ser analisados, optou-se por mostrar o desempenho do programa com dados de Campo Grande – MS, obtidos durante o experimento de Pontos Conjugados - COPEX, realizado pelo grupo de pesquisa em Ionosfera do INPE/MCT. Tais dados foram obtidos com a DPS que está sendo instalada no “campus” da UFSM, no âmbito da Parceria INPE – UFSM, em Santa Maria. Com os parâmetros mostrados acima, o programa pode fazer gráficos de perfil de densidade eletrônica, conteúdo eletrônico total - TEC, perfil diário de distribuição de frequências críticas, contornos de camadas para as frequências críticas indicando altura virtual e real, ionogramas e mais algumas funções, como mostrado abaixo. Os gráficos apresentados nas Figuras 5.1 a 5.9 são resultados de um dia de coleta de dados, onde são mostradas análises de parâmetros considerados importantes no nosso estudo.

Perfil de Densidade Eletrônica

Estes gráficos mostram a densidade eletrônica da Ionosfera na faixa de altura de 100 a 1350 km, mostrando principalmente a região F. No gráfico da Figura 5.1, os perfis são atualizados a cada 5 ou 8 minutos, dependendo do horário.

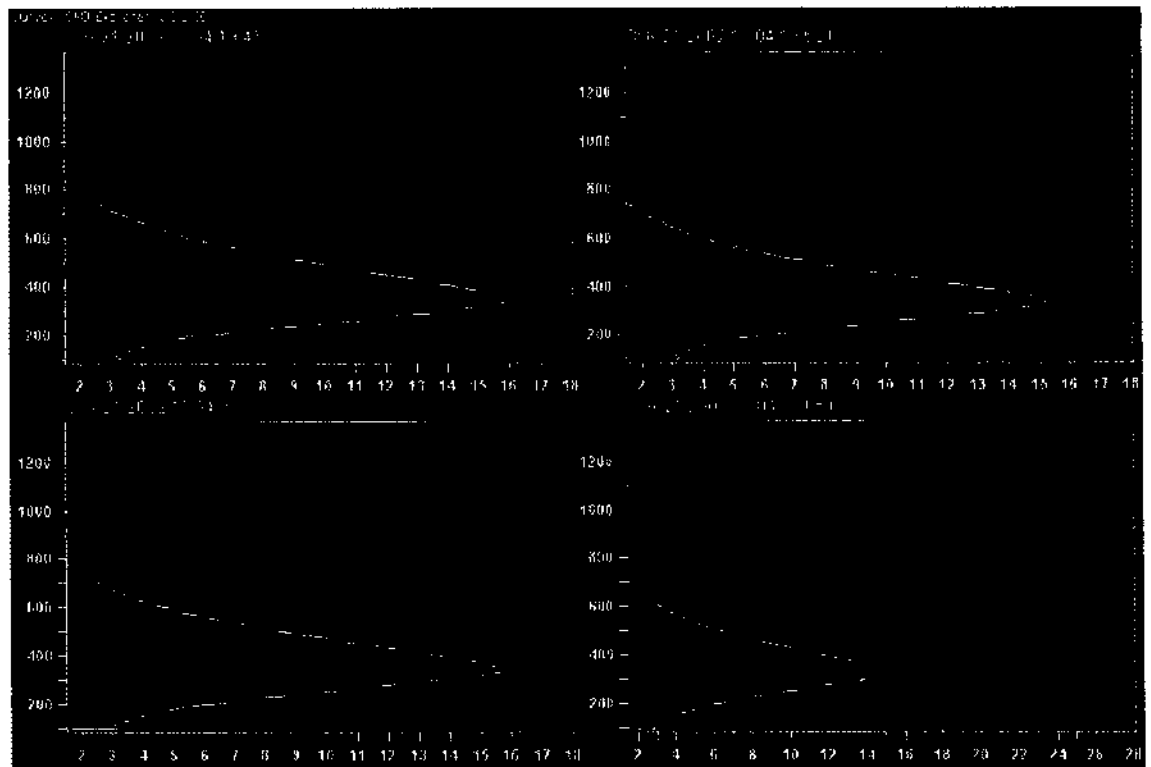


Figura 5.1 – Perfil da Densidade Eletrônica da região de Campo Grande, entre 19h 45min e 20h 25min.

O eixo horizontal do gráfico representa a frequência transmitida, em MHz, a qual pode ser transformada em densidade eletrônica pela equação (10). O eixo vertical mostra a altura, em quilômetros.

O valor máximo da frequência, para estes gráficos, está sempre próximo a 15 MHz e determina o máximo da densidade eletrônica na faixa entre 300 e 350 km de altitude.

CONTORNOS DE ALTURA REAL E ALTURA VIRTUAL

Estes gráficos mostram os contornos da altitude em que as frequências de interesse são refletidas. Os gráficos são plotados para um dia de coleta. Abaixo são mostrados os contornos, num passo de frequência de 1 MHz começando em 3 MHz, em escala de tempo universal, UT.



Contours, CGR21, DPS-4, SAO Explorer, v 3.2.06

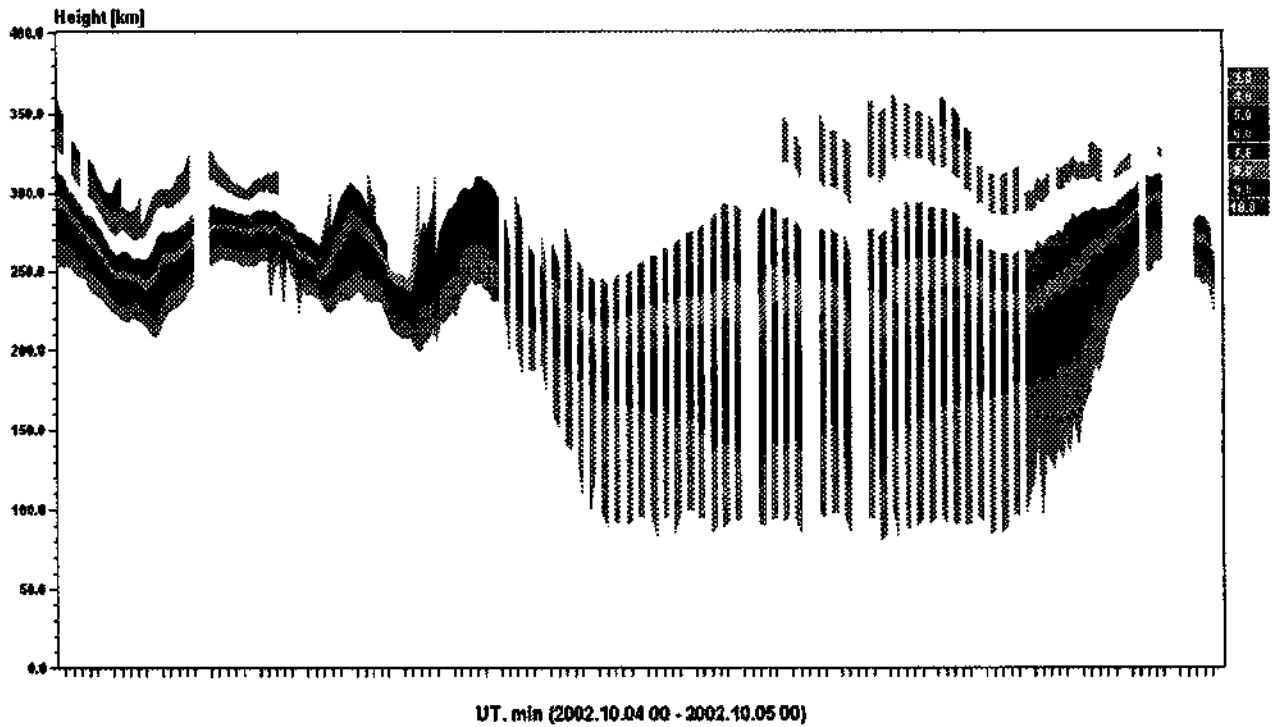


Figura 5.2 - Altura Real calculada pelos modelos de propagação de ondas disponíveis no SAO-X.

Contours, CGR21, DPS-4, SAO Explorer, v 3.2.06

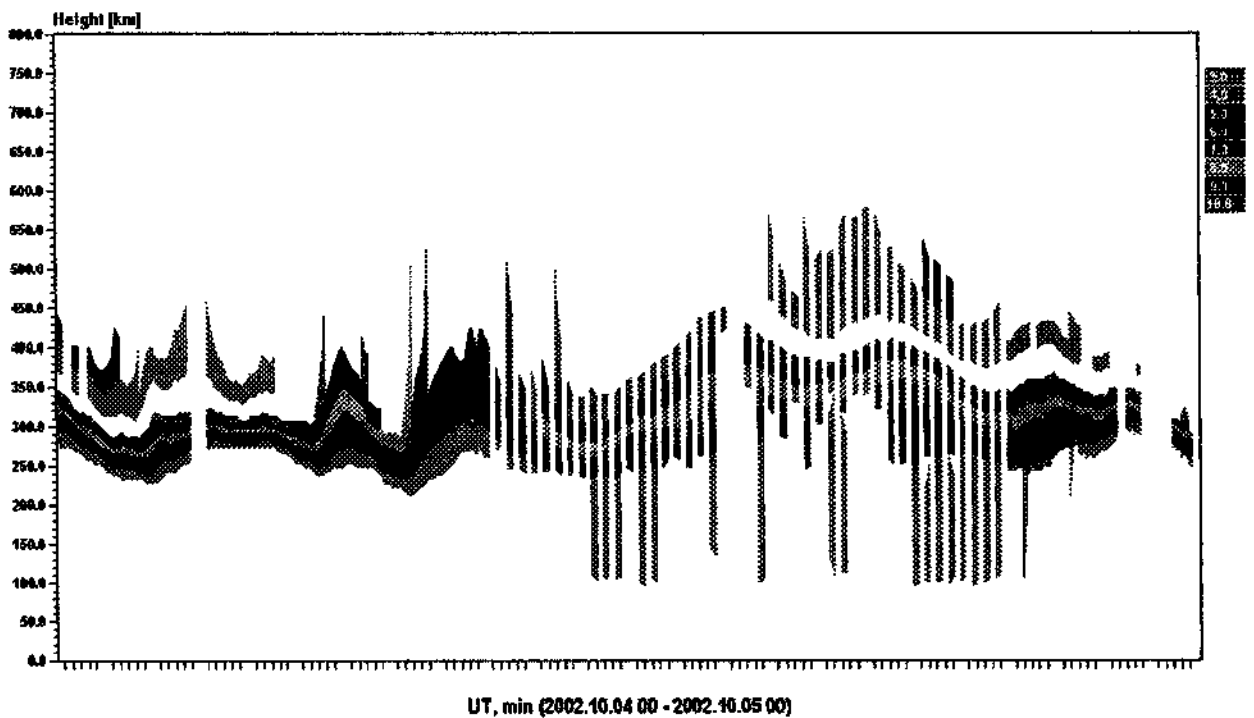


Figura 5.3 - Altura Virtual obtida pela estimativa de tempo de viagem da onda transmitida e, posteriormente, refletida pelas densidades eletrônicas correspondentes.



No *software* SAO-X as imagens são coloridas, mostrando melhor as fronteiras de limitação das frequências. As informações referentes a estes gráficos são disponibilizadas em formato de texto, e podem ser utilizadas para uma análise individual das frequências em outro *software* de análise numérica. Para estas análises foi utilizado o *software* MATLAB®.

Os gráficos das Figuras 5.4 a 5.9 foram plotados para os valores das amostras adquiridas durante 24 horas pelo equipamento, em escala de tempo universal, UT. O intervalo das amostras é constante e igual a 5 minutos para as amostras de números 1 a 107, correspondendo ao intervalo de tempo entre 00h 00min e 09h 00min. Para o intervalo entre as amostras de números 108 a 195, o tempo de amostragem começa em 7 minutos para a primeira amostra, para a segunda amostra o tempo de amostragem muda para 8 minutos, para a terceira amostra 7 minutos, para a quarta amostra 8 minutos, e assim segue até a amostra de número 195, que representa 20h 00min. Nas amostras restantes, 196 a 242, o tempo de amostragem volta a ser de 5 minutos e a amostra de número 242 fecha o dia à 23h 55min.

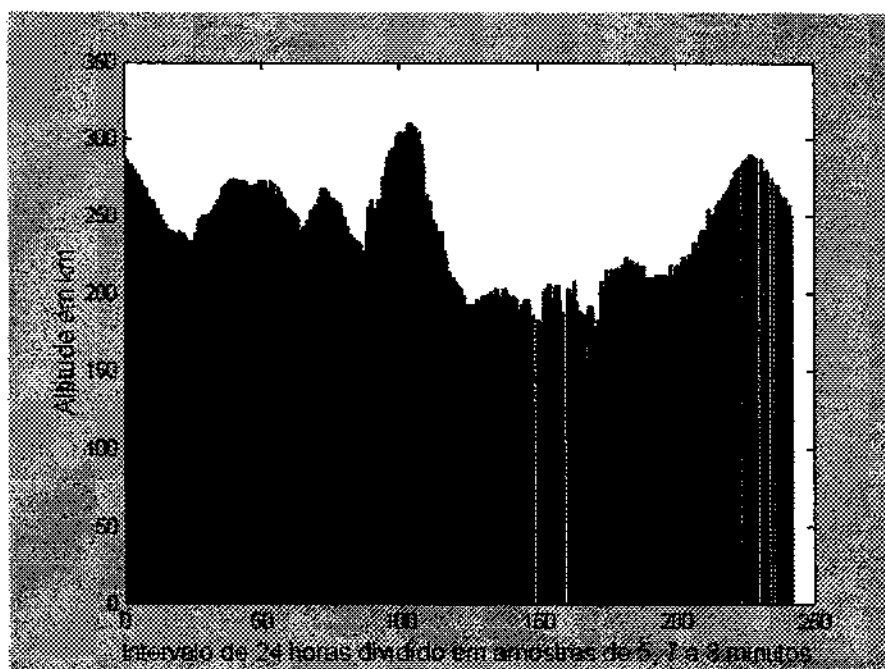


Figura 5.4 – Altura Real calculada pelos modelos de propagação de ondas disponíveis no SAO-X para a frequência de 7 MHz.



Contorno de 7 MHz: O pico de 08h 45min (amostra 107) vai a 310,993 km de altitude. Durante o dia a altitude contorno se estabiliza entre 200 e 220 km. Durante a noite os contornos variam entre 240 e 300 km para esta frequência.

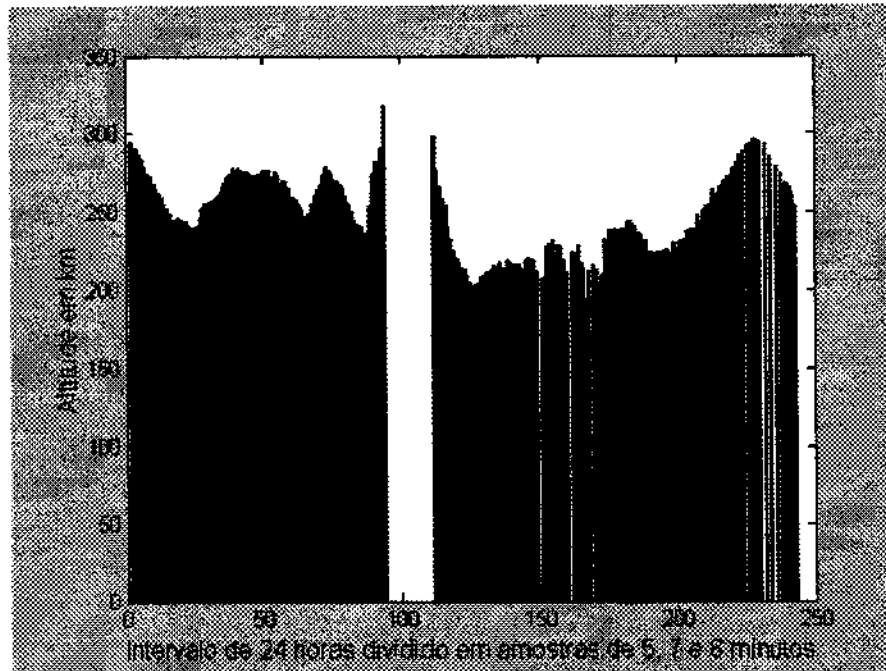


Figura 5.5 – Altura Real calculada pelos modelos de propagação de ondas disponíveis no SAO-X, em função da Hora Universal UT, para a frequência de 8 MHz.

Contorno de 8 MHz: É formada uma descontinuidade no contorno, indicando que as ondas eletromagnéticas transmitidas em 8 MHz não são refletidas pela Ionosfera neste período do dia.

Para as frequências subsequentes, continua a tendência do aumento da faixa de não reflexão pela Ionosfera, dado que a densidade eletrônica na camada F2 apresenta significativa variação do dia para a noite, passando por um mínimo nestes horários. No horário local, LT, esta faixa se estende entre 03h 55min e 05h 22min para a frequência de 8 MHz.



FREQÜÊNCIAS CRÍTICAS

O equipamento é capaz de medir diretamente e indiretamente cerca de 50 parâmetros Ionosféricos. Na Figura 5.6 apresentamos a variação diária de um dos parâmetros que consideramos mais importantes no nosso estudo.



Figura 5.6 – Variação da Frequência Crítica da região F2 em função da Hora Universal UT.

Frequência foF2: é a frequência de corte da camada F2. Nota-se que durante o período entre 00h 00min a 05h 25min e de 11h 10min em diante, a frequência varia entre 12 e 16.2 MHz com os valores mais altos. No intervalo entre 06h 15min e 11h 00min há um vale com um mínimo em torno de 7 MHz em aproximadamente 09h 00min. Comparando este gráfico com aquele da Figura 5.5, observa-se que a faixa de não reflexão da Ionosfera naqueles gráficos está centrada no horário em que foF2 passa por um mínimo.

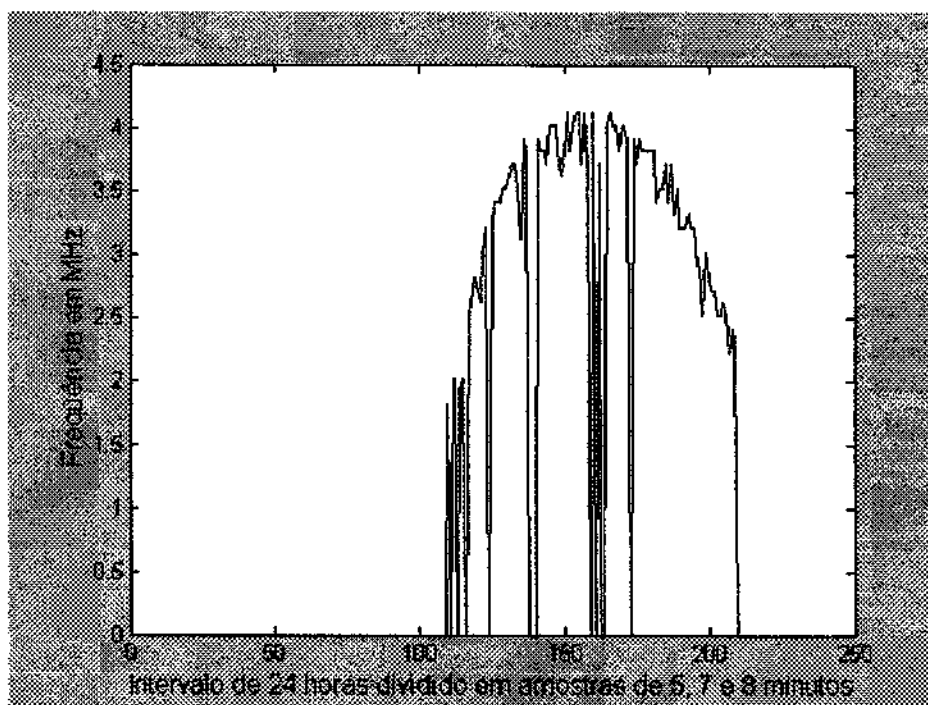


Figura 5.7 – Variação da Frequência Crítica da região E em função da Hora Universal UT.

Frequência foE: é a frequência de corte da camada E. Pelo gráfico da Figura 5.7 é possível notar que apenas há reflexão nesta camada entre as amostras de número 110 a 209, o que corresponde ao intervalo entre 09h 22min e 21h 10min. O valor máximo da frequência que uma onda eletromagnética pode ser refletida nesta camada, para este dia foi de 4.12 MHz.

Os valores máximos de frequências usáveis são denominados de MUF e descrevem uma função como a representada na Figura 5.8, em função da distância entre o transmissor e receptor em terra e da atividade Solar.

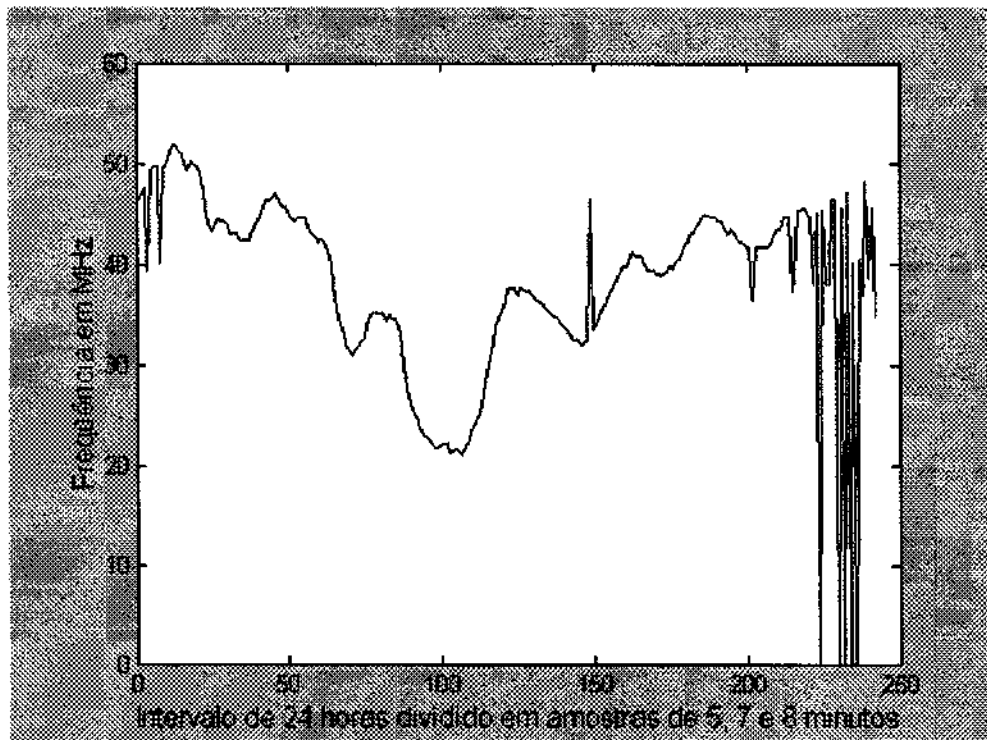


Figura 5.8 – Variação da Máxima Frequência Usável para uma distância de 3000 km em função da Hora Universal UT.

Razão MUF/foF2: Esta razão representa a relação entre a máxima frequência usável, MUF, e a frequência crítica da camada F2. O gráfico da Figura 5.9 mostra claramente que esta razão é sempre maior que a unidade, a menos dos horários em que ocorrem erros de interpretação pelo *software* automático do equipamento.

A máxima frequência usável, MUF, é maior que foF2 por um fator de pelo menos 2.5. É preciso ressaltar que estes valores só são válidos para uma distância de comunicação de 3000 km, tomada como constante no cálculo dos dados.

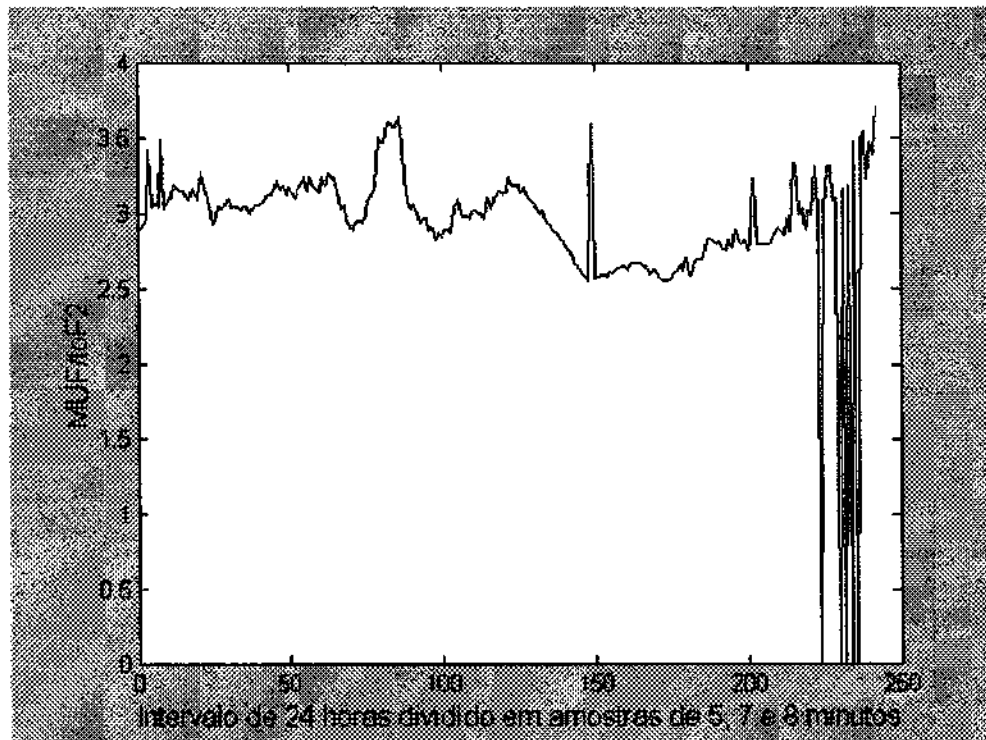


Figura 5.9 – Variação da Razão entre MUF e foF2 para uma distância de 3000 km em função da Hora Universal UT.

5.2 TREINAMENTO COM O MODELO IONOSFÉRICO IRI

5.2.1 MODELO IONOSFÉRICO IRI

O modelo IRI é um modelo empírico da Ionosfera que foi criado por volta de 1960, usando dados existentes de Ionossondas, coletados por vários centros de pesquisa na área da Aeronomia. O modelo IRI – *Internacional Reference Ionosphere*, se baseia num conjunto de coeficientes originários da análise das características de ‘mapas’ resultantes das Redes Internacionais de Ionossondas. Com o IRI, podem-se obter parâmetros como frequências críticas, perfis verticais de densidade eletrônica, temperatura eletrônica, temperatura iônica, composição iônica, e algo mais dependendo da versão usada. Os parâmetros requeridos de entrada são altitude, localização, hora do dia, mês, ano e atividade solar.

Hargreaves (1992) salienta que “o modelo IRI é uma importante contribuição para a ciência Ionosférica, mas suas predições não devem ser aceitas sem críticas. O modelo ainda está sendo desenvolvido, e comparações com novos dados às vezes mostram marcantes discrepâncias.”



As simulações apresentadas foram feitas com o modelo IRI on-line, disponível no endereço da web http://ion.le.ac.uk/remote_sensing/models/tec.html#run.

Os parâmetros de entrada para a simulação são:

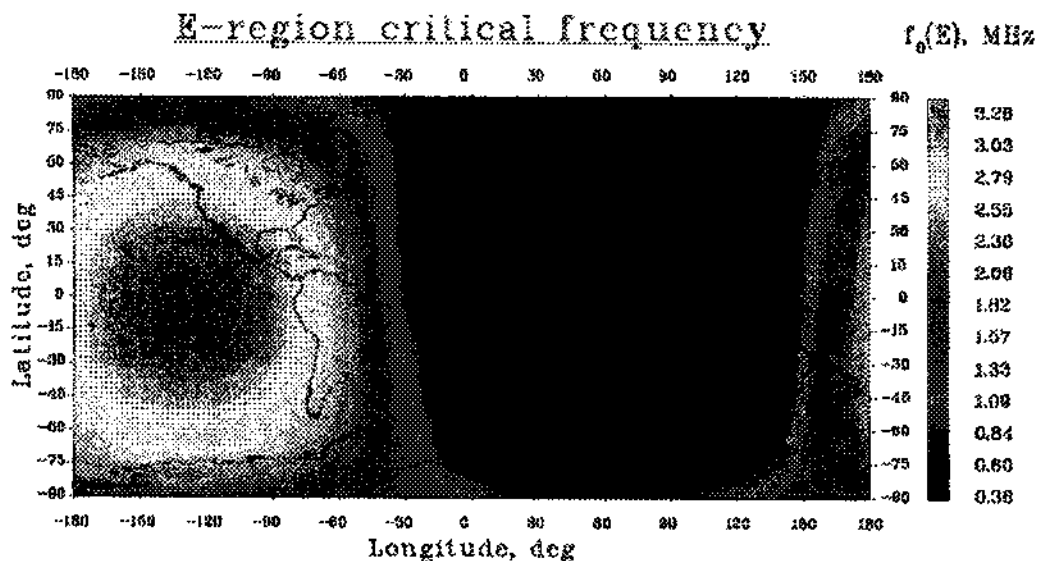
- resolução da latitude e longitude;
- resolução Z;
- ano;
- dia do ano: deve ser fornecido um valor entre 1 e 365/366. Neste caso, o dia é quatro de outubro, então na sequência o dia tem número 277 no ano;
- Hora: intervalo de 1 a 24;
- Variável a ser plotada;
- Estilo de plotagem;
- Tipo de Mapa; e
- Opções de plotagem: Mapa Mundi e/ou Equador Magnético.

Como resultado são apresentados mapas globais do parâmetro desejado. Os dados de entrada para estas simulações foram:

- Resolução de Latitude/Longitude: 9x18;
- Resolução Z: 8;
- Ano: 2002;
- Dia do ano: 277, 278, 279, 280, 281, 282 e 283; e
- Hora: 20h 00min

sendo o restante depende da variável a ser analisada.

Os gráficos das Figuras 5.10 a 5.13, seguir representam as variações dos respectivos parâmetros Ionosféricos plotados em função da posição geográfica. O eixo vertical representa a latitude e o eixo horizontal representa a longitude. A escala de cores determina o valor do parâmetro analisado relativo aos valores atribuídos à escala.



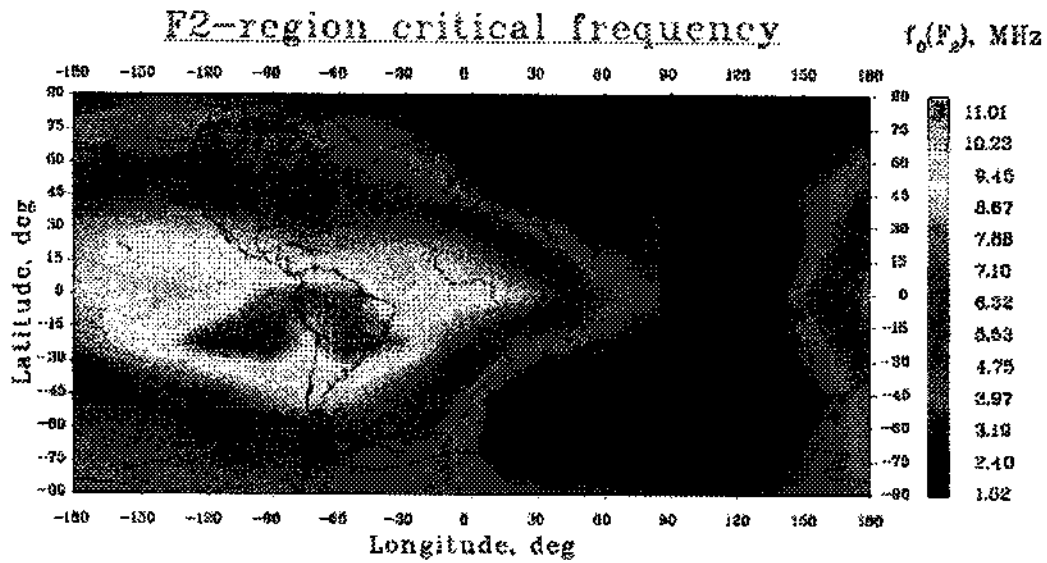
Day number = 277	Year = 2002
GMT = 20:00:00	Sunspot number = 0
Date = 4 th October	
Resolution = 20.0° x 20.0° x 0.06MHz	Model = IRI

Created on: ion.io.atuk, by: nobody, at: Wed May 5 20:00:00 2004

Figura 5.10 - Frequência de Corte da região E

Fonte: IRI Model on-line

Na posição geográfica de Campo Grande - MS, no horário de 20h00min, a frequência de corte da camada E (f_oE), é aproximadamente 2.4 MHz conforme pode ser visualizado no mapa da Figura 5.18.



Day number = 277	Year = 2002
GMT = 20:00:00	Sunspot number = 0
Date = 4 th October	
Resolution = 20.0° x 20.0° x 0.30MHz	Model = IRI

Created on: ion.lea.uk, by nobody, at Wed May 5 09:13:41 2004

Figura 5.11 - Frequência de Corte da região F2

Fonte: IRI Model on-line

A mesma análise aplicada para a região E é feita para a frequência de corte da camada F2. Neste caso, foF2 em Campo Grande, às 20h 00min está entre 11,01 e 10,23 MHz. Um valor médio fica entre 10,60 MHz.

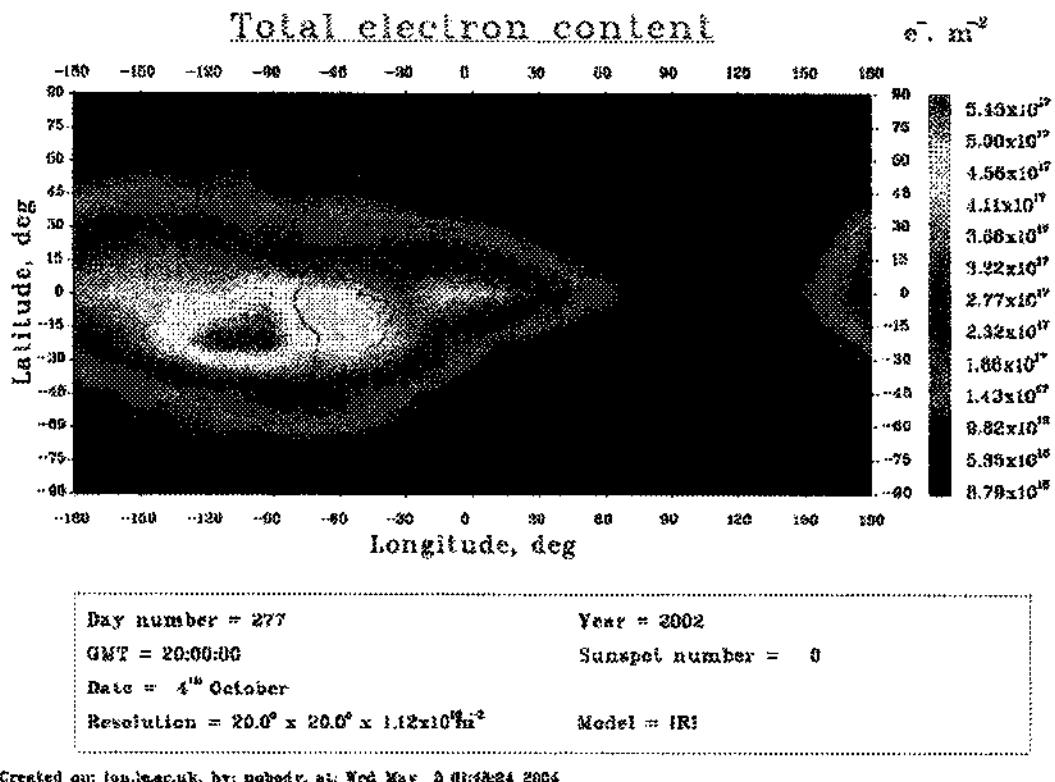


Figura 5.13 - Conteúdo Eletrônico Total, TEC

Fonte: IRI Model on-line

O gráfico da Figura 5.13 mostra que o conteúdo eletrônico total em Campo Grande, neste horário, deve estar em torno de $4,60 \times 10^{17} \text{ m}^{-2}$.

A mesma análise apresentada acima para os parâmetros foE, foF2, hmF2 e TEC, foi feita para os dias do ano de número 278 a 281, e horário universal de 17h 00min a 21h 00min, resultando em cinco dias de análise tomando cinco valores por dia do referido parâmetro. O resultado é apresentado na Tabela 5.2 a seguir:



Tabela 5.2 : Valores aproximados dos parâmetros foE, foF2, hmF2 e TEC, simulados pelo modelo IRI para os dias 04, 05, 06, 07 e 08 de outubro de 2002.

Data	Hora (UT)	foE (MHz)	foF2 (MHz)	hmF2 (km)	TEC ($10^{17} m^{-2}$)
04.10.2002 (277)	17:00	3.10	10.0	309.8	4.70
	18:00	3.10	10.5	300.5	4.90
	19:00	2.90	10.7	300.2	4.80
	20:00	2.40	10.6	295.0	4.60
	21:00	1.75	10.6	297.0	4.60
05.10.2002 (278)	17:00	3.15	9.8	310.0	4.75
	18:00	3.10	10.6	302.0	4.80
	19:00	2.80	10.8	305.0	4.50
	20:00	2.55	10.6	297.0	4.60
	21:00	1.70	10.7	297.0	4.70
06.10.2002 (279)	17:00	3.15	9.9	310.0	4.80
	18:00	3.05	10.7	305.0	4.80
	19:00	2.60	10.7	300.0	4.75
	20:00	2.50	10.6	297.0	4.60
	21:00	1.75	10.5	300.0	4.50
07.10.2002 (280)	17:00	3.20	9.85	315.0	4.80
	18:00	3.10	10.55	303.0	4.85
	19:00	2.80	10.80	301.0	4.80
	20:00	2.30	10.70	297.0	4.60
	21:00	1.70	10.60	300.0	4.60
08.10.2002 (281)	17:00	3.10	9.90	309.0	4.85
	18:00	3.05	10.60	305.0	4.90
	19:00	2.80	10.60	308.0	4.75
	20:00	2.55	10.80	300.0	4.70
	21:00	1.80	10.55	298.0	4.50



5.3 ESCOLHA DO SÍTIO PROVISÓRIO NO “CAMPUS” DA UFSM PARA A INSTALAÇÃO DA DIGISSONDA MODELO DPS-4 DO CRSPE/INPE - MCT, INCLUINDO PRÉ MEDIÇÃO

A escolha do sítio provisório no “campus” da UFSM para a instalação da Digissonda foi feita pelos Doutores Mangalathayil Ali Abdu e Nelson J. Schuch e pelo Eng. Sinval Domingos, durante uma visita ao CRSPE / INPE – MCT, em Santa Maria, entre os dias 6 e 9 de abril deste ano. Durante a visita, o bolsista participou das medições efetuadas para a demarcação dos pontos dos Sistemas DPS-4. A localização provisória do sítio é mostrado na Figura 5.14.

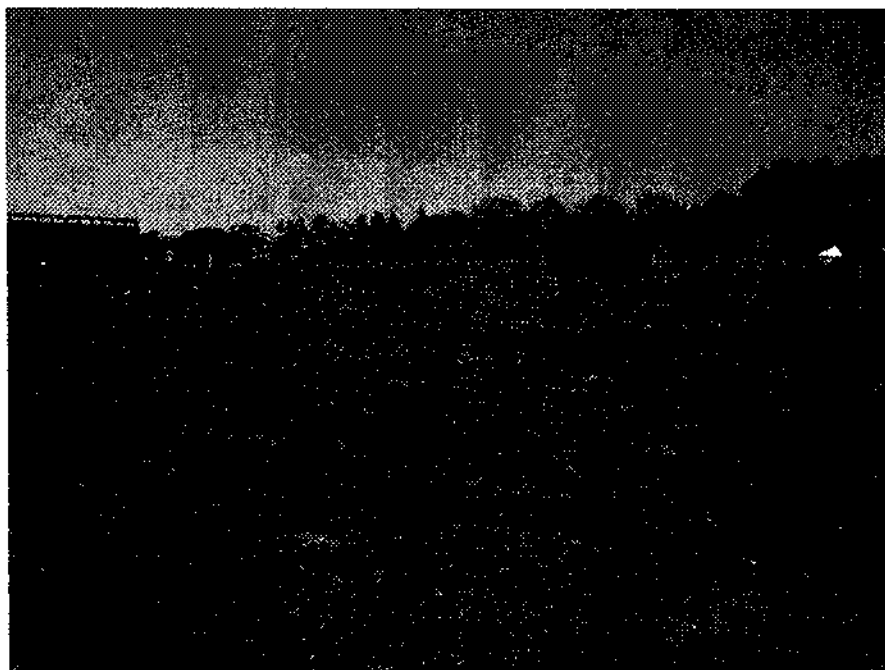


Figura 5.14 – Imagem do sítio provisório no “campus” da UFSM, para a instalação do Sistema DPS-4, localizado na Universidade Federal de Santa Maria.

A Figura 5.15 mostra a configuração do arranjo receptor, da base transmissora e do abrigo dos equipamentos auxiliares, com os respectivos limites de distância, em fase de instalação no “campus” da UFSM.

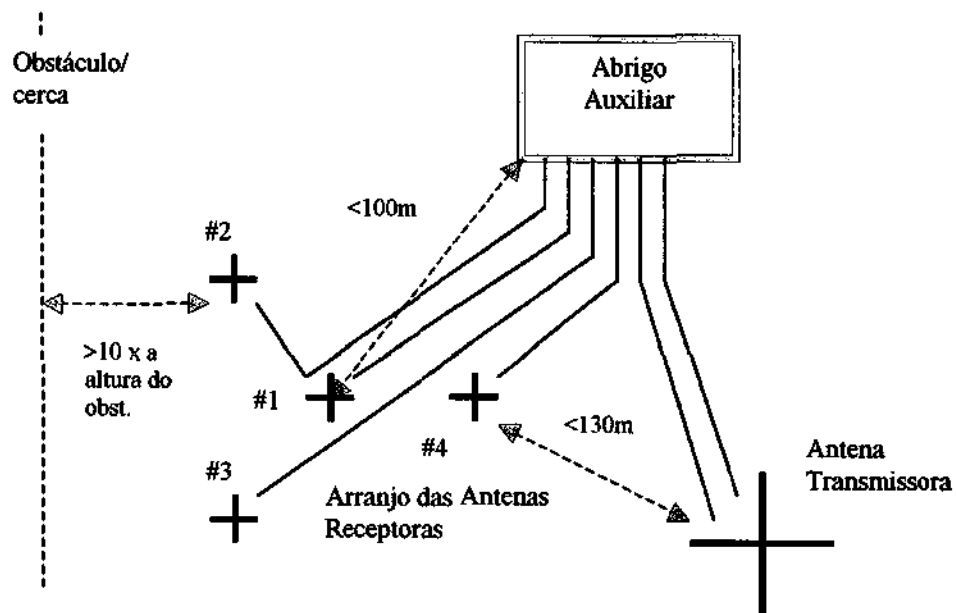


Figura 5.15 – Configuração das Antenas, Abrigo Auxiliar e Proteção no Sítio provisório no “campus” da UFSM de Instalação do Sistema DPS-4 do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais.

Como mostrado na Figura 5.15, a distância entre a base transmissora e o arranjo da base de recepção deve ser maior ou igual a 30 m. A distância entre o abrigo e a antena transmissora com o máximo de 130 m. A distância entre o abrigo e a Antena #1 com o máximo de 100 m.

É preferível que as antenas estejam niveladas e apontando radialmente para cima. Caso não possível o nivelamento, é aceitável uma inclinação de até 10°. Não é recomendável nivelar a altura das antenas individualmente, no caso de terrenos inclinados.

É recomendável que sejam feitas compensações inserindo-se comprimentos maiores de cabos. Com isso, evitamos alterar as características refletivas do solo. Mesmo o terreno sendo plano, é justificada uma análise química do solo local para a determinação da uniformidade de condutividade, dado que a distância entre as antenas chega a 60m.

Cada tipo de antena possui um diagrama de irradiação característico e sua forma tem vantagens e desvantagens dependendo da aplicação. Apesar disso, todas as antenas,



colocadas próximas ao solo sofrem os efeitos da reflexão devido a sua condutividade. Esse efeito pode causar tanto interferência construtiva quanto destrutiva dependendo da distância da antena ao solo. Como a frequência de operação de maior ordem está em torno de 45 MHz, o comprimento de onda para esta frequência é de aproximadamente 6,66 m. A altura total das antenas receptoras a partir da base de concreto é de 2 m, ou seja, da ordem do menor comprimento de onda utilizado. Portanto, deve ser tomado cuidado no dimensionamento das estruturas que irão suportar as antenas, para que não haja contribuição destrutiva do efeito de terra no sinal.

5.4 MANUTENÇÃO DO COMPUTADOR DE ANÁLISE E ARMAZENAMENTO DOS DADOS

O computador destinado a servir de estação de trabalho para a Digissonda modelo DPS-4, utiliza a tecnologia do sistema operacional *Microsoft Windows* com plataforma *Windows NT*. Como *Windows* é um sistema amplamente utilizado para uso civil, o sistema é bastante vulnerável a programas de vírus.

O sistema mundial de compartilhamento de dados da Digissonda usa o protocolo IP para disseminação dos dados e, portanto, está em rede com possibilidade de acesso de qualquer usuário de computador que contenha acesso à Internet. Mesmo que esse acesso seja restrito, existe a possibilidade de contaminação por programas de vírus e quebras de proteção da rede local fechada (LAN), em que o computador está operando.

O sistema operacional *Windows* também é sujeito a falhas por acumulação de erros e por imperfeições do próprio sistema. Para que o sistema operacional do computador de análise e armazenamento dos dados opere de forma confiável, foram tomadas as seguintes providências:

- Backup dos arquivos e dados de interesse: o backup se fez necessário devido a dados coletados anteriormente no período de funcionamento do equipamento em Campo Grande, MS. Os arquivos salvos foram do tipo *.DFT, *.SAO, *.GRM, *.SKY, *.DVL, *.FSL, *.sum, *.N;
- Formatação da unidade de disco rígido: Como o sistema operacional já estava em uso anteriormente, é possível que erros acumulativos de



sistema tenham sido formados. Assim foi tomado a decisão de zerar, ou formatar, o disco rígido, de forma que o histórico do sistema utilizado fosse renovado;

- Reinstalação do Sistema Operacional: A tecnologia utilizada foi mantida, e portanto foi instalado o sistema da *Microsoft* com plataforma *Windows 2000 NT Professional*. Junto com a instalação do sistema, foram feitas todas as atualizações oferecidas pela *Microsoft* para o referido *software*, para garantir a segurança e confiabilidade do computador; e
- Instalação de *Software* Anti-vírus: Foi escolhido o *software* produzido pela *McAfee Security*, o *McAfee VirusScan 6.0*, o qual foi devidamente atualizado com suas respectivas definições de vírus. Este programa permanece permanentemente ativado.

As atividades descritas no item acima foram desenvolvidas em janeiro de 2004 e atualizações constantes têm sido realizadas desde então.

Análise dos Dados

Tendo em vista a metodologia de análise proposta para o projeto, o resultado deve vir de uma comparação entre as fontes dos dados trabalhados. Para efeito de comparação, foram selecionados 4 parâmetros considerados altamente relevantes:

- Frequência Crítica da camada F2 (foF2)
- Frequência Crítica da camada E (foE)
- Conteúdo Eletrônico Total (TEC) e
- Altura do Pico de Densidade Eletrônica (hmF2).

A análise visa comparar os resultados das simulações no modelo IRI com os dados coletados e processados pela Digissonda. As informações relativas ao modelo IRI estão apresentadas na Tabela 5.2. As informações coletadas pela Digissonda modelo DPS-4 para os mesmos dias e horas são apresentadas na Tabela 5.3 seguir:



Tabela 5.3 : Valores calculados pelo software SAO-X dos parâmetros foE, foF2, hmF2 e TEC, para os dias 04, 05, 06, 07 e 08 de outubro de 2002.

Data	Hora (UT)	foE (MHz)	foF2 (MHz)	HmF2 (km)	TEC ($10^{17} m^{-2}$)
04.10.2002 (277)	17:00	4.02	15.10	361.6	9.12
	18:00	3.82	15.80	371.9	8.21
	19:00	3.72	15.95	334.5	6.38
	20:00	3.22	15.65	332.9	6.71
	21:00	2.22	14.90	341.4	5.39
05.10.2002 (278)	17:00	0	15.20	409.4	9.56
	18:00	3.72	15.75	374.4	8.62
	19:00	3.42	16.05	355.1	8.24
	20:00	2.92	15.75	342.9	7.46
	21:00	0	14.90	353.4	5.72
06.10.2002 (279)	17:00	3.82	14.95	397.0	8.98
	18:00	2.42	15.60	372.6	7.20
	19:00	3.42	16.35	353.3	7.60
	20:00	3.12	16.95	323.2	5.95
	21:00	2.32	17.40	295.6	4.90
07.10.2002 (280)	17:00	0	15.00	395.5	8.90
	18:00	3.82	15.05	374.2	7.40
	19:00	3.62	15.05	364.3	7.20
	20:00	3.12	15.15	372.8	7.38
	21:00	2.52	14.95	366.0	6.04
08.10.2002 (281)	17:00	0	14.75	401.8	9.13
	18:00	3.72	15.15	415.3	9.18
	19:00	3.42	15.05	395.9	7.98
	20:00	3.02	14.75	396.7	7.60
	21:00	2.22	13.85	391.5	6.59

A Tabela 5.4 é resultado da comparação dos dados através do erro relativo, aplicado às Tabelas 5.2 e 5.3.

O erro relativo é expresso em porcentagem e definido pela seguinte expressão:

$$|Erro_{\%}| = \left| \frac{Valor_{DPS} - Valor_{IRI}}{Valor_{DPS}} \right| \times 100\%$$



Tabela 5.4: Valores dos erros relativos referentes a comparação dos dados da Digissonda e das simulações no modelo IRI.

Data	Hora (UT)	Erro relativo de foE (%)	Erro relativo de foF2 (%)	Erro relativo de hmF2 (%)	Erro relativo de TEC (%)
04.10.2002 (277)	17:00	22.88	33.77	14.32	48.46
	18:00	18.84	33.54	19.19	40.31
	19:00	22.04	32.91	10.25	24.76
	20:00	25.46	32.26	11.38	31.44
	21:00	21.17	28.85	13.00	14.65
05.10.2002 (278)	17:00	0	35.52	24.27	50.31
	18:00	16.66	32.69	19.33	44.31
	19:00	18.12	32.71	14.10	45.38
	20:00	12.67	32.69	13.38	38.33
	21:00	0	28.18	15.95	17.83
06.10.2002 (279)	17:00	17.53	33.77	21.91	46.54
	18:00	26.03	31.41	18.14	33.33
	19:00	23.97	34.55	15.08	37.50
	20:00	19.87	37.46	8.10	22.68
	21:00	24.56	39.65	1.48	8.16
07.10.2002 (280)	17:00	0	34.33	20.35	46.06
	18:00	18.84	29.90	19.02	34.45
	19:00	22.65	28.23	17.37	33.33
	20:00	26.28	29.37	20.33	37.66
	21:00	32.53	29.09	18.03	23.84
08.10.2002 (281)	17:00	0	32.88	23.09	46.87
	18:00	18.01	30.03	26.55	46.62
	19:00	18.12	29.56	22.20	40.47
	20:00	15.56	26.77	24.37	38.15
	21:00	18.91	23.82	23.88	31.71

No resultado dos erros relativos o parâmetro foE aponta quatro valores onde o erro calculado é nulo. Este valor não é real e resulta de uma extrapolação feita nos pontos onde a Digissonda não apresentou nenhum resultado para aquele horário.

A comparação mostrou uma significativa diferença para todos os parâmetros analisados. As médias dos erros relativos para o período analisado foram de 17.63 %



para o parâmetro foE, 31.76 % para o parâmetro foF2, 17.40 % para o parâmetro hmF2 e 35.33 % para o parâmetro TEC.

Análises adicionais foram feitas para outros horários e dias do mesmo ano, e diferenças de resultados de mesma ordem foram detectadas.



Capítulo 6 – CONCLUSÕES E DIREÇÕES FUTURAS

Devido estar Santa Maria localizada na região central da Anomalia Magnética do Atlântico Sul, as características da Ionosfera local se afastam das características de outras regiões da Terra. Portanto, justifica-se uma análise comparativa entre os modelos Ionosféricos propostos Internacionalmente, e os dados coletados localmente por equipamentos como o Radar Ionosférico DigissondaTM.

Apesar da impossibilidade de trabalho com dados da Ionosfera local, foram tomados dados de Campo Grande – MS, das atividades COPEX. Mantendo as mesmas diretrizes da essência do projeto, *softwares* de análise específicos e genéricos foram estudados e dados foram transformados em gráficos das características dos parâmetros de interesse.

A partir dos resultados obtidos, concluiu-se que a comparação entre as informações coletadas pela Digissonda modelo DPS-4 e as simulações com o modelo Ionosférico IRI se afasta de resultados coerentes para todos os parâmetros considerados na análise.

Como direções futuras, pretende-se continuar o processo de instalação do equipamento no sítio escolhido, e logo após, começar com o processo de coleta e análise dos dados da Ionosfera local, como inicialmente proposto em projeto.

O presente Relatório irá servir como base na análise dos dados da Digissonda de Santa Maria, visto que o entendimento e uso das ferramentas necessárias para este trabalho foi foco direto do estudo.



7 - AGRADECIMENTOS

Ao desenvolver este projeto, beneficiei-me de muitas idéias, lições e conhecimentos que pretendo levar comigo para as próximas jornadas.

Agradeço pela paciência e pelo tempo que a Dra. Inez Staciarini Batista empenhou a mim e ao projeto.

Ao Dr. Clezio Marcos De Nardin, pelo zelo quanto a minha pessoa e ao futuro de minha carreira.

Ao Dr. Mangalathayil Ali Abdu e ao Eng. Sinval Domingos pela experiência transmitida e pelo empenho ao processo de concretização do sítio para o equipamento.

Aos meus amigos e colegas de trabalho, que opinaram e criticaram sobre todos aspectos na confecção deste relatório e no desenrolar dos passos do projeto.

À minha mãe e à minha namorada, que me deram todo o apoio emocional, e refúgio nas horas de cansaço e incerteza.

E finalmente ao Dr. Nelson J. Schuch, que acreditou na minha capacidade e tem presenciado minha vida sem julgar meus atos. Credito a este homem muito do que sou, e muito do que sei.



8 - BIBLIOGRAFIA

Abdu, M. A.; Batista, I. S. *Sporadic-E layer phenomena in the Brazilian Geomagnetic Anomaly: Evidence for a regular particle ionization source. J. Atmos. Terr. Phys., 39(6):723-731, 1977.*

Abdu, M. A.; Medeiros, R. T.; Bittencourt, J. A.; Batista, I. S. *Vertical ionization drift velocities and range type spread-F in the evening equatorial ionosphere. J. Geophys. Res., 88(A1):399-402, 1983.*

Batista, I. S.; Abdu, M. A. *Magnetic storm associated delayed sporadic-E enhancements in the Brazilian Geomagnetic Anomaly. J. Geophys. Res., 82(29):4777-4783, 1977.*

Batista, I. S. *O dínamo da região F equatorial: Assimetrias sazonais e longitudinais no setor americano.* 1985. 169 p. (INPE-3760-TDL/206). PhD Thesis – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1986.

Batista, I. S.; Abdu, M. A.; Bittencourt, J. A. *Equatorial F-region vertical plasma drift: Seasonal and longitudinal asymmetries in the American sector, J. Geophys. Res., 91(A11):12055-12064, 1986.*

Batista, I. S.; Medeiros, R. T.; Abdu, M. A.; Souza, J. R.; Bailey, G. J.; de Paula, E. R. *Equatorial ionospheric vertical plasma drift model over Brazilian region. J. Geophys. Res., 101(A5):10887-10892, 1996.*

Bilitza, D.; *International Reference Ionosphere 2000, R. Sci., 36(2):261 - 275, 2001;*



CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – CRSPE/INPE - MCT

IRI Model on-line, http://ion.le.ac.uk/remote_sensing/models/tec.html#run.

Hargreaves, J.K.; *The solar-terrestrial environment*, Ed. Cambridge University Press, 269 – 271, 1992;

Heelis, R. A.; Kendall, P. C.; Moffet, R. J.; Windle, W. D.; Rishbeth, H.; *Electrical coupling of the E and F regions and its effects on F region drifts and winds*, *Planet. Space Sci.*, 22, 743-756, 1974.

Jordan, E.C.; Balmain, K.G.; *Eletromagnetic Waves and Radiating Systems*, Ed. Prentice Hall, Segunda Edição, 1968;

MacMaster University, ASL - Adaptive Systems Laboratory; <http://soma.crl.mcmaster.ca/ipix/radarsys/radarsys.html>

NOAA / NESDIS / NGDC; <http://www.ngdc.noaa.gov/ngdcinfo/onlineaccess.html>

Oppenheim, A.V.; Shafer, R.W.; *Discrete-Time Signal Processing*, Ed. Prentice-Hall International, 8-9, 1989;

Souza, J. R., *Modelagem ionosférica em baixas latitudes no Brasil*. 1997. 182 p. (INPE-6395-TDI/611). PhD Thesis – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1997.

ULMCAR.; *Digisonde™ Vertical Incidence Sounder, System Manual*, Data Item Number: TBA, UML Documente Number: 7125.CSM – 0011997, SDRL Number: 135, Contract Number: JS 1268, CAPO: C438574, Center for Atmospheric Research – University of Massachusetts Lowell, Jindalee Project, 1997.

University of Massachusetts Lowell, Center for Atmospheric Research; http://ulcar.uml.edu/digisonde_dps.html.



9 - PARTICIPAÇÃO EM ATIVIDADES DE EXTENSÃO / CURSOS / PALESTRAS E CONGRESSOS

Durante o período do projeto o Bolsista participou de eventos científicos e acadêmicos que proporcionaram um amadurecimento científico que colaborou nas atividades desenvolvidas neste período. Estas participações também proporcionaram ao Bolsista apresentou alguns resultados preliminares e recebeu críticas a respeito deles. Com isso houve um ganho científico devido a possibilidade de interagir com os membros da comunidade científica espacial nacional e internacional.

A seguir apresentamos um resumo das atividades realizadas neste sentido.

Atividades de Extensão

1 - VARREDURA ELETRÔNICA EM CONCURSO DE ADMISSÃO AOS CURSOS DE FORMAÇÃO DE SARGENTOS/2004

Local: Centro Universitário Franciscano - Campus I

Forma de participação: Apoio tecnológico

Período: 28 e 29 de julho de 2003

Carga horária: 12 horas

Cursos

1 - RÁDIO SONDAGEM ATMOSFÉRICA

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

Ministrante: Dr. Martín F. Sarango, pesquisador do Jicamarca Radio Observatory, Lima – Peru.

Período: 8 de agosto de 2003

Carga horária: 9 horas



2 - FIRST LATIN-AMERICAN ADVANCED SCHOOL ON SPACE ENVIRONMENT (ASSE 2004)

Local: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos - SP -

Ministrantes: R. P. Kane, X. Moussas, M.A. Abdu, P. M. Kintner, D. O. Gómez, R. Bruno, V. Jatenco-Pereira, D. Nordemann, O. Mendes Jr, J. F. Valdés-Galicia, J. P. Raulin, M. Kayano, M. O. Domingues, J. A. Valdivia, E. L. Rempel, E. M. Gouveia dal Pino, B. R. Clemesha, D. Marsh, B. Mendoza, S. Dasso, W. D. Gonzalez.

Período: 22 a 27 de março de 2004

Carga horária: 40 horas

No período do Projeto, o bolsista ainda participou de congressos, os quais são listados a seguir. Os certificados encontram-se no Anexo I (somente certificados de apresentador).

PARTICIPAÇÃO EM CONGRESSOS COM TRABALHOS CIENTÍFICOS

1 - ESTUDO DA IONOSFERA TERRESTRE UTILIZANDO O DIGITAL PORTABLE SOUNDER

Autores: Henrique C. Aveiro, **Rafael Krummenauer**, Maiquel S. Canabarro, Clezio Marcos Denardini, Mangalathayil Ali Abdu, Nelson Jorge Schuch, Thiago Brum Pretto

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

Local: Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI, Itajaí - SC

Período: 9 a 11 de outubro de 2003

2 - CARACTERIZAÇÃO DO NÍVEL DE RÁDIO INTERFERÊNCIA NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL NA FAIXA DE 10 - 240 MHZ

Autores: Noli José Kozinieski, Henrique C. Aveiro, **Rafael Krummenauer**

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

Local: Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI, Itajaí - SC

Período: 9 a 11 de outubro de 2003



3 - SKIYMET – RADAR DE RASTROS METEÓRICOS OPERANDO EM 35.24 MHZ

Autores: Thiago Brum Preto, Rafael Krummenauer, Henrique C. Aveiro, Evanir N. Valigura, Paulo P. Batista, Barclay R. Clemesha, Nelson J. Schuch

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

Local: Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI, Itajaí - SC

Período: 9 a 11 de outubro de 2003

4 - PROJETO DE UM CORRELACIONADOR HÍBRIDO PARA O TELESCÓPIO RÁDIO INTERFERÔMETRO

Autores: Rafael Krummenauer, Delx C. Lunardi, Noli J. Kozenieski, Thiago B. Preto, Henrique C. Aveiro, Maiquel S. Canabarro, Nelson J. Schuch

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

Local: Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI, Itajaí - SC

Período: 9 a 11 de outubro de 2003 - **Apresentador**

5 - RIÔMETRO IMAGEADOR UTILIZADO PARA O MONITORAMENTO IONOSFÉRICO NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL – SSO (29°S, 53°O)

Autores: Maiquel S. Canabarro, Rafael Krummenauer, Henrique C. Aveiro, Evanir N. Valigura, Masanori Nishino, Nelson J. Schuch

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

Local: Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI, Itajaí - SC

Período: 9 a 11 de outubro de 2003



6 - UTILIZAÇÃO DE RECEPTORES GPS PARA ESTUDOS DAS IRREGULARIDADES IONOSFÉRICAS NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL

Autores: Maiquel S. Canabarro, Nelson J. Schuch , Evanir N. Valigura , Henrique C. Aveiro, **Rafael Krummenauer**

Evento: XVIII Jornada Acadêmica Integrada - JAI

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

Período: 14 a 16 de outubro de 2003

7 - CARACTERIZAÇÃO DO NÍVEL DE RÁDIO INTERFERÊNCIA NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL

Autores: Noli José Kozinieski, Henrique C. Aveiro, **Rafael Krummenauer**

Evento: XVIII Jornada Acadêmica Integrada - JAI

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

Período: 14 a 16 de outubro de 2003

8 - RECEPTORES GPS APLICADOS NO ESTUDO DE IRREGULARIDADES IONOSFÉRICAS

Autores: Maiquel S. Canabarro, Eurico R. de Paula, Henrique C. Aveiro, **Rafael Krummenauer**, Thiago B. Pretto, Evanir N. Valigura, Kazuo Makita, Nelson J. Schuch

Evento: Salão de Iniciação Científica

Local: Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre - RS

Período: 24 a 28 de novembro de 2003

9 - EFFECTS OF THE OCTOBER 2003 MAGNETIC STORM OVER GPS SCINTILLATIONS AT THREE SITES IN THE BRAZILIAN TERRITORY

Autores: Canabarro, M. S., H. C. Aveiro, T. B. Pretto, **R. Krummenauer**, D. dos Santos, S. Monteiro, Luiz Felipe C. de Rezende, Sérgio W. G. da Silveira, E. R. de Paula, N. J. Schuch

Evento: VII Latin-American Conference on Space Geophysics

Local: Hotel Village Eldorado Atibaia, Atibaia - SP

Período: 29 de março a 2 de abril de 2004



ANEXOS – CERTIFICADOS DE PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS

Anexo 1.1

Participação como ouvinte na First Latin-American Advanced School on Space Environment – ASSE 2004.

VII COLAGE

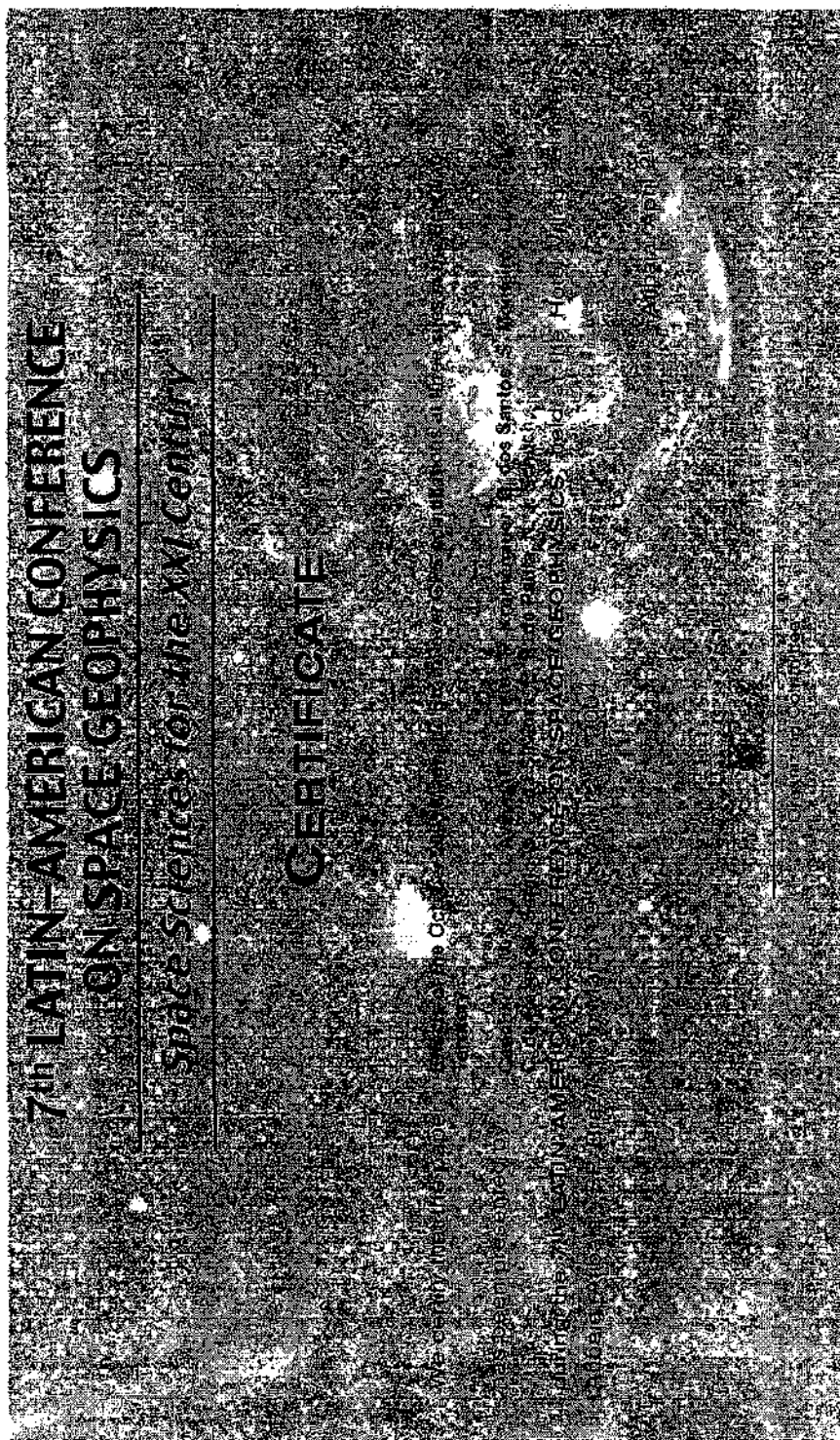




Anexo 1.2

Artigo publicado no 7th Conferência Latino-Americana em Geofísica Espacial – VII COLAGE. Participação: Co-Autor

VII COLAGE





Anexo 1.3

Trabalho apresentado no XVIII Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia – CRICTE 2003.

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

Certificamos

Rafael Humannauer

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

PROJETO DE UM CORRELACIONADOR HÍBRIDO PARA O TELESCOPIO RÁDIO INTERFERÔMETRO

UNIVALI
UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ
CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS

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

Prof. Fernando Luis Pinhi, M.Sc.
Diretor do Centro de Ciências
Tecnológicas da Terra e do Mar - CTTMar

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