



ESTUDO DA BAIXA IONOSFERA EQUATORIAL UTILIZANDO DADOS DE RADARES

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

Laís Maria Guizelli (UNITAU, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: lais@dae.inpe.br

Dr. Clezio Marcos De Nardin (DAE /INPE, Orientador)

E-mail: denardin@dae.inpe.br

COLABORADORES

Aluno de Doutorado Juliano Moro (DAE/INPE)

Aluna de Doutorado Laysa Cristina Araújo Resende (DAE/INPE)

Julho de 2011

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPCIAIS
Relatório Final de Atividades

Dados de Identificação

Bolsista:

Laís Maria Guizelli Morais
Curso: 4º ano de Engenharia Elétrica
UNITAU: Universidade de Taubaté

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

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.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPECIAIS
Relatório Final de Atividades

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPECIAIS
Relatório Final de Atividades

*“O que vale na vida não é o ponto de partida e sim a caminhada. Caminhando e semeando, no fim terás o que colher.”
(Cora Coralina)*

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPCIAIS
Relatório Final de Atividades

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPECIAIS
Relatório Final de Atividades

*Aos meus pais,
Elisabeth Guizelli e
José Joaquim de Moraes,
e ao meu orientador
Dr. Clezio Marcos De Nardin.*

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPCIAIS
Relatório Final de Atividades

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, pelo apoio, a fim de realizar um bom trabalho.

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

Aos meus amigos de trabalho, Laysa, Pedro, Juliano e a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

Em especial, a minha mãe Elisabeth Guizelli, pelo amor, esforço, atenção e por estar sempre ao meu lado.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPCIAIS
Relatório Final de Atividades

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E OBJETIVOS DO TRABALHO	13
1.1	Introdução	13
1.2	Objetivo Científico.....	13
2	IONOSFERA TERRESTRE, TEORIA DO DÍNAMO ATMOSFÉRICO E ELETROJATO EQUATORIAL.....	15
2.1	Ionosfera Terrestre	15
2.1.1	Região D.....	15
2.1.2	Região E.....	16
2.1.3	Região F.....	16
2.2	Condutividades Ionosféricas	18
2.2.1	Condutividade Longitudinal.....	18
2.2.2	Condutividade Pedersen.....	18
2.2.3	Condutividade Hall.....	18
2.3	Teoria do Dínamo Atmosférico na Região E.....	20
2.4	Eletrojato Equatorial	20
2.4.1	Irregularidades de Pequena Escala do EEJ.....	21
3	Instrumentação e Metodologia de Análise	22
4	Resultados e Discussões	25
4.1	Resultados das Análises dos Dados do Radar de Jicamarca	25
4.2	Discussão dos Resultados.....	27
5	Atividades Realizadas.....	32
5.1	Trabalhos Completos Publicados em Anais de Congressos.....	32
5.1.1	Congresso Internacional da SBGf (CISBGF).....	32
5.2	Resumos Publicados em Anais de Congressos.....	32
5.2.1	Simpósio de Iniciação Científica do INPE (SICINPE)	32
5.2.2	The Meeting of the Americas.....	32
5.2.3	III Simpósio Brasileiro de Geofísica e Aeronomia.....	33
5.2.4	Latin American Conference in Space Geophysics.....	33
5.2.5	International Association of Geomagnetism and Aeronomy (IAGA)..	34
5.3	Participação em Escola Internacional.....	34
5.4	Participação em um Curso de Instalação de Magnetômetros.....	35
5.5	Participação como ouvinte de uma disciplina do Curso de Pós -Graduação em Geofísica Espacial	36
6	Conclusões	39

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1: À esquerda a localização das três camadas ionosféricas conhecidas no perfil ionosférico, com sua nomenclatura. E à direita, a dimensão aproximada da ionosfera em relação a Terra.....	16
Figura 2: Ilustração da formação da camada F1 de acordo com o comportamento das perdas linear (curva a) e quadráticas (curva b).....	17
Figura 3: Perfil de condutividade mostrando a variação das condutividades longitudinal (σ_0), Pedersen (σ_1) e Hall (σ_2) com a altura. Para conversão 1 e.m.u. (cgs) = 10^{11} S/m (SI).....	19
Figura 4: Esquema das correntes ionosféricas e campos elétricos baseado na teoria do dínamo ionosférico.....	20
Figura 5: Espectros de irregularidades Tipo 1, à esquerda, e irregularidades Tipo 2, à direita, dos dados do Radar de Espalhamento Coerente em 50 MHz, no dia 24 de janeiro de 2001, as 14 horas, para a altura de 105,2 km, medidas no Observatório Espacial de São Luís do Maranhão/INPE - MCT.	21
Figura 6: Radar instalado no Rádio Observatório de Jicamarca, Lima-Peru.....	22
Figura 7: Rotina desenvolvida em IDL para a realização de estatísticas das irregularidades do EEJ.....	24
Figura 8: Mapa RTI estatístico da ocorrência de irregularidades de do EEJ para os meses D (verão)	25
Figura 9: Mapa RTI estatístico da ocorrência de irregularidades de do EEJ para os meses E (equinócios).....	25
Figura 10: Mapa RTI estatístico da ocorrência de irregularidades de do EEJ para os meses J (inverno)	26
Figura 11: Subida da região de espalhamento após as 14:00 LT para as 3 estações do ano durante períodos perturbados (“a” e “b”) e durante períodos calmos (“c” e “d”).....	28
Figura 12: Medidas do campo elétrico terrestre com diferentes equipamentos. No topo medidas feitas com o radar RESCO, no meio medidas feitas com magnetômetros e ao final medidas feitas com digissondas.....	29
Figura 13: Média da deriva de plasma vertical em Jicamarca durante os equinócios, inverno e verão.....	30
Figura 14: Um esboço da circulação das correntes na ionosfera no período próximo ao final do dia.	30
Figura 15: Um esboço da provável instabilidade Farley-Buneman (tipo 1).....	31
Figura 16: (à esquerda) Equipe instalando o magnetômetro na sede do INPE de Cachoeira Paulista e (à direita) o equipamento instalado.	36
Tabela 1: Dias dos dados de 2007 e 2008 selecionados para análise	234

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS DO TRABALHO

1.1 Introdução

Neste trabalho serão apresentadas as atividades desenvolvidas no período de agosto de 2010 até julho de 2011. Neste período desenvolvemos atividades teóricas e práticas relacionadas com o tema do projeto. Como atividade teórica realizamos uma revisão bibliográfica sobre atmosfera neutra, ionosfera terrestre, eletrojato equatorial e funcionamento de radares. Como atividades práticas, analisamos dados de um radar que está instalado no Rádio Observatório de Jicamarca, no Peru, cujas coordenadas são 11.57°S, 76.52°O, dip: 2°N. Utilizamos dados do Peru, pois participamos do programa “*Jicamarca International Research Experience Program*” (JIREP), o qual é um programa do Rádio Observatório de Jicamarca (ROJ) financiado pela *National Science Foundation* (NSF) e pela Universidade de Cornell, ambas instituições dos Estados Unidos da América (EUA). Este programa teve uma duração de dez semanas, nas quais desenvolvemos um estudo estatístico da ocorrência das irregularidades de plasma do eletrojato equatorial (EEJ).

No capítulo 2 deste relatório serão apresentados trabalhos de revisão teórica, a qual tem a finalidade de suprir parte do primeiro objetivo deste projeto (formação acadêmica), bem como de desenvolver os conceitos sobre a atmosfera neutra, a ionosfera terrestre e o eletrojato equatorial. No capítulo 3 serão apresentadas as instrumentações e as metodologias utilizadas para o desenvolvimento do trabalho. No capítulo 4 serão sumarizadas as discussões sobre os resultados observados nessa pesquisa, as quais cumprem os dois objetivos do projeto (formação acadêmica e o estudo e monitoramento da ionosfera na região equatorial). No 5º capítulo listaremos os trabalhos publicados em anais de eventos e submetidos para publicação, nos quais temos a primeira autoria ou contribuímos para o trabalho. Por fim, no capítulo 6, apresentamos as conclusões deste relatório

1.2 Objetivo Científico

O principal objetivo científico deste projeto é caracterizar estatisticamente e analisar o comportamento da ionosfera equatorial, com atenção voltada para a presença do eletrojato equatorial. O interesse nesta região tropical é devido a ela apresentar uma grande diversidade de fenômenos de interesse científico, os quais também são capazes de interferir nas comunicações transionosféricas. A outra motivação é a possibilidade dos resultados deste estudo levar ao desenvolvimento de ferramentas eficientes de Previsão do Clima Espacial Local, ou seja, ferramentas que nos permitam antever possíveis efeitos das atividades “eruptivas” solares no ambiente ionosférico. No ambiente espacial brasileiro, os efeitos do Clima Espacial são particularmente mais intensos devido à grande extensão territorial do país, sua localização geográfica na região equatorial e à ocorrência de anomalias regionais no campo magnético e em camadas ionosféricas. Os serviços gerados pelos

sistemas estrangeiros não levam em conta os fenômenos típicos das regiões equatoriais. Portanto, é importante iniciarmos nossos esforços para estabelecer as bases de um sistema científico brasileiro para pesquisas, monitoramento e previsão do Clima Espacial, capaz de realizar essas atividades de maneira a atender as necessidades regionais de maneira mais eficiente. Neste contexto, estudos comparativos entre setores próximos, mas com características diferentes, podem ajudar na obtenção de explicações para fenomenologia do setor brasileiro.

CAPÍTULO 2

2 IONOSFERA TERRESTRE, TEORIA DO DÍNAMO ATMOSFÉRICO E ELETROJATO EQUATORIAL

2.1 Ionosfera Terrestre

A região da atmosfera terrestre situada entre 60 e 2000 km de altitude é chamada Ionosfera. Ela é formada por um plasma originado principalmente pela fotoionização dos átomos e moléculas da atmosfera neutra. Quando os raios solares que são muito energéticos, ao atingem os constituintes neutros fazem com que estes liberem elétrons, formando os íons positivos, resultando no plasma ionosférico. Os principais constituintes iônicos do plasma ionosférico são o oxigênio atômico ionizado (O^+) e a molécula de óxido nítrico ionizada (NO^+). Imediatamente após a ionização começam as reações de recombinação que levam a perda do plasma, fazendo com que seus constituintes ionizados retornem a condição de constituintes da atmosfera neutra. A taxa de troca de densidade eletrônica é expressa pela equação da continuidade (Hargreaves, 1992).

$$\frac{\delta N}{\delta t} = q - L - \nabla \cdot (Nv) \quad (1)$$

onde N é densidade do plasma, q é a taxa de produção, L é a taxa de perda por recombinação, $\nabla \cdot (Nv)$ expressa a perda/ganho de elétrons por transporte, sendo v a velocidade de transporte.

A constante criação e destruição do plasma indica que a estrutura ionosférica varia conforme a quantidade de radiação solar recebida. Além disso, a densidade ionosférica varia com o ciclo de atividade solar e a latitude. Os diferentes processos de ionização, a variação da densidade atmosférica e da absorção da quantidade de energia proveniente da radiação solar geram três regiões ionosféricas distintas, que são as regiões D, E e F (subdividida em F1, F2, e algumas vezes F3). A Figura 1 ilustra as três camadas com suas respectivas alturas e densidades eletrônicas.

2.1.1 Região D

A região D está localizada na porção inferior da ionosfera, entre ~ 60 e 90 km acima da superfície terrestre. É a menos densa em elétrons e praticamente desaparece durante a noite. Esta região é formada essencialmente por colisões de partículas energéticas com a atmosfera neutra. Esta região possui metais alcalinos (Na, K, Li) e as reações químicas mais importantes envolvem os seguintes elementos: O, O₃, NO₂, CO₂, H₂O. Ela também é responsável pela absorção das ondas de rádio em alta frequência (Rishbeth, 1969).

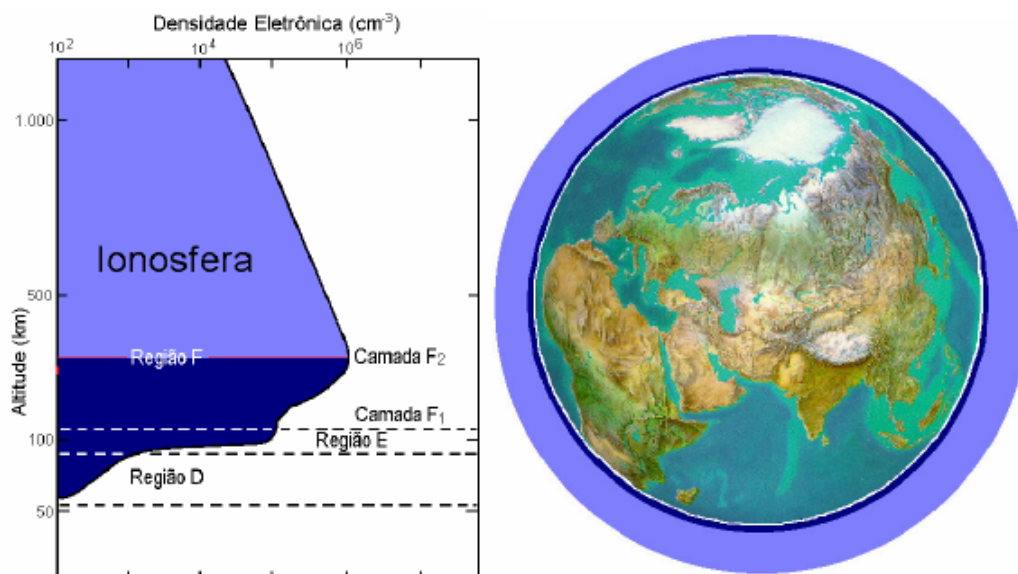


Figura 1: À esquerda a localização das três camadas ionosféricas conhecidas no perfil ionosférico, com sua nomenclatura. E à direita, a dimensão aproximada da ionosfera em relação a Terra.
FONTE: Denardini (1999, p.26).

2.1.2 Região E

Essa camada inicia por volta dos 90 km e se estende até ~ 120 km. Durante a noite sua densidade eletrônica diminui significativamente, pois sua principal fonte produtora, o Sol, está ionizando o outro hemisfério. Nesse horário sua densidade eletrônica é da ordem de 5×10^9 elétrons/m³, enquanto que durante o dia ela pode ser da ordem de 10^{11} elétrons/m³. Ela possui dois íons majoritários: NO⁺ e O₂⁺, mas também é caracterizada pela presença de íons metálicos como Mg⁺ e Fe⁺. A presença destes íons metálicos é creditada à desintegração meteórica pelo atrito com a atmosfera terrestre. E deve ser mencionado que estes íons são os responsáveis pela formação das camadas E esporádicas em médias latitudes (Kivelson and Russell, 1995).

2.1.3 Região F

A região F fica acima da região E, iniciando a ~ 120 km da superfície terrestre e estendendo-se até o limite superior da ionosfera (~ 2000 km). Essa região se subdivide em F1 e F2 e em determinados horários e latitudes pode aparecer a F3 (Abdu, 1997).

2.1.3.1 Camada F1

Esta porção da região F tem início por volta dos 120 km e estende-se por aproximadamente 20 - 40 km. A espécie neutra molecular predominante nessa região é o N₂. A espécie atômica predominante nessa região é o O (Hargreaves, 1992). O íon majoritários são o O₂⁺, NO⁺ e O⁺, e sua concentração pode variar de

$2,5 \times 10^{11}$ a $4 \times 10^{11} \text{ m}^{-3}$. Porém, à noite a densidade eletrônica dessa região se reduz (Kelley, 1989).

A camada F1 é caracterizada por um pequeno pico ou uma simples inflexão na curva do perfil vertical eletrônico/iônico, dependendo da altura máxima da perda quadrática (h_o) na qual a perda linear passa a dominar o processo. A figura 2 ilustra a formação da região, dependendo do processo dominante.

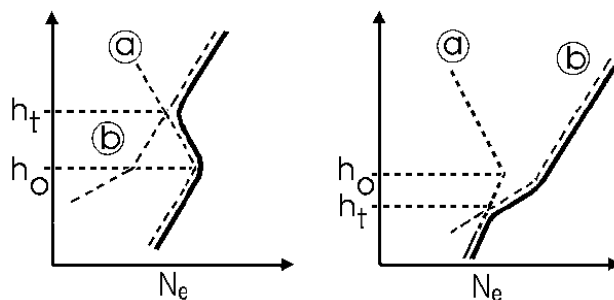


Figura 2: Ilustração da formação da camada F1 de acordo com o comportamento das perdas linear (curva a) e quadráticas (curva b)
FONTE: Denardini (1999)

2.1.3.2 Camada F2

Esta camada localiza-se na parte mais alta da Ionosfera e seu máximo de concentração eletrônica pode atingir aproximadamente 10^{12} elétrons/ m^3 , localizando-se em torno dos 300 km de altitude. Durante a noite a sua densidade eletrônica normalmente decai para cerca de 5×10^{10} elétrons/ m^3 . Dentre todas as regiões, ela é a que apresenta a maior concentração de elétrons da ionosfera terrestre, mesmo durante a noite. Isso ocorre por diversos fatores, entre eles, ela possuir íons atômicos como espécie predominante, os quais possuem menor taxa de recombinação (Kelley, 2009).

Há grande interesse no estudo da rádio propagação através desta região, devido ela possuir um grande número de irregularidades ionosféricas, as quais alteram significativamente as características do meio e apresentam um comportamento de difícil previsão.

2.1.3.3 Camada F3

A camada F3 pode ser dividida em dois tipos, dependendo da época, ou seja, tipo 1, mais comum nos meses de verão, e do tipo 2 nos meses de inverno (Abdu, 1997). Esta camada surge em latitudes muito próximas do equador magnético, devido à rápida elevação do plasma ionosférico pelos processos eletrodinâmicos, abrindo espaço para que mais atmosfera neutra continue a ser ionizada abaixo.

2.2 Condutividades Ionosféricas

A condutividade elétrica de um meio qualquer é dada pela equação (1).

$$\sigma = \frac{J}{E} = \left(\frac{Nev}{E} \right) \quad (2)$$

onde "J" é a densidade de corrente, E é o campo elétrico, e é a carga de cada partícula, "v" é a taxa de colisão com as partículas neutras e N já foi dito anteriormente.

Na ionosfera há simultaneamente campos elétricos e magnéticos, o que leva a um comportamento anisotrópico. Por isso as condutividades ionosféricas são apresentadas ao longo das suas 3 componentes: ao longo do campo magnético, ao longo do campo elétrico, perpendicular ao campo magnético, e a condutividade que é perpendicular, simultaneamente, ao campo magnético e elétrico.

2.2.1 Condutividade Longitudinal

Condutividade longitudinal ou direta (σ_0) é a condutividade paralela ao campo geomagnético, **B**. Esta quantidade é definida pela seguinte equação:

$$\sigma_0 = N \cdot e^2 \cdot \left[\frac{1}{m_e \cdot \nu_e} + \frac{1}{m_i \cdot \nu_i} \right] \quad (3)$$

2.2.2 Condutividade Pedersen

A condutividade Pedersen ou transversal (σ_1) refere-se a condutividade na direção da componente de **E** perpendicular a direção de **B**, e é definida por:

$$\sigma_1 = N \cdot e^2 \cdot \left[\frac{\nu_e}{m_e \cdot (\nu_e^2 + \Omega_e^2)} + \frac{\nu_i}{m_i \cdot (\nu_i^2 + \Omega_i^2)} \right] \quad (4)$$

2.2.3 Condutividade Hall

A condutividade Hall (σ_2) refere-se a condutividade na direção perpendicular, simultaneamente, as direções de **B** e da componente de **E** perpendicular a direção de **B**. Esta é definida pela equação:

$$\sigma_2 = N \cdot e^2 \cdot \left[\frac{\Omega_e}{m_e \cdot (\nu_e^2 + \Omega_e^2)} + \frac{\Omega_i}{m_i \cdot (\nu_i^2 + \Omega_i^2)} \right] \quad (5)$$

Nas equações de (3) a (5), ν_e e ν_i são frequências de colisões, Ω_e e Ω_i são frequências ciclotrônicas, m_e e m_i são, respectivamente, a massa do elétron e a massa do íon. As quantidades e e N já foram definidas anteriormente. A partir

deste conjunto de equações, podemos estabelecer sua variação em altura, uma vez todas as quantidades que as define assim variam. A Figura 3 mostra uma distribuição em altura das condutividades expressas pelas equações (3) a (5).

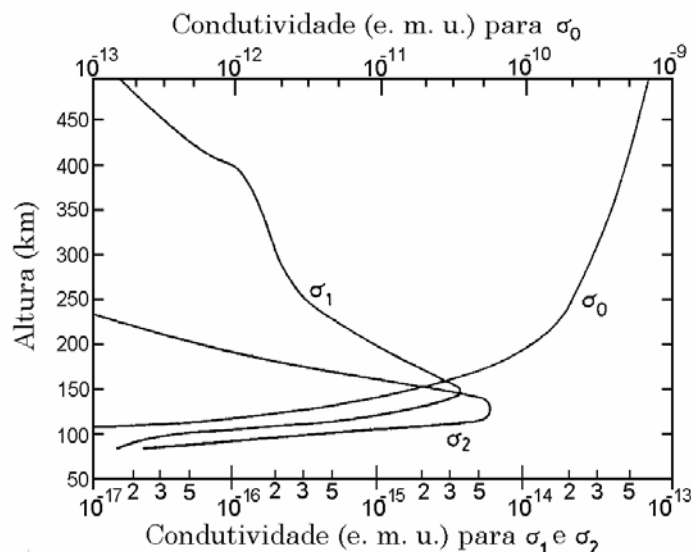


Figura 3: Perfil de condutividade mostrando a variação das condutividades longitudinal (σ_0), Pedersen (σ_1) e Hall (σ_2) com a altura. Para conversão 1 e.m.u. (cgs) = 10^{11} S/m (SI).

FONTE: Akasofu e Chapman (1972, p. 244).

Nesta figura nota-se que os picos das condutividades Pedersen e Hall ocorrem na região E. No equador magnético este pico fica em torno de 150 km para a condutividade Pedersen e 130 km para a condutividade Hall. Note-se agora que as quantidades σ_0 , σ_1 , σ_2 , foram definidas em relação as direções dos campos elétricos e magnéticos. Ao organizarmos estas quantidades em coordenadas geográficas norte-sul (x), leste-oeste (y) e para cima (z) chegamos à equação do tensor condutividade elétrica ($\underline{\sigma}$), dada pela equação 6.

$$\underline{\sigma} = \begin{bmatrix} \sigma_0 \cdot \cos^2(I) + \sigma_1 \cdot \sin^2(I) & \sigma_2 \cdot \sin(I) & -(\sigma_0 - \sigma_1) \cdot \sin(I) \cdot \cos(I) \\ -\sigma_2 \cdot \sin(I) & \sigma_1 & -\sigma_2 \cdot \cos(I) \\ -(\sigma_0 - \sigma_1) \cdot \sin(I) \cdot \cos(I) & -\sigma_2 \cdot \cos(I) & \sigma_1 \cdot \cos^2(I) + \sigma_0 \cdot \sin^2(I) \end{bmatrix} \quad (6)$$

Neste caso é introduzido o conceito de ângulo de inclinação de \mathbf{B} , representado pela letra I . Na região do equador magnético a inclinação é nula, logo o tensor condutividade $\underline{\sigma}$ desta região resume-se a:

$$\underline{\sigma} = \begin{bmatrix} \sigma_0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_1 & -\sigma_2 \\ 0 & \sigma_2 & \sigma_1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

A combinação das correntes Pedersen e Hall formam a corrente total do EEJ. No equador essa corrente é proporcional à condutividade Cowling (σ_c), a qual é

representada na forma da equação (8). O máximo desta condutividade fica localizado próximo aos 105 km de altura.

$$\sigma_c = \sigma_1 + \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1} \quad (8)$$

2.3 Teoria do Dínamo Atmosférico na Região E

O conceito de eletrojato equatorial (EEJ) é explicado através da teoria do dínamo atmosférico (Forbes, 1981). Segundo esta teoria, os ventos neutros (\mathbf{U}), causados pelo aquecimento e pela diferença de pressão, arrastam as partículas neutras da região equatorial para os pólos. Ao encontrar o campo magnético da Terra, praticamente vertical em altas latitudes, essas partículas são derivadas para o terminador do amanhecer em ambos os hemisférios. Com isso, há uma polarização positiva o lado do amanhecer do terminador e negativa o lado do anoitecer. A diferença de potencial existente em torno do equador gera uma corrente denominada corrente primária do EEJ. Este esquema é mostrado na Figura 4.

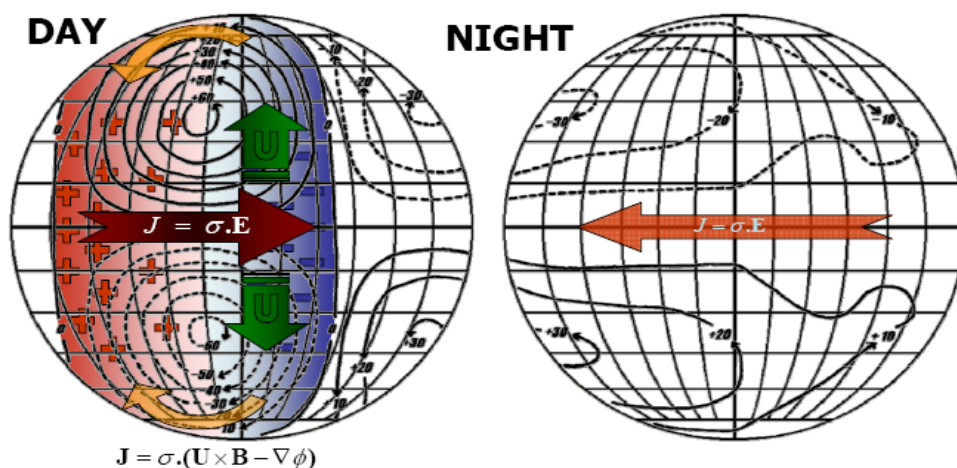


Figura 4: Esquema das correntes ionosféricas e campos elétricos baseado na teoria do dínamo ionosférico.

FONTE: Denardini (2004).

2.4 Eletrojato Equatorial

O eletrojato é definido como sendo uma corrente que flui ao longo do equador magnético na região E da ionosfera. Ela está confinada em uma faixa de 600 km de extensão na direção norte-sul (limitada pela inclinação magnética do campo \mathbf{B}), entre aproximadamente 90 e 120 km de altitude (limitada pela alta condutividade Cowling). Ele é controlado por um sistema global de campos elétricos produzidos pelo dínamo atmosférico mencionado acima. (Denardini, 1999).

Finalmente, cabe mencionar que a região E apresenta uma diversa gama de irregularidades de vários comprimentos de ondas em seu plasma. Algumas delas estão relacionadas com o eletrojato equatorial, as quais são nosso objeto de estudo.

Nas seções a seguir apresentamos estas irregularidades e algumas de suas características.

2.4.1 Irregularidades de Pequena Escala do EEI

Estudos feitos utilizando radares VHF mostram dois tipos distintos de irregularidades no eletrojato equatorial. Irregularidades tipo 1 apresentam um pico de potência estreito e centrado sob o deslocamento Doppler, correspondente a velocidade íon acústica, que é em torno de 360 m/s. As irregularidades tipo 2 apresentam um espectro de potência mais espalhado e um deslocamento Doppler menor que o correspondente a velocidade íon acústica (Denardini, 1999). A Figura 5 mostra o espectro de potência obtido pela análise dos dados de radar, os quais possuem assinaturas destes dois tipos de irregularidades.

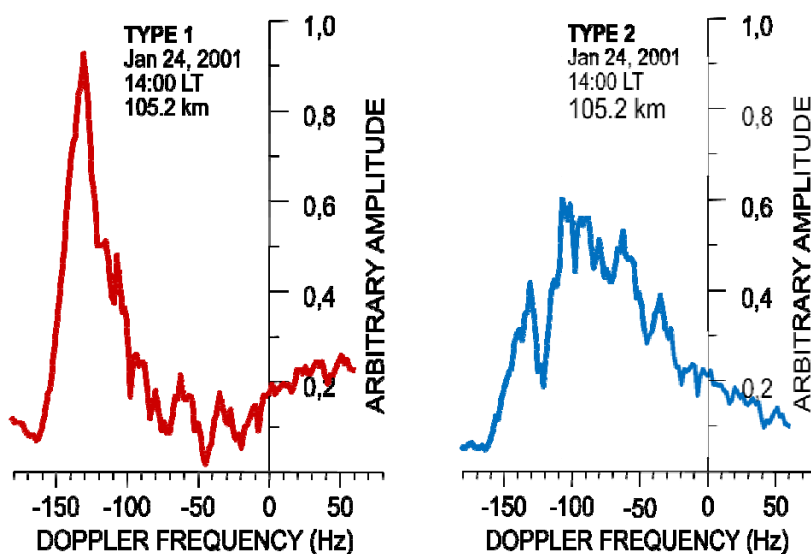


Figura 5: Espectros de irregularidades Tipo 1, à esquerda, e irregularidades Tipo 2, à direita, dos dados do Radar de Espalhamento Coerente em 50 MHz, no dia 24 de janeiro de 2001, as 14 horas, para a altura de 105,2 km, medidas no Observatório Espacial de São Luís do Maranhão/INPE - MCT.
FONTE: Denardini (2004).

Irregularidades tipo 1 ocorrem no plasma quando a força inercial nos íons associadas com uma perturbação de densidade excede a força do gradiente de pressão, a qual tende a destruir a perturbação causando a difusão através da linha de campo magnético, que normalmente ocorre quando a velocidade de deslocamento dos elétrons ultrapassa a velocidade íon acústica (Denardini 1999). Este tipo de irregularidade tende a aparecer em horários entre 10 e 13 (LT), levando em conta dias magneticamente calmos (Forbes, 1981).

Os ecos tipo 2 ocorrem em plasmas não homogêneos se um campo elétrico ambiente gerado pela diferença de densidade tem uma componente muito acentuada na direção paralela ao gradiente de densidade. Estas irregularidades podem aparecer desde os primeiros horários da manhã até o pôr-do-sol, considerando dias magneticamente calmos (Denardini 1999).

CAPÍTULO 3

3 Instrumentação e Metodologia de Análise

Os dados utilizados para realização do projeto foram obtidos com um radar que está instalado em Lima - Peru, no Rádio observatório de Jicamarca (11.57°S, 76.52°W, dip: 2°N). Este radar (figura 6) pode operar em vários modos, um deles é “Jicamarca Unattended Long-term Investigations of the Ionosphere and Atmosphere (JULIA)” que opera com baixa potência (20 kW), que tem como objetivo a detecção das irregularidades de plasma. Este radar utiliza uma frequência de operação de 50 MHz, correspondente a irregularidades com comprimento de onda de 3 m. Os dados foram adquiridos usando os 4 módulos de transmissão. O conjunto de antena gera um feixe principal com $\sim 2^\circ$ em relação a vertical.



Figura 6: Radar instalado no Rádio Observatório de Jicamarca, Lima-Peru.

A análise básica dos dados do radar começa com o pré-processamento. Que consiste em ler os valores de voltagem e agrupar por faixa de altura. Um algoritmo de transformada rápida de Fourier (FFT, do inglês *Fast Fourier Transform*), é empregado para análise da densidade espectral de energia. O resultado da aplicação da FFT a este número complexo é um espectro para uma dada altura e para o tempo correspondente à aquisição do eco recebido. Agrupando vários espectros consecutivos obtemos um espectrograma que é um mapa que mostra a variação do deslocamento Doppler em frequência em função do tempo. A integração em frequência de cada espectro de potência componente dos espectrogramas resulta na variação da potência

total de sinal retro-espalhado ao logo do período de aquisição para a faixa de altura correspondente. Agrupando o resultado de todos os espectrogramas, integrados em frequência, no seu respectivo tempo e altura, obtemos um mapa da variação de intensidade de potência mapa RTI, para o dia de aquisição.

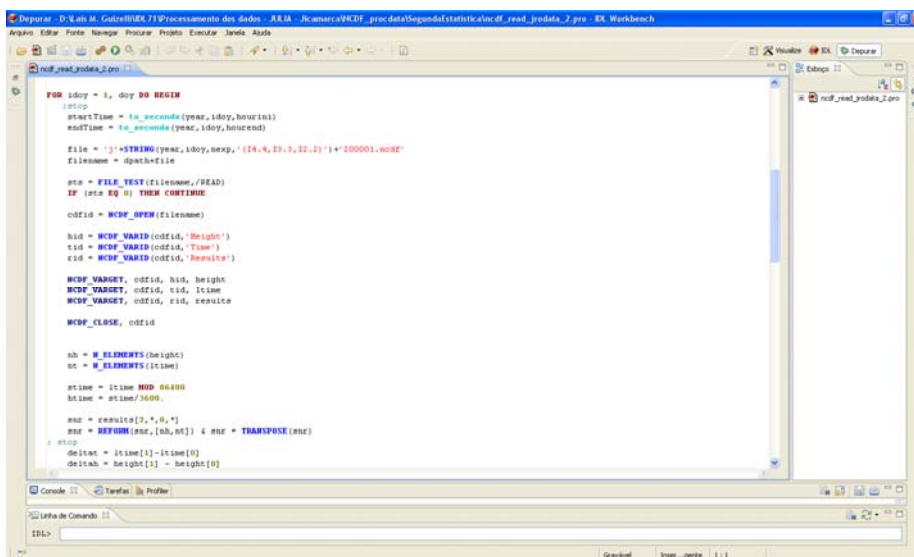
Para analisar as irregularidades no plasma ionosférico nós selecionamos 196 dias de dados dos anos de 2007 e 2008. Esses dados foram agrupados como mostra a Tabela 1, onde: (1) os meses D correspondem ao verão e consistem de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro; (2) os meses E são março, abril, setembro e outubro, referentes aos meses dos equinócios; (3) os meses J referem-se ao inverno, e são formados pelos meses de maio, junho, julho e agosto. Neste projeto nós desenvolvemos rotinas para somar todas as matrizes RTI de cada estação e dividir pelo número de dias analisados.

Tabela 1: Dias dos dados de 2007 e 2008 selecionados para análise

D Months (January, February, November, December)	
November 2007	13,14,15,21,22,23, 24,25,26,27,29,30
December 2007	1,2,3,4,5,20,21,22,23,24, 25,26,27, 28,29,30,31
January 2008	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10, 11,12,13,14,15
February 2008	6,7,8,9,10,11,28,29
E Months (March, April, September, October)	
September 2007	4,5,6,7,8,9,10,20,21, 22,23,24,25,26,27
March 2008	1,2,3,4,5,6,7,8,9, 10,11,12,13
September 2008	1
J Months (May, June, July, August)	
May 2007	14,15,16,17,18,19,20,21,22, 23,24,25,26,27,28,29,30,31
June 2007	1,2,3,4,5,6, 27, 28,29,30
July 2007	1,2,3,4
August 2007	16,17,18,19,20,21,22, 23,24,25,26,27,28
May 2008	8,9,10,11,12,13,14,15,16,17, 18,19,20,21,22,23,24,25,26,27
June 2008	26,27,28,29,30
July 2008	1,2,3,4,5,6,7,17,18,19,20,21, 22,23,24,25,26,27,28,29,30,31
August 2008	1,2,3,4,5,14,15,16,17,18,19,20,21, 22,23 24,25, 26,27,28,29,30,31

Foi desenvolvida uma rotina em IDL (*Interactive Data Language*), como mostra a figura 7, para a realização da estatística da ocorrência sazonal das irregularidades do EEJ. Essa rotina lê os arquivos “.ncdf” (para cada dia de operação) e guarda as informações de dB (em forma de matriz) da distribuição temporal e espacial da força de sinal recebido do EEJ. As informações em dB são lidas e uma nova matriz, chamada de Matriz Diária de Informações do Sinal, de “zeros” e “uns”, onde “zero” significa que o sinal em dB é negativo (sem eco, isto é, sem irregularidades do EEJ) e “um” significa que o sinal em dB é positivo (presença de eco, isto é, presença de irregularidades do EEJ). Todas as Matrizes Diárias de Informações de Sinal são somadas levando em consideração as faixas de altura e horários locais de operação de cada célula das matrizes.

O critério de seleção pela potência recebida em dB foi escolhido porque potências em dB negativas significam que a amplitude do sinal é inferior a amplitude do ruído, isto é, a relação sinal ruído é menor que 1 (um). Deste modo, o logaritmo resulta em um número negativo. Assim, o critério de dB maior que 0 (zero) significa consideramos a presença das irregularidades somente quando a relação sinal ruído for superior a unidade, ou seja, somente quando há sinal claramente detectável.



```
FOR idoy = 1, day DO BEGIN
  !STOP
  startTime = !a_seconds(year, idoy, hourini)
  endTime = !a_seconds(year, idoy, hourend)

  file = !J'+$STRINT(year, idoy, nexp, '(24,4,23,3,22,2)')+200001.ncdf
  filename = @path+file

  sts = FILE_TEST(filename, /READ)
  IF (sts EQ 0) THEN CONTINUE

  cdfid = NCF_OPEN(filename)

  hid = NCF_VARID(cdfid, 'Height')
  tid = NCF_VARID(cdfid, 'Time')
  rid = NCF_VARID(cdfid, 'Results')

  NCF_VARSGET, cdfid, hid, height
  NCF_VARSGET, cdfid, tid, itime
  NCF_VARSGET, cdfid, rid, results

  NCF_CLOSE, cdfid

  nh = N_ELEMENTS(height)
  nt = N_ELEMENTS(itime)

  atime = itime MOD 86400
  ltime = atime/3600

  snr = results[2,*,0,1]
  snr = REFORM(snr,[nh,nt]) & snr = TRANSPOSE(snr)

  !STOP
  deltat = itime[1]-itime[0]
  deltab = height[1] - height[0]
```

Figura 7: Rotina desenvolvida em IDL para a realização de estatísticas das irregularidades do EEJ.

CAPÍTULO 4

4 Resultados e Discussões

Neste capítulo apresentamos os resultados das análises realizadas com o conjunto de dados selecionados, mencionado no capítulo anterior.

4.1 Resultados das Análises dos Dados do Radar de Jicamarca

As figuras 8, 9 e 10 mostram mapas RTI estatísticos para os meses D, E e J, respectivamente. A cor vermelha da barra de cor indica a máxima ocorrência de irregularidades de plasma. Por outro lado a cor azul indica a menor ocorrência. Esses mapas mostram a ocorrência diurna das irregularidades (06:00 até 18:00).

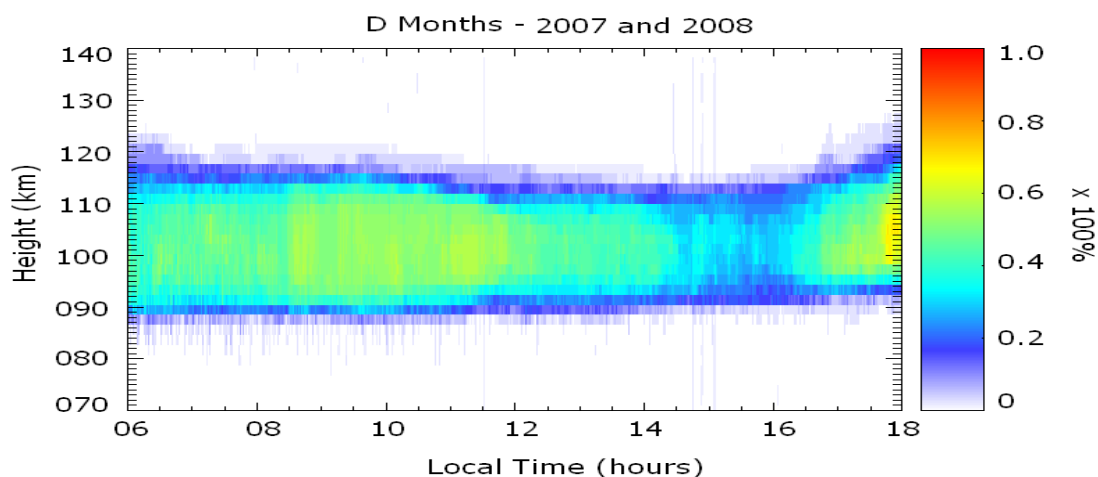


Figura 8: Mapa RTI estatístico da ocorrência de irregularidades de do EEJ para os meses D (verão)

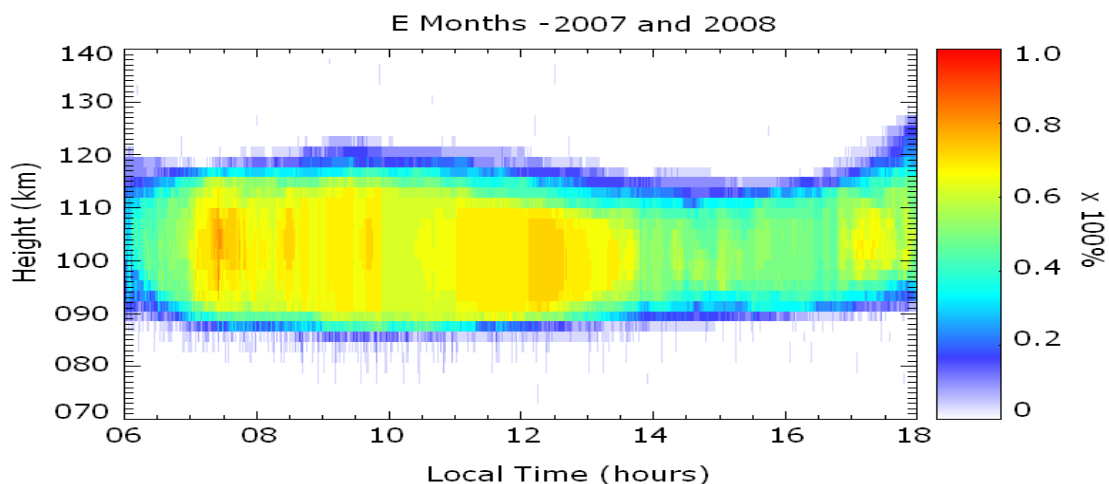


Figura 9: Mapa RTI estatístico da ocorrência de irregularidades de do EEJ para os meses E (equinócios)

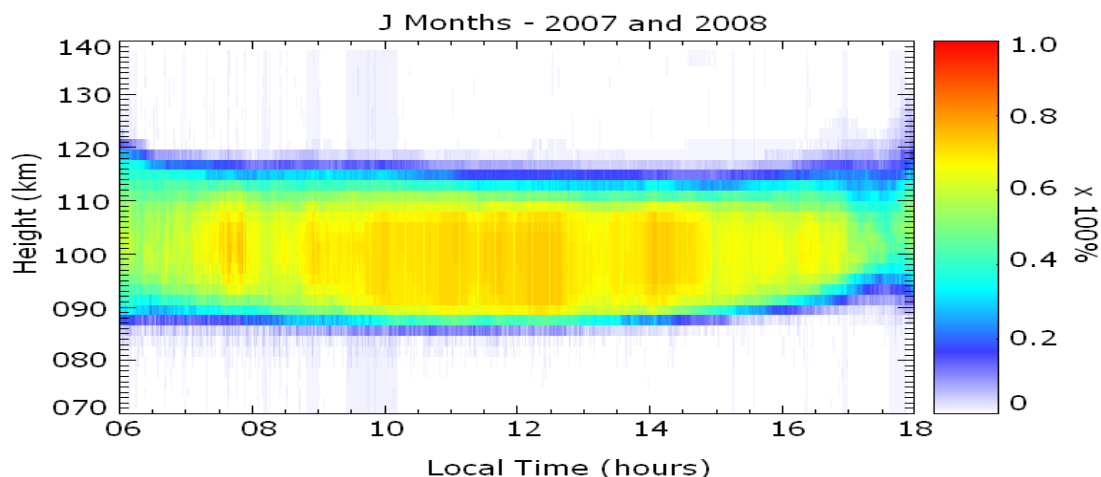


Figura 10: Mapa RTI estatístico da ocorrência de irregularidades de do EEJ para os meses J (inverno)

Os mapas RTI estatísticos sumarizam os principais resultados da estatística sazonal de ocorrência de irregularidades de plasma no EEJ. Esses mapas mostram uma variação diurna das irregularidades, das 06:00 as 18:00 LT, cobrindo uma faixa de altura de 70 a 140 km.

Algumas características comuns entre as estações é que:

- (a) as irregularidades ultrapassam o nível de 25% de ocorrência as 06:00 LT;
- (b) as irregularidades ocorrem até as 18:00 LT (ou mais tarde) com uma porcentagem relativamente alta (>50%);
- (c) as 07:00 as irregularidades atingiram níveis acima de 60%, em uma faixa de altura variada;
- (d) a partir das 14:00 há uma diminuição na observação das irregularidades, variando a intensidade dessa diminuição em cada estação;
- (e) existe um máximo de ocorrência próximo ao meio-dia local, mas outros máximos também são observados ao decorrer do dia;
- (f) as regiões de espalhamento que contém as irregularidades parecem elevar-se depois de passado o período das 14:00 LT;
- (g) as faixas de altura das regiões de espalhamento (considerando valores superior a 25% de ocorrência da cor ciano) atingem cerca de 30 km de extensão as 10 LT, reduzindo depois as 14:00 LT, principalmente nos meses D; e
- (h) depois de reduzir drasticamente no período do fim da sondagem (perto das 18:00 LT), a ocorrência de irregularidades na região de espalhamento parece aumentar novamente e os índices ultrapassam 60%, essa intensidade é menor nos meses J.

As características específicas que diferem entre as estações são:

- (a) com relação às alturas de início, nos meses D as irregularidades tendem a aparecer numa faixa de altura de 93 a 110 km, entre os meses E essa faixa se estende de 98 a 112 km, já nos meses J essa faixa varia entre 94 e 110 km de altura;
- (b) como já foi dito anteriormente, há uma subida na região de espalhamento de irregularidades no final do dia, variando conforme cada estação. Nos meses D, a altura do fim da ocorrência das irregularidades varia numa faixa de 98 a 112 km, nos meses E, essa faixa de altura ocorre entre 98 a 115 km e nos meses J essa faixa de altura se estende de 95 a 112 km;
- (c) com relação à intensidade de ocorrência das irregularidades de plasma podemos notar que nos meses J a intensidade é quase constante (>70%) no período das 09:00 as 15:00 LT, após as 15:00 há uma diminuição gradativa na intensidade dessa ocorrência, até o período próximo ao fim da sondagem; e
- (d) nos meses D, a intensidade de ocorrência das irregularidades das 14:00 as 17:00 é baixa se compararmos com valores do restante do dia, essa intensidade é ~30% e nos meses E é de ~40%.

4.2 Discussão dos Resultados

Obviamente, não temos condições de discutir e apresentar teorias e explicações, (dentro do âmbito do nosso conhecimento atual) para todos os resultados observados. Portanto, nesta seção vamos concentrar nossas discussões em dois aspectos, os quais consideramos serem os mais significativos deste trabalho dentre as características observadas nos mapas Histogramas RTI do setor peruano. Além disso, nesta fase do projeto, assumimos que as características comuns observadas entre os mapas de Histograma RTI são aquelas que definem o comportamento médio da região de espelhamentos do EEJ no setor peruano (o que é válido pelo menos no período analisado).

A) Elevação da Região de Espalhamento após as 14 LT

Conforme comentado entre os itens das características comuns observadas nos mapas de Histograma RTI de todas as estações, verificamos uma elevação da região de espalhamento que contém as irregularidades após as 14 LT. De fato, isto não é novidade. No trabalho de Denardini et al. (2005), eles mostraram uma elevação similar que ocorre no setor Brasileiro. No gráfico da figura 11, reproduzimos a figura 2 do artigo de Denardini et al. (2005). Nesta figura, é claramente visível que o centro da região de espalhamento do EEJ estava localizado aproximadamente a 100 km por volta das 14 horas (vide dados do verão durante os períodos calmos) e elevou-se até 106-107 km de altitude às 18 horas. Esta característica está presente em todas as estações do ano durante todos os níveis de perturbação magnética. Porém, o gráfico da figura 11 mostra que no verão a região de espalhamento parte de uma altura mais baixa e sobe até uma altura mais alta quando comparado com o período de inverno. De fato, Denardini et al. (2005) apresentaram uma análise (vide tabela 2 em seu trabalho) na qual eles mostram que a velocidade de subida da região de espalhamento é de 2 a 3 vezes mais rápido no verão do que no inverno.

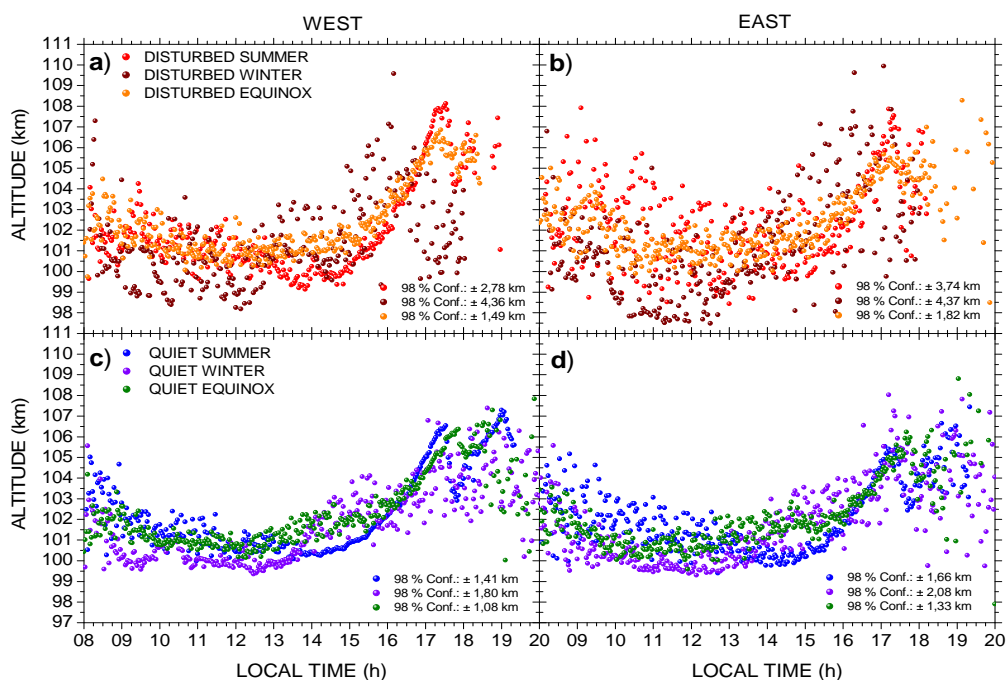


Figura 11: Subida da região de espalhamento após as 14:00 LT para as 3 estações do ano durante períodos perturbados (“a” e “b”) e durante períodos calmos (“c” e “d”).
FONTE: Denardini et al(2005).

As características da região de espalhamento das irregularidades descritas por Denardini et al. (2005) para o setor brasileiro, apresentam grande semelhança com os resultados descritos nas nossa análises. No caso do setor peruano, a elevação da região de espalhamento que contém as irregularidades também se inicia após as 14 horas e dura ao longo de toda à tarde. Em todas as estações o centro da região de espalhamento encontrava-se em torno de 100 km de altitude e elevou-se até as 18 horas local quando atingiu ~105 km de altitude. Além disso, como pode ser visto nos mapas das figuras 8 a 10, a região de espalhamento do inverno (figuras 10) parece ter atingido uma altitude inferior àquela atingida pela região de espalhamento nas demais estações.

Denardini et al. (2005) compararam a atitude do centro de espalhamento da região do EEJ contendo as irregularidades com a evolução de uma camada α -Chapman (Hargreaves, 1992), a qual varia com o cosseno do ângulo zenital da radiação solar elevado à k -ésima potência, isto é:

$$q_m(k) \sim \cos(\chi)^k . \quad (9)$$

Eles verificaram que o centro da região de espalhamento está localizado entre as curvas $q_m(0.4)$ e $q_m(1)$ e usar esta verificação para justificar parte da elevação da região de espalhamento ao final da tarde. Devido às grandes semelhanças entre as

observações realizadas no setor peruano com estas realizadas no setor brasileiro, acreditamos que o mesmo mecanismo pode estar sendo aplicado.

B) Ocorrência de uma Região de Espalhamento após o Pôr-do-Sol.

Conforme visto na Figuras 8, 9 e 10 e discutido, a ocorrência de irregularidades na região de espalhamento apresenta uma diminuição gradativa ao longo do dia e parece aumentar novamente nos horários próximos ao pôr-do-sol (perto das 18 LT), levando a altos índices de ocorrências registrados (>60%), especialmente nos meses J. Assim, como no caso discutido a pouco, esta característica observada no setor peruano, também foi observada no observadas no setor brasileiro, sobre a qual há um trabalho publicado pelo nosso grupo de pesquisa.

A figura 12 foi retirada do trabalho de Denardini et al. (2006), onde eles mostraram um aumento da intensidade da região de espalhamento entre as 18:00 e 19:00 LT. Este horário é justamente próximo aos horários do pôr-do-sol e se estende até o fim do crepúsculo. Nos mapas Histogramas RTI que obtivemos para da região peruana também revelam o que se assemelha em muito a concentração de irregularidades próximo aos horários do pôr-do-sol, quando o campo elétrico está supostamente bastante reduzido. No caso do setor peruano, o mapa Histograma RTI que mais claramente revela a presença de tal região é aquele relacionado com os meses de equinócio.

No estudo realizado por Denardini et al. (2006), baseado em dados do radar RESCO, também estão apresentados o campo magnético induzido no nível do solo pela corrente do EEJ (painel central da Figura 12), o qual foi determinado de dados de magnetômetros. Porém, estes não serão discutidos no contexto de nossas análises, pois não temos dados equivalentes para o setor peruano até o momento. Além disso, Denardini et al. (2006) incluíram na sua figura (reproduzida aqui na forma da Figura 12) os dados de deslocamento vertical da camada F da ionosfera, deduzido de dados de digissonda para região de São Luís (painel inferior). Com relação a esta variável, temos o trabalho de Fejer et al. (1991) para o setor peruano (Figura 13).

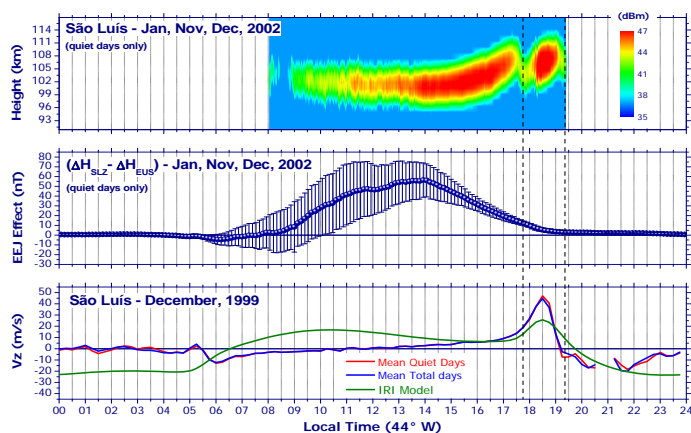


Figura 12: Medidas do campo elétrico terrestre com diferentes equipamentos. No topo medidas feitas com o radar RESCO, no meio medidas feitas com magnetômetros e ao final medidas feitas com digissondas.

FONTE: Denardini (2006).

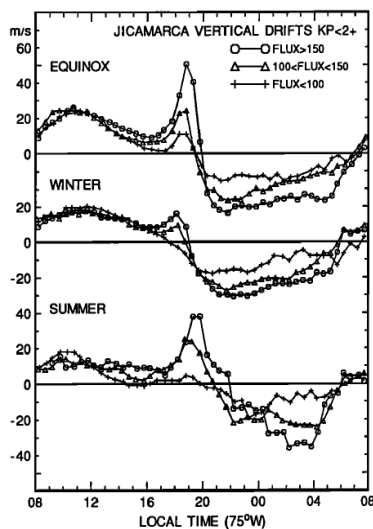


Figura 13: Média da deriva de plasma vertical em Jicamarca durante os equinócios, inverno e verão.

FONTE: Fejer et al.(1991).

Observe que ambos, Denardini et al. (2006) e Fejer et al. (1991) mostram da deriva de plasma verticais da região F utilizando dados de radares. Nos dois casos, há uma clara demonstração da presença do pico de pré-reversão (Farley et al., 1986). Haerendel e Eccles (1992) realizaram um estudo no qual eles relacionaram esta deriva da região F com a possibilidade de geração de campos elétricos na região E da ionosfera (vide Figura 14). Em seu estudo eles chegaram a realizar uma simulação, na qual estimaram a possibilidade de ocorrência de irregularidades tipo 1 nas alturas do EEJ (vide Figura 15).

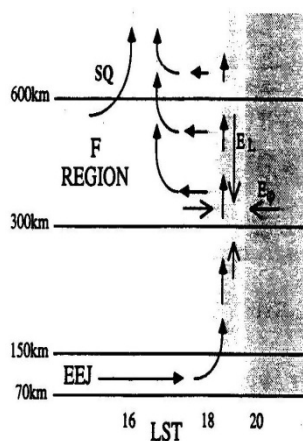


Figura 14: Um esboço da circulação das correntes na ionosfera no período próximo ao final do dia.

FONTE: Haerendel and Eccles, (1992)

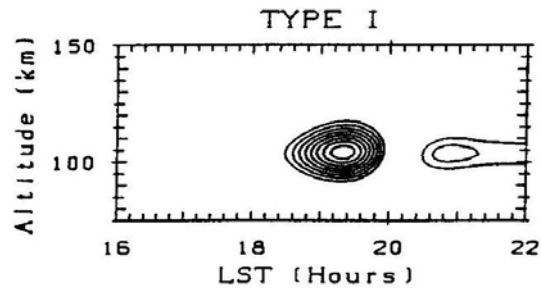


Figura 15: Um esboço da provável instabilidade Farley-Buneman (tipo 1).
FONTE: Haerendel and Eccles, (1992)

Observe que estes horários e alturas coincidem surpreendentemente com as observações de Denardini et al. (2006). Desta forma, eles usaram esta teoria de Haerendel e Eccles (1992) para justificar a presença desta uma região de espalhamento após o pôr-do-sol, observada no setor brasileiro, e a afirmaram que suas observações eram na verdade uma comprovação s experimental de tal teoria. Em virtudes das observações e Denardini et al. (2006) relacionadas com a teoria de Haerendel e Eccles (1992) e, em virtude dos resultados de Fejer et al. (1991) juntamente com as nossa observações neste trabalho, podemos afirmar que trata-se da mesma fenomenologia.

CAPÍTULO 5

5 Atividades Realizadas

Neste capítulo, apresentamos os resultados da interação da bolsista com a comunidade científica em nível de iniciação científica e com os pesquisadores presentes nos congressos internacionais de sua área de atuação. Aqui também estão refletidas parte das atividades complementares de formação do bolsista realizadas durante o período de bolsa 2010 - 2011 referentes ao assunto deste relatório. Essas atividades têm como objetivo o desenvolvimento pessoal e profissional da bolsista.

5.1 Trabalhos Completos Publicados em Anais de Congressos

5.1.1 Congresso Internacional da SBGf (CISBGF)

Local: Rio de Janeiro

Período: 14 a 19 de Agosto de 2011

Trabalhos:

- 1) Guizelli, L. M., Denardini, C. M., Resende, L. C. A., Moro, J. Comparison of the Occurrence of Plasma Irregularities in the Equatorial Electrojet over the Brazilian and Peruvian Sectors
- 2) Denardini, C. M., Resende, L. C. A., Moro, J., Guizelli, L. M. A Discussion about some Aspects of the Solar-Terrestrial System Coupling with Regard to Space Weather Effects

5.2 Resumos Publicados em Anais de Congressos

5.2.1 Simpósio de Iniciação Científica do INPE (SICINPE)

Local: São José dos Campos (INPE) – São Paulo

Período: 13 e 14 de Julho de 2010

Trabalhos:

- 1) Guizelli, L. M., Denardini, C. M., Almeida, P. D. S. C., Resende, L. C. A., Moro, J. Estudo e Monitoramento da Eletrodinâmica da Baixa Ionosfera Equatorial Utilizando Dados de Radars.

5.2.2 The Meeting of the Americas

Local: Foz do Iguaçu

Período: 8 a 12 de Agosto de 2010

Trabalhos:

- 1) Moro, J., Correia, E., Denardini, C.M., Abdu, M. A., Makita, K., Schuch, N.J., Resende, L.C.A., Almeida, P.D.S.C., Guizelli, L.M. The Analysis of Ionospheric Absorption of Galactic Radio Noise in Three Geomagnetic Disturbed Periods Using Imaging Riometer.
- 2) Resende, L.C.A., Denardini, C.M., Batista, I.S., Almeida, P.D.S.C., Moro, J., Guizelli, L.M. Can Solar Flares Cause Detectable Effects on the Equatorial Sporadic E-Layer Electron Density?
- 3) Denardini, C.M., Almeida, P.D.S.C., Resende, L.C.A., Moro, J., Guizelli, L.M., Sobral, J.H.A. Discussion on Some Aspects Regarding the Low Latitude Ionospheric Coupling to the Neutral Atmosphere and to the High Latitude Ionosphere.

5.2.3 III Simpósio Brasileiro de Geofísica e Aeronomia

Local: Armação dos Búzios – Rio de Janeiro

Período: 1 à 3 de setembro de 2010

Trabalhos:

- 1) Guizelli, L. M., Denardini, C. M., Milla, M.A., Resende, L. C. A., Moro, J. Diurnal Variation of the Occurrence of Equatorial Electrojet Plasma Irregularities in the Peruvian Sector
- 2) Resende, L. C.A., Denardini, C.M., Batista, I.S., Moro, J., Guizelli, L.M. The Frequency Parameters Associated with Es-Layer in the Equatorial Ionosphere During Disturbed Periods: A Case Study
- 3) Moro, J., Correia, E., Denardini, C.M., Abdu, M.A., Resende, L.C.A., Guizelli, L.M., Makita, K., Schuch, N.J. Long-Term Study of the Cosmic Noise Absorption Variation in the SAMA

5.2.4 Latin American Conference in Space Geophysics

Local: Puntarenas – Costa Rica

Período: 4 a 10 de Abril de 2011

Trabalhos:

- 1) Guizelli, L. M., Denardini C. M., Milla, M.A., Resende L. C. A., Moro, J. Seasonal Variation of the Occurrence of Equatorial Electrojet Plasma Irregularities in the Peruvian Sector
- 2) Denardini, C.M., Resende, L.C.A., Moro, J., Guizelli, L.M. Review on the Neutral Atmosphere-to-Ionosphere Coupling and Height –to-Low Latitude Ionosphere Coupling

- 3) Resende, L. C.A., Denardini, C.M., Batista, I.S., Moro, J., Guizelli, L.M. Statistics of the Abnormal Enhancement the Blanketing Frequency Associated with Es-Layer in the Equatorial Ionosphere During Disturbed Periods
- 4) Moro, J., Correia, E., Denardini, C.M., Abdu, M.A., Paulo, C.M., Resende, L.C.A., Guizelli, L.M., Makita, K., Schuch, N.J. A Comparison of two Different Techniques for Deriving the Quiet Day Curve from SARINET Riometer Data.

5.2.5 International Association of Geomagnetism and Aeronomy (IAGA)

Local: Melbourne – Australia

Período: 28 de junho a 7 de julho de 2011

Trabalhos:

- 1) Guizelli, L. M., Denardini C. M., MILLA, M.A., Resende L. C. A., Moro, J. The Rule of the Magnetic Activity on Observation of EEJ Plasma Irregularities in the Peruvian Sector Based on Two Years of Radar Sounding Data
- 2) Denardini, C.M., Resende, L.C.A., Moro, J., Guizelli, L.M. On the Temperature Increase to Rise the Collision Frequencies at the Equatorial E-region.
- 3) Resende, L. C.A., Denardini, C.M., Batista, I.S., Moro, J., Guizelli, L.M. Gradual Changes in the Occurrence of Different Types of Es-Layers over Equatorial Region During Disturbed Periods of Solar Cycle 23
- 4) Moro, J., Correia, E., Denardini, C.M., Abdu, M.A., Paulo, C.M., Resende, L.C.A., Guizelli, L.M., Makita, K., Schuch, N.J. Differences in the Cosmic Noise Absorption as seen by SARINET During Sept.3, 2008 Moderate Geomagnetic Storm

5.3 Participação em Escola Internacional

Com a finalidade de desenvolver as habilidades práticas sobre radares sondadores ionosféricos em VHF participou-se do “*Jicamarca International Research Experience Program*” (JIREP). JIREP é um programa do Rádio Observatório de Jicamarca (ROJ), localizado no Peru, financiado pela *National Science Foundation* (NSF) e pela Universidade de Cornell, ambas instituições dos Estados Unidos da América, onde durante dez semanas desenvolveu-se um estudo estatístico da ocorrência das irregularidades de plasma do eletrojato equatorial (EEJ) sobre o setor peruano, em trabalhos cooperativos com toda a equipe do observatório e sob a supervisão do Dr. Marco Milla.

O radar de Jicamarca possui uma tecnologia mais avançada que o radar que possuímos no Brasil (em São Luis – MA), com isso, podemos utilizar o conhecimento adquirido nesse tempo de aprendizagem no Peru para aprimorar o desenvolvimento de nossos equipamentos.

5.4 Participação em um Curso de Instalação de Magnetômetros

Dando continuidade as atividades desenvolvidas, no último trimestre de 2010 participou-se do Curso de Instalação, Calibração Manutenção e Manipulação de Dados de Magnetômetros (Figura 16), Fabricados no Radio Observatório de Jicamarca. Este curso foi ministrado nas dependências do Laboratório Sonda em Cachoeira Paulista de 27 de setembro a 01 de outubro de 2010, perfazendo um total de 40 horas e cobrindo o seguinte conteúdo programático:

- 1) introdução aos sistemas de magnetômetros relativos e absolutos;
- 2) sistemas de medição de componentes magnéticas XYZ versus HDZ;
- 3) montagem do sensor do equipamento e sensibilidade à temperatura;
- 4) eletrônica do sistema monitor, disposição dos subsistemas;
- 5) o computador de aquisição e os programas instalados;
- 6) calibração do equipamento em laboratório e ajuste das componentes;
- 7) seleção de localidades para instalação de magnetômetros:
 - a) escolha de local localidades magneticamente quietas;
 - b) instalação em terrenos pantanosos;
 - c) instalação em terrenos de selva;
 - d) cobertura para proteção de temperatura e manutenção da ventilação;
 - e) o problema da condensação nos sensores magnéticos;
- 8) instalação de sensores: vedação e ajuste mecânico da componentes Y;
- 9) instalação do sistema monitor e ajuste eletrônico das componentes X e Z;
- 10) ajustes nos sistema operacional do PC e instalação dos programas de controle;
- 11) configuração dos programas de controle:
 - a) determinação do nome e código da estação;
 - b) definição das coordenadas geográficas;
 - c) definição das linhas de base usando o IGRF ou medições absolutas;
 - d) definição das escalas de operação para componentes e temperaturas;
 - e) adição das calibrações de laboratório para cada escala;
 - f) configuração dos endereços do servidores de dados;
- 12) operação dos sistemas de magnetômetros: arquivos de dados (segundo e min.)
- 13) acesso a base de dados pelo servidor de FTP;
- 14) manipulação dos arquivos ASCII (data, hora, componentes e temperatura)
- 15) apresentação gráfica dos resultados e sua configuração;
- 16) alguns problemas e detalhes operacionais:
 - a) circuitos mais susceptíveis à descargas atmosféricas;
 - b) diferenças entre circuitos dos sistemas de Geração II e Geração III.

A figura 16 mostra (à esquerda) a equipe que participou da instalação dos magnetômetros na sedo do INPE de Cachoeira Paulista e (à direita) o equipamento já instalado.



Figura 16: (à esquerda) Equipe instalando o magnetômetro na sede do INPE de Cachoeira Paulista e (à direita) o equipamento instalado.

5.5 Participação como ouvinte de uma disciplina do Curso de Pós - Graduação em Geofísica Espacial

Finalmente cabe mencionar que a bolsista participou como ouvinte da disciplina GES-412 intitulada “Tópicos Especiais em Ionosfera” que abordou os seguintes assuntos:

- I) Fundamentos sobre Geomagnetismo Terrestre
 - 1) Campo Magnético da Terra
 - 2) Os invariantes Adiabáticos
 - a) Momento Magnético
 - b) Invariante Longitudinal
 - c) Invariante de Fluxo
 - 3) Sistemas de Coordenadas
 - a) Latitude Dip e Altitude
 - b) Integral Invariante (I) e Intensidade de Campo (B)
 - c) Intensidade de Campo (B) e Concha Magnética de McIlwain (L)
 - d) Parâmetro R ($L \cdot \cos^2 I$) e Latitude Magnética (I)
 - e) Parâmetros a e b (Coordenadas Curvilíneas)
 - 4) Representação Matemática do Campo Magnético da Terra
 - a) Coordenadas Esféricas
 - b) Harmônicos Zonais
 - c) Funções Associadas (P_n, m) e Funções Ortogonais de Schmidt
 - d) Funções Esféricas Normalizadas
 - e) Desenvolvimento em Séries de Harmônicos Esféricos
 - f) Funções de Harmônicos Esféricos como Solução da Equação de Laplace
 - g) Função Harmônica de Superfície Esférica Geral (S_n)
 - h) Representação de S_n por Funções Ortogonais de Schmidt
 - i) Separação do Campo de Forças em Campo Interno e Externo
 - j) Aplicação para Magnetismo Terrestre
 - k) Teorema Integral sobre Harmônicos Esféricos
 - l) Coordenadas Geomagnéticas e o Tempo
 - 5) Os índices Geomagnéticos

- a) Índices K, Ks, Kp e Somatório de Kp
 - b) Índices ap e Ap
 - c) Índices AE, AU, AL
 - d) Índice Dst
 - e) Possíveis Erros pelo Uso de Índices Geomagnéticos
 - f) O significado Físico do Índice AE
- II) Contribuições Externas ao Campo Geomagnético
- 1) Campos Magnéticos Externos
 - a) Condutividade Elétrica do Plasma
 - b) A Ionosfera
 - c) A Magnetosfera
 - d) As Variações Diurnas
 - e) Tempestades Magnéticas e Sub-tempestades
 - f) Pulsações e Efeitos de Flares Solar
- III) Tempestades Ionosféricas
- 1) Introdução
 - a) Efeitos Importantes de Tempestades Ionosféricas
 - b) A Composição da Termosfera de Médias Latitudes
 - c) Efeitos nas Regiões Ionosféricas D e E
 - d) Programas de Estudos Coordenados de Tempestades Ionosféricas
 - 2) Propulsores de Tempestades Ionosféricas e Termosféricas
 - 3) Conhecimento Atualmente Aceito sobre Tempestades Ionosféricas
 - a) Tempestades na Atmosfera Neutra
 - b) Tempestades Ionosféricas
 - Uma Visão Geral
 - Altas Latitudes
 - Efeitos dos “Particulados” (dusk effect)
 - Efeitos de Longa Duração de Tempestades Positivas
 - A Fase Negativa da Tempestade Ionosférica
 - Baixas Latitudes e Regiões Equatoriais
 - 3) Resultados Recentes
 - a) Modelos Globais e Observações
 - b) Efeitos em Altas Latitudes
 - c) Efeitos em Médias Latitudes
 - d) Efeitos em Baixas Latitudes
 - 4) Problemas Científicos em Aberto
- IV) Instabilidades de Plasma na Região Equatorial
- 1) Instabilidades de Plasma da Região F: Observações
 - 2) Desenvolvimento e Inibição das Tempestades Ionosféricas Equatoriais Convectivas
 - a) Teoria Linear de Instabilidade Rayleigh-Taylor
 - b) Os Processos Generalizados Rayleigh-Taylor: Campos Elétricos, Ventos Neutros, e Gradientes Horizontais
 - c) A Semeadura de Tempestades Ionosféricas Convectivas por Ondas de Gravidade
 - d) O Papel do Cisalhamento de Ventos nas Tempestades Ionosféricas Convectivas
 - 3) Instabilidades de Plasma da Região E: A Base Observacional
 - 4) Teorias Lineares das Instabilidades do Eletrojato

- 5) Turbulência na Região D
- V) Eletrodinâmica Atmosférica em Altas Latitudes
 - 1) Acoplamento Eletrodinâmico entre o Vento Solar, a Magnetosfera e a Ionosfera
 - a) Introdução e Equações Fundamentais
 - b) Descrição Quantitativa da Convecção do Campo Magnético Interplanetário (CMI) para Sul
 - c) Transferência de Energia
 - d) Complicações Adicionais ao Problema
 - 2) Correntes Horizontais em Alta Latitude

CAPÍTULO 6

6 Conclusões

Cientificamente, o estudo dos fenômenos que ocorrem na ionosfera equatorial é de grande importância para que possamos estabelecer mecanismos de previsão. Neste sentido, os esforços para formação de novos cientistas na área de ciência especial se concentraram, principalmente, no estudo sobre um dos fenômenos que ocorre na camada E ionosférica, o eletrojato equatorial no setor Brasileiro. Contudo, para se estabelecer as leis que governam o EEJ no setor Brasileiro é necessário se estabelecer quais são as variáveis mais importantes. Neste sentido, se justificam realizar estudos comparativos com outros setores longitudinais, o qual é o caso do projeto neste ano de bolsa.

Através dos dados adquiridos pelo radar instalado no Rádio Observatório de Jicamarca, fizemos uma estatística sazonal da ocorrência de irregularidades no plasma ionosférico, utilizando rotinas desenvolvidas em IDL. O estudo mostrou características comuns e diferentes entre as estações do ano. Quanto às características que diferem entre as estações destacamos dois pontos, os quais consideramos mais importantes. Nossos resultados revelaram a elevação da região de espalhamento no final do dia, que pode ser melhor visualizada nos Equinócios. Observamos a ocorrência de uma intensificação na região de espalhamento após o pôr-do-sol, que ocorreu principalmente no verão e nos equinócios.

Do ponto de vista de desenvolvimento científico de novos pesquisadores, a realização destas atividades permitiu contato com dados do radar de Jicamarca, desenvolvendo conhecimento sobre o equipamento, aprimorando conhecimento com linguagem de programação e fixando os conceitos estatísticos adquiridos no curso universitário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdu, M. A., Sastri, J. H., MacDougall, J., Batista, I. S., Sobral, J. H. A. Equatorial disturbance dynamo electric field longitudinal structure and spread F: a case study from GUARA/EITS campaigns. *Geophysical Research Letters*, v. 24, n. 13, p. 1707-1710, July 1997.
- Akasofu, S.I., Chapman, S. *Solar-Terrestrial physics*. Oxford: Oxford University Press, 1972
- Denardini, C. M. Dissertação de Mestrado. Desenvolvimento de um Sistema de Correção de Fase para o Radar Ionosférico de São Luís do Maranhão. São José dos Campos, 1999. INPE.
- Denardini, C. M. Tese de Doutorado. Estudo da Eletrodinâmica da Ionosfera Equatorial Durante o período de Máxima Atividade Solar. São José dos Campos, 2004. INPE.
- Denardini, C. M. Seasonal characterization of the equatorial electrojet height rise over Brazil as observed by the RESCO 50 MHz back-scatter radar. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 67, 1665-1673, 2005.
- Denardini, C. M. VHF Radar Observation of the Dip Equatorial E-region During Sunset in the Brazilian Sector. *Ann. Geophys.* 24,1-7, 2006.
- Farley, D.T., E. Bonelli, B.G. Fejer, and M.F. Larsen, The pre-reversal enhancement of the zonal electric-field in the equatorial ionosphere, *Journal of Geophysical Research*, 91 (A12), 3723-3728, 1986.
- Fejer, B.G. , de Paula, E.R., González, S.A., Woodman, R.F. Average Vertical and Zonal F Region Plasma Drifts over Jicamarca. *Journal of Geophysical Research*, 96 (A8), 13901-13906, 1991.
- Forbes, J. M. *The equatorial electrojet*. *Reviews of Space Geophysics and Space Physics*, v.19, n.3, p. 469 – 504, 1981.
- Haerendel, G., and J.V. Eccles, The Role of the Equatorial Electrojet in the Evening Ionosphere, *Journal of Geophysical Research*, 97 (A2), 1181-1192, 1992.
- Hargreaves, J. K. *The solar-terrestrial environment*. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.
- Kelley, M. C. *The Earth's Ionosphere*. San Diego: Academic Press, 2009, 2nd Edition.
- Kivelson, M. G., Russell, C. T. ed. *Introduction to space physics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- Rishbeth, H., Garriott, O. K. *Introduction to ionospheric physics*. New York: Academic, 1969.

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - PIBIC/INPE/CNPq

Conferimos o presente Certificado a **LAÍS MARIA GUIZELLI MORAIS** por sua participação no Seminário de Iniciação Científica do INPE-SICINPE, realizado em São José dos Campos-SP, nos dias 13 e 14 de julho, e apresentação do trabalho intitulado: "ESTUDO E MONITORAMENTO DA ELETRODINÂMICA DA BAIXA IONOSFERA EQUATORIAL UTILIZANDO DADOS DE RADARES", orientado pelo(a) Prof(a). Clézio Marcos Denardini.

São José dos Campos, 14 de julho de 2010.



Dr. José Carlos Becceneri
Coordenador Institucional do PIBIC

III Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia
Armação dos Búzios, RJ . 01 a 03 de Setembro de 2010



CERTIFICADO

Certificamos que o trabalho intitulado

“DIURNAL VARIATION OF THE OCCURRENCE OF EQUATORIAL ELECTROJET PLASMA IRREGULARITIES IN THE PERUVIAN SECTOR”

de autoria de

Guizelli, L. M.; Denardini C. M.; Milla, M. A.; Resende L. C. A.; Moro, J.

foi apresentado na forma de pôster no III Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia,
realizado de 01 a 03 de setembro de 2010, em Armação dos Búzios – RJ.

Armação dos Búzios 03 de setembro de 2010.

A blue ink signature of Andrés Reinaldo Rodríguez Papa is located in the bottom right corner of the certificate.

Andrés Reinaldo Rodríguez Papa
Coordenador Geral SBGEA 2010

IX COLAGE

Latin American Conference
in Space Geophysics

Present this

CERTIFICATE OF PARTICIPATION

to

Lais Guizelli

For his active and invaluable participation in this congress, held on 5 to 10 April 2011 at Hotel
Punta Leona, Puntarenas, Costa Rica

Given this 10th day of April 2011 in Puntarenas, Costa Rica

Fco Frutos A.

Francisco Frutos
Chair
Organizing Committee

L. Taliashvili

Lela Taliashvili
Chair
Organizing Committee