



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

INPE-10093-PRE/5638

**ESTUDO DA ALTA ATMOSFERA ATRAVÉS DA  
AEROLUMINESCÊNCIA NA REGIÃO DA ANOMALIA  
MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL**

Sheron de Oliveira Monteiro\*  
Delano Gobbi  
Hisao Takahashi  
Nelson Jorge Schuch  
Kazuo Makita\*\*  
Fabiano da Silveira Rodrigues\*\*\*

\*UFSAM – bolsista PIBIC/CNPq

\*\* (NIPR/JP)

\*\*\* (IESSG/UK)

Seminário de Iniciação Científica do INPE (SICINPE).

INPE  
São José dos Campos  
2003



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**ESTUDO DA ALTA ATMOSFERA ATRAVÉS DA  
AEROLUMINESCÊNCIA NA REGIÃO DA ANOMALIA  
MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL**

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

**Sheron de Oliveira Monteiro (UFSM, Bolsista PIBIC/CNPq)**  
E-mail: [sheron@lacesm.ufsm.br](mailto:sheron@lacesm.ufsm.br)

**Dr. Delano Gobbi (LASER/INPE, Orientador)**  
E-mail: [delano@laser.inpe.br](mailto:delano@laser.inpe.br)

**COLABORADORES**

**Dr. Nelson J. Schuch (CRSPE/INPE)**  
**Dr. Hisao Takahashi (LASER/INPE)**  
**Dr. Kazuo Makita (NIPR/JP)**  
**Mestre Fabiano da Silveira Rodrigues (IESSG/UK)**

**Maio de 2003**

**Dados de Identificação:****Processo:**

101576-98-6/PIBIC

**Bolsista:**

Sheron de Oliveira Monteiro

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

**Orientador:**

Dr. Delano Gobbi

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

**Título do Projeto:**

Estudo da Alta Atmosfera através da Aeroluminescência na Região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul

**Local de Trabalho/Execução do Projeto:**

- Observatório Espacial do Sul – OES/RSU/INPE-MCT
- Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM-MEC
- Laboratório de Mesosfera e Luminescência Atmosférica - LMLA/RSU/INPE-MCT
- Laboratório de Óptica e Luminescência Atmosférica – LOLA/OES/RSU/INPE-MCT

**Pesquisadores e Estudantes Colaboradores:**

- Dr. Nelson Jorge Schuch - INPE
- Dr. Hisao Takahashi - INPE
- Doutorando Cristiano M. Wrasse – INPE
- Mestre Fabiano Rodrigues da Silveira - IESSG
- Doutorando Fabio Augusto Vargas Santos – INPE
- Acadêmico Marlos Rockenbach da Silva – UFSM
- Acadêmico José Valentin Bageston - UFSM
- Acadêmico Gustavo R. Wrasse - UFSM
- Acadêmica Danieli B. Contreira – UFSM

**Participantes da Cooperação Brasil-Japão em Ciências Espaciais Básicas diretamente envolvidos no Projeto:**

- Dr. Kazuo Makita - National Institute of Polar Research
- Dr. Hiromasa Yamamoto – Rikkyo University

## ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL.....	3
1. Resumo .....	5
2. Introdução.....	6
2.1. ESTUDO DAS IRREGULARIDADES IONOSFÉRICAS ATRAVÉS DE OBSERVAÇÕES DA EMISSÃO AIRGLOW OI630,0NM E OI557,7NM: .....	6
2.2. CONHECIMENTO DA TÉCNICA DE OCULTAÇÃO DO SINAL DOS SATÉLITES GPS PELO SATÉLITE LEO E COMO OBTER OS PARÂMETROS ATMOSFÉRICOS: .....	6
3. Desenvolvimento Teórico.....	7
3.1. ESTUDO DAS IRREGULARIDADES IONOSFÉRICAS ATRAVÉS DE OBSERVAÇÕES DA EMISSÃO AIRGLOW OI630,0NM E OI557,7NM: .....	7
3.1.1. <i>Radiação Solar e Terrestre</i> .....	7
3.1.1.1. Princípios da Transferência Radioativa.....	7
3.1.1.2. Conceitos e Definições:.....	8
3.1.1.3. Absorção e Emissão de Radiação .....	8
3.1.1.4. Teoria da Radiação De Corpo Negro:.....	9
3.1.1.5. Características da Radiação de Corpo Negro: .....	10
3.1.1.6. Radiação Acima da Atmosfera .....	11
3.1.1.7. O Espectro Solar .....	11
3.2. O CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE.....	12
3.2.1. <i>A Anomalia Magnética do Atlântico Sul</i> .....	13
3.2.2. <i>Variações Geomagnéticas</i> : .....	14
3.2.2.1. Índices de Atividades Magnéticas:.....	15
3.3. A IONOSFERA.....	15
3.4. LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA.....	15
3.4.1. <i>A Linha Vermelha (630,0nm)</i> .....	18
3.4.2. <i>A Linha Verde (557,7nm)</i> .....	19
3.5. IRREGULARIDADES DE LARGA ESCALA NA REGIÃO F .....	19
3.6. INSTRUMENTAÇÃO .....	20
3.6.1. <i>Os Imageadores All Sky</i> .....	20
3.6.2. <i>Câmeras CCD – Charge Couple Device</i> .....	23
3.6.3. <i>O Fotômetro FOTSUL</i> .....	25
3.6.4. <i>Sistema GPS</i> .....	28
3.6.4.1. Discrepâncias no sinal GPS devido ao erro de propagação na Ionosfera .....	31
3.6.4.2. Estudo das Irregularidades Ionosféricas Utilizando Receptores GPS.....	31
3.6.4.3. O Monitor de Cintilação.....	32
3.7. CONHECIMENTO DA TÉCNICA DE OCULTAÇÃO DO SINAL DOS SATÉLITES GPS PELO SATÉLITE LEO E COMO OBTER OS PARÂMETROS ATMOSFÉRICOS: .....	32
3.7.1. <i>A Atmosfera Terrestre do ponto e vista de sua temperatura.</i> .....	32
3.8. OCULTAÇÃO DO SINAL GPS:.....	34
3.8.1. <i>Introdução</i> :.....	34
3.8.2. <i>Objetivos e Aplicações</i> :.....	36
3.8.2.1. Melhorias nas Previsões do tempo.....	36

3.8.2.2.	Clima & Pesquisa de Mudança Global.....	37
3.8.2.3.	Outras Oportunidades.....	39
3.8.3.	<i>Princípios de Ocultação de rádio</i> .....	39
3.8.3.1.	Metodologia de recuperação.....	40
3.8.3.2.1.	Compensamento para a Ionosfera.....	41
3.8.3.1.2.	Índice Atmosférico de recuperação da Refração.....	41
3.8.3.1.3.	Refratividade para Parâmetros Meteorológicos.....	43
3.8.4.	<i>Prova do Sistema Conceitual</i> .....	44
3.9.	O EXPERIMENTO GPS/MET – CONHECIMENTOS BÁSICOS.....	45
4.	Resultados e Análises.....	49
4.1.	ESTUDO DAS IRREGULARIDADES IONOSFÉRICAS ATRAVÉS DE OBSERVAÇÕES DA EMISSÃO AIRGLOW OI630,0NM E OI557,7NM:.....	49
4.2.	CONHECIMENTO DA TÉCNICA DE OCULTAÇÃO DO SINAL DOS SATÉLITES GPS PELO SATÉLITE LEO E COMO OBTER OS PARÂMETROS ATMOSFÉRICOS:.....	52
5.	Conclusões.....	53
6.	Atividades Complementares.....	54
6.1.	ATIVIDADES PRINCIPAIS.....	54
6.2.	ACOMPANHAMENTO TÉCNICO – CIENTÍFICO DE CIENTISTAS JAPONESES EM VISITA AO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL – OES/RSU/INPE-MCT.....	54
6.3.	COOPERAÇÃO NA MANUTENÇÃO DO LABORATÓRIO DE ÓPTICA E LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA – LOLA/OES/RSU/INPE-MCT.....	55
6.4.	ATUAÇÃO NO GRUPO DE AERONOMIA.....	56
6.5.	EXPERIMENTOS REALIZADOS NO LABORATÓRIO DE ÓPTICA E LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA – LOLA/CRSPE/INPE PARA AQUISIÇÃO DE DADOS DE LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA.....	56
6.6.	RESUMOS SUBMETIDOS:.....	58
6.7.	VISITA TÉCNICA ÀS INSTALAÇÕES DA SEDE DO INPE EM SÃO JOSÉ DOS CAMPOS/SP.....	63
6.7.1.	<i>Projeto de Estudos Fotométricos na região Antártica (FOTANTAR):</i> .....	63
6.7.2.	<i>Estudo das emissões óticas da atmosfera na Região Sul operando um Espectro-imageador de Varredura Meridional:</i> .....	63
7.	Agradecimentos.....	64
8.	Referências Bibliográficas.....	65
9.	Anexos.....	67
9.1.	CERTIFICADOS DOS RESUMOS/ABSTRACTS APRESENTADOS.....	67
9.2.	CÓPIA DOS RESUMOS/ABSTRACTS SUBMETIDOS E APROVADOS.....	68

## 1. RESUMO

O presente relata as atividades desenvolvidas pela bolsista *Sheron de Oliveira Monteiro*, acadêmica do curso de Bacharelado em Física - da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, durante o período de *Agosto de 2002 à Maio de 2003*, no Projeto "*Estudo da Alta Atmosfera através da Aeroluminescência na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul*".

No período de vigência da bolsa, a acadêmica buscou sempre alcançar os resultados esperados, previstos no Projeto submetido ao PIBIC-INPE, embora em alguns momentos tenha tangenciado o mesmo, desenvolvendo algumas atividades que foram julgadas por seu orientador de importância para a preparação da mesma para o Curso de Mestrado nesta mesma área - Geofísica Espacial/Aeronomia/Luminescência Atmosférica.

As atividades foram desenvolvidas junto ao Observatório Espacial do Sul - OES/RSU/INPE-MCT - e ao Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRSPE/RSU/INPE-MCT - onde existe o grupo de Aeronomia, que realiza pesquisas no âmbito geral da dinâmica da Alta Atmosfera, onde a bolsista responde, a nível discente, como responsável pelo "Programa de Aeroluminescência do Projeto Radioastronomia, Cooperação Brasil - Japão, Convênio: INPE - UFSM", atuando no Laboratório de Mesosfera e Luminescência Atmosférica/RSU/INPE-MCT e Laboratório de Óptica e Luminescência Atmosférica/OES/RSU/INPE-MCT.

## 2. INTRODUÇÃO

Durante o período de vigência da bolsa (*Agosto de 2002 à Maio de 2003*), a bolsista teve seu estudo dividido em duas etapas principais com objetivos e enfoques diferentes. A seguir, serão introduzidos os dois assuntos a serem desenvolvidos no que segue, sendo apresentados alguns conhecimentos teóricos fundamentais adquiridos pela bolsista, descrição dos equipamentos utilizados e a metodologia aplicada para execução deste, bem como alguns dos resultados obtidos até o presente momento.

### **2.1. Estudo das Irregularidades Ionosféricas através de observações da emissão Airglow OI630,0nm e OI557,7nm:**

As Bolhas de Plasma são irregularidades ionosféricas geradas após o pôr-do-sol na região do equador magnético por uma instabilidade do plasma. Estas irregularidades ionosféricas de grande escala ocorrem na região F da Ionosfera, sendo caracterizadas por uma grande depleção no plasma ionosférico. Estudos demonstram que a redução na intensidade da aeroluminescência emitida pelo Oxigênio Atômico (OI630,0nm), é uma das manifestações da presença de bolhas ionosféricas na região de emissão. Medidas do fotômetro zenital, datadas de Fevereiro de 2001, instalado no Observatório Espacial Sul (29°S, 53°W, ~20° dip latitude), apresentaram parâmetros referentes à ocorrência de bolhas de plasma.

### **2.2. Conhecimento da técnica de ocultação do sinal dos satélites GPS pelo satélite LEO e como obter os parâmetros atmosféricos:**

O objetivo do Projeto GPS/MET (*Ground Positioning System/Meteorology*) é o monitoramento da Atmosfera da Terra, i. e., o vapor d'água na Troposfera, a temperatura da Troposfera-Estratosfera e o conteúdo dos elétrons na Ionosfera, usando a técnica de ocultação do sinal GPS. Esta técnica tem sido desenvolvida pelo JPL - EUA (*Jet Propulsion Laboratory*) nos últimos 10 anos e hoje é utilizada como uma das melhores maneiras de monitorar a Atmosfera - monitoramento global, previsão de tempo e clima, Clima Espacial, etc. Nesta etapa, a bolsista visa adquirir conhecimento da técnica de ocultação do sinal dos satélites GPS por satélites LEO (*Low Earth Orbit*), e como obter os parâmetros atmosféricos, além disso, realizar o estudo dos princípios físicos do método de cálculo de medidas de temperatura na Tropopausa/Estratopausa.

### **3. DESENVOLVIMENTO TEÓRICO**

#### **3.1. Estudo das irregularidades ionosféricas através de observações da emissão *Airglow* OI630,0nm e OI557,7nm:**

A Atmosfera superior é uma fonte permanente de emissão de fótons que são liberados por átomos (moléculas) excitadas acima de seu nível normal de energia. A produção da Luminescência é devida a diversos processos físico-químicos e, em geral ocorre através da emissão de linhas espectrais discretas. Através da observação desta Luminescência é possível determinar valores de interesse como a temperatura e densidade de certos constituintes da Atmosfera, além de seus efeitos dinâmicos. A distribuição de alguns componentes atmosféricos é afetada por reações químicas. Nestas reações são freqüentes as interações com fótons solares, que podem excitar, dissociar ou ionizar um átomo (molécula). Através das reações fotoquímicas estabelece-se uma perda ou uma produção de determinado componente atmosférico. Algumas linhas de emissão mais importantes são as do Oxigênio Atômico em 557,7nm (verde – que se dá à cerca de 95 Km de altura) e em 630,0nm (vermelho – se dá entre 250 e 350 Km de altura – região F da Ionosfera).

##### **3.1.1. Radiação Solar e Terrestre**

###### **3.1.1.1. Princípios da Transferência Radioativa**

A radiação eletromagnética é a responsável pela maior parte dos processos de transferência de energia na Atmosfera Terrestre. O Espectro Eletromagnético é constituído por todos os comprimentos de onda que transportam energia, várias partes deste espectro possuem nomes específicos, conforme mostra a Figura 3-1, juntamente com seus limites aproximados:

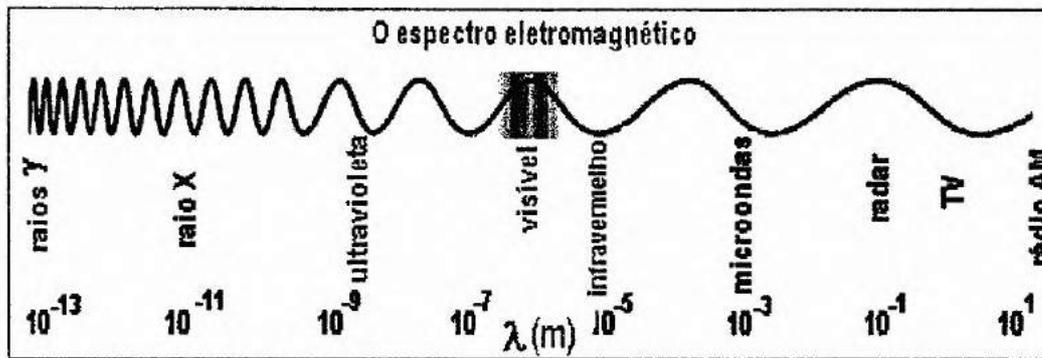


Figura 3-1: Espectro Eletromagnético<sup>1</sup>.

( <http://www.on.br/glossario/>)

### 3.1.1.2. Conceitos e Definições:

Energia radiante é definida como energia em transito. A quantidade de energia radiante que passa através de uma de área por unidade de tempo é denominada de *fluxo radiante* e o fluxo radiante por unidade de área é chamado *densidade de fluxo radiante* ou *radiância*. Este último conceito é representado matematicamente por:

$$F = \frac{d^2 E}{dA dt} \quad (\text{Equação 3-1})$$

onde E representa a energia radiante. A densidade de fluxo é geralmente expresso por  $W/cm^2$ .

A energia radiante pode se propagar uniformemente em todas as direções uniformemente ou depender da direção. A energia radiante por unidade de tempo vindo de uma direção específica e passando perpendicularmente por uma unidade de área é definida como *intensidade*:

$$I = \frac{dF}{d\omega \cos \theta} \quad (\text{Equação 3-2})$$

onde  $d\omega$  representa a diferencial de ângulo sólido e  $\theta$  o ângulo entre o feixe de radiação e a direção normal à superfície.

### 3.1.1.3. Absorção e Emissão de Radiação

A radiação eletromagnética ao interagir com os meios materiais pode ser absorvida e a quantidade absorvida é uma característica específica do material. A taxa de absorção de radiação incidente em certo comprimento de onda é chamada de *absorção*

<sup>1</sup> Um website muito interessante: <http://geocities.yahoo.com.br/saladefisica/laboratorio/espectro/> traz um applet do espectro eletromagnético conhecido. Movimentando o mouse sobre o applet é possível identificar as diferentes radiações e seus respectivos comprimentos de onda.

*monocromática* ( $a_\lambda$ ) e é usualmente uma função do comprimento de onda. Um corpo com absorção igual a unidade para todos os comprimentos de onda é chamado de *corpo negro*. Um corpo negro perfeito não existe na natureza, mas o seu modelo de distribuição espectral é bastante útil, especialmente para comprimentos de onda longos e no infravermelho. Da radiação incidente que não é absorvida, parte é refletida e parte é transmitida. A taxa de refletividade da radiação incidente é chamada de *refletividade monocromática* ( $r_\lambda$ ) e a taxa de transmissão da radiação incidente é denominada de *transmissividade monocromática* ( $\tau_\lambda$ ). Pelo Princípio de Conservação de Energia, podemos relacionar as três taxas apresentadas anteriormente por:

$$a_\lambda + r_\lambda + \tau_\lambda = 1 \quad (\text{Equação 3-3})$$

Podemos concluir que para um corpo negro,  $r_\lambda = \tau_\lambda = 0$  e  $a_\lambda = 1$  para todos os comprimentos de onda.

Pela lei de Kirchhoff, uma molécula que absorve radiação de um determinado comprimento de onda é capaz de emitir radiação no mesmo comprimento de onda e esta emissão é uma função da temperatura e do comprimento de onda. Um corpo negro absorve o máximo possível de radiação, ele também emite o máximo possível e a radiação dentro deste sistema é chamado de *radiação de corpo negro*. A intensidade da radiação de corpo negro é uma função apenas de sua temperatura.

#### 3.1.1.4. Teoria da Radiação De Corpo Negro:

A teoria da distribuição energética da radiação de corpo negro foi desenvolvida por Planck, o qual postulou que energia pode ser emitida ou absorvida somente em unidades discretas definidas por:

$$u = h\nu \quad (\text{Equação 3-4})$$

onde a constante de proporcionalidade  $h$  vale  $6,62377 \times 10^{-27}$  erg.s e é conhecida como a constante de Planck. Pela combinação de equações chegamos a Lei da Intensidade de Radiação de Corpo Negro por unidade de frequência, que pode ser escrito na forma:

$$I(\nu) = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} \quad (\text{Equação 3-5})$$

Esta lei foi experimentalmente verificada possuindo alto grau de precisão.

### 3.1.1.5. Características da Radiação de Corpo Negro:

Se a intensidade de radiação é expresso em termos do comprimento de onda, então a Equação 3-5 torna-se:

$$I_{\lambda}^* = \frac{2hc^2 \lambda^{-5}}{(e^{hc/k\lambda T} - 1)} \quad (\text{Equação 3-6})$$

Podemos notar que esta o resultado da Equação 3-6 é crescente com a temperatura do corpo negro e o comprimento de onda no máximo de intensidade decresce com o crescimento da temperatura. A Figura 3-2 ilustra este conceito.

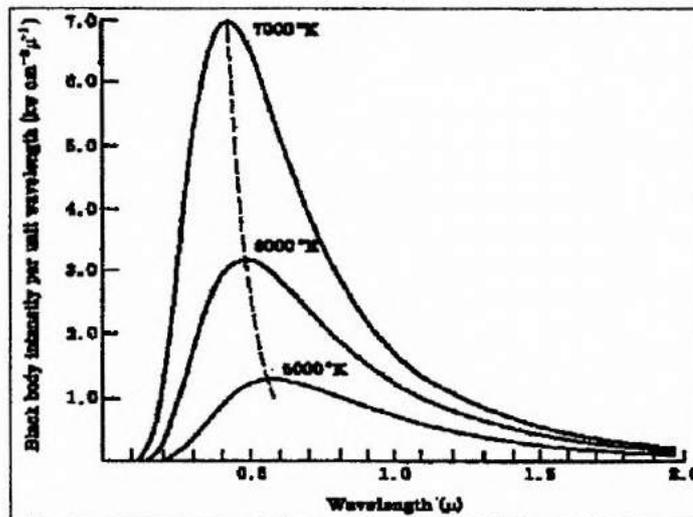


Figura 3-2: Intensidade de radiação de Corpo Negro por unidade de comprimento de onda calculadas para temperaturas de 5000, 6000 e 7000 K [8].

A intensidade total é encontrada por integração da Equação 3-6 sobre todos os comprimentos de onda, chegando-se a Lei de *Stefan-Boltzmann*, de acordo com o fato de que a intensidade emitida por um corpo negro varia com a quarta potência da temperatura absoluta do corpo.

$$I^* = bT^4 \quad (\text{Equação 3-7})$$

A intensidade emitida por um corpo negro é independente da direção de emissão, sendo o fluxo de intensidade emitido por um corpo negro:

$$F^* = \pi b T^4 = \sigma T^4 \quad (\text{Equação 3-8})$$

onde  $\sigma$  representa a constante de Stefan-Boltzmann. Esta constante tem um valor correspondente à  $\sigma = 5,67 \times 10^{-5} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ K}^{-4}$ .

O comprimento de onda do máximo de intensidade da radiação de corpo negro pode ser encontrado pela diferenciação da Lei de Planck com respeito ao comprimento de onda,

igualando a zero e resolvendo o resultado para  $\lambda$ . Este resultado é conhecido como a Lei de Wien, e pode ser escrita como:

$$\lambda_m = \frac{\alpha}{T} \quad (\text{Equação 3-9})$$

onde  $\alpha = 0,290$  cm grau. Esta relação torna possível a temperatura de um corpo negro pela medida do comprimento de onda da intensidade monocromática máxima.

### 3.1.1.6. Radiação Acima da Atmosfera

A fonte de energia para aproximadamente todos os processos físicos que ocorrem na Terra é o Sol. O Sol é uma esfera gasosa com um diâmetro de  $1,42 \times 10^6$  Km e temperatura superficial de cerca de  $6 \times 10^3$  K. Acredita-se que a fonte de energia solar seja a fusão nuclear. A energia liberada desta reação é transportada por radiação e por convecção para a superfície, sendo emitida como radiação eletromagnética. Cada centímetro quadrado do Sol emite uma média de 6,2 KW de potência e esta energia é irradiada em todas as direções.

### 3.1.1.7. O Espectro Solar

A distribuição da radiação eletromagnética emitida pelo Sol aproxima-se de um corpo negro a uma temperatura ao redor de 6000 K. Esta semelhança proporciona uma base para se estimar a temperatura da superfície visível do Sol. Como o Sol não é um corpo negro perfeito, é possível que este fato leve a resultados um pouco diferentes. Usando a lei de Stefan-Boltzmann juntamente com a constante solar, pode-se estimar que a temperatura do Sol é de 5780 K. Com comprimento de onda para a intensidade máxima,  $0,4750 \mu\text{m}$  combinado com a lei de Wien, estima-se uma temperatura superficial de 6000 K.

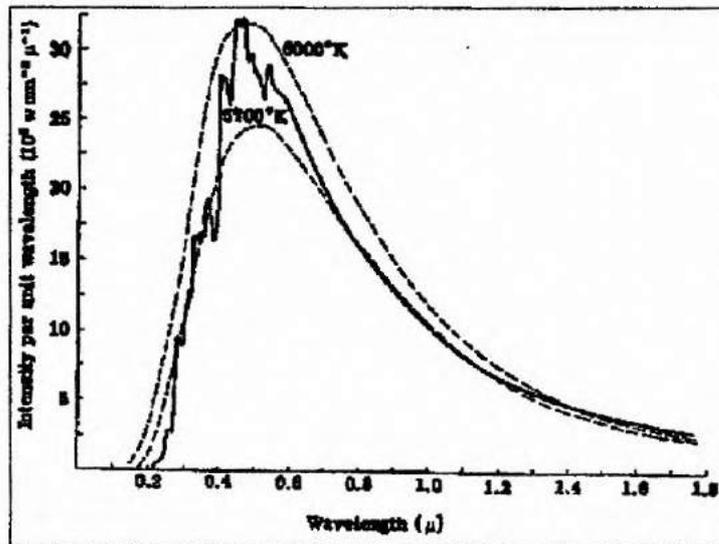


Figura 3-3: Espectro solar observado comparado com o espectro de um corpo negro a uma temperatura de 6000 e 5700 K [8].

### 3.2. O Campo Magnético Terrestre

O Campo Geomagnético pode ser dividido em um campo principal e vários outros campos secundários. O componente principal é gerado no interior da Terra, o qual acredita-se que seja resultante de correntes fluindo em um núcleo metálico, em estado de fusão, com raio equivalente a metade do terrestre. Essas correntes são oriundas de uma ação equivalente a de um dínamo de auto-excitação no núcleo Terrestre. Este componente, (campo de dipolo), representa cerca de 90% de sua intensidade total. Os componentes secundários, de intensidade muito variável, são produzidos por correntes elétricas presentes nas regiões ionizadas da Ionosfera/Magnetosfera. Como primeira aproximação do campo principal, tem-se o modelo de um dipolo colocado no centro da Terra e inclinado em relação ao eixo de rotação Planetário de aproximadamente  $11^\circ$ . Uma melhor aproximação consiste em deslocar o centro do dipolo cerca de 500 km do centro geográfico da Terra ao longo da longitude  $33^\circ$  Oeste. Tem-se assim um dipolo excêntrico. Utilizando-se a expansão multipolar, pode-se obter um modelo mais exato. Neste modelo, anomalias magnéticas podem estar associadas às irregularidades nas correntes que fluem no núcleo metálico em estado de fusão do interior da Terra. Acredita-se que o Campo Geomagnético principal seja gerado destas correntes.

A Figura 3-4 mostra as linhas de contorno para a intensidade total do Campo Geomagnético segundo o modelo IGRF - *International Geomagnetic Field Reference* - para 2000. Observa-se a ocorrência da menor intensidade total na região da América do

Sul (cerca de 24000 nT), com centro no Sul do Brasil. Esta depleção, resultante da assimetria do Campo Geomagnético, está migrando para Leste lentamente.

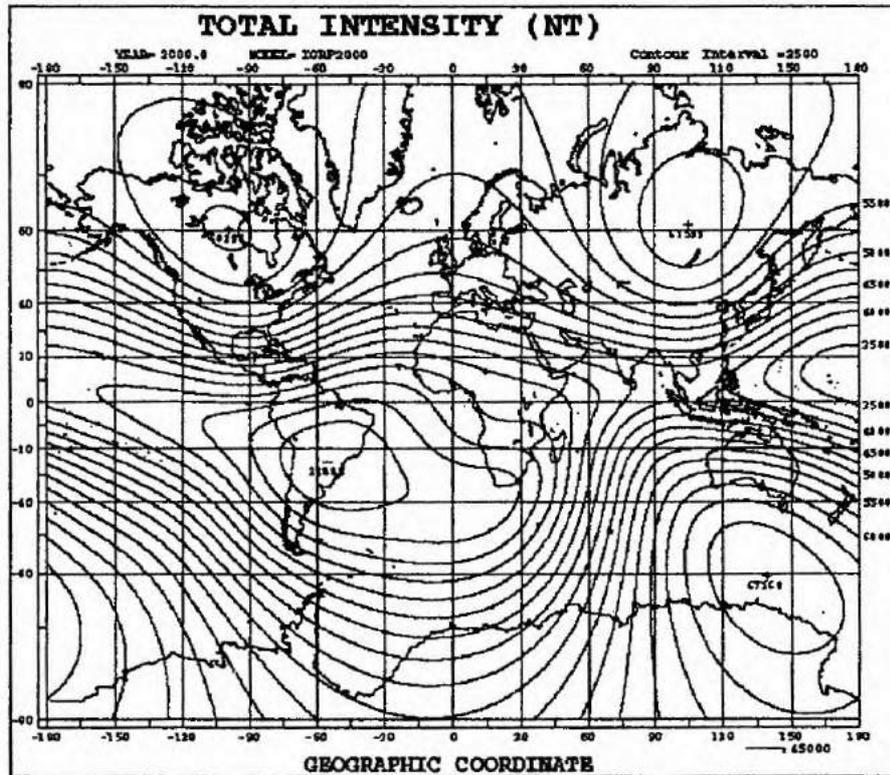
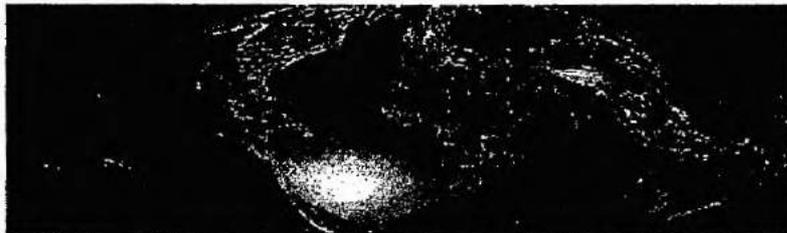


Figura 3-4: Modelo IGRF da Intensidade Total do Campo Geomagnético – 2000 (<http://www.ngdc.noaa.gov/seg/potfld/magmodel.shtml>)

### 3.2.1. A Anomalia Magnética do Atlântico Sul

Devido à assimetria do Campo Geomagnético, algumas anomalias na intensidade total são encontradas, dentre estas, a Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS ou Anomalia Magnética Brasileira - cuja configuração se aproxima da de um círculo cujo centro se situa nas coordenadas de 25° S e 48° O e um raio aproximado de 900 Km, estendendo-se sobre o Território Brasileiro, do estado de São Paulo ao Sul do Rio Grande do Sul. Caracterizada pela baixa intensidade do Campo Geomagnético, a AMAS resulta numa grande depressão na Magnetosfera Terrestre. Como consequência, os cinturões de radiação que circundam o Planeta Terra (Cinturões de Van Allen), estão pressionados na direção da superfície da Terra, causando uma grande precipitação de raios cósmicos e de partículas de vento solar na alta Atmosfera da região, ocasionando perturbações no Campo Geomagnético e na Ionosfera, além de radiointerferência.

A depleção do Campo Geomagnético na região da AMAS e a conseqüente precipitação de partículas na alta Atmosfera faz desta região um excelente laboratório para estudo de fenômenos atmosféricos em condições de Campo Geomagnético fraco. De acordo com pesquisas recentes sobre magnetismo de rochas, a intensidade do Campo Geomagnético do Planeta tem decrescido durante os últimos mil anos e poderá ser nulo dentro dos próximos mil anos, se a presente taxa de decréscimo persistir. Observou-se também que a taxa de decréscimo do Campo Geomagnético é notavelmente grande próximo a América do Sul. Desde que a intensidade total do Campo Geomagnético nesta região já é muito fraca, o Campo Geomagnético próximo a América do Sul poderá ser nulo dentro de 400 anos. Sabe-se que os pólos magnéticos da Terra sofreram periódicas inversões de polaridade durante a longa história da Terra. Quando os pólos magnéticos da Terra revertem, a intensidade do Campo Geomagnético torna-se muito fraca. Considera-se que os seres humanos terão que viver sobre um Campo Geomagnético extremamente fraco no futuro. Isto implica em que a intensidade de partículas de raios cósmicos precipitantes na Atmosfera Terrestre tende a aumentar, gerando conseqüências imprevisíveis sobre a Atmosfera terrestre e também no nível de superfície. Esta precipitação de partículas energéticas pode agravar o problema da redução temporária na Camada de Ozônio observado na região Sul do Brasil como conseqüência de Efeitos Secundários do Buraco de Ozônio Antártico.



*Figura 3-5: Ilustração da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS) – 2001.*

*(<http://science.nasa.gov/>)*

### **3.2.2. Variações Geomagnéticas:**

Basicamente há dois tipos de variações magnéticas: as que ocorrem em períodos magneticamente calmos e as variações mais intensas associadas às tempestades magnéticas. As variações calmas são de dois tipos principais: a variação Sq e uma mais fraca chamada variação L. A primeira é influenciada pela ação Solar (S) em tempo calmo (q), e a segunda é influenciada pela Lua (L). As variações mais intensas, associadas às tempestades, são as variações perturbadas.

### 3.2.1.1. Índices de Atividades Magnéticas:

A fim de definir resumidamente o estado de atividade do Campo Magnético Terrestre, foram criados vários índices, baseados nas variações medidas por magnetômetros. Em cada estação/observatório, o dia é dividido em oito períodos de três horas e, das três componentes do campo, aquela variação que for a maior, em cada período, é chamada a amplitude  $a$  em gamas. As variações Sq e L são previamente subtraídas de cada componente. Estas amplitudes, medidas em uma série de estações para cada período, produzem o índice planetário Ap. O índice K está relacionado às amplitudes  $a$ , através de uma escala semi-logarítmica própria para cada estação. Os valores numéricos de K variam de 0 (atividade muito calma) a 9 (atividade magnética muito intensa), com frações intermediárias de 1/3. À medida entre várias estações corresponde o índice planetário Kp. O índice Kp, sendo um índice planetário, deveria exprimir o estado médio de atividade magnética do Globo Terrestre, mas para isso, a rede de magnetômetros deve ser uniformemente distribuída, o que na realidade não ocorre, havendo muito mais observatórios no Hemisfério Norte.

### 3.3. A Ionosfera

Esta camada da Atmosfera Terrestre estende-se de aproximadamente 60 Km a alturas superiores a 1000 Km. A fonte primária de ionização provém da fotoionização dos componentes atmosféricos promovida, basicamente, pelos raios solares na faixa de comprimentos de onda no extremo ultravioleta (EUV) e de raios-X. Fontes secundárias de ionização constituem-se de processos colisionais entre partículas excitadas (elétrons, íons ou moléculas neutras). É constituída em sua maior parte por íons monovalentes positivos e elétrons. Possui estratificações denominadas camada D, E, F1, F2 e, atualmente vem sendo estudada a camada F3. Em baixas altitudes (camada D) existe uma pequena contribuição de íons monovalentes negativos e de íons hidratados, devido à combinação química com os constituintes da Atmosfera Neutra. Cada componente atmosférico possui seu potencial de ionização. Logo, conforme os fótons das faixas de comprimento de onda EUV e raios-X vão ionizando os diferentes componentes atmosféricos de diferentes alturas, a existência das camadas torna-se possível.

### 3.4. Luminescência Atmosférica

Segundo Chamberlain (1961), **Luminescência Atmosférica**, do inglês *Airglow*, pode ser definida como a radiação amorfa continuamente emitida pela Atmosfera Planetária,

estendendo-se do ultravioleta distante ao infravermelho próximo. A Luminescência Atmosférica, Aeroluminescência é um fenômeno óptico da Alta Atmosfera sendo basicamente emissões de fótons pelo componente atmosférico excitado, tais como oxigênio, molécula hidroxila e sódio. A produção desta luminosidade é devida a diversos processos físico-químicos e em geral, ocorre através da emissão de linhas espectrais discretas. Esta radiação relativamente constante cobre todas as latitudes e é potencialmente desestruturada, devendo ser distinguida da radiação altamente variável, a Aurora, que é emitida em latitudes superiores, numa região de formato oval em torno de 67° de latitude geomagnética e está associada ao influxo de partículas solares na Atmosfera superior. A Aurora ocorre mais intensamente durante e após distúrbios solares, na qual partículas carregadas penetram na Atmosfera, vindo da Magnetosfera exterior, energizando os constituintes atmosféricos por colisões, ficando claro a correlação do fenômeno da Aurora com a atividade magnética.

A Alta Atmosfera Terrestre é responsável por um contínuo de emissões de *Airglow*. Esta emissão ocorre devido à absorção de radiação ultravioleta solar por espécies químicas presentes a cerca de 70 km de altitude, (tais como N<sub>2</sub>, O, O<sub>2</sub> e Na). A absorção de radiação ultravioleta por estes átomos e moléculas leva-os a um estado quântico excitado, de maior energia e muitas vezes meta-estável, do qual estes tendem a decair, retornando a seu estado fundamental através da emissão de radiação eletromagnética. Os processos de excitação/emissão mais comuns são a ressonância, a fluorescência, a quimiluminescência e a excitação por colisões.

Os processos de emissão ocorrem em competição com processos de perda de energia pela molécula ou átomo devido a colisões com outros constituintes da Atmosfera, nas quais as espécies excitadas perdem energia e retornam a seu estado padrão sem emissão de radiação.

A emissão de radiação, classificada genericamente como Aeroluminescência ou *Airglow*, pode ser do tipo emissão instantânea, denominada *Dayglow*, no qual as radiações absorvidas são de frequências de ressonâncias das moléculas, ou pode ser do tipo *Nightglow*, de emissão retardada, ocorrendo quando a energia armazenada pela absorção de radiação solar é liberada a noite por vários processos de relaxação energética. O *Nightglow* contribui, em uma noite sem lua entre 40 a 50 % da luminosidade total do céu noturno, ligeiramente maior que a luz recebida das estrelas. Observações espectroscópicas revelam muitas linhas de emissão e bandas, e um *continuum* que se estendem desde comprimentos de onda inferiores a 0.4μ ao



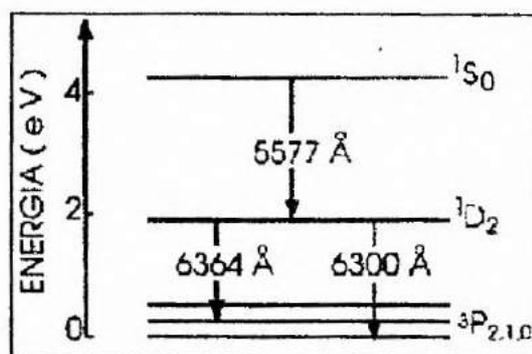


Figura 3-7: Diagrama de energia numa forma simplificada para as linhas de emissão do oxigênio atômico [5].

Algumas linhas de emissão de Aeroluminescência mais importantes são as linhas do oxigênio atômico em 557,7nm (verde) e em 630,0nm (vermelho), a linha do sódio em 589,3nm e as bandas de emissão espectral do radical OH. Na Figura 3-7 é apresentado o diagrama de energia simplificado. As taxas de emissão em função da altura de algumas linhas e bandas de emissão estão indicadas na Figura 3-8. O pico de emissão do oxigênio atômico em 557,7nm está localizado em alturas maiores, correspondentes à região F da Ionosfera onde os átomos de oxigênio são excitados por recombinação dissociativa, estando este pico próximo a 90 Km de altura.

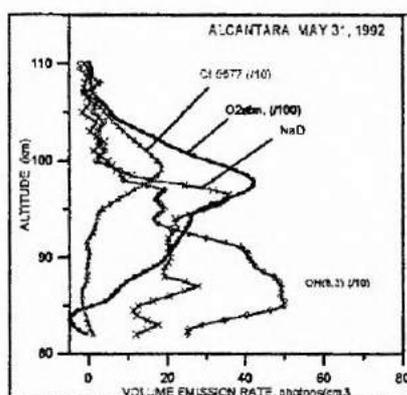


Figura 3-8: Taxas de emissão em função de altura de algumas linhas e bandas de emissão de Airglow, coletadas por instrumentos de medidas a bordo de foguetes lançados na base de Alcântara (2° S, 44° W).

(<http://www.laser.inpe.br/lume/foguete.htm>)

### 3.4.1. A Linha Vermelha (630,0nm)

A emissão vermelha do Oxigênio Atômico (630,0nm) é o mais utilizado para o estudo da dinâmica da região F Ionosférica/Termosfera noturna. Ela provém de uma camada emissora de aproximadamente 50 Km de espessura localizada abaixo do pico da região F (entre 240 e 350 Km de altitude). A intensidade da Aeroluminescência aumenta

quando o plasma ionosférico (pico da região F) move-se para baixo e diminui quando ocorre o contrário (plasma ionosférico move-se para cima). Da mesma forma a intensidade desta emissão varia de acordo com a densidade de elétrons ionosféricos, sendo mais intensa quando existe uma maior densidade de elétrons e menos intensa quando a densidade é menor. Está estabelecido que o processo de produção do Oxigênio Atômico excitado,  $O(^1D)$ , na região F (à noite), que leva a geração desta linha de emissão (OI630,0nm) é a recombinação dissociativa do oxigênio molecular com elétrons. Observações das variações de intensidade desta emissão têm sido usadas para o estudo da Química e da dinâmica da região F ionosférica.

### 3.4.2. A Linha Verde (557,7nm)

A linha verde do oxigênio Atômico possui duas fontes de emissão, uma na região E (entre 90 e 110 Km de altitude) e outra na região F (entre 250 e 300 Km de altitude). Em médias latitudes, a maior parte desta emissão é decorrente da recombinação do Oxigênio Atômico na Mesopausa (90-110Km). Entretanto, em baixas latitudes e equatoriais, uma significativa fração desta emissão surge de processos de recombinação dissociativa na região F. Observações de solo desta emissão medem a intensidade integrada que emana das duas fontes, isto é, regiões E e F. O processo de produção do Oxigênio Atômico excitado  $O(^1s)$  na região F (à noite) é a recombinação dissociativa do Oxigênio Molecular com elétrons. Na região F os átomos  $O(^1s)$  resultam do mesmo mecanismo que gera o *Airglow* vermelho (recombinação dissociativa de íons de Oxigênio Molecular na Ionosfera).

## 3.5. Irregularidades de larga escala na região F

As irregularidades de larga escala no plasma da Ionosfera equatorial, ocorrem logo após a rápida subida da camada F ao entardecer. Os mecanismos de geração mais aceitos atualmente são os processos de instabilidade Rayleigh-Taylor e a deriva  $\vec{E} \times \vec{B}$ . As bolhas de plasma se desenvolvem na base da camada F, a partir de perturbações iniciais na ionização e, a seguir, sobem não linearmente até acima do pico, assim estendem as irregularidades até a parte superior da camada. As emissões que têm origem na região-F, têm sido utilizadas para o estudo das irregularidades ionosféricas. A forte correlação entre o movimento vertical da Ionosfera ao entardecer e a ocorrência de irregularidades ionosféricas foi estabelecida por Boober and Wells, 1938; Farley et alii, 1970; Woodman, 1970). Durante o dia a Ionosfera equatorial tem um movimento vertical para

cima, devido à deriva  $\vec{E} \times \vec{B}$  que surge por causa do campo elétrico (dirigido para leste e induzido pelo dínamo da região E) na presença do campo magnético (dirigido para norte). À noite, a direção do campo elétrico é invertida e causa também a inversão da velocidade vertical ( $V_z$ ). Mas antes de sua inversão ( $V_z$ ) sofre um rápido aumento ao entardecer, o que origina um máximo ( $V_{zp}$ ) que tem sido interpretado como causado pelo aparecimento de campo elétrico de polarização na região F (ou dínamo da região F produzidos por ventos termosféricos), os quais surgem devido à diminuição da condutividade da região E, após o por do Sol.

As observações mostram bruscas variações na intensidade da linha OI 630,0nm (detecção feita com imageador), variações estas associadas à passagem de bolhas de plasma sobre o local onde estão sendo feitas as observações.

### 3.6. Instrumentação

Para se fazer medidas e monitoramento de Luminescência Atmosférica utilizam-se várias técnicas, algumas das quais serão descritas a seguir tendo em vista que foram implementadas no Observatório Espacial do Sul - OES/RSU/INPE-MCT, junto ao Laboratório de Ótica e Luminescência Atmosférica - LOLA/OES/RSU/INPE-MCT - no qual são operados equipamentos provenientes da Cooperação Brasil-Japão.

As técnicas descritas a seguir tratam do monitoramento atmosférico pela operação de um imageador *Allsky* (possibilita uma visada ampla do céu), câmeras CCD de alta sensibilidade, definição da fotometria, pela operação de um detector ótico - fotômetro.

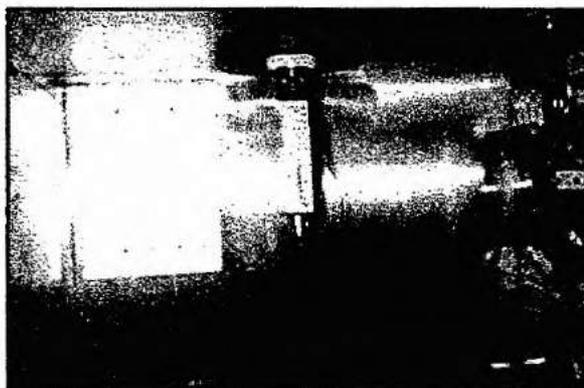
#### 3.6.1. Os Imageadores *All Sky*

O experimento *TV Image Observation System*, constituído pela Câmara de TV Imageadora e dispositivos de controle, instalado junto ao Observatório Espacial do Sul, tem como objetivo observar a variação espacial da radiação de *Airglow* de OI 630,0nm, OI 557,7nm,  $N_2^+$  391,4nm. Este sistema foi anteriormente utilizado pelo *National Institute of Polar Research* em observações aurorais na Groelândia. A resolução do sinal desta Câmara de TV é de cerca de 500 R de luminosidade<sup>2</sup>.

A parte ótica do sistema consiste de uma lente *fisheye*, um visor noturno mais uma lente *relay* (*night-viewer intensifier*) e de uma Câmara CCD de TV (Figura 3-9). No topo da estrutura onde estes dispositivos estão montados, uma janela semi-esférica de acrílico

<sup>2</sup> 1 R = 1 Rayleigh =  $10^6$  fótons/cm<sup>2</sup> coluna ar.

transparente protege a lente *fisheye*. A estrutura que suporta as peças e os circuitos é de forma retangular e de ferro fundido, vazada na sua parte central no sentido vertical. Todo o conjunto está sobre uma prancha retangular, munida de rodas para que seja deslocado para fora do prédio em noite de observação.



*Figura 3-9: Câmara CCD de TV do TV Image Observation System, para aquisição de dados de Luminescência Atmosférica instalada no Observatorio Espacial do Sul – OES/RSU/INPE–MCT.*

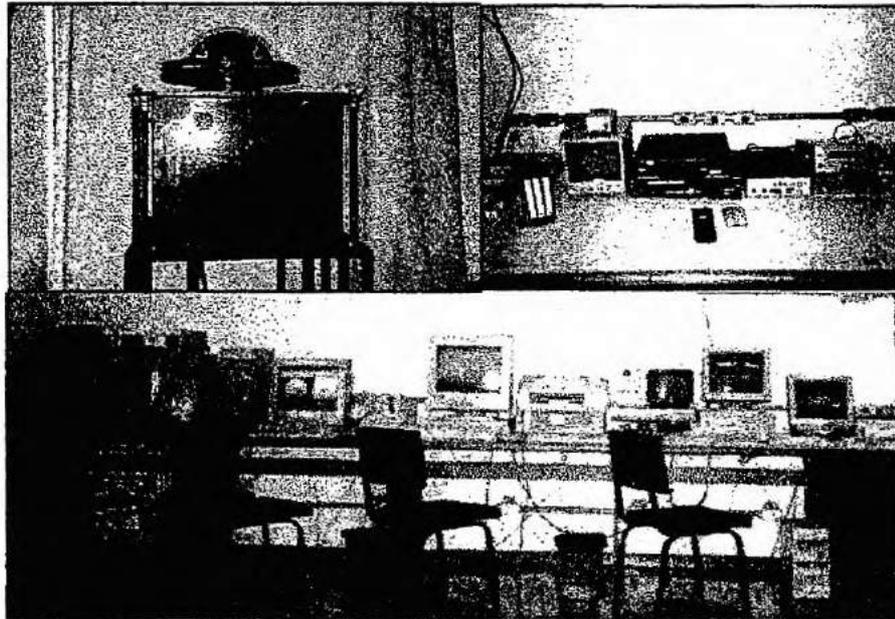
O sinal de vídeo obtido pela Câmara de TV é enviado ao *timer* do vídeo e posteriormente é separado no monitor de TV e no gravador do vídeo. Considerando que não há interferência luminosa da cidade próxima ao Observatório, São Martinho da Serra, acredita-se ser possível detectar fenômenos óticos cuja intensidade luminosidade do evento seja maior que 1 kR, necessitando que o sistema seja operado durante períodos de eventos Solares e perturbações geomagnéticas.

Pela parte superior da estrutura, no vazamento central vertical, é inserido um cilindro metálico, onde são acondicionadas: a lente *fisheye*, o visor noturno e a Câmara CCD nesta ordem, fixados um no outro através de roscas. O cilindro é inserido no prumo. Fixo na estrutura metálica, um nível bolha de água permite que se nivele o aparelho para operação. Ainda na mesma estrutura, uma seta indica a direção e o sentido que o aparelho deve ser instalado. Esta representa o Norte Magnético. A Figura 3-10 nos mostra o *TV Image Obsevation System*.

Um cabo de 30 m permite que se desloque a câmara CCD para o pátio de observações fora do Prédio do LOLA para uma posição vantajosa. Este cabo alimenta a Câmara CCD de 100 VAC, conduz o sinal, além de alimentar o visor noturno de 3 VDC através de um conversor 100AC/3DC.

O imageador de TV só deve ser operado à noite em condições de céu claro e sem Lua, por se tratar de uma Câmara CCD muito sensível à luz. Depois de ser levado para fora para observação e alinhado com o Norte Magnético, liga-se a Câmara na caixa de força

e procede-se o registro da data e marcação do tempo no monitor de TV, através de um temporizador de vídeo. Numa fita de vídeo é registrado uma região de tela de tamanho apropriado e o decorrer do tempo U.T., fornecido por um receptor GPS.



*Figura 3-10: Acima: TV Câmara Imageadora juntamente com os equipamentos que compõe o sistema de monitoramento da radiação Airglow. Abaixo: painel de controle do sistema de câmeras do OES/RSU/INPE-MCT.*

Inicialmente liga-se o Intensificador e a imagem do céu noturno aparece no monitor de TV, podendo ser gravada, através de um gravador de vídeo se a imagem for de boa qualidade. Para isso é preciso observar a imagem no monitor de TV durante a gravação, pois podem surgir nuvens ou a proteção de acrílico embaçar-se devido ao orvalho, necessitando interromper a gravação para providenciar a sua limpeza.

As fitas de vídeo têm duração de 9 horas de gravação, e em noites sem Lua, pode-se começar a gravar por volta das 8 horas da noite e parar por volta das 5 horas da manhã. Em noites de Lua Minguante o término é antecipado com o nascer da Lua e, em noites de Lua Nova, a operação pode começar mais tarde. O intervalo noturno útil para o imageamento pode ser automatizado por um temporizador que liga e desliga a fonte de energia. O nascimento e ocaso da Lua são determinados pela análise dos ângulos lunares de zênite calculados pelo programa do Espectrofotômetro Brewer operado pela equipe do Laboratório e Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM-MEC, instalado no Observatório Espacial do Sul.

A Figura 3-12 mostra o esquema do diagrama de blocos do *TV Image Observation System*, instalado no Observatório Espacial do Sul, com o sistema detetor e o sistema de armazenamento de dados.

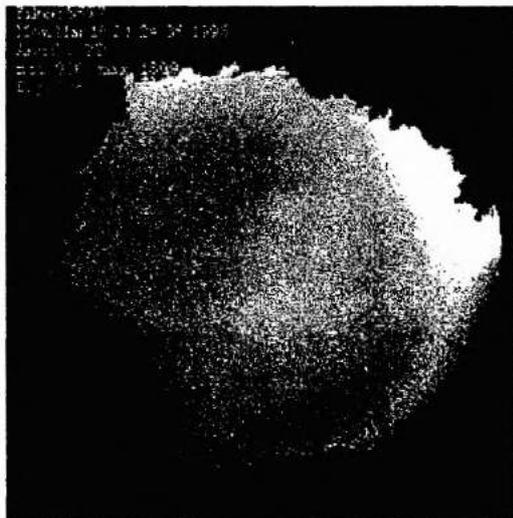


Figura 3-11: A figura apresenta uma imagem típica de todo o céu que é monitorada em laboratório, vindo do imageador CCD no OES/RSU/INPE-MCT.

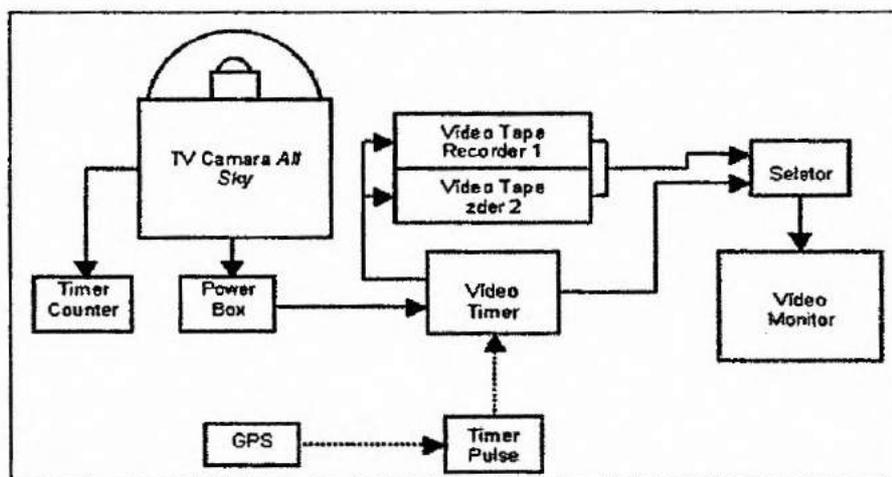


Figura 3-12: Sistema de Aquisição de Dados da TV Câmara Imageadora instalado no OES/RSU/INPE-MCT

### 3.6.2. Câmeras CCD – Charge Couple Device

Constituído por duas Câmeras modelo BS-30L e outros dispositivos de controle. Ambas constituídas por visor noturno alimentado de 12VDC.

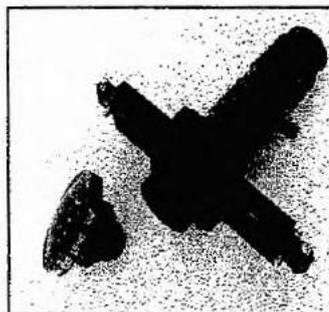
Uma das câmeras possui o sistema óptico constituído por uma lente do tipo *wide angle*, possuindo a vantagem de ter maior nitidez e melhor definição que a segunda. A sensibilidade destas câmeras depende do tipo de lente e tempo de exposição que está

operando. No caso desta última, é operada em 50s (tempo de exposição) possuindo, portanto, uma sensibilidade de 100R.

A outra câmera possui um sistema óptico constituído por lentes do tipo *all sky* (ou *Fish eye*), a vantagem é que nos fornece uma visão ampla do céu, possibilitando que seja observado o que acontece em todo o horizonte. Esta câmera é operada com tempo de exposição de 50s, possui sensibilidade de 1kR. A Figura 3-13 mostra a câmera CCD utilizada na obtenção de dados de Luminescência Atmosférica, instalada no Prédio 5, onde está instalado o Laboratório de Óptica e Luminescência Atmosférica - LOLA/OES/RSU/INPE-MCT.

O tempo de exposição ideal para operação das câmeras foi definido pelo Pesquisador Colaborador do convênio Brasil – Japão, Dr. Kazuo Makita - *Faculty of Engineering - Takushoku University*. Acredita-se que este valor seja o melhor para o perfeito funcionamento do sistema nas condições apresentadas na região do Observatório Espacial Sul – OES/RSU/INPE-MCT.

No topo da estrutura onde estes dispositivos estão montados, uma janela semi-esférica de acrílico transparente protege a lente *fisheye*. A estrutura que suporta as peças e os circuitos é de forma retangular e de ferro fundido, vazada na sua parte central no sentido vertical. Todo o conjunto está montado sobre um suporte retangular, instalado do lado de fora do Prédio 5, onde está instalado o Laboratório de Óptica e Luminescência Atmosférica -LOLA/OES/RSU/INPE-MCT.



*Figura 3-13: Câmera CCD - SONY ICX074AL - usada na obtenção de dados de Luminescência Atmosférica, instalada no Laboratório de Óptica e Luminescência Atmosférica – LOLA/OES/RSU/INPE-MCT.*

Da mesma maneira que a câmera imageadora, é preciso monitorar a qualidade das imagens quanto foco, ou se a lente não está embaçada, por orvalho. Para obter imagens de boa qualidade, faz-se necessário conferir o foco das câmeras antes de se iniciarem as

observações. Na Figura 3-14 vê-se as câmeras montadas como em uma noite típica de observação, no terraço do Prédio 5 – Laboratório de Óptica e Luminescência - LOLA/OES/RSU/INPE-MCT.



*Figura 3-14: Câmeras CCD que compõem o Sistema de Observação noturno da emissão Airglow - instalada no Observatório Espacial Sul - OES/RSU/INPE-MCT.*

Da mesma maneira que a câmera imageadora, faz-se necessário monitorar as imagens quanto ao foco, ou se a lente não está embaçada. Para obter imagens de boa qualidade, é rotina conferir o foco das câmeras antes de se iniciarem as observações. Na Figura 3-15 têm-se exemplos de imagens coletadas pelo Sistema de Câmeras CCD instalado no Observatório Espacial Sul – OES/RSU/INPE-MCT.

À esquerda, exemplo de uma imagem obtida com a câmera usando lentes do tipo *Wide Angle*, de alta definição e à direita comum o uso de uma câmera com lentes do tipo *All Sky*, permitindo uma visão geral do céu.



*Figura 3-15: Imagens coletadas com o sistema de câmeras CCD instaladas no Observatório Espacial Sul.*

### 3.6.3. O Fotômetro FOTSUL

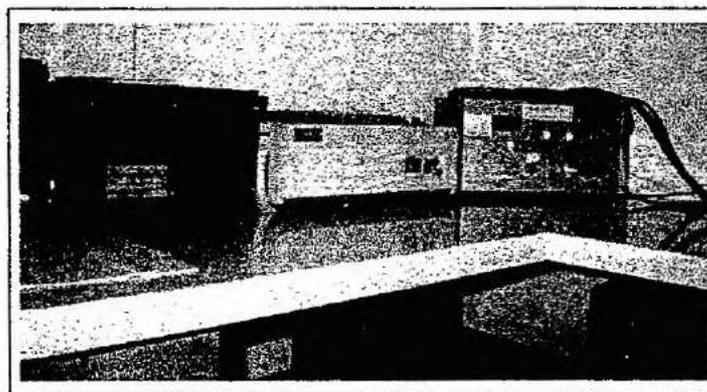
Dentro da Cooperação Brasil-Japão em Ciências Espaciais Básicas, com o objetivo de estudar os processos dinâmicos relacionados a Aeroluminescência, e mais precisamente observar a radiação zenital de comprimentos de onda de 557,7nm e 630,0nm

provenientes do Oxigênio Ionizado, foi instalado um Fotômetro no Observatório Espacial do Sul – OES/RSU/INPE-MCT. A técnica da fotometria é tradicionalmente empregada no estudo de luminescência atmosférica.

O fotômetro consiste em um sistema de filtros de interferência ótica (caso especial do interferômetro *Fabry-Perot*) que seleciona o comprimento de onda a ser medido, acoplado com um tubo fotomultiplicador e um sistema eletrônico de discriminação e processamento de sinal. Juntamente com estes dispositivos é acoplado um sistema de armazenamento e coleta de dados.

Com este sistema, podemos medir a intensidade da radiação de um fluxo de fótons, que pode ser feita através de comparações visuais ou quantitativas por meio de dispositivos fotoelétricos.

No sistema de fotometria existe ainda uma fonte de alta voltagem, necessário ao funcionamento da fotomultiplicadora e um registrador gráfico, para que sejam gravadas as variações do sinal gerado pelo fotômetro, possibilitando posterior consulta e comparação com dados coletados de outros dias e épocas do ano. Na Figura 3-16 tem-se na esquerda o detector propriamente dito (fotômetro), onde está o sistema ótico de seleção; ao centro o registrador gráfico para saída dos dados e a direita um componente constituído de vários circuitos eletrônicos para controle de troca de filtros no fotômetro bem como amplificação do sinal por ele gerado. Como a fotomultiplicadora trabalha em alta tensão, o Sistema só pode ser operado na ausência de fontes de luz artificiais e em noites sem lua (Lua Nova).



*Figura 3-16: Sistema do fotômetro instalado no OES/RSU/INPE-MCT*

Quando o fotômetro foi instalado no Observatório Espacial do Sul – OES/RSU/INPE-MCT, era composto por dois filtros para registro de dois comprimentos de onda diferentes: 557,7nm e 630,0nm provenientes das transições eletrônicas do Oxigênio

Ionizado. Este fotômetro era utilizado para medidas de auroras na Groelândia, usado pelo pesquisador-colaborador do convênio Brasil – Japão, Dr. Kazuo Makita - *Faculty of Engineering -Takushoku University* – portanto, pouco eficiente para o estudo da emissão *Airglow*. As duas lentes eram fixas em um único suporte, dotado da capacidade de rodar, (girar em torno do seu próprio eixo). Técnicos da Divisão de Aeronomia do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - LUME/DAE/INPE melhoraram a parte de aquisição de dados e a sensibilidade espectral do fotômetro, trocando os filtros existentes por novos (557,7nm e 630,0nm) e adicionando mais dois a roda de filtros para estimar o ruído de fundo (*background*).

Os 4 filtros alteram-se, parando quatro vezes durante um ciclo (4 filtros), registrando os dois comprimentos de onda, num período de 2 segundos em cada. Esta capacidade de giro permite ao fotômetro selecionar o comprimento de onda para observação pela troca dos filtros. Ele possui uma chave de scan, a qual controla o giro do suporte do filtro. Se esta chave estiver na posição OFF, o filtro é chaveado no comprimento de 557,7nm. Se a chave for ligada, posição ON, o filtro vai girar (registrando os ambos comprimentos de onda).

Para a melhor operação do sistema, o fotômetro deve ser posicionado em um lugar fixo, plano, sendo sua lente ajustada de modo que fique perpendicular a superfície, apontando para o zênite.

O sistema de fotometria consiste nos seguintes elementos: fotômetro, fonte de alta tensão/amplificador, registrador gráfico e um gerador de pulso. Um cabo de controle e um de alta tensão vêm do elemento da fonte de alta tensão/amplificador para o fotômetro. O sensor recebe o sinal de controle e alimentação (alta tensão de aproximadamente 750V) e envia o sinal gerado para o amplificador. O sinal sai do amplificador para dois registradores: um ligado ao drive Magneto-óptico para gravação em disco e outro do registrador gráfico. O sinal de saída do Fotômetro é, portanto, registrado em dois registradores gráficos. O gerador de pulso está ligado ao registrador gráfico transmitindo o tamanho do pulso para a realização da medida.

No registrador gráfico são utilizados os seguintes canais:

- o canal 1 é recepção do sinal do Fotômetro;
- o canal 2 recebe o sinal de ON/OFF do seletor de filtro;
- o canal 4 recebe o sinal de tempo do gerador de pulso.

O procedimento de operação consiste nos seguintes passos:

Posicionar o fotômetro sobre uma superfície plana e fixa, de modo que sua lente fique perpendicular à superfície, apontando para o zênite. Conectar o cabo de sinal no amplificador, bem como o cabo de alta voltagem ao cabo de controle.

O amplificador por sua vez, deve ser ligado a dois registradores gráficos, e também ao *drive* do disco magneto-óptico. O registrador gráfico deve estar conectado a um gerador de pulso que controlará o intervalo entre uma e outra oscilação do filtro do Fotômetro.

Verificar se o gerador de pulso está ajustado ao horário universal (tarefa que pode ser feita com o uso do *Global System Position (GPS)*).

Verificar todos os procedimentos anteriores, podendo-se começarem as medições.

No registrador gráfico pode-se selecionar velocidade de impressão e o intervalo entre um registro e outro. Graficamente, o registrador gráfico apresenta uma oscilação caracterizada por uma curva de forma poligonal, representando exatamente ambos os picos de comprimento de onda (557,7nm e 630,0nm). Na Figura 3-17 têm-se o Diagrama de Blocos do fotômetro FOTSUL.

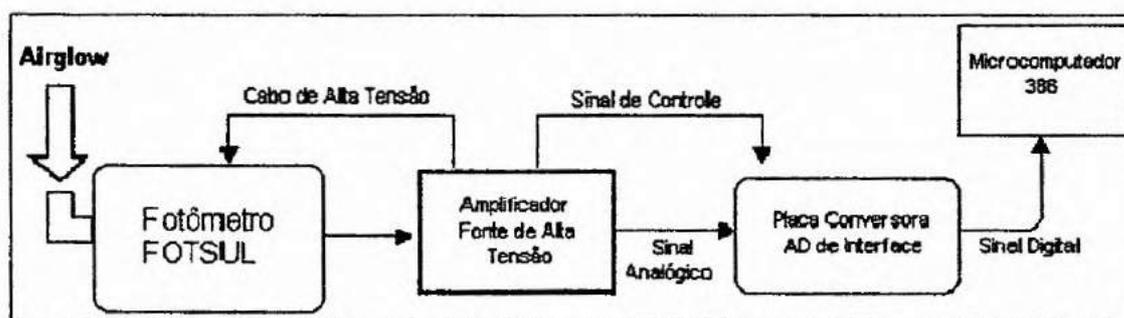


Figura 3-17: Diagrama de Bloco do Sistema do fotômetro FOTSUL, instalado no OES/RSU/INPE-MCT.

Os períodos preferenciais para observações são aqueles que coincidem com períodos de grande atividade solar, quando aumenta a probabilidade de ocorrerem fenômenos de precipitação de partículas de alta energia na Atmosfera, ocasionando aumento na emissão de Luminescência Atmosférica causada por desexcitação dos constituintes envolvidos em processos colisionais.

### 3.6.4. Sistema GPS

O GPS é um estado da arte do sistema de navegação por satélite. Consiste de 24 satélites operacionais em 6 órbitas circulares à 20.200 km acima da Terra com um ângulo de inclinação de 55° e um período de 12 horas. Os satélites estão em órbitas espaçadas de tal forma que em qualquer momento, pelo menos 6 satélites estarão visíveis ao usuário, em qualquer lugar do mundo. Os satélites transmitem

continuamente ondas de rádio com informações sobre posição e horário para usuários em qualquer lugar do mundo. Os satélites GPS transmitem em duas frequências portadoras, nas faixas 1575.42 MHz (Banda L1) e 1227.6 MHz (Banda L2). Cada portador de fase é modulado por um código de variação precisa (código P) consistindo em parcelas de pseudo-sucessões a 1.023 Mb/s. Além de o portador L1 ser modulado em quadrante com parcelas de pseudo-sequência de 1.023 Mb/s usada para o código de aquisição bruto (código C/A). O tempo transmitido, bem como o mantido pelo relógio de cada satélite GPS, é precisamente conhecido para cada bit da sequência. Um receptor GPS identifica os bits de código de entrada e medidos o tempo de chegada destes, como mantido pelo relógio do receptor, com uma precisão melhor que um pouco menos de 1% de comprimento (aproximadamente 1 nsec ou 30 cm para o código P).

A diferença entre conhecimento e transmissão do tempo e tempo observado da chegada é uma medida da distância entre o satélite e receptor, mais o pulso de disparo deslocado entre o transmissor e os pulsos de disparo de receptor, uma quantidade consultada a como o "pseudo-range".

Um receptor que mede "pseudo-range" simultaneamente a quatro satélites pode determinar instantaneamente seus três componentes de posição e tempo medido pelo GPS, tipicamente com uma precisão de  $10^{-15}$  m e menor que  $1 \mu$  s, respectivamente. Os receptores modernos também podem medir e podem manter contagem contínua de fase de portador com uma precisão melhor que 5% de um comprimento de onda ( $\sim 1$ mm).

Em GPS precisão geodésica, "Double Differencing" (DD) é empregada para cancelar quase todos erros resultantes da incerteza do relógio do transmissor e do receptor. Como ilustrado na Figura 3-18, a técnica de DD começa formando um "DD observável" da combinação linear de 4 observáveis, cada um com erros comuns característicos. Diferenciando observações de um determinado satélite GPS a 2 receptores, os erros do relógio e S/A para aquele satélite são cancelados. Isto é chamado "Single Difference" (SD), uma "Única Diferença". Se forem formados SD's para um segundo satélite de GPS e diferenciados com o primeiro SD, é formado um DD que cancela erros comuns aos relógios do receptor. No caso do GPS/MET, uma rede de receptores no solo situado em locais precisamente conhecidos, será usada juntamente com os dados coletados pelo GPS/MET e o receptor do LEO para implementar a técnica de DD.

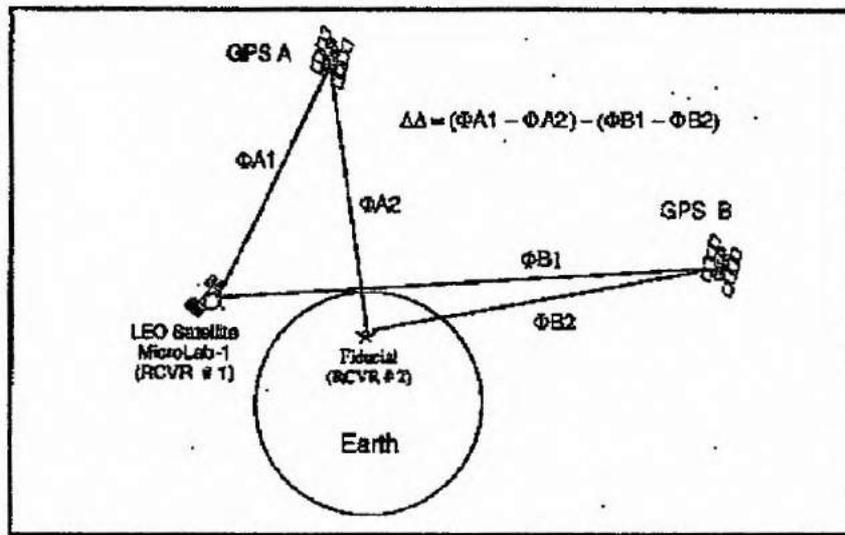


Figura 3-18: Geometria Diferencial Dupla. [17]

As placas de GPS no Observatório Espacial Sul instaladas possuem a capacidade de medir a intensidade dos sinais dos satélites GPS na frequência de 1,57542 GHz com uma taxa de 50 amostras/segundo possuindo 12 canais que processam digitalmente o sinal recebido simultaneamente de até 12 satélites que estão acima do horizonte.

As irregularidades ionosféricas, que podem ter dimensões de tamanho de centímetros a quilômetros, causam fortes cintilações na fase e na amplitude dos sinais eletromagnéticos que as atravessam, afetando substancialmente as comunicações entre os satélites e a Terra e os sistemas de posicionamento (GPS). Elas podem até mesmo causar black-outs nas telecomunicações e erros ou falhas nos sistemas de posicionamento por GPS.

Desde novembro de 2000, um receptor GPS, projetado para medir cintilações de amplitude do sinal recebido em 1,57542 GHz (Banda L) durante a incidência de irregularidades ionosféricas, tem sido operado no Observatório Espacial do Sul – OES/RSU/INPE-MCT. Devido à interferência das bolhas ionosféricas nos sistemas de posicionamento por GPS e nos sistemas de telecomunicações é de grande interesse o monitoramento destas bolhas para estudo de sua morfologia e estatística.

Para a comprovação da ocorrência de bolhas de plasma sobre o céu do Observatório Espacial Sul – OES/RSU/INPE-MCT, os dados referentes ao monitoramento da luminescência atmosférica do céu noturno foram comparados com medidas, do mesmo período (Março de 2002), de amplitude de cintilações do sinal GPS (*Global Position System*), observadas em L1 (1.575 GHz). A seguir, será apresentada uma breve síntese

sobre a utilização do sistema GPS no monitoramento das Irregularidades de Plasma Ionosférico no Observatório Espacial Sul – OES/RSU/INPE-MCT.

### **3.6.1.1. Discrepâncias no sinal GPS devido ao erro de propagação na Ionosfera**

A ionosfera refrata transmissões de satélite UHF da mesma maneira que refrata transmissões VLF, L/MF e HF, porém em uma proporção menor. Visto que um sinal refratado pode ter de percorrer uma maior distância do que um sinal em linha reta, o sinal necessitará mais tempo para ser detectado (aumentando o valor da variável tempo decorrido), induzindo a um erro na distância encontrada (acusando maior distância em relação ao satélite). Sabe-se que o sinal refratado na Ionosfera é inversamente proporcional ao quadrado de suas frequências. Isto significa que a alta frequência oferece uma menor refração e disto, induz um erro menor no cálculo da distância real. Os satélites GPS transmitem em duas frequências UHF diferentes, 1.575,42MHz e 1.227,60MHz onde cada frequência será refratada de forma diferente pela Atmosfera em suas diversas camadas, evitando problemas de distorção de distância. Comparando a distorção entre as duas frequências, o valor da distorção da Ionosfera pode ser calculado diretamente. Conhecendo o valor da distorção que foi induzida, o fator de correção é introduzido no sistema e efetivamente é corrigido o erro de propagação na Ionosfera, levantando a distância real em relação ao satélite. A arquitetura do sistema GPS utiliza outras técnicas para minimizar o problema da refração causado pela Atmosfera, que é o uso do DGPS (*Differential GPS*), que são métodos de eliminar erros na leitura de um GPS Receiver oferecendo maior precisão. Estes erros comuns são causados por fatores tais como variação de “clock” e mudanças nas condições de propagação das ondas de rádio na Ionosfera.

### **3.6.1.2. Estudo das Irregularidades Ionosféricas Utilizando Receptores GPS**

As bolhas de plasma afetam consideravelmente os sistemas de telecomunicações e os sistemas de posicionamento global. O receptor GPS provou ser um aparelho simples que fornece a morfologia e estatística de ocorrência de irregularidades ionosféricas. Permite calcular a velocidade zonal (leste-oeste) destas irregularidades e é um instrumento valioso para complementar o estudo das irregularidades observado por outros equipamentos, tais como radares ionosféricos, ionossondas, sondas a bordo de satélites, fotômetros e imageadores (*Paula et. al., 2002*).

### 3.6.1.3. O Monitor de Cintilação

O monitor de cintilação ionosférica – SCINTMON - foi desenvolvido por pesquisadores da Universidade de Cornell (EUA) a partir de modificações de um Kit desenvolvido pela GEC Plessey GPS Builder-2TM. Como tal, grande parte da sua operação é semelhante a operação do software que vem com o kit. As modificações mais importantes incluem *Características do Hardware e Programa de Aquisição (Manual de Operação do Monitor de Cintilação Scintmon, 1999)*.

## 3.7. Conhecimento da técnica de ocultação do sinal dos satélites GPS pelo satélite LEO e como obter os parâmetros atmosféricos:

O objetivo do Projeto GPS/MET, *GPS Meteorology*, é o monitoramento da Atmosfera da Terra, i. e., o vapor d'água na Troposfera, a temperatura da Troposfera-Estratosfera e o conteúdo dos elétrons na Ionosfera, usando a tecnologia de ocultação do sinal do satélite GPS (*Ground Positioning System*) por satélites LEO (*Low Earth Orbit*). Esta técnica foi desenvolvida pelo JPL - EUA (*Jet Propulsion Laboratory*) nos últimos 10 anos e hoje está sendo utilizado como uma das melhores maneiras de monitorar a Atmosfera. O satélite Microlab1 do Projeto GPS/MET foi lançado em 1995 e durante 2 anos de operação gerou um banco de dados, com aproximadamente 12.000 perfis de temperatura da Troposfera-Estratosfera (entre 5 a 50 km de altitude) espalhado no Globo inteiro. É esperado que a análise destes dados mostre a variação temporal e espacial da Atmosfera, principalmente os processos dinâmicos que alteram o perfil de temperatura. Este trabalho concentra-se na investigação de variação sazonal da temperatura da Tropopausa e Estratopausa na região Centro-Sul do Brasil.

Em seguida, será apresentada uma breve descrição dos conhecimentos teóricos adquiridos pela bolsista acerca do Projeto GPS/MET, cujo objetivo específico era investigar a variação sazonal da temperatura da Tropopausa e Estratopausa na região Centro-Sul do Brasil.

### 3.7.1. A Atmosfera Terrestre do ponto e vista de sua temperatura.

A Atmosfera pode ser classificada com relação ao seu perfil de temperatura ou com relação a sua composição. De acordo com o perfil de temperatura, a Atmosfera divide-se em (ver Figura 3-19):

(a) **Troposfera:** região que compreende desde o solo até a altitude de aproximadamente 15 km (depende da latitude); aqui sua temperatura decresce a uma taxa de  $\sim 6^{\circ}\text{C}/\text{km}$  até um mínimo de  $40^{\circ}\text{C}$  negativo. Esta diminuição é devida a expansão adiabática da Atmosfera que foi aquecida pelo calor do solo que absorveu radiação solar. A obtenção de dados para o estudo da dinâmica e composição desta região é a mais fácil entre todas, pois podem ser coletados dados *in situ* através de sensores instalados a bordo de aviões, balões e na própria superfície.

(b) **Estratosfera:** esta região está acima da Troposfera, porém, entre estas duas, está a Tropopausa (região onde a temperatura é mínima). Sua altitude máxima está compreendida entre 40 e 50 km. Sua temperatura, ao contrário da Troposfera, aumenta até aproximadamente  $-10^{\circ}\text{C}$ . Isto se deve ao fato de absorver radiação solar no ultravioleta (200-300nm) e re-emitir pelo ozônio. A Estratosfera tem como limite superior a Estratopausa onde está o ponto de inflexão da temperatura.

(c) **Mesosfera:** está localizada acima da Estratopausa e abaixo da Mesopausa. Sua temperatura decai até o mínimo de toda a Atmosfera Terrestre, ou seja, cerca  $-80^{\circ}\text{C}$ . Sua principal fonte de calor é a absorção do ultravioleta pelo ozônio próximo da Estratopausa. Como praticamente não existe absorção de radiação em altitudes bem acima da Estratopausa, a Mesosfera tende a diminuir sua temperatura devido a expansão adiabática do ar, como no caso da Troposfera. Devido a quebra de ondas de gravidade, esta região possui forte turbulência no vento de fundo. O estudo nesta região é difícil, pois, está acima da altitude que balões podem alcançar e muito abaixo das órbitas de satélites. As medidas *in situ* só podem ser feitas por foguetes. Dessa maneira, a utilização de equipamentos sensíveis à luz emitida por esta região é de grande importância para obter informação sobre a dinâmica e composição. Radares para traçar ventos também são bastante usados.

(d) **Termosfera:** está localizada acima da Mesopausa e sua temperatura aumenta rápida e monotonicamente até uma altitude onde o caminho médio das moléculas é tão grande que o significado de gás não tem mais sentido. O aquecimento é devido a absorção de radiação solar no extremo ultravioleta. A região onde as moléculas movem-se em trajetórias balísticas e raramente colide com outras moléculas é denominado de Exosfera.

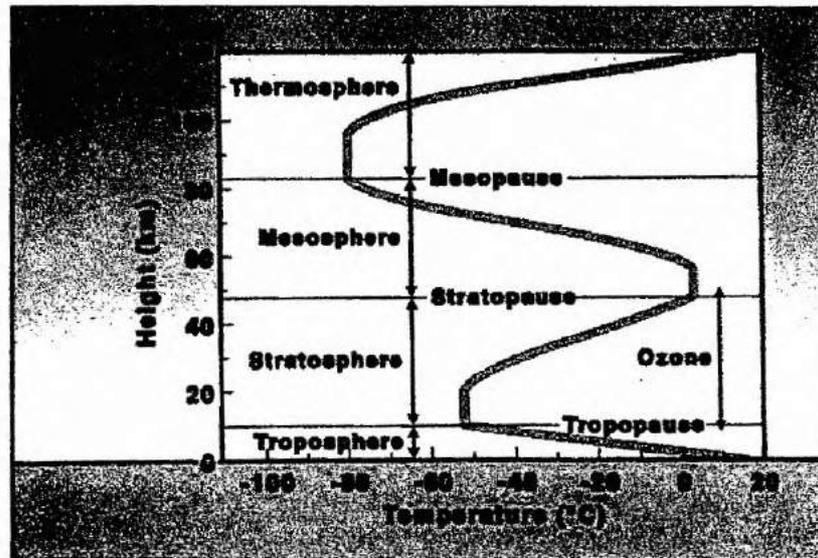


Figura 3-19: Definição e localização das camadas da atmosfera neutra em função da variação da temperatura atmosférica com a altura. [19]

### 3.8. Ocultação do sinal GPS:

#### 3.8.1. Introdução:

GPS/*Meteorology* ou GPS/MET, como aqui será referido, faz uso do Sistema de Posicionamento Global (GPS) para realizar o sensoriamento remoto ativo da Atmosfera Terrestre. Pesquisadores da *University Corporation for Atmospheric Research* (UCAR) demonstraram uma técnica GPS/MET que utiliza receptores GPS no solo para tais medições. Receptores GPS/MET no solo são capazes de fornecer medidas precisas, contínuas e integradas de vapor d'água e precipitáveis em locais fixos.

Como ilustrado na Figura 3-20, as observações da Atmosfera podem ser obtidas com alta resolução quando o caminho do sinal de rádio entre um satélite de baixa órbita (LEO - *Low Earth Orbit*), o receptor GPS e um do 24 satélite de GPS atravessa a Atmosfera Terrestre. Quando o caminho do sinal GPS começar a atravessar a Mesopausa, a aproximadamente 85km de altitude, observações do sinal são suficientemente retardadas, tal que um atraso detectável (1mm) na frequência dual da fase portadora é captada pelo receptor GPS do satélite LEO. À medida que o sinal de rádio atravessa por camadas sucessivamente mais densas da Atmosfera, o atraso aumenta até aproximadamente 1km próximo à superfície da Terra.

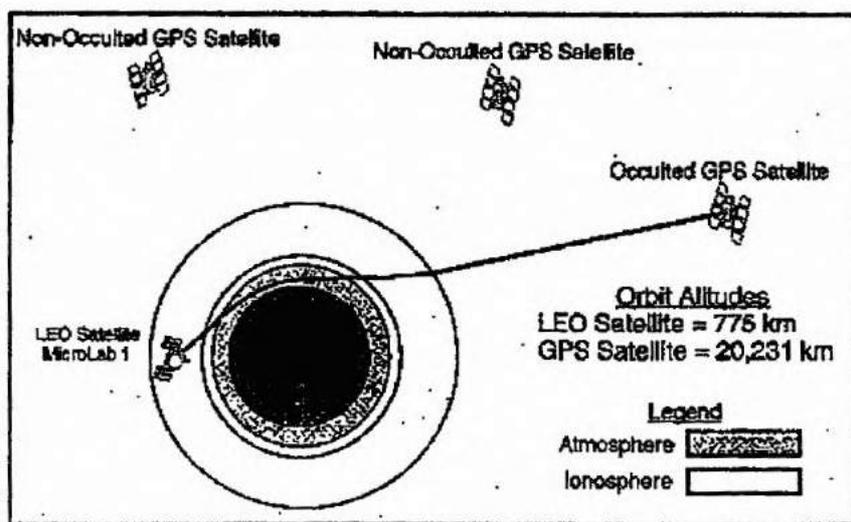


Figura 3-20: Esquema da geometria de funcionamento do GPS/MET. [17]

Um único receptor GPS no satélite LEO poderia observar mais de 500 ocultações por dia, com cobertura global aproximadamente uniforme. A Fase do Programa GPS/MET acima descrita demonstra a viabilidade e uma utilidade.

Os objetivos primeiros do Programa GPS/MET são:

- (1) construir um sistema de coleta de dados e criação de um banco de dados de ocultação do sinal GPS;
- (2) desenvolver e demonstrar algoritmos para perfis e produtos derivados (perfis de pressão, temperatura e umidade);
- (3) avaliar a concordância e validade dos dados de ocultação de sinal GPS/MET em previsões do tempo e pesquisas de mudança global;
- (4) publicar dados de GPS/MET em formatos úteis para outros cientistas que investigam aplicações meteorológicas e/ou aplicações relacionadas.

Note que o Programa GPS/MET promete produzir dados de alta qualidade para duas das variáveis de mudança globais fundamentais identificadas pelo *Committee on Earth and Environmental Sciences*: temperatura atmosférica e distribuição de umidade. Além disso, as metas do Programa GPS/MET se destinam a objetivos específicos identificados no Plano Estratégico para observações da Atmosfera Superior de 1992 do NOAA (*NOAA's 1992 Strategic Plan for Upper - Air Observations*).

Para alcançar estes objetivos com rapidez e com baixo custo, um receptor GPS comercial modificado seria posto em órbita em um satélite como uma carga útil

secundária. O lançamento deste satélite, o **MicroLab-1**, ocorreu em 1994. Os dados de ocultação do sinal GPS começaram a ser publicados na Internet em 1995.

### **3.8.2. Objetivos e Aplicações:**

Dados de ocultação do sinal GPS podem ser usados em vários campos da ciência, fornecendo uma grande variedade de produtos de informação operacionais. Entre as aplicações, foram identificados duas com alta prioridade: pesquisa de mudança global e previsão do tempo. Assim, a meta primária para esta fase será demonstrar o valor da tecnologia respondendo a perguntas chaves sobre mudanças globais, e sua habilidade para aperfeiçoar operacionais de previsões do tempo. As razões para estas prioridades científicas serão discutidas no que segue e ainda se fará uma descrição breve de algumas outras aplicações dos dados de ocultação do sinal GPS.

#### **3.8.2.1. Melhorias nas Previsões do tempo**

Os dados GPS/MET podem conduzir a melhorias significantes em previsão do tempo operacional, os modelos de previsão devem ser constantemente atualizados com informações de temperatura tridimensional, umidade, pressão e dados de vento e as limitações espaço/temporais apresentadas nas atuais redes operacionais comprometem a precisão destes modelos. Os dados de radiossonda geralmente estão disponíveis sobre áreas de terra enquanto existem grandes lacunas sobre as regiões oceânicas – que são áreas críticas neste tipo de análise. Mesmo sobre continentes, estes dados são obtidos no máximo uma vez a cada doze horas e o espaçamento entre as estações, que é de mais de 100km, é freqüentemente muito grande para capturar estruturas da ordem de grandeza em questão.

Perfis de temperatura obtidos através de dados de satélites estão disponível há mais de duas décadas. Porém, por causa de sua resolução vertical limitada, o impacto causado por este tipo de dado em modelos de previsão foi bastante pequeno (particularmente para o hemisfério norte). Um dado observacional com melhor cobertura de tempo e espaço, com resolução vertical de temperatura e umidade, sobre os oceanos e continentes, tornará substancialmente melhor a precisão de modelos numéricos. Um sistema operacional de GPS/MET poderia prover uma fonte de dados para satisfazer esta necessidade sem muitos gastos.

A demanda para previsões do tempo melhoradas tem uma base econômica sólida. A indústria de transporte aéreo é um caso em questão. Tem-se previsão de um crescimento

anual de 3% para o tráfego aéreo doméstico e o tráfego aéreo internacional tem aumentado 6% anualmente. Tal crescimento impõem contínua pressão na capacidade de trabalho do Sistema de Controle de Tráfego Aéreo (*Air Traffic Control System - ATCS*), particularmente nas rotas transoceânicas. A eficiência global e segurança são inevitavelmente afetadas. Segurança de aviação, capacidade e eficiência estão intimamente unidas ao tempo. De 1970 a 1985, 40% de todos os acidentes de linha aérea marcados estavam relacionados ao tempo. 65% dos atrasos anuais da ATCS são atribuídos as condições climáticas respondendo anualmente por quase dois bilhões dólares em custos diretos para a indústria de linha aérea. Previsões do tempo mais precisas são de fundamental importância para melhorar as economias de operações em aviação.

Muitos segmentos da economia (além da aviação) beneficiar-se-ão de previsões do tempo melhores. Previsões precisas tornarão melhores a produtividade na terra e setores de transporte marítimos, tendo efeitos sobre o sistema de agricultura, água e administração de recurso energéticos. Previsões melhoradas e advertências de tempo severas de tais eventos como furacões, tornados, enchentes repentinas e granizo proveriam grande benefício reduzindo a perda de vida e dano de propriedade. Assim, previsões melhoradas e advertências teriam um impacto econômico positivo direto na indústria de seguro, e indiretamente para a população geral.

### **3.8.2.2. Clima & Pesquisa de Mudança Global**

Embora exista o consenso entre a comunidade científica de que mudanças no clima são prováveis resultados dos aumentos observados em gases do efeito estufa na Atmosfera, há muita incerteza sobre a magnitude e detalhes desta mudança. Assim, há uma necessidade urgente da criação de bancos de dados de observacionais mais eficazes e análises que documentem o clima, bem como sua variação temporal. Esta necessidade se faz em termos de medidas regionais e globais para o monitoramento de muitas variáveis climatológicas.

O sinal de mudança global mais claro esperado é a mudança na temperatura média global. Detecção do aquecimento global esperada é confundida com observações danificadas ou neblina, por variabilidade natural que acrescenta ruído climático ao sistema, e porque observações de mudanças de clima que não são geograficamente uniformes. Contudo, ainda não foi possível estabelecer precisamente que o aquecimento observado é devido a aumentos dos gases que provocam o efeito estufa.

Dados de GPS/MET poderiam ser valiosos para estudos climatológicos provendo um modo preciso para monitorar tendências de longo prazo, particularmente na Troposfera Superior e Estratosfera. GPS/MET é particularmente aplicável para pesquisa de mudança global porque tem o potencial para prover precisão para qualquer condição climática monitorando nuvens e aerossóis em escala global. Em contraste com os atuais dados de radiômetro, dados de GPS/MET poderiam prover uma precisão e resolução vertical relativamente alta para medidas de temperatura, particularmente na Tropopausa e regiões mais baixas da Estratosfera. O GPS/MET opera usando coleta de dados ativa em lugar de métodos passivos, além disto, o método apresenta vantagens sobre a sensibilidade características dos radiômetros.

Outro indicador muito importante da mudança do clima global é um aumento esperado em vapor de água. Isto porque o vapor de água é um dos importantes gases do efeito estufa, tendo efeitos que podem aumentar as perturbações originais substancialmente, devendo ser, indubitavelmente, monitorado. O efeito estufa depende criticamente do vapor de água presente na Troposfera Superior, que irradia para o espaço. Informações contínuas na distribuição e nas tendências do vapor d'água ajudarão a validar a modelagem climática e permitirá responder as perguntas a respeito dos efeitos e formação de nuvens de maneira melhor do que hoje é possível.

A perda de ozônio na Estratosfera ainda é outro assunto de mudança global. O exemplo mais pronunciado disto é o aparecimento do buraco na camada de ozônio do Hemisfério Sul em altas latitudes, durante a primavera do Hemisfério Sul. Temperaturas estratosféricas desempenham um papel muito importante neste processo, pois as nuvens de partículas de gelo polar estratosférico (que desenvolvem um papel fundamental catalisando as reações químicas que conduzem a depleção de ozônio) formam-se principalmente em muito baixas temperaturas. Assim, o resfriamento dos gases estratosféricos do efeito estufa podem causar exacerbadas perdas de ozônio. Dados GPS/MET poderiam prover as medidas de alta resolução de perfis de temperatura estratosférica verticais necessárias para melhor se compreender a dinâmica de criação e perda do ozônio atmosférico.

Mudança de clima também esta ligada à atividade vulcânica. Uma injeção de material de uma grande erupção vulcânica pode resultar em quantias volumosas de aerossóis na mais baixa Estratosfera que pode limitar significativamente as observações de IR por satélite nesta e em regiões mais baixas. Porém, porque estes aerossóis mudam a radiação emitida pela Atmosfera, estes são precisamente o tempo e lugar onde são

necessárias observações precisas a fim de determinar como a estrutura térmica atmosférica está mudando para alcançar equilíbrio de energia radiativa global. Diferentemente dos radiômetros IR passivos, a precisão das observações de GPS/MET não será relativamente afetada por estes aerossóis.

Para a maior parte das pesquisas climáticas, o verdadeiro retorno dos dados GPS/MET acontecerá quando a qualidade dos dados homogêneos for suficientemente alta para que se note pequenas mudanças de escala de tempo climáticas. Para as questões de mudança de clima, a precisão absoluta das medidas é menos importante que a consistência e ausência de mudanças na polarização.

Em resumo, são necessárias medidas de longo prazo mais precisas e consistentes com cobertura global e alta resolução de espaço, para ajudar a definir a variabilidade a curto prazo e tendências a longo prazo de temperatura e vapor d'água em uma base global. GPS/MET poderia prover um padrão absoluto e/ou sistema de calibração com alta estabilidade para outro sistema de monitoramento de temperatura, satisfazendo assim as exigências para a continuidade a longo prazo e estabilidade do monitoramento global.

### **3.8.2.3. Outras Oportunidades**

Embora o estudo e a melhoria em pesquisas ionosféricas não sejam os objetivos da fase I do Programa, os dados GPS/MET pertinentes serão disponibilizados a pesquisadores se interessados por estas e outras aplicações.

O Programa GPS/MET proverá oportunidade para o mapeamento global da Ionosfera com resolução tempo-espacial suficiente para investigar muitos processos dinâmicos importantes no sistema Ionosfera/Termosfera, e a relação destes para com os processos na Atmosfera e Terra sólida. Por exemplo, dados de GPS/MET poderiam ser úteis no estudo de Ondas de Gravidade (transportam energia e impulso para a Atmosfera Neutra e Ionosfera). Este fenômeno pode ser localizado traçando-se o Conteúdo Eletrônico Total (TEC) ao longo do caminho do sinal entre o satélite LEO e satélites GPS. Informações sobre transporte de energia global descobertas deste modo poderiam acrescentar mais objetivos, além dos preliminares na pesquisa de mudança global e previsão do tempo.

Também deve ser notado que dados de instrumentos espaciais passivos convencionais poderiam prover resultados melhorados se combinados a dados de GPS/MET.

### 3.8.3. Princípios de Ocultação de rádio

A técnica de ocultação de rádio foi desenvolvida primeiramente em *Stanford University Center for Radar Astronomy* (SUCRA) para estudos de atmosferas planetárias. O experimento de ocultação de sinal no *Jet Propulsion Laboratory* (JPL) desempenha um papel proeminente no Programa para exploração de sistema solar da NASA por mais de duas décadas. Este experimento tem contribuído exclusivamente nos estudos das atmosferas de Vênus, Marte, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno, também dos satélites do planeta-exterior Io, Titã e Tritão. Tipicamente, o experimento envolve um transmissor em uma astronave ligado a um receptor em terra por um sinal de rádio de comprimento de onda da ordem de centímetros. A trajetória da astronave foi escolhida de forma que o caminho de propagação do sinal desde a astronave até a Terra atravessa a atmosfera planetária em estudo, produzindo variações distintivas em amplitude e frequência (ou fase) do sinal recebido.

Fundamentalmente, a técnica se baseia no simples fato de que a atmosfera de um planeta age muito de forma semelhante a uma lente esférica, onde multiplicação ou atraso na velocidade de propagação de sinais de microondas sinalizam sua passagem tangente a superfície. Este efeito de lente é o resultado de diminuição da densidade atmosférica com a altitude. Se as posições dos satélites transmissor e receptor são precisamente conhecidos, o "atraso atmosférico" pode ser medido precisamente, o tempo derivado deste (Doppler) pode ser invertido para fornecer densidade atmosférico versus altitude.

**Para um sistema de observação da Terra baseado na técnica de ocultação de sinal:** o custo de manter uma constelação de satélites orbitando a Terra que transmitam em frequências apropriadas seria dominante. Em contraste, os satélites receptores seriam relativamente baratos. Desde que o Sistema GPS existe e existem 24 satélites que transmitem em frequências satisfatórias para observações de ocultação. Além disso, usando o GPS para derivar o satélite de posicionamento preciso, a complexidade do sistema global (e seu custo) será ainda mais reduzido. Assim, há um incentivo econômico forte para a criação de um sistema de ocultação de sinal GPS para observação da Terra.

### 3.8.3.1. Metodologia de recuperação

O processo descrito abaixo pode ser considerado como a metodologia de recuperação clássica. Os princípios fundamentais evoluíram com o passar do tempo do trabalho de ocultação planetário originalmente administrado por SUCRA e JPL, como anteriormente citado. Métodos de recuperação são melhorados o tempo todo e o grupo do GPS/MET continua investigando a respeito de novas técnicas. A descrição da metodologia de recuperação que segue foi descrita primeiramente por Hardy, K. R. et al., 1992 em um artigo sobre a técnica de ocultação do sinal GPS. [23]

#### 3.8.3.2.1. Compensação para a Ionosfera

Para extrair informação sobre a atmosfera neutra, os atrasos de propagação causados pela Ionosfera devem ser isolados e removidos do sinal. Elétrons presentes na Ionosfera causam uma frequência dependente do atraso na fase de sinais de GPS recebidos. Antecipando-se a necessidade de correções devido à Ionosfera, os planejadores do GPS projetaram no sistema o uso de duas frequências de portador, L1 e L2, como previamente descrito. Usando-se medidas de fase de frequência duais, e conhecendo a relação quadrada inversa entre o atraso de grupo e a frequência de cada portador, uma correção linear simples pode ser derivada. Esta correção pode ser expressa como segue:

$$TDL1 = 1.5336 * \Delta T \quad (\text{Equação 3-10})$$

onde  $TD_{L1}$  é que o atraso ionosférico em L1 e T é a diferença mensurável do atraso entre L1 e L2. A compensação da frequência Doppler também é afetada pela Ionosfera, podendo ser modelada com uma correção linear semelhante:

$$\Delta f_{L1} = 3.529 * (\Delta f_{L2} - \Delta f_{L1}) \quad (\text{Equação 3-11})$$

onde  $(\Delta f_{L2} - \Delta f_{L1})$  é a diferenciação Doppler mensurável. Corrigindo para estes efeitos ionosféricos completa-se o primeiro passo na recuperação de dados meteorológicos dos observáveis.

O método acima descrito provê uma simples correção em primeira ordem para efeitos ionosféricos. De forma geral, em aplicações fundamentais onde as bandas L1 e L2 seguem caminhos substancialmente idênticos, esta é suficiente. O GPS/MET proverá precisão suficiente para variações abaixo de 30 km. Porém, para perfis superiores a 30 km, é requerida uma correção ionosférica mais sofisticada. Uma técnica avançada que leva em conta a separação das bandas L1 e L2 desenvolvida pelo grupo GPS/MET satisfaz esta exigência.

### 3.8.3.1.2. Índice Atmosférico de recuperação da Refração

A medida fundamental na técnica de ocultação do sinal de rádio é o atraso temporal do sinal, ou troca de fase resultante no sinal recebido do transmissor de GPS. O sinal de rádio que se propaga do GPS transmissor ao receptor do LEO segue um caminho pela Atmosfera que encurva distintamente devido a gradientes atmosféricos em índice refrativo. O efeito cumulativo da Atmosfera no caminho do sinal pode ser expresso em termos do ângulo de refração total da curvatura, como mostrado na Figura 3-21.

A variação de geometria experimental pode caracterizar-se pelo uso de um parâmetro de impacto, “a” definido como a distância perpendicular entre o centro do planeta e a linha direta, seguido pelo raio que chega a Atmosfera. Quando combinado com um conhecimento preciso da geometria (obtido de dados de outros satélites GPS), cada amostra de dados de fase (corrigidos para efeitos ionosféricos) pode ser convertida aos valores correspondentes à  $\alpha$  e a. Este passo é direto e envolve considerações geométricas simples, leis fundamentais de ótica geométrica e fórmulas relativísticas para desvio Doppler.

Para uma atmosfera com simetria esférica local (isto é, nenhuma variação horizontal assimétrica significativa em temperatura ou umidade), há uma relação sem igual entre  $\alpha$  (a) e  $\mu(r)$ , o índice refrativo atmosférico como uma função de rádio (r). O perfil de índice refrativo  $\mu(r)$  é derivado então pela transformada de Abel das medidas de  $\alpha$  (a) obtidas da ocultação completa, conforme mostrado em Equação 3-12.

$$\ln \mu(r_m) = -\frac{1}{\pi} \int_{a_m}^{\infty} \frac{\alpha(a)}{(a^2 - a_m^2)^{1/2}} da \quad (\text{Equação 3-12})$$

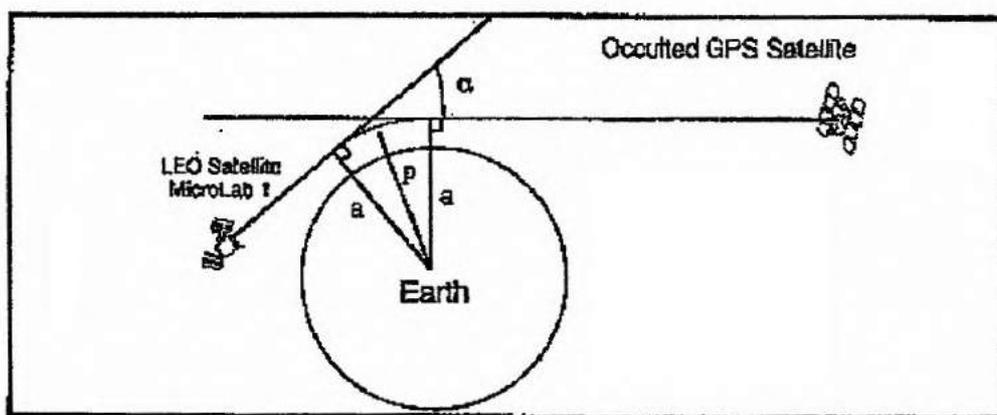


Figura 3-21: Geometria de Ocultação. [17]

Aqui  $\mu(r_m)$  é o índice de refração da camada à distância  $r_m$  do centro de massa do planeta, e  $a_m$  é o valor do raio cuja de aproximação mais próxima é  $r_m$ . Aplicando-se a Equação 3-12 camada a camada, começando com a camada atmosférica superior, se obterá o índice de perfil de refração da Atmosfera. Esta transformação trás de forma inerente às suposições:

- (1) as conchas atmosféricas são esféricas e
- (2) cada concha tem um índice uniforme de refração, isto é, nenhuma variação horizontal.

A suposição de simetria esférica, exigido para o método de recuperação clássico, é uma limitação que pode precisar ser superado para alcançar a generalidade desejada para um sistema operacional. Contudo, o erro introduzido usando a suposição de simetria esférica pode não ser a fonte de erro dominante podendo ser aceitáveis para sistemas operacionais.

### 3.8.3.1.3. Refratividade para Parâmetros Meteorológicos

Podem ser derivados parâmetros atmosféricos clássicos de interesse do perfil de índice refrativo pela seguinte sucessão de passos. O processo será descrito primeiramente para o caso de ar seco e então o efeito de umidade será considerado.

#### 3.8.3.1.3.1. Caso do Ar seco:

Como o índice de refração,  $\mu$ , está perto de unidade na Atmosfera Terrestre, é conveniente definir a refratividade  $N$ :

$$N = (\mu - 1) * 10^6 \quad (\text{Equação 3-13})$$

Para o ar seco,  $N$  pode ser expresso como:

$$N = 77.60 * (P/T) \quad (\text{Equação 3-14})$$

onde  $P$  é a pressão em millibars e  $T$  é a temperatura em Kelvins. Além disso, a equação de estado para ar seco leva a forma:

$$\rho = 0.3484 * (P/T) \quad (\text{Equação 3-15})$$

onde  $\rho$  é a densidade do ar em  $\text{kg/m}^3$ . Das Equações (3-14) e (3-15) implica que  $\rho$  é diretamente proporcional a  $N$  para ar seco, de forma que  $\rho(r)$  pode ser obtido facilmente de  $\mu(r)$ . Aproximadamente,  $P(r)$  pode ser obtido de  $\rho(r)$  integrando a equação de equilíbrio hidrostático:

$$dP/dh = -g \rho \quad (\text{Equação 3-16})$$

Sendo  $h$  a altura e  $g$  a aceleração de gravidade. Finalmente,  $T$  pode ser obtido de  $P$  e  $\rho$  usando-se Equação 3-15. Em suma: perfis verticais de  $\rho$ ,  $P$ , e  $T$  podem ser obtidos de  $\mu(r)$  de maneira simples e direta.

O ângulo de refração total da curvatura está exagerado na Figura 3-21. Para a Atmosfera Terrestre, o valor máximo deste ângulo é da ordem de 0.02 radianos ( $1^\circ$ ).

#### 3.8.3.1.3.2. Caso geral:

O procedimento acima descrito deve ser modificado para responder pela presença de vapor d'água. Quando o efeito de vapor de água é incluído, a expressão para a refração se torna:

$$N = 77.60 * (P/T) + 3.730 * 10^5 * (P_w/T^2) \quad (\text{Equação 3-17})$$

(termo para o ar seco) (termo para o vapor d'água)

onde  $P_w$  é a pressão de vapor d'água em millibars. O termo para o ar seco dado pela Equação 3-14 foi completado por uma contribuição do vapor d'água que pode ser significativo no balanço da Atmosfera Terrestre em baixas altitudes. O termo para o vapor d'água também exibe variação considerável com local e tempo.

Não podem ser distinguidas as contribuições separadas para  $N$  pelas condições secas e úmidas exclusivamente por medidas de ocultação com as capacidades atuais dos satélites de GPS. Isto introduz uma ambigüidade nos perfis de  $\rho$ ,  $P$  e  $T$ ; os efeitos de vapor d'água variáveis e incertas nas concentrações são indistinguíveis dos efeitos de variações de fundo em temperatura e pressão.

Esta ambigüidade não é um problema significante como a contribuição para o índice refrativo através de vapor d'água a altitudes superiores a 8-10 km, sendo normalmente muito menor que 2%.

Semelhantemente, a contribuição de umidade para o índice de refração é desprezível ao longo da atmosfera polar durante inverno. Na mais baixa Troposfera, limitações de vapor d'água podem ser superadas com o uso de um dos vários meios usados para estimar o conteúdo vapor de água (métodos auxiliares como, por exemplo, por radiometria de microondas ou medidas de GPS em solo).

Por exemplo, se o perfil de temperatura na Troposfera fosse conhecido de cálculos de modelos, então poderiam ser recobrados perfis de umidade das medidas. Esta aproximação trabalhará melhor em regiões tropicais, onde o perfil de temperatura exiba mudanças relativamente pequenas, mas campos de umidade mudam significativamente

em espaço e tempo. Deveria ser enfatizado que ainda podem ser determinados com precisão  $\mu$  e  $N$  embora exista abundância de vapor d'água.

### 3.8.4. Prova do Sistema Conceitual

Para a Fase I do Projeto GPS/MET, uma única espaçonave com carga útil LEO será colocada em órbita sendo operada durante o tempo limitado de 6 meses. O desempenho da carga útil, quantidade de dados e o tempo de vida foi baseado com ênfase na simplicidade, tempo despendido e orçamento. Contudo, espera-se que a qualidade de dados seja suficiente para demonstrar o potencial da técnica. A Figura 3-22 descreve a configuração de sistema global para Fase I.

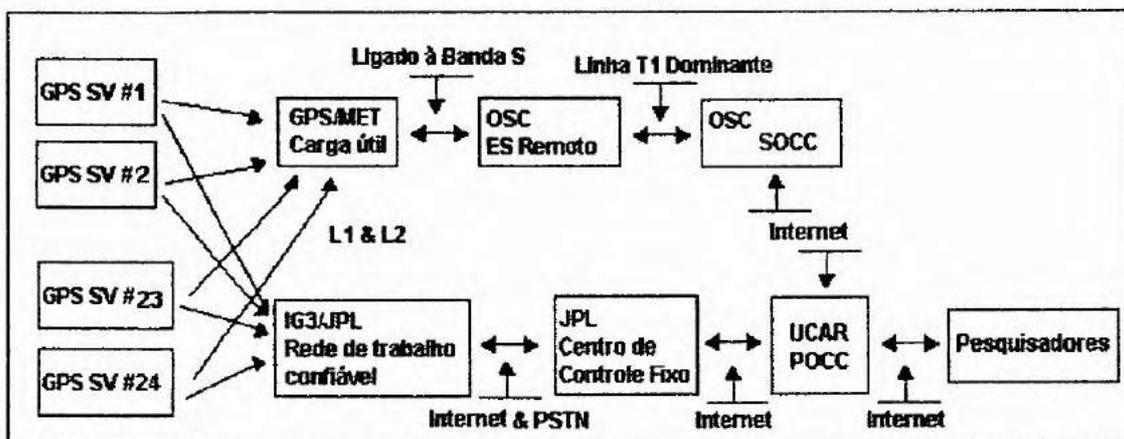


Figura 3-22: Diagrama de Blocos do Sistema GPS/MET – Fase I (Modificado de [17])

### 3.9. O experimento GPS/MET – Conhecimentos Básicos

A técnica de ocultação do sinal GPS foi testada pela primeira vez com o lançamento da missão GPS/MET em 3 de abril de 1995 a 1997 de março. GPS/MET é uma experiência administrada pela *University Corporation of Atmospheric Research* (UCAR) (Ware et al., 1995) e consistia em um receptor GPS de 2 Kg, no satélite MicroLab, cuja órbita circular possuía 730 km de altitude e 60° de inclinação. O receptor GPS era um *TurboRogue* (Meehan et al., 1992) capaz de localizar simultaneamente até 8 satélites GPS a ambas frequências transmitidas por GPS. Sob um ótimo sistema de operação, a visada da antena do receptor GPS apontava na direção da velocidade negativa do LEO (*Low Earth Orbit*) que resultava em 100-150 ocultações por dia globalmente distribuídas. Foram coletados os dados de milhares de ocultações que podem ser usados para avaliar a precisão e benefício de potencial das ocultações do sinal GPS.

Em condições ideais, quando um satélite LEO que localiza o sinal GPS tiver um campo de 360° de visão do horizonte da Terra, podem ser obtidas aproximadamente 750 ocultações por dia. Porém, considerando que as ocultações quando a visada do satélite é lateral varra uma região horizontal grande e a suposição de simetria esférica usada na transformada de Abel, este valor se torna inexato. Descartando as ocultações laterais, um satélite LEO provê até 500 ocultações por dia.

No caso do GPS/MET, fixou-se uma antena na parte da frente do satélite, de forma que o número máximo de ocultações foi reduzido a 250 por dia. Além disso, devido a memória limitada e cobertura insuficiente do GPS de solo, exigido calibração dos relógios dos satélites GPS, o número máximo de ocultações obtido varia entre 100-150 ocultações por dia.

Os resultados aqui apresentados correspondem a um subconjunto de dados de GPS/MET coletados no dia 4 e 5 de maio de 1995.

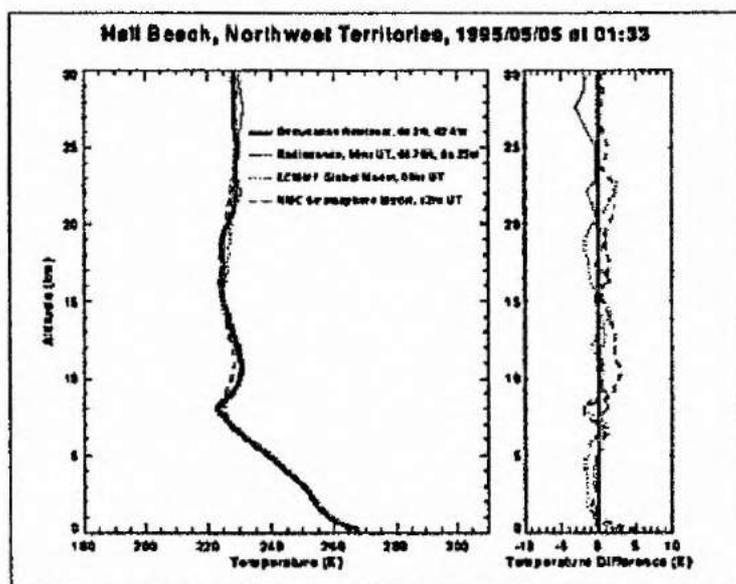


Figura 3-23: Perfil de temperatura calculado utilizando-se um subconjunto de dados do GPS/MET no período entre 04 e 05 de maio de 1995. [21]

A Figura 3-23 apresenta uma comparação entre o perfil de temperatura (traçado com dados do GPS/MET) condicionado para alta latitude, dados de radiossonda e análises de modelagens correspondentes. Este perfil, do norte do Canadá, apresenta temperaturas de superfície abaixo do ponto de solidificação, sendo a Tropopausa precisamente definida como próxima a 8 km de altitude. Condições frias e secas permitem derivar temperaturas com boa precisão até muito próximo à superfície.

Este perfil de temperatura concorda com o perfil modelo e com um perfil de radiossonda, com diferenças menores que 1K em boa parte da Troposfera. Em torno da Tropopausa, as diferenças de temperatura são comparáveis com a variabilidade entre a radiossonda e a análise modelo. O acordo notável com dados de radiossonda para a Tropopausa e a mudança da taxa de variação súbita abaixo de 3 km ilustra a sensibilidade e resolução vertical da técnica de ocultação.

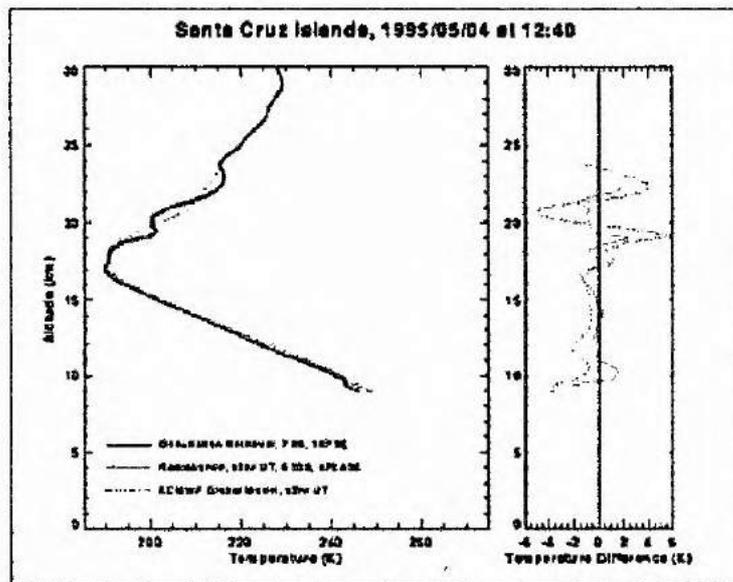


Figura 3-24: Um segundo exemplo: perfil de temperatura calculado utilizando-se um subconjunto de dados do GPS/MET, ocultação no Pacífico sul (7.9°S, 167.5°L) comparada com um perfil de radiossonda obtido de um navio a 350 km do local de ocultação [21].

O segundo exemplo apresentado na Figura 3-24 ilustra a sensibilidade de ocultação de sinal a Ondas Atmosféricas com uma ocultação no Pacífico sul (7.9°S, 167.5°L). A ocultação é comparada a um perfil de radiossonda obtido de um navio a 350 km distância do local de ocultação, e à análise do modelo ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*). Concorda nitidamente em amplitude e fase com uma radiossonda insinuando que a onda foi resolvida pela medida de ocultação e que o comprimento de onda horizontal é grande (maior que 350 km).

Uma comparação estatística de perfis recobrados com as análises do modelo ECMWF é mostrada na Figura 3-25. As análises de ECMWF são um das melhores análises globais disponíveis de estrutura de temperatura atmosférica abaixo de 30mbar. A comparação entre estes se tornou um método crescentemente popular por avaliar a precisão e resolução de resultados de um observacional. Porém, deve-se notar que as ocultações

são sensíveis a estrutura vertical não solucionada pelas outras análises. A Figura 3-25 apresenta a diferença de temperatura estatística para todos os perfis recobrados no dia 4 e 5 de maio de 1995 com a exceção de um perfil 5-s sobre o planalto tibetano. Para eliminar erros de recuperação de temperatura devido a vapor d'água, foram excluídas das comparações temperaturas da Troposfera que excedem 250K. Os três painéis na Figura 3-25 exibem a diferença estatística da temperatura para altas latitudes do norte, os trópicos, e as latitudes altas sulistas. Há aproximadamente 30 perfis dentro de cada zona de latitude, amplamente espalhadas em local e tempo.

Está claro na Figura 3-25 que os dois dados concordam para os dados do Hemisfério Norte, apresentando pequenas diferenças - em sua maioria, menos de 0.5K e desvio padrão típico de 1 a 2K. Deve-se considerar que estas diferenças incluem também a estrutura vertical que não é resolvida pela análise do modelo ECMWF, especialmente sobre 100mbar. Este resultado é particularmente significativo porque é esperado que as análises de ECMWF sejam muito precisas no hemisfério norte. Embora sejam assimilados dados de radiossonda e dados de TOVS no modelo de ECMWF, é esperado que as análises sejam menos precisas em algumas regiões do hemisfério sul, devido à distribuição escassa de radiossondas.

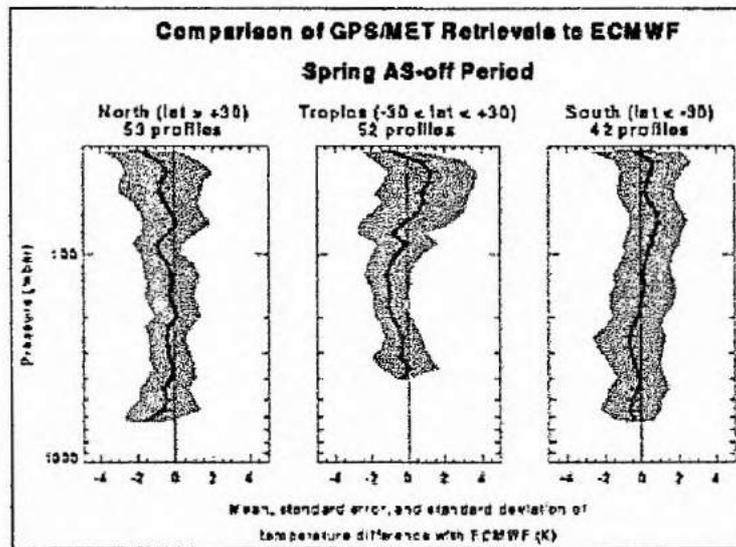


Figura 3-25: Diferença estatística da temperatura para altas latitudes do hemisfério norte.

Radiossondas no Hemisfério Sul estão distribuídas sobre a terra, enquanto as ocultações ocorrem principalmente sobre o oceano. A Figura 3-27 também mostra isto no Hemisfério Sul, pequenas diferenças de temperatura e desvio padrão maior em baixas altitudes. Como o processo de recuperação da ocultação do sinal possui pouca

dependência com a latitude, a concordância no Hemisfério Norte sugere que as diferenças sistemáticas e ocasionais maiores encontradas em latitudes sulistas originem das análises nos perfis recobrados.

## 4. RESULTADOS E ANÁLISES

### 4.1. Estudo das Irregularidades Ionosféricas através de observações da emissão Airglow OI630,0nm e OI557,7nm:

Medidas recentes de fotômetro zenital instalado no Observatório Espacial Sul (29°S, 53°W, ~20° dip latitude), datadas de Fevereiro de 2001, apresentaram parâmetros referentes à ocorrência de bolhas de plasma. Na Figura 4-1 está apresentado o perfil da emissão airglow para a noite de 28 de fevereiro de 2001, cujos parâmetros apresentam claramente a incidência de bolhas de plasma sobre a região o Observatório Espacial Sul.

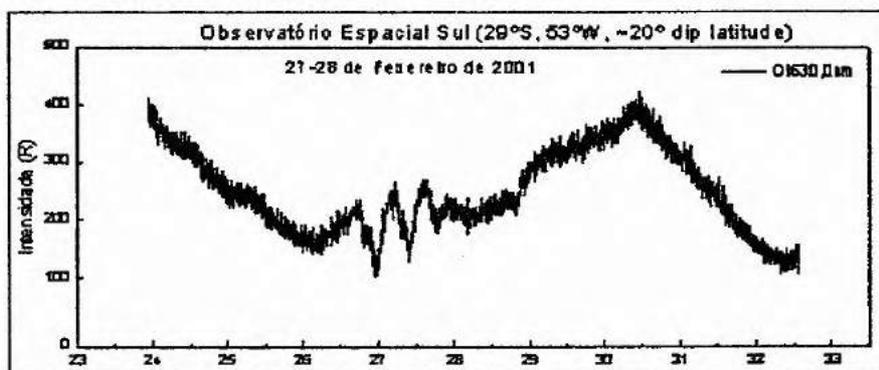


Figura 4-1: Medidas de fotômetro zenital instalado no Observatório Espacial Sul – OES/RSU/INPE - MCT- apresentando a ocorrência de variação na emissão de aeroluminescência.

Com o intento de comprovar esta incidência, realizou-se uma campanha multi-observacional de 08 à 19 de Março de 2002. Durante tal campanha foi comprovada a incidência de bolhas de plasma sobre o céu do Observatório Rio Grande do Sul – OES/RSU/INPE-MCT, conforme mostrado na Figura 4-2, onde estão apresentadas os dados referentes às medições de fotômetro zenital na linha OI630,0nm comparados com os dados de cintilação do sinal GPS, também instalado no Observatório Espacial do Sul – OES/RSU/INPE-MCT.

As imagens do Sistema de Câmeras Imageadoras apresentam as bolhas como manchas escuras, conforme é possível se constatar nos exemplos mostrados na Figura 4-3.

Durante o período vigente desta bolsa, manteve-se a continuidade das observações das Irregularidades Ionosféricas através do monitoramento da emissão *Airglow* do oxigênio atômico na linha OI630,0nm (na seção 6.5. Experimentos Realizados no Laboratório de Ótica e Luminescência Atmosférica – LOLA/CRSPE/INPE para Aquisição de Dados de Luminescência Atmosférica estão especificadas as noites em

que se mantiveram monitoramento do céu noturno, bem como informações sobre o tempo total de observação de cada noite e as condições climáticas em que estas observações foram realizadas).

São apresentados dados de fotômetro zenital que ilustram a ocorrência de Bolhas de Plasma (Irregularidades Ionosféricas de larga escala) na Figura 4-4.

Uma análise mais detalhada deverá ser efetuada de forma que se obtenha informações mais detalhadas e de longo prazo da ocorrência destas bolhas na latitude do Observatório Espacial Sul – OES/RSU/INPE-MCT.

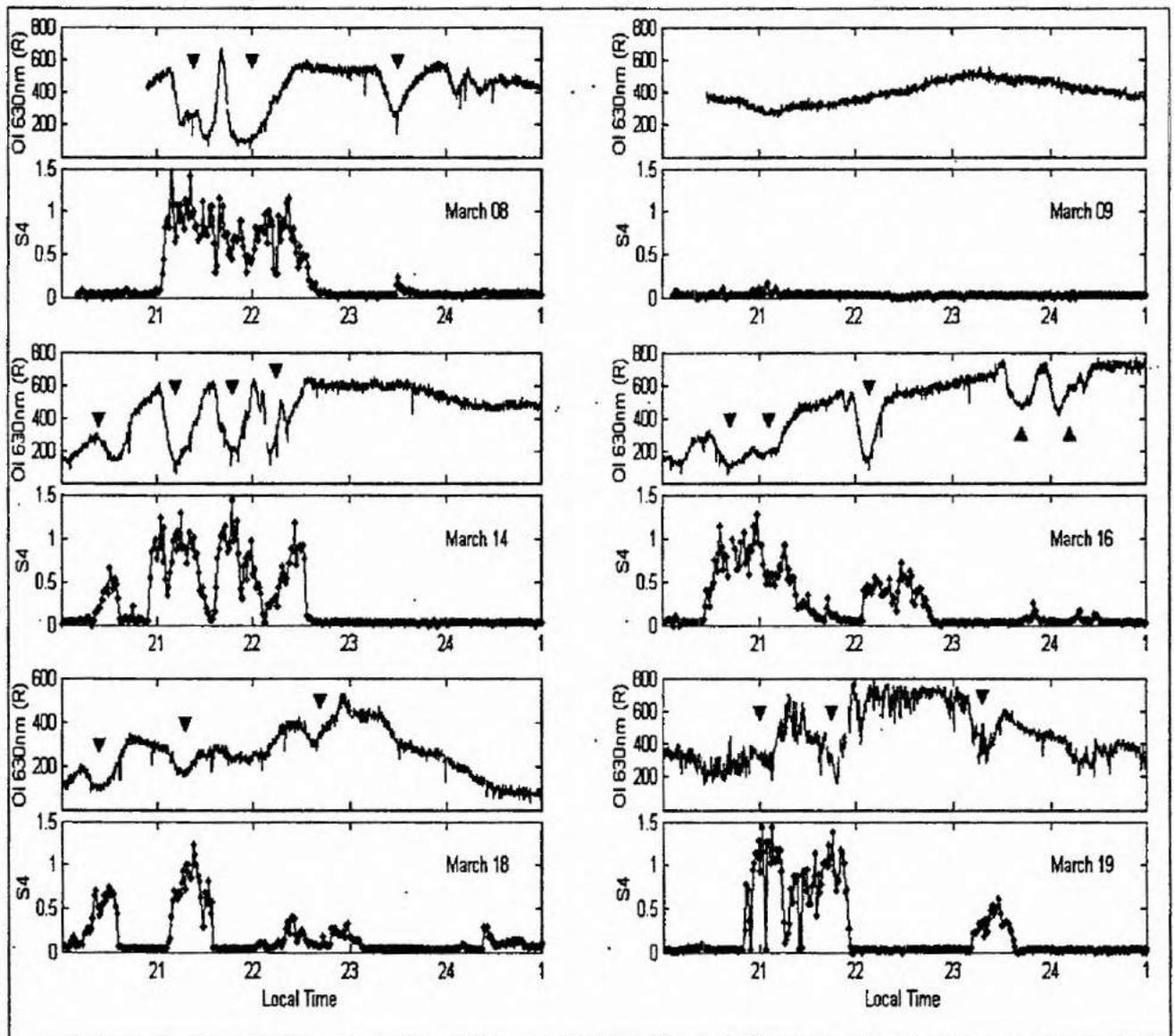
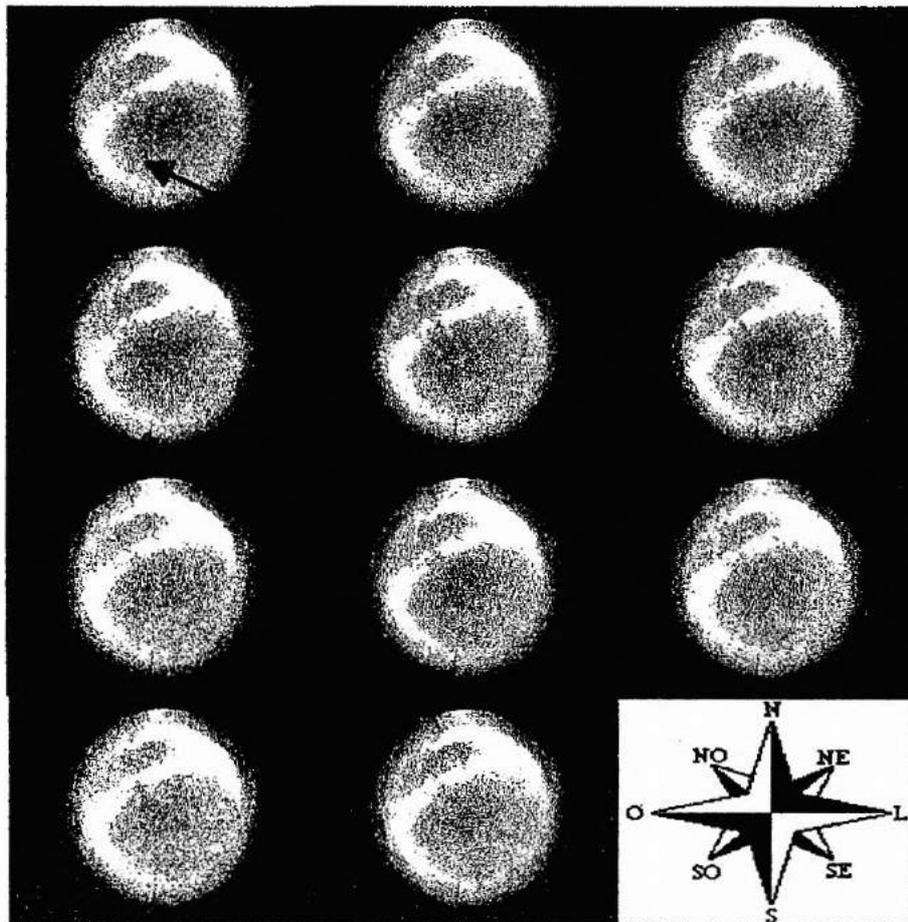


Figura 4-2: Emissão Airglow e cintilação do sinal GPS para a campanha multi-observacional – 08 a 19 de Março de 2002 realizada no Observatório Espacial do Sul – OES/RSU/INPE-MCT.



*Figura 4-3: Irregularidades do plasma observados através da Emissão Airglow no Observatório Espacial do Sul - OES/RSU/INPE-MCT, 09 de Março de 2002 - Hora: 23:40 - 23:51LT. Amostra: 1 imagem por minuto.*

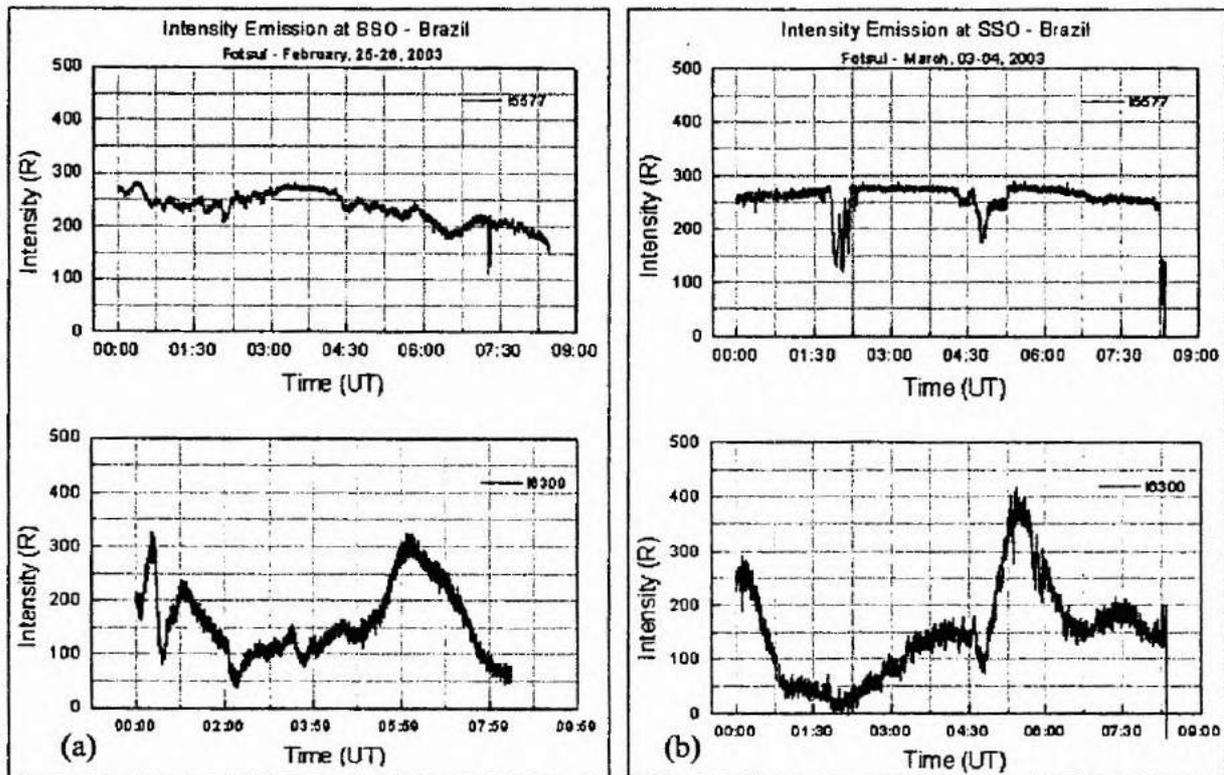


Figura 4-4: Medidas de fotômetro zenital instalado no Observatório Espacial Sul – OES/RSU/INPE - MCT- ilustram a ocorrência de variação na emissão de aeroluminescência nas linhas do oxigênio atômico OI557,7nm (acima) e OI630,0nm (abaixo).

Na Figura 4-4: Gráfico (a) são dados referentes a noite de 26 de Fevereiro de 2003 e o Gráfico (b) apresentam dados de fotômetro zenital referentes a noite de 04 de Março de 2003.

#### 4.2. Conhecimento da técnica de ocultação do sinal dos satélites GPS pelo satélite LEO e como obter os parâmetros atmosféricos:

Foi possível à bolsista acadêmica adquirir um conhecimento teórico básico acerca da técnica de ocultação do sinal GPS, bem como dos métodos de cálculo da recuperação dos dados provenientes destas ocultações e o desenvolvimento de perfis verticais de temperatura para a Tropopausa/Estratopausa. Um estudo continuado se faz necessário para o futuro desenvolvimento de perfis de temperatura específicos para a região atmosférica em questão para a região Sul do Brasil.

## 5. CONCLUSÕES

As atividades de Iniciação Científica realizadas no Laboratório de Ciências Espaciais e Santa Maria - LACESM/CT/UFSM-MEC, em conjunto com o Laboratório de Luminescência Atmosférica - LUME/DAE/INPE-MCT e Observatório Espacial do Sul - OES/RSU/INPE-MCT deram à acadêmica a oportunidade de aplicar alguns dos conhecimentos adquiridos no Curso de Graduação em Física da UFSM, a qual faz parte, bem como o aprimoramento dos mesmos e a aquisição de novos conhecimentos, nas áreas de Geofísica Espacial e Geomagnetismo, na área específica de Aeronomia e Luminescência Atmosférica, e em outras áreas da Física e Astrofísica.

Houve a necessidade da bolsista complementar seus conhecimentos com estudos em disciplinas não cursadas no decorrer do Curso de Graduação e que não fazem parte do currículo escolar da aluna, mas que de grande importância no desenvolvimento científico de qualquer acadêmico, das quais se destacam: Fundamentos de Astronomia e Geofísica, Estações de Trabalho - *Solaris* (Workstation), Redes de Computadores e Comunicação de Dados.

O material utilizado para consulta e estudo foi encontrado nos acervos das Bibliotecas presentes no Campus de Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, além da Biblioteca Setorial da Unidade Regional Sul de Pesquisas Espaciais - RSU/INPE-MCT, e ainda alguns títulos foram fornecidos (doados) pelo pesquisador colaborador Brasil-Japão Dr. K. Makita.

Uma importante habilidade desenvolvida pela bolsista foi melhoria na fluência na Língua Inglesa, adquirida através da leitura de livros e artigos escritos neste idioma, em especial devido à necessidade desta comunicar-se com os pesquisadores e demais visitantes estrangeiros que constantemente freqüentam as instalações do OES/RSU/INPE-MCT ou do LACESM/CT-UFSM.

Quanto ao aspecto científico, teve-se a oportunidade de contato com uma vasta área do conhecimento: o estudo de Ciências Atmosféricas e Espaciais, a qual engloba um caráter multidisciplinar (Física, Engenharias, Química, Ciências da Computação) e consiste num campo muito grande de pesquisa e desenvolvimento de novas técnicas. O contato com cientistas de nível internacional tem sido de imensa valia no desenvolvimento profissional e pessoal da bolsista e de grande importância para as atividades desenvolvidas.

## 6. ATIVIDADES COMPLEMENTARES

Nesta etapa do Relatório serão descritas as atividades práticas desenvolvidas pela bolsista no período vigente da respectiva bolsa. Deve-se salientar que algumas das atividades desenvolvidas não estão diretamente envolvidas com o Projeto, mas que foram de grande valia no desenvolvimento técnico-científico da aluna.

### 6.1. Atividades Principais

As atividades principais desenvolvidas pela bolsista concentraram-se em:

- Coleta de dados (monitoramento noturno);
- Redução e análise parcial de dados;
- Aprendizagem a respeito da instrumentação, (alguns dos quais descritos anteriormente neste Relatório), utilizada no estudo da Luminescência Atmosférica e Ocultação do sinal GPS/MET;
- Entendimento da interação Software/Hardware para controle de dispositivos detectores;
- Revisão Teórica constante: estudo e a pesquisa de caráter científico no acervo bibliográfico disponível no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRSPE/INPE-MCT, além da consulta ao acervo à Biblioteca Central da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM e das Bibliotecas Setoriais do Centro de Ciências Naturais e Exatas - CCNE/UFSM-MEC e Centro de Tecnologia – CT/UFSM-MEC. Artigos técnicos e científicos, publicações em revistas especializadas e a constante consulta a instituições via INTERNET tiveram importância relevante nas atividades de pesquisa da bolsista.

### 6.2. Acompanhamento Técnico – Científico de Cientistas Japoneses em Visita ao Observatório Espacial do Sul – OES/RSU/INPE-MCT

Durante o período vigente da bolsa, ocorreram visitas dos pesquisadores japoneses, colaboradores na área de Aeroluminescência ao Observatório Espacial do Sul - OES/URSPE/INPE-MCT:

- ♦ Dr. Kazuo Makita (*National Institute of Polar Research – NPIR*): observações para a aquisição de dados de Aeroluminescência, operando o Fotômetro zenital (FOTSUL) nas linhas do Oxigênio Atômico OI557,7nm e OI630,0nm; as duas

Cameras CCD e a Imageadora descritos na seção 4.6. Instrumentação, nos períodos:

- Agosto de 2002: entre os dias 06 e 14;
  - Fevereiro de 2003: entre 22 e 28;
  - Março de 2003: entre 01 e 08.
- Dr. Hiromasa Yamamoto (*Rikkyo University*): calibração do Fotômetro usado para observação da Aeroluminescência da Molécula de Hidroxila OH(6,2) em 835,0nm, nos dias:
- 10, 11 e 12 de Outubro de 2002;
  - 18, 19 e 20 de Dezembro de 2002.

Ocasões deveras propícias para uma plena interação da aluna com estes pesquisadores, quando adquiriu maior conhecimento nestas áreas de pesquisa.

Ainda foi possível acompanhar o Pesquisador colaborador japonês Dr. M. Nishino, da *Solar Trrestrial Environment Laboratory – Naoya University, Toyokawa*, quando este esteve no Brasil para manutenção do Riômetro Imageador e do Riômetro Simples, e instalação da Antena Detectora de Tempestades (*Lighting Detector*) no Observatório Espacial do Sul – OES/RSU/INPE-MCT, no período de 22 a 28 de Fevereiro de 2003.

Durante as visitas do Dr. Hiromasa Yamamoto (*Rikkyo University*) e do Dr. M. Nishino (*Naoya University*) foi possível à bolsista adquirir conhecimentos sobre outros equipamentos e projetos de pesquisas em linhas de pesquisas que não ligados diretamente ao Projeto em questão.

### **6.3. Cooperação na Manutenção do Laboratório de Óptica e Luminescência Atmosférica – LOLA/OES/RSU/INPE-MCT.**

O Prédio 5 do Observatório Espacial do Sul - OES/RSU/INPE-MCT foi construído no intuito de abrigar o Laboratório de Óptica e Luminescência Atmosférica – LOLA/OES/RSU/INPE-MCT (Figura 6-1). Os Prédios 5 e 6 comportam os equipamentos e experimentos do Observatório Espacial do Sul relativos a Luminescência Atmosférica na região óptica do Espectro Eletromagnético.



Figura 6-1: Prédios 5 e 6 do OES/RSU/INPE-MCT, onde está instalado o Laboratório de Ótica e Luminescência Atmosférica.

Além dos equipamentos em operação (descritos na seção 4.6. **Instrumentação**), planeja-se instalar junto a este Prédio um Espectrômetro de varredura meridional para estudos ionosféricos e mesosféricos (*Mesospheric Imaging Spectrometer - MIS*) ainda no ano 2003. Este espectrômetro encontra-se em fase de calibração na Sede do INPE em São Jose dos Campos/SP.

#### **6.4. Atuação no Grupo de Aeronomia**

A atuação da bolsista se dá na Unidade Regional Sul de Pesquisas, responsável pela implantação do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRSPE/INPE-MCT, onde atua o grupo de Aeronomia, que realiza pesquisas no âmbito geral da dinâmica da Alta Atmosfera, desde Agosto de 2000, com Iniciação Científica e estudos de Aeronomia, Alta Atmosfera e Luminescência Atmosférica. A acadêmica bolsista foi designada para atuar a nível discente como responsável do **PROGRAMA DE AEROLUMINESCÊNCIA DO PROJETO RADIOASTRONOMIA, COOPERAÇÃO BRASIL-JAPÃO, CONVÊNIO: INPE - UFSM**, respondendo pelo Programa, atividades e pelos equipamentos de observações ópticas instalados no Observatório Espacial do Sul, desde Fevereiro de 2001.

#### **6.5. Experimentos Realizados no Laboratório de Ótica e Luminescência Atmosférica – LOLA/CRSPE/INPE para Aquisição de Dados de Luminescência Atmosférica.**

Foram realizados diversos experimentos para aquisição de dados de Aeroluminescência bem como para acompanhamento do funcionamento do fotômetro FOTSUL e demais

sistemas de aquisição de dados instalados no Observatório Espacial do Sul – OES/RSU/INPE-MCT.

Foi necessário o planejamento antecipado dos dias bons, isto é, noites sem lua<sup>3</sup> e em condições climáticas aceitáveis, para que fossem realizadas as observações. Para tal, foram utilizados websites especializados em meteorologia.

Em princípio, tentou-se manter observações periódicas a cada mês em períodos de Lua Nova. No entanto, este objetivo nem sempre foi possível de ser realizado devido ao clima desfavorável.

Durante o período compreendido entre 22 de Fevereiro e 08 de Março de 2003, houve a visita do Pesquisador Japonês, Dr. Kazuo Makita, do *National Institute of Polar Research – NPIR*. Período o qual foi realizado uma campanha de observações para a aquisição de dados de Aeroluminescência. Realizaram-se experimentos de aquisição de dados em períodos em que Dr. K. Makita estava ausente. Os dias em que foram feitas as observações, com o mês, condições climáticas e tempo de observação são apresentados na Tabela 6-1. Ao todo, foram realizadas 21 noites de observação.

*Tabela 6-1: Experimentos Observacionais realizados no Observatório Espacial do Sul – OES/RSU/INPE-MCT para aquisição de dados de Luminescência Atmosférica entre Agosto de 2002 e Maio de 2003.*

<b>DIA/MÊS/ANO</b>	<b>TEMPO DE OBSERVAÇÃO</b>	<b>CLIMA</b>
07/Setembro/2002	10 h e 30 min	Bom
08/Setembro/2002	10 h	Bom
09/Setembro/2002	10 h e 30 min	Bom
10/Setembro/2002	03 h e 30 min	Parcialmente nublado
31/Outubro/2002	07 h	Bom
02/Novembro/2002	07 h e 20 min	Bom
03/Novembro/2002	07 h	Bom
01/Fevereiro/2003	07 H	Bom

<sup>3</sup> Os ângulos lunares aceitáveis para observação são aqueles que excedem 90°, onde a Lua não aparece no horizonte nem em qualquer ponto visível do céu de nosso sítio de observações.

<b>DIA/MÊS/ANO</b>	<b>TEMPO DE OBSERVAÇÃO</b>	<b>CLIMA</b>
02/Fevereiro/2003	06 h e 30 min	Bom
25/Fevereiro/2003	09 h e 15 min	Bom
26/Fevereiro/2003	09 h	Bom
27/Fevereiro/2003	09 h e 30 min	Bom
01/Março/2003	03 h	Parcialmente nublado
02/Março/2003	07 h e 20 min	Parcialmente nublado
03/Março/2003	09 h	Nublado
04/Março/2003	09 h e 30 min	Bom
05/Março/2003	10 h	Bom
01/Maio/2003	08 h	Bom
02/Maio/2003	07 h e 30 min	Parcialmente nublado
03/Maio/2003	09 h e 30 min	Bom
04/Maio/2003	10 h	Nublado

### 6.6. Resumos Submetidos:

Visando o treinamento da acadêmica na elaboração de Resumos/Abstracts e Artigos destinados a eventos de Iniciação Científica, bem como na apresentação de Seminários, foram submetidos e aprovados os trabalhos abaixo listados. Segue anexo (seção 9.1. **Certificados de Resumos/Abstracts apresentados**) cópia dos respectivos certificados, bem como as cópia dos Resumos/Abstracts (seção 9.2. **Cópia dos Resumos/Abstracts submetidos e aprovados**).

1. **Título:** "AIRGLOW DEPLETIONS AND GPS SCINTILLATIONS OVER THE SOUTHERN SPACE OBSERVATORY – SSO (29°S, 53°W, ~20° DIP LATITUDE)".

**Autores:** S. O. Monteiro, F. S. Rodrigues, D. Gobbi, H. Takahashi, E. R. de Paula, K. Makita, N. J. Schuch, M. R. Silva, G. R. Wrasse, J. V. Bageston, M. Landerdahl, D. B. Contreira.

**Evento:** PSMOS 2002 International Symposium on Dynamics and Chemistry of the MLT Region, October 4 - 8, 2002

**Local:** Foz do Iguaçu/PR

**2. Título:** “OBSERVAÇÕES DE IRREGULARIDADES IONOSFÉRICAS ATRAVÉS DA LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA REALIZADAS NO SUL DO BRASIL (29°S, 53°W)”

**Autores:** Sheron de O. Monteiro; Nelson J. Schuch; Delano Gobbi; Hisao Takahashi; José V. Bageston; Gustavo R. Wrasse.

**Evento:** XVII Jornada Acadêmica Integrada, UFSM, 02,03 e 04 de outubro de 2002

**Local:** Campus universitário UFSM – Santa Maria/RS

**3. Título:** “ESTUDO DA ALTA ATMOSFERA ATRAVÉS DA AEROLUMINESCÊNCIA NA REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL”

**Autores:** Sheron de Oliveira Monteiro, Dr. Delano Gobbi, Dr. Hisao Takahashi, Dr. Nelson J. Schuch, Dr. Kazuo Makita, Eng<sup>o</sup> Fabiano Rodrigues.

**Evento:** Seminário de Iniciação Científica do INPE – 2002.

**Local:** Sede do INPE – São José dos Campos/SP

**4. Título:** “OCULTAÇÃO DO SINAL GPS E APLICAÇÃO EM OBSERVAÇÕES ATMOSFÉRICAS”

**Autores:** Sheron de O. Monteiro, José V. Bageston, Gustavo R. Wrasse, Marlos R. da Silva, Nelson J. Schuch, Hisao Takahashi, Delano Gobbi

**Evento:** 17<sup>o</sup> CRICTE – Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica e 3<sup>a</sup> Feira de Protótipos; 23, 24 e 25 de Outubro, 2002.

**Local:** UPF - Passo Fundo/RS

**5. Título:** “PRIMEIRAS OBSERVAÇÕES DE BOLHAS IONOSFÉRICAS REALIZADAS NA REGIÃO SUL DO PAÍS (29°S, 53°W) ATRAVÉS DA AEROLUMINESCÊNCIA”

**Autores:** Sheron de O. Monteiro, José V. Bageston, Gustavo R. Wrasse, Fabiano S. Rodrigues, Nelson J. Schuch, Hisao Takahashi, Delano Gobbi

**Evento:** 17º CRICTE – Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica e 3ª Feira de Protótipos; 23, 24 e 25 de Outubro, 2002.

**Local:** UPF - Passo Fundo/RS

Alguns Abstracts foram submetidos sendo que se aguarda a resposta dos organizadores dos respectivos Congressos a respeito do aceite. São estes:

**1. Título:** “AIRGLOW EMISSION OI630,0NM DEPLETION ASSOCIATED WITH THE IONOSPHERIC PLASMA BUBBLES IN THE SOUTHERN SPACE OBSERVATORY – SSO (29°S, 53°W, -18.4° DIP LATITUDE)”

**Autores:** S. O. Monteiro, F. S. Rodrigues, D. Gobbi, H. Takahashi, E. R. de Paula, K. Makita, N. J. Schuch, M. R. Silva, J. V. Bageston, D. B. Contreira.

**Evento:** 8º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica e 5ª Conferência Latino-americana de Geofísica - *Eighth International Congress of The Brazilian Geophysical Society* – a ser realizado no Rio de Janeiro/RJ, de 14 a 18 de Setembro de 2003.

**2. Título:** “IONOSPHERIC PLASMA BUBBLES OBSERVATION BY AIRGLOW EMISSION OI 6300,0 NM IN THE SOUTHERN SPACE OBSERVATORY – SSO (29°26'24''S, 53°48'38''O, ~200 DIP LATITUDE)”

**Autores:** S. O. Monteiro, F. S. Rodrigues, D. Gobbi, H. Takahashi, K. Makita, N. J. Schuch, E. R. de Paula, M. R. Silva, J. V. Bageston, D. B. Contreira.

**Evento:** VII Conferência Latino-americana de Geofísica Espacial – *Conferencia Latinoamericana de Geofísica Espacial* – COLAGE, a realizar-se de 08 a 12 de Setembro de 2003, em Cusco, Peru.

A acadêmica também participou como colaboradora (co-autora) na elaboração dos seguintes trabalhos:

**1. Título:** “INSTALAÇÃO DO ESPECTRO IMAGEADOR DE VARREDURA MERIDIONAL NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL SUL – OES/RSU/INPE-MCT (29°S, 53°W)”

**Autores:** José Valentin Bageston; Nelson Jorge Schuch; Hisao Takahashi; Delano Gobbi; Fabio Augusto Vargas dos Santos; Sheron de O. Monteiro.

**Evento:** XVII Jornada Acadêmica Integrada, UFSM, 02,03 e 04 de outubro de 2002.

**Local:** Campus universitário UFSM – Santa Maria/RS

**2. Título:** “ESTUDO DA AEROLUMINESCÊNCIA NA REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL USANDO UM ESPECTRO IMAGEADOR DE VARREDURA MERIDIONAL”

**Autores:** José V. Bageston, Sheron de O. Monteiro, Danieli B. Contreira, Marlos R. da Silva, Rafael Krummenauer, Marcos R. Signori, Maiquel Canabarro, Nelson J. Schuch, Delano Gobbi, Hisao Takahashi

**Evento:** 17º CRICTE – Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica e 3ª Feira de Protótipos; 23, 24 e 25 de Outubro, 2002.

**Local:** UPF - Passo Fundo/RS

**3. Título:** “COSMIC RAY MUON OBSERVATION AT SOUTHERN SPACE OBSERVATORY”

**Autoes:** M. R. Silva, D. B. Contreira, S. Monteiro, N. B. Trivedi, M. C. D’Ornellas, K. Munakata, T. Kuwabara, N. J. Schuch.

**Evento:** UN/ESA Workshop on Basic Space Science, 2002

**4. Título:** “IMPORTÂNCIA DOS RAIOS CÓSMICOS NA PREVISÃO DO CLIMA ESPACIAL”

**Autores:** M. R. da Silva, M. Canabarro, D. B. Contreira, S. O. Monteiro, R. Krummenauer, J. V. Bageston, N. J. Schuch e W. D. Gonzalez

**Evento:** 17º CRICTE – Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica e 3ª Feira de Protótipos; 23, 24 e 25 de Outubro, 2002.

**Local:** UPF - Passo Fundo/RS

**5. Título:** “OBSERVAÇÕES DE RAIOS CÓSMICOS NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL – OES (29°S, 53°O)”.

**Autores:** M. R. da Silva, M. Canabarro, D. B. Contreira, S. O. Monteiro, R. Krummenauer, J. V. Bageston, N. J. Schuch e W. D. Gonzalez.

**Evento:** 17º CRICTE – Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica e 3ª Feira de Protótipos; 23, 24 e 25 de Outubro, 2002.

**Local:** UPF - Passo Fundo/RS

**6. Título:** “EFEITO DE EXPLOSÕES SOLARES OBSERVADOS EM SINAL DE RÁDIO COMUNICAÇÃO NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL OES/CRSPE/INPE (29°S, 53°O)”

**Autores:** D. B. Contreira, M. Canabarro, S. O. Monteiro, M. R. da Silva, R. Krummenauer, J. V. Bageston, M. R. Signore, F. Rodrigues, K. Makita, N. J. Schuch, W. D. Gonzalez.

**Evento:** 17º CRICTE – Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica e 3ª Feira de Protótipos; 23, 24 e 25 de Outubro, 2002.

**Local:** UPF - Passo Fundo/RS

**7. Título:** “OBSERVAÇÃO DE PARÂMETROS DO MEIO INTERPLANETÁRIO RESPONSÁVEIS PELA ORIGEM DA TEMPESTADE GEOMAGNÉTICA DE 17 DE ABRIL DE 2002”

**Autores:** D. B. Contreira, M. Canabarro, S. O. Monteiro, M. R. da Silva, R. Krummenauer, J. V. Bageston, M. R. Signore, A. Dal Lago, N. J. Schuch, W. D. Gonzalez.

**Evento:** 17º CRICTE – Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica e 3ª Feira de Protótipos; 23, 24 e 25 de Outubro, 2002.

**Local:** UPF - Passo Fundo/RS

**8. Título:** “ESTUDO DAS CINTILAÇÕES EM SINAIS DE SATÉLITES GPS”

**Autores:** R. Krummenauer, M. R. Signori, M. Canabarro, J. V. Bageston, S. O. Monteiro, D. B. Contreira, M. R. da Silva, F. S. Rodrigues, N. J. Schuch.

**Evento:** 17º CRICTE – Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica e 3ª Feira de Protótipos; 23, 24 e 25 de Outubro, 2002.

**Local:** UPF - Passo Fundo/RS

**9. Título:** “O SOL E A ORIGEM DAS TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS”

**Autores:** D. B. Contreira, N. J. Schuch, M. R. da Silva, S. O. Monteiro, M. Canabarro, W. D. Gonzalez

**Evento:** XVII Jornada Acadêmica Integrada, UFSM, 02,03 e 04 de outubro de 2002.

**Local:** Campus universitário UFSM – Santa Maria/RS

Destaca-se o fato de a acadêmica receber o Prêmio “Trabalho Destaque – 3º lugar” na área de “Engenharia AeroEspacial”, prêmio obtido com o trabalho apresentado: “PRIMEIRAS OBSERVAÇÕES DE BOLHAS IONOSFÉRICAS REALIZADAS NA REGIÃO SUL DO PAÍS (29°S, 53°W) ATRAVÉS DA AEROLUMINESCÊNCIA” no 17º Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia e 3ª Feira de Protótipos – CRICTE 2002.

### **6.7. Visita Técnica às instalações da Sede do INPE em São José dos Campos/SP**

Durante o período compreendido entre 11 e 20 de Fevereiro de 2003, a aluna bolsista realizou uma visita de caráter técnico as instalações da Sede do INPE em São José dos campos. Neste período, pode ter contato com dois importantes projetos desenvolvidos pelo grupo de Luminescência Atmosférica - LUME/DAE/INPE-MCT desta Instituição:

#### **6.7.1. Projeto de Estudos Fotométricos na região Antártica (FOTANTAR):**

Medidas da temperatura rotacional da Mesopausa na Alta Atmosfera da Antártica através das observações de aeroluminescência do espectro de OH.

A bolsista pode participar de uma parcela das atividades de calibração do fotômetro FOTANTAR, adquirindo conhecimentos acerca de seu funcionamento básico e noções gerais sobre óptica e aplicação na construção de fotômetros de aeroluminescência.

#### **6.7.2. Estudo das emissões óticas da atmosfera na Região Sul operando um Espectro-imageador de Varredura Meridional:**

O estudo das emissões óticas pela precipitação das partículas energéticas na Alta Atmosfera na região sul do Brasil usando o espectro-imageador MIS (*Mesospheric Imaging Spectrometer*).

A acadêmica pode participar da calibração e treinamento para a operação do MIS, que deverá ser instalado no Observatório Espacial do Sul – OES/RSU/INPE-MCT, ainda este ano (2003).

Esta visita técnica ao INPE possibilitou ainda um conhecimento concreto dos equipamentos óticos utilizados na pesquisa atmosférica, além da discussão com os pesquisadores e alunos de pós-graduação desta Instituição, desenvolvendo na acadêmica um senso científico de colaboração para o melhor desempenho de suas atividades de bolsista.

## 7. AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao Dr. Nelson J. Schuch, chefe da Unidade Regional Sul de Pesquisas Espaciais e Coordenador da Ação de Implantação do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE-MCT e Observatório Espacial do Sul – OES/RSU/INPE-MCT que, com seu constante incentivo, proporciona aos acadêmicos que atuam no âmbito da parceria INPE-UFSM, da Unidade, um clima favorável ao desenvolvimento da criatividade, induzindo a um constante melhoramento no desempenho de suas funções e produtividades.

Aos Drs. Hisao Takahashi e Delano Gobbi pela orientação e demais pesquisadores, alunos e técnicos do Laboratório de Luminescência Atmosférica - LUME/DAE/INPE-MCT, São José dos Campos/SP pelo apoio no desenvolvimento do Projeto, pois sem esta efetiva orientação e dedicação a execução do Projeto não seria possível.

Aos alunos, professores e funcionários do LACESM/CT/UFSM-MEC e CRSPE/RSU/INPE-MCT, pelo grupo especial de pessoas que formam.

Finalmente, gostaria aqui de expressar meus sinceros agradecimentos ao Programa e Coordenação do PIBIC/CNPq-INPE ao apoio e incentivo no desenvolvimento de minhas atividades como acadêmica bolsista deste importante Programa. Esta ajuda foi e continuará sendo de fundamental importância para que jovens cientistas possam desenvolver suas atividades e, desta maneira, contribuir para o desenvolvimento de nosso País, o qual pretendemos retornar o auxílio dado através de nosso esforço científico.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Makita, K.; *Change of Earth Environment Due to Decreasing Geomagnetic Field The Necessity of Observation in Brazilian Geomagnetic Anomaly Region*; Rev. Takushoku University, 40, 15-24, 1996.
2. Makita, K.; Okano, S.; Yukimatsu, A.; Nishino, M.; Shibasaki, K.; Yamamoto, H.; Kikuchi, T.; Nozaki, K.; Fujitaka, K.; Furukawa, M.; Takahashi, H.; Schuch, N.J.; *Upper Atmosphere Observations in the Brazilian Geomagnetic Anomaly Region*, Bulletin of Science and Engineering, Takushoku University, V. 1, No.2, 1997.
3. Coutinho, E. F.; *Introdução às Partículas Presas e a Anomalia Geomagnética Brasileira*, Ciência e Cultura, 26(4), 329-339, 1974.
4. Kirchoff, V.W.; *Introdução A Geofísica Espacial*, Editora da Universidade de São Paulo, 1991
5. Pinto, O. J.; González, W. D.; *Anomalia Magnética Brasileira*, Ciência Hoje, vol. 9, no 52, 31-35, 1989.
6. Chamberlain, J. W.; *Physics of the Aurora and Airglow*, American Geophysical Union, 1995.
7. Tohmatsu, T.; *Compendium of Aeronomy*, Terra Scientific Publishing Company, Kluwer Academic Publishers, Tokyo, 1990.
8. Wrasse, C. M.; Takahashi, H.; Rettori, G.; *Construção de um Espectro-Fotômetro Para Monitoramento da Temperatura da Mesopausa na Região Polar Antártica*, Sociedade Brasileira de Geofísica – SBGF 100, 2000.
9. Wrasse, C. M.; *Observação da Temperatura Rotacional da Hidroxila Através da Aeroluminescência na região da Mesosfera Terrestre*, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE-8003-TDI/751, 2000
10. Rees, M. H.; *Physics and Chemistry of the Upper Atmosphere*, Cambridge University Press, 1989.
11. Traduzido por: Neto, A. C.; *Manual de Operação do Monitor de Cintilação Scintmon*, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Observatório Espacial de São Luís/Ma - Ministério da Ciência e Tecnologia, 1999.
12. Santos, P. M. T.; *Estudo das derivas zonais das Irregularidades de Plasma Ionosférico na região brasileira*, INPE-8208-TDI/763, São José dos Campos, 2001.

13. Jahn, J. M.; La Belle, J.; J. H. Sobral; Aggson, T.L.; Hanson, W. B.; *Detection of an equatorial spread F bubble by ground-based photometers and the San Marco 5 satellite*, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, vol. 59, No.13, pp. 1601-1609, 1997.
14. Sahai, Y.; P. R. Fagundes; J. A. Bittencourt; *Transequatorial F-region ionospheric plasma bubbles: solar cycle effects*, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, vol. 62, pp. 1377-1383, 2000.
15. Paula, E. R.; Rodrigues, F. S.; Iyer, K. N.; Kantor, I.J.; Abdu, M.A.; Kintner, P. M.; Ledvina, B. M.; Kil, H.; *Equatorial Anomaly Effects over GPS scintillations in Brazil*, submitted to Advances on Space Research, 2002.
16. Background on The GPS/MET Experiment:  
<http://genesis.jpl.nasa.gov/html/missions/GPSMET.html>
17. GPS/MET Preliminary Report:  
<http://www.cosmic.ucar.edu/gpsmet/over/septsumm1.html>
18. GPS/MET Maps an Ever-Changing Atmosphere:  
<http://www.sirs.com/corporate/newsletters/snow/snow597/story.htm>
19. "Atmospheric Structure and Circulation" - Global Learning Resource Network, authoritative educational materials on global change, Iowa State University of Science and Technology.  
[http://www.meteor.iastate.edu/gccourse/atmos/atmos\\_lecture\\_br.html](http://www.meteor.iastate.edu/gccourse/atmos/atmos_lecture_br.html)
20. Kursinski, E. R. and Hajj, G. A.; *A comparison of water vapor derived from GPS occultations and global weather analyses*, Journal of Geophysical Research, vol. 106, No. D1, pp 1113-1138, January 16, 2001.
21. Steiner, A. K. and Kirchengast, G.; *Gravity Wave Spectra from GPS/MET occultation observation*, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, April 2000 - manuscript received 9 September 1998, in final form 7 June 1999.
22. Malla, R. P., et. al.; *Geocenter Location and variations in Earth Orientation using GPS*, submitted to JGR- Solid Earth, 1992.
23. Hardy, K. R. et. al., *Atmospheric Profiles From Active Space-Based Radio Measurements*, Conference on Satellite Meteorology and Oceanography, 5-10 de Janeiro de 1992, Atlanta, GA. Publicado por American Meteorological Society, Boston, Mass.

## **9. ANEXOS**

### **9.1. Certificados dos Resumos/Abstracts apresentados**

# XVII JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA

Ministério da Educação - Universidade Federal de Santa Maria

---

## CERTIFICADO

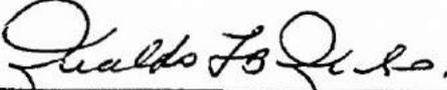


Certificamos que

SHERON DE OLIVEIRA MONTEIRO

Participou da XVII Jornada Acadêmica Integrada, realizada nos dias 02, 03 e 04 de outubro de 2002, como apresentador/autor do trabalho

OBSERVAÇÕES DE IRREGULARIDADES IONOSFÉRICAS  
ATRAVÉS DA LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA  
REALIZADAS NO SUL DO BRASIL (29 S, 53°W)

  
Comissão Executiva  
Outubro de 2002

acenda sua idéia!

2002  
UFSM  
[www.ufsm.br/jornada](http://www.ufsm.br/jornada)



# JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA

Ministério da Educação - Universidade Federal de Santa Maria

---

## CERTIFICADO

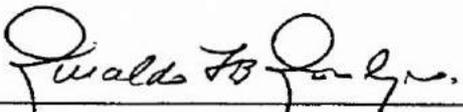


Certificamos que

SHERON DE OLIVEIRA MONTEIRO

Participou da XVII Jornada Acadêmica Integrada, realizada nos dias 02, 03 e 04 de outubro de 2002, como co-autor do trabalho

O SOL E A ORIGEM DAS TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS

  
Comissão Executiva  
Outubro de 2002

acenda sua idéia!

2002  
UFSM  
[www.ufsm.br/jornada](http://www.ufsm.br/jornada)

# XVII JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA

Ministério da Educação - Universidade Federal de Santa Maria

---

## CERTIFICADO

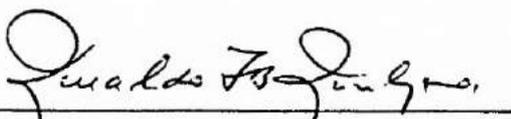


Certificamos que

SHERON DE OLIVEIRA MONTEIRO

Participou da XVII Jornada Acadêmica Integrada, realizada nos dias 02, 03 e 04 de outubro de 2002, como co-autor do trabalho

INSTALAÇÃO DO ESPECTRO IMAGEADOR DE VARREDURA  
MERIDIONAL NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL SUL -  
OES/CRSPE/INPE (29OS, 53OW)

  
Comissão Executiva  
Outubro de 2002

acenda sua idéia!

2002  
**UFSM**  
[www.ufsm.br/jornada](http://www.ufsm.br/jornada)



MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

---

# Planetary Scale Mesopause Observing System

---

This is to certify that SHERON DE OLIVEIRA MONTEIRO participated in the  
**“Third PSMOS International Symposium on Dynamics and Chemistry of the MLT  
Region”**, held in Foz do Iguaçu, Brazil, October 4 - 8, 2002.

Foz do Iguaçu, October 8, 2002

Dr. Hisao Takahashi  
Chairman, Local Organizing Committee

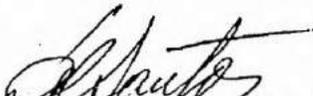
**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO**  
**VICE-REITORIA DE EXTENSÃO E ASSUNTOS COMUNITÁRIOS**  
FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E GEOCIÊNCIAS

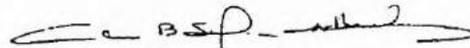
**CERTIFICADO**

Certificamos que **SHERON DE OLIVEIRA MONTEIRO**, registro nº 0435, apresentou o trabalho "OCULTAÇÃO DO SINAL GPS E APLICAÇÃO EM OBSERVAÇÕES ATMOSFÉRICAS" no **XVII CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA E III FEIRA DE PROTÓTIPOS CRICTE 2002**, promovido pela Faculdade de Engenharia e Arquitetura e Instituto de Ciências Exatas e Geociências da Universidade de Passo Fundo, no período de 23 a 25 de outubro de 2002.

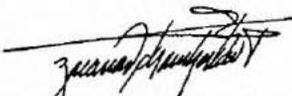
A programação foi aprovada pelo Consun em 5 de abril de 2002, ata nº 273.

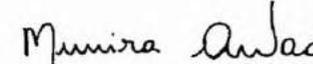
Passo Fundo, 25 de outubro de 2002.

  
Prof. Dermeval Rosa dos Santos  
Diretor da Faculdade de Engenharia e Arquitetura

  
Profa. Cléa Bernadete S. N. Nunes  
Diretora do Instituto de Ciências Exatas e Geociências

  
Prof. Antônio Thomé  
Coordenador do Congresso

  
Prof. Zacarias Chamberlain  
Coordenador do Congresso

  
Munira Awad  
Coordenadora da Divisão de Extensão

**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO**  
**VICE-REITORIA DE EXTENSÃO E ASSUNTOS COMUNITÁRIOS**  
FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E GEOCIÊNCIAS

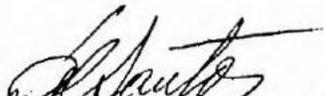
**CERTIFICADO**

Certificamos que **SHERON DE OLIVEIRA MONTEIRO**, registro nº 0434, apresentou o trabalho "**PRIMEIRAS OBSERVAÇÕES DE BOLHAS IONOSFÉRICAS REALIZADAS NA REGIÃO SUL DO PAÍS (29°S, 53°W) ATRAVÉS DA AEROLUMINESCÊNCIA**" no **XVII CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA E III FEIRA DE PROTÓTIPOS CRICTE 2002**, promovido pela Faculdade de Engenharia e Arquitetura e Instituto de Ciências Exatas e Geociências da Universidade de Passo Fundo, no período de 23 a 25 de outubro de 2002.

A programação foi aprovada pelo Consun em 5 de abril de 2002, ata nº 273.

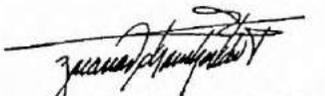
Passo Fundo, 25 de outubro de 2002.

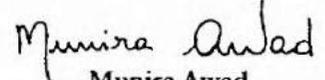


  
Prof. Dermeval Rosa dos Santos  
Diretor da Faculdade de Engenharia e Arquitetura

  
Profa. Cléa Bernadete S. N. Nunes  
Diretora do Instituto de Ciências Exatas e Geociências

  
Prof. Antônio Thomé  
Coordenador do Congresso

  
Prof. Zacarias Chamberlain  
Coordenador do Congresso

  
Munira Awad  
Coordenadora da Divisão de Extensão

**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO**  
**VICE-REITORIA DE EXTENSÃO E ASSUNTOS COMUNITÁRIOS**  
FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E GEOCIÊNCIAS

**CERTIFICADO**

Certificamos que **SHERON DE OLIVEIRA MONTEIRO**, registro nº 0012, recebeu o prêmio "Trabalho Destaque – 3º lugar", na área "Engenharia AeroEspacial", com o trabalho "**PRIMEIRAS OBSERVAÇÕES DE BOLHAS IONOSFÉRICAS REALIZADAS NA REGIÃO SUL DO PAÍS (29° S, 53°W) ATRAVÉS DA AEROLUMINESCÊNCIA**" no **XVII CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA E III FEIRA DE PROTÓTIPOS CRICTE 2002**, promovido pela Faculdade de Engenharia e Arquitetura e Instituto de Ciências Exatas e Geociências da Universidade de Passo Fundo, no período de 23 a 25 de outubro de 2002.

A programação foi aprovada pelo Consun em 5 de abril de 2002, ata nº 273.

Passo Fundo, 25 de outubro de 2002.



Prof. Dermeval Rosa dos Santos  
Diretor da Faculdade de Engenharia e Arquitetura

Profa. Cléa Bernadete S. N. Nunes  
Diretora do Instituto de Ciências Exatas e Geociências

Prof. Antônio Thomé  
Coordenador do Congresso

Prof. Zacarias Chamberlain  
Coordenador do Congresso

Munira Awad  
Coordenadora da Divisão de Extensão

## **9.2. Cópia dos Resumos/Abstracts submetidos e aprovados**

# **OBSERVAÇÕES DE IRREGULARIDADES IONOSFÉRICAS ATRAVÉS DA LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA REALIZADAS NO SUL DO BRASIL (29°S, 53°W)<sup>1</sup>**

Sheron de O. Monteiro<sup>2</sup>; Nelson J. Schuch<sup>3</sup>; Delano Gobbi<sup>4</sup>; Hisao Takahashi<sup>5</sup>; José V. Bageston<sup>6</sup>; Gustavo R. Wrasse<sup>7</sup>.

As Bolhas de Plasma são irregularidades ionosféricas geradas após o pôr-do-sol na Região do Equador Magnético por instabilidade de plasma conhecida como instabilidade de Rayler. Irregularidades ionosféricas de grande escala, (conhecidas como Bolhas de Plasma), ocorrem na região F da Ionosfera sendo caracterizadas por grande depleção no plasma ionosférico. Estas Bolhas de Plasma constituem-se em um dos mais importantes distúrbios da Ionosfera noturna na Região do Equador Magnético e de baixas latitudes (~20dip Latitude). Estudos demonstram que a redução na intensidade da aeroluminescência emitida pelo Oxigênio Atômico (OI 630 nm), é uma das manifestações da presença de bolhas ionosféricas na região de emissão. Utilizando medidas de fotômetro zenital e de um sistema de Câmeras Imageadoras instaladas no Observatório Espacial Sul - OES/CRSPE/INPE-MCT - (29°S, 53°W, ~20° dip latitude) realizaram-se dentro do âmbito do convênio: INPE-UFSM observações do céu noturno, que neste trabalho comparadas com medidas de amplitude de cintilações do sinal GPS (*Global Position System*), observadas em L1 (1.575 GHz). Tais parâmetros indicam a ocorrência de bolhas de plasma sobre a Região Sul do Brasil.

---

<sup>1</sup> Trabalho desenvolvido no LACESM/UFSM/CT e OES/CRSPE/INPE

<sup>2</sup> Apresentadora: aluna do curso de Física da UFSM, bolsista CNPq/INPE - [sheron@lacesm.ufsm.br](mailto:sheron@lacesm.ufsm.br)

<sup>3</sup> Pesquisador-chefe do CRSPE/INPE

<sup>4</sup> Orientador: Pesquisador da DAE/INPE

<sup>5</sup> Pesquisador da DAE/INPE

<sup>6</sup> Aluno do curso de Física da UFSM, bolsista CNPq/INPE

<sup>7</sup> Aluno do curso de Física da UFSM

## OCULTAÇÃO DO SINAL GPS E APLICAÇÃO EM OBSERVAÇÕES ATMOSFÉRICAS

**Sheron de O. Monteiro, José V. Bageston, Gustavo R. Wrasse, Marlos R. da Silva, Nelson J. Schuch, Hisao Takahashi, Delano Gobbi**

Universidade Federal de Santa Maria – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LACESM/CT/UFSM – OES/CRSPE/INPE

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

[sheron@lacesm.ufsm.br](mailto:sheron@lacesm.ufsm.br), [njschuch@lacesm.ufsm.br](mailto:njschuch@lacesm.ufsm.br)

O objetivo do Projeto GPS/MET, *GPS Meteorology*, é o monitoramento da Atmosfera da Terra, i. e., o vapor d'água na Troposfera, a temperatura da Troposfera-Estratosfera e o conteúdo dos elétrons na Ionosfera, usando a tecnologia de ocultação do sinal do satélite GPS (*Ground Positioning System*) pelo satélite LEO (*Low Earth Orbit*). Esta técnica foi desenvolvida pelo JPL - EUA (*Jet Propulsion Laboratory*) nos últimos 10 anos e hoje está sendo utilizado como uma das melhores maneiras de monitorar a Atmosfera, como exemplo, previsão de tempo e clima, monitoramento global da Atmosfera e Clima Espacial. O presente trabalho visa, em primeiro lugar, adquirir conhecimento da técnica de ocultação, e como obter os parâmetros atmosféricos. Além disso, o Projeto prevê o estudo dos princípios físicos do método de cálculo. O satélite Microlab1 do Projeto GPS/MET foi lançado em 1995 e durante 2 anos de operação gerou um banco de dados, com aproximadamente 12.000 perfis de temperatura da Troposfera-Estratosfera (entre 5 a 50 km de altitude) espalhado no Globo inteiro. É esperado que a análise destes dados deva mostrar a variação temporal e espacial da Atmosfera, principalmente os processos dinâmicos que alteram o perfil da temperatura. Este trabalho concentra-se na investigação de variação sazonal da temperatura da Tropopausa e Estratopausa na região Centro-Sul do Brasil.

Entidades Financiadoras CNPq/INPE.

## **PRIMEIRAS OBSERVAÇÕES DE BOLHAS IONOSFÉRICAS REALIZADAS NA REGIÃO SUL DO PAÍS (29°S, 53°W) ATRAVÉS DA AEROLUMINESCÊNCIA**

**Sheron de O. Monteiro, José V. Bageston, Gustavo R. Wrasse, Fabiano S. Rodrigues,  
Nelson J. Schuch, Hisao Takahashi, Delano Gobbi**

Universidade Federal de Santa Maria – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
LACESM/CT/UFSM – OES/CRSPE/INPE

Av. Roraima – Bairro Camobi – Caixa Postal 5021 – 97110-970 – Santa Maria –RS - Brasil  
[sheron@lacesm.ufsm.br](mailto:sheron@lacesm.ufsm.br), [njschuch@lacesm.ufsm.br](mailto:njschuch@lacesm.ufsm.br)

As Bolhas de Plasma são irregularidades ionosféricas geradas após o pôr-do-sol na região do equador magnético por uma instabilidade do plasma. Estas irregularidades ionosféricas de grande escala ocorrem na região F da Ionosfera, sendo caracterizadas por uma grande depleção no plasma ionosférico, constituindo um dos mais importantes distúrbios da Ionosfera noturna na região do equador magnético e de baixas latitudes (~20dip latitude). Estudos demonstram que a redução na intensidade da aeroluminescência emitida pelo Oxigênio Atômico (OI630nm), é uma das manifestações da presença de bolhas ionosféricas na região de emissão. Medidas recentes de fotômetro zenital instalado no Observatório Espacial Sul (29°S, 53°W, ~20° dip latitude), datadas de Fevereiro de 2001, apresentaram parâmetros referentes à ocorrência de bolhas de plasma. Com o intento de comprovar esta incidência, realizou-se uma campanha multi-observacional de 08 à 19 de Março deste ano (2002). Em simultâneo com o monitoramento noturno da aeroluminescência, por meio de fotômetro zenital e câmaras CCD *all-sky*, foram realizadas medidas de amplitude de cintilações do sinal GPS (*Global Position System*), observadas em L1 (1.575 GHz). Os dados referentes a esta campanha apresentaram uma evidente correlação entre a diminuição da emissão de aeroluminescência e a cintilação registrada pelo sistema GPS, sendo que, das doze noites em que se realizaram o monitoramento, seis apresentaram dados que puderam ser analisados. Destas seis noites, em cinco foi possível identificar a ocorrência da depleção do plasma ionosférico, conforme mostram a diminuição da emissão *airglow* – medidas fotométricas - simultânea a medidas de cintilação do sinal GPS. As imagens das câmeras possibilitam a visualização da rarefação do plasma representados por uma região escura na imagem. Em todos os cinco casos estudados, é possível verificar a ocorrência de bolhas de plasma sobre o céu do Observatório Espacial Sul - OES/CRSPE/INPE-MCT.

Entidade Financiadora CNPq/INPE.

## **AIRGLOW DEPLETIONS AND GPS SCINTILLATIONS OVER THE SOUTHERN SPACE OBSERVATORY – SSO (29°S, 53°W, ~20° DIP LATITUDE)**

*S. O. Monteiro, F. S. Rodrigues, D. Gobbi, H. Takahashi, E. R. de Paula, K. Makita, N. J. Schuch, M. R. Silva, G. R. Wrasse, J. V. Bageston, M. Landerdahl, D. B. Contreira.*

Ionospheric plasma irregularities are generated after the sunset at the magnetic equator region by plasma instabilities. After generation at the bottom-side F region, plasma irregularities can grow up to high altitudes and extend along magnetic field lines and reach low magnetic latitude regions. Large-scale plasma irregularities are known as plasma “bubbles”, characterized as large plasma density depletions and they are observed using airglow and ionospheric Total Electron Content (TEC) observation techniques. There are evidences of the coexistence of small, intermediate and large-scale plasma irregularities. Early observations, February of 2001, showed signatures of ionospheric plasma bubbles on the photometer data obtained at Southern Space Observatory – SSO (29°S, 53°W, ~20° dip latitude) located in the Brazilian southern region. In order to assure the occurrence of plasma bubble over SSO, we carried out a campaign of multi-technique observations from March, 08 to 19 – 2002. During the campaign we have performed measurements of the OI 630 nm emission using a zenithal photometer, observations of the airglow emission using an all-sky imaging camera and L Band scintillations using a GPS based scintillation monitor. OI 630 nm photometer data indicated the occurrence of plasma depletions associated to strong GPS L1 scintillations. By using high elevation GPS satellites data we observed the concurrent start time of the plasma depletions and GPS scintillations. The observed scintillations were associated to small irregularities (~400 meters) coexistent with large-scale plasma depletions observed by the photometer. The plasma depletions also were observed by the camera system. The first multi-technique observation results obtained over SSO indicate plasma large depletion associated to strong GPS scintillations, considering that we observed twelve nights and six present data we can analyse. It was possible to identify, in five of these six nights, the ionospheric plasma depletion, according to airglow decreasing – photometer measurements – simultaneous to GPS scintillation measurements. The camera images make possible the plasma depletion visualization, which is represented as a dark region in the images. It's possible to verify the plasma bubble over the SSO sky in all the five observation nights that we will present.

**PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS  
EDITADAS PELO INPE**

**RELATÓRIOS DE PESQUISA**

- Reportam resultados de pesquisa tanto de natureza técnica quanto científica.

**NOTAS TÉCNICO-CIENTÍFICAS**

- Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, software, sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados e atlas, e documentação de projetos de engenharia.

**MANUAIS TÉCNICOS**

- Descrevem normas, procedimentos, instruções e orientações.

**PUBLICAÇÕES DIDÁTICAS**

- Apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

**TESES E DISSERTAÇÕES**

- Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

**PUBLICAÇÕES SERIADAS**

- Periódicos Técnico-científicos: Boletim de Sensoriamento Remoto, Climanálise: Boletim de Monitoramento e Análise Climática.
- Anais de Eventos