

**CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS - CRSPE  
ESTAÇÃO TERRENA DE RASTREIO E CONTROLE DE  
SATÉLITES - ETRCS/CRSPE/INPE  
OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL - OES/CRSPE/INPE**

Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica  
PIBIC/CNPq

**RELATÓRIO FINAL DE ATIVIDADES**

**Processo:  
101576-98-6/PIBIC**

**Título do Projeto:**

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

**Bolsista:  
Fábio Augusto Vargas dos Santos**

**Orientador:  
Hisao Takahashi**

**Co-Orientador:  
Nelson Jorge Schuch**

**Santa Maria, Fevereiro de 2001.**

# ÍNDICE

<b>1 RESUMO</b> .....	<b>3</b>
<b>2 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>4</b>
<b>3 HISTÓRICO, COOPERAÇÕES INTERNACIONAIS E OBJETIVOS</b> .....	<b>5</b>
3.1 O CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO .....	5
3.2 O INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE .....	6
3.3 A IMPLANTAÇÃO DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL - OES/CRSPE/INPE .....	8
3.4 OBJETIVO DA COOPERAÇÃO INTERNACIONAL BRASIL-JAPÃO EM CIÊNCIAS ESPACIAIS BÁSICAS E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS .....	10
3.5 OBJETIVO DO PROJETO " ESTUDO DA ALTA ATMOSFERA ATRAVÉS DA AEROLUMINESCÊNCIA NA REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL " .....	10
<b>4 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO</b> .....	<b>12</b>
4.1 RADIAÇÃO SOLAR E TERRESTRE .....	12
4.1.1 <i>Princípios da Transferência Radioativa</i> .....	12
4.1.2 <i>Conceitos e Definições:</i> .....	13
4.1.3 <i>Absorção e Emissão de Radiação</i> .....	13
4.1.4 <i>Teoria da Radiação De Corpo Negro:</i> .....	14
4.1.5 <i>Características da Radiação de Corpo Negro:</i> .....	15
4.1.6 <i>Radiação Acima da Atmosfera</i> .....	16
4.1.7 <i>O Espectro Solar</i> .....	16
4.2 O CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE .....	17
4.2.1 <i>A Anomalia Magnética do Atlântico Sul</i> .....	18
4.2.2 <i>Variações Geomagnéticas:</i> .....	20
4.2.3 <i>Índices de Atividades Magnéticas:</i> .....	20
4.3 EMISSÕES DE ONDAS NATURAIS LF/ELF/VLF .....	20
4.4 LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA .....	21
4.4.1 <i>Os Imageadores de All Sky</i> .....	24
4.4.2 <i>O Fotômetro</i> .....	28
4.5 ONDAS DE GRAVIDADE NA ATMOSFERA .....	32
<b>5 DESENVOLVIMENTO PRÁTICO</b> .....	<b>33</b>
5.1 ACOMPANHAMENTO TÉCNICO – CIENTÍFICO DE CIENTISTAS JAPONESES EM VISITA AO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL – OES/CRSPE/INPE PARA A INSTALAÇÃO DE EQUIPAMENTOS .....	33
5.2 COOPERAÇÃO NA IMPLEMENTAÇÃO DO LABORATÓRIO DE ÓTICA E LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA - LOLA E NO LABORATÓRIO DE AERONOMIA - LAE. ....	34
5.3 EXPERIMENTOS REALIZADOS NO LABORATÓRIO DE ÓTICA E LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA – LOLA/CRSPE/INPE PARA AQUISIÇÃO DE DADOS DE LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA .....	35
<b>6 RESUMOS SUBMETIDOS:</b> .....	<b>37</b>
<b>7 CONCLUSÕES</b> .....	<b>38</b>
<b>8 AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>39</b>
<b>9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>40</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO [19] .....	12
FIGURA 2 - INTENSIDADE DE RADIAÇÃO DE CORPO NEGRO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO DE ONDA CALCULADAS PARA TEMPERATURAS DE 5000, 6000 E 7000 K [8]. .....	15
FIGURA 3 - ESPECTRO SOLAR OBSERVADO E ESPECTRO DE UM CORPO NEGRO A UMA TEMPERATURA DE 6000 E 5700 K [8].....	17
FIGURA 4 - MODELO IGRF DA INTENSIDADE TOTAL DO CAMPO GEOMAGNÉTICO - 1995.....	18
FIGURA 5 - ESPECTRO DO NIGHTGLOW ENTRE 5000 Å E 8000 Å [11]. .....	22
FIGURA 6 - DIAGRAMA DE ENERGIA NUMA FORMA SIMPLIFICADA PARA AS LINHAS DE EMISSÃO DO OXIGÊNIO ATÔMICO [5]. .....	23
FIGURA 7 - 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 (2º S, 44º W). ( <a href="http://www.laser.inpe.br/lume">HTTP://WWW.LASER.INPE.BR/LUME</a> ).....	24
FIGURA 8 - CÂMARA CCD DE TV DO TV IMAGE OBSERVATION SYSTEM, PARA AQUISIÇÃO DE DADOS DE LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA. ....	25
FIGURA 9 - TV CÂMARA IMAGEADORA JUNTAMENTE COM OS EQUIPAMENTOS QUE COMPÕE O SISTEMA DE OBSERVAÇÃO DO OES/CRSPE/INPE. ....	27
FIGURA 10 - A FIGURA APRESENTA O TIPO DE IMAGEM DE TODO O CÉU QUE É MONITORADA EM LABORATÓRIO, VINDO DO IMAGEADOR CCD DE ALTA DEFINIÇÃO INSTALADO NO OES/CRSPE/INPE.....	28
FIGURA 11 - SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS DA TV CÂMARA IMAGEADORA INSTALADO NO OES/CRSPE/INPE.....	28
FIGURA 12 - SISTEMA DO FOTÔMETRO INSTALADO NO OES/CRSPE/INPE.....	29
FIGURA 13 - PRÉDIO 5 DO OES/CRSPE/INPE, ONDE ESTÁ SENDO IMPLEMENTADO O LABORATÓRIO DE ÓTICA E LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA.....	34





## 1 Resumo

Através deste relatório relata-se as atividades desenvolvidas pelo bolsista *Fábio Augusto Vargas dos Santos*, acadêmico do curso de Física - Bacharelado da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, durante o período de *Setembro de 2000 à Fevereiro de 2001*, no Projeto "*Estudo da Alta Atmosfera através da Aeroluminescência na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul*".

As atividades foram desenvolvidas junto ao Observatório Espacial do Sul - CRSPE/INPE e ao Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - CT/UFSM - INPE.

No período de vigência da bolsa, o acadêmico procurou alcançar os resultados esperados, descritos no Projeto submetido ao PIBIC-INPE, procurando desenvolver todas as atividades básicas ao seu desenvolvimento intelectual e humano.

No decorrer deste período, as principais atividades desenvolvidas se concentraram no Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM onde existe o grupo de Aeronomia, que realiza pesquisas no âmbito geral da dinâmica da Alta Atmosfera, onde o bolsista responde a nível discente como responsável pelo "Programa de Aeroluminescência do Projeto Radioastronomia, Cooperação Brasil - Japão, Convênio: INPE - UFSM".





## 2 Introdução

Este relatório submetido à apreciação do PIBIC/INPE - CNPq, além de servir como um relatório descritivo de atividades, poderá se tornar uma referência para os alunos do OES e LACESM e os próprios alunos do Laboratório de Aeronomia - LAE.

O acadêmico segue a filosofia de trabalho do LACESM para a iniciação científica, que está sendo realizadas nas áreas de Aeronomia, Geofísica Espacial, Física Teórica, Radioastronomia, Eletrônica, dentre outras. Esta alta interação do aluno com as diversas áreas de pesquisa proporciona uma ampla visão e participação nas atividades dos diversos ramos da Ciência e Tecnologia desenvolvendo sua capacidade de raciocínio, criatividade, autoconfiança e profissionalismo.

O incentivo do Responsável pela implantação do CRSPE/INPE, juntamente com o Orientador é importantíssimo, buscando incentivar a criatividade e participação do acadêmico em toda e qualquer atividade relativa ao fenômeno da Aeroluminescência, fazendo com que o bolsista se inteire completamente do que está acontecendo em relação ao Projeto e às demais atividades que sejam desenvolvidas no OES/CRSPE/INPE.

De acordo com os objetivos iniciais do Projeto, tem-se como prioridades aumentar o conhecimento; introduzir o acadêmico ao método científico de pesquisa; desenvolver e implementar novas tecnologias de monitoramento e estudo da Alta Atmosfera através da Aeroluminescência, bem como desenvolver a capacidade de confecção de relatórios técnicos e de trabalhos científicos.





### **3 Histórico, Cooperações Internacionais e Objetivos**

#### **3.1 O Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico**

O Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq foi criado pela Lei nº 1310, de janeiro de 1951. Como Autarquia vinculada ao Ministério da Ciência e Tecnologia constituiu-se numa das principais Agências Governamentais de Fomento, reconhecida nacionalmente por sua decisiva contribuição para a capacitação técnica e científica do País. Ao longo de sua existência, sofreu diversas transformações institucionais, destacando-se:

1974: transformação de Autarquia em Fundação - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, vinculado à SEPLAN/PR - Secretaria de Planejamento da Presidência da República;

1985: transferência de vinculação da SEPLAN para o Ministério da Ciência e Tecnologia, posteriormente transformado em Secretaria da Ciência e Tecnologia e novamente em Ministério da Ciência e Tecnologia no final de 1992.

O CNPq, Fundação dotada de personalidade jurídica de direito privado, tem suas atividades regidas pela Lei 6.129, de 06.11.74 e por seus estatutos aprovados pelo Decreto nº 92.641, alterado pelo nº 96.930 e Portaria nº 288 do MCT de 12.05.86, 04.10.88 e 02.12.88, respectivamente. Em mais de quarenta anos de existência, o CNPq acumulou experiência na promoção das atividades relacionadas com o desenvolvimento da base científica e tecnológica do País. Para o cumprimento de sua missão, o CNPq realiza três atividades básicas: fomento, execução de pesquisa e informação e difusão de ciência e tecnologia [Página do CNPq na Internet: <http://www.cnpq.br/>].

Em 1999, o então Ministro da Ciência e Tecnologia Bresser Pereira, promoveu uma ampla reestruturação organizacional do CNPq.





No segundo semestre de 1999, o novo Ministro da Ciência e Tecnologia, Ronaldo Sodenbergue, manteve algumas modificações implantadas pelo ex-ministro, mas promoveu uma maior adequação da estrutura do MCT de acordo com a realidade e necessidade brasileira.

### **3.2 O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE**

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais foi criado no dia 03 de agosto de 1961 como o Grupo de Organização da Comissão Nacional de Atividades Espaciais (GOCNAE), subordinado ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). As primeiras metas deste grupo, subordinado diretamente à Presidência da República, visavam dotar o País de infra-estrutura capaz de realizar trabalhos relativos à utilização do espaço, constituir um núcleo de técnicos e pesquisadores especializados na área e promover cooperação com outros países.

Com esta visão, os Cursos de pós-graduação do INPE foram instituídos gradativamente a partir de 1968, com a finalidade de formar recursos humanos altamente qualificados nas áreas de atuação do Instituto, e em razão da inexistência ou insuficiência de instituições geradoras de conhecimento nessas áreas no País.

Em 1971, o GOCNAE foi renomeado para Instituto de Pesquisa Espacial. A Comissão Brasileira de Atividades Espaciais (COBAE) também foi formada neste ano, com o objetivo de dirigir os objetivos do Programa Espacial Brasileiro.

Com a criação do Ministério da Ciência e Tecnologia o INPE passou, em agosto de 1985, a ser um órgão diretamente vinculado a esse Ministério, dada a importância dos programas científicos e tecnológicos que vem desenvolvendo no Brasil e em cooperação com outros países.

Em outubro de 1990 o INPE incorporou o "Nacional" ao seu nome, passando a denominar-se Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Situado em São José dos Campos, onde já existe o Centro Técnico Aeroespacial (CTA) e o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), ambos do Ministério da Aeronáutica, o INPE conta atualmente com aproximadamente 1.250 funcionários (Março de 1997). Além do centro principal de suas atividades em São José dos Campos, o INPE tem unidades de pesquisa e





desenvolvimento nos seguintes locais: Cachoeira Paulista (SP), Atibaia (SP), Cuiabá (MT), Natal (RN), Alcântara (MA) e Fortaleza (CE), além do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRSPE, o qual encontra-se em fase de implantação em Santa Maria e São Martinho da Serra (RS).

Suas principais atividades são: a utilização de satélites meteorológicos, de comunicação e de observação da Terra, além de pesquisa em Ciência e Tecnologia Espacial. Nos últimos anos, o INPE tem estabelecido programas de intercâmbio com alguns países como Argentina, China e Rússia. Ao mesmo tempo, a relação do INPE com associações de países mais tradicionais como Canadá, Estados Unidos, Japão e países europeus como a França, Alemanha, Inglaterra e Itália tem crescido.

O INPE também mantém Projetos e acordos com várias instituições brasileiras, tornando possível o crescimento de aplicações de Tecnologia Espacial para os problemas nacionais.

Hoje o INPE desenvolve importantes atividades no interesse do país e do mundo, tais como o monitoramento da Floresta Amazônica e o desenvolvimento de satélites artificiais próprios ou em parceria com outros países como o Projeto CBERS, um desenvolvimento conjunto com a República Popular da China.

Em 9 de fevereiro de 1993, o INPE pôs em órbita o SCD-1, o primeiro satélite artificial brasileiro desenhado e construído pelo INPE [Página do INPE na Internet: [www.inpe.br/](http://www.inpe.br/)].

Em outubro de 1998 o INPE pôs em órbita o SCD2. Ambos os satélites operam em perfeitas condições. Em 1999, foi efetuado o lançamento de três satélites: SACI – I, SACI – II e o CIBERS – I. Ambos os satélites SACI – I e II tiveram problemas no lançamento e foram considerados perdidos. Entretanto, o CIBERS – I está em órbita e produzindo imagens de ótima qualidade.





### 3.3 A Implantação do Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) tem interesse em dar continuidade, estimular, e desenvolver trabalhos conjuntos de cooperação técnico-científica em áreas de comum acordo. O INPE vem colaborando de forma ininterrupta e sistemática com a UFSM promovendo e apoiando o desenvolvimento das Ciências Espaciais e Atmosféricas no Rio Grande do Sul, principalmente na grande região de Santa Maria, desde outubro de 1985, quando assegurou sua participação no Projeto RA - "Radioastronomia - Desenvolvimento e Instalação de Instrumental Radioastronômico", aprovado pela FINEP/PADCT (Projeto 092/85).

As atividades e as áreas de desenvolvimento de pesquisas conjuntas em Ciências Espaciais e Tecnológicas entre o INPE e a UFSM foram originalmente definidas via Convênio, formalmente assinado em Santa Maria em 11/04/1988, com a participação do Diretor do INPE e do Ministro de Estado da ciência e Tecnologia. O reitor da UFSM, via Portaria 21.432/88 de 06/05/1988, designou Nelson Jorge Schuch, para exercer a coordenação técnica e administrativa do Convênio UFSM-INPE.

Em 13 de agosto de 1996 foi renovado o antigo convênio e celebrado um novo texto de Convênio entre o INPE/MCT e a Universidade Federal de Santa Maria/UFSM, Registro Definitivo INPE N° 01.01.098.0/96, com o objetivo de estabelecer e regulamentar um Programa de Cooperação Técnico - Científica entre as partes, visando a realização de pesquisas, ensino, intercâmbio de informações Técnico - Científicas, desenvolvimento e prestação de serviços cooperativos integrados em áreas de interesse comum, em especial aqueles ligados às áreas de Radioastronomia, Interferometria, Síntese de Abertura com a Rotação da Terra, Sistema RA, e pesquisas no campo das Ciências Espaciais e Atmosféricas.

**Objetivando a estratégica descentralização do desenvolvimento de pesquisas espaciais no Brasil**, em 13 de dezembro de 1996 foi celebrado um instrumento público de cessão de uso entre os participantes, INPE/MCT e a UFSM, Registro Definitivo INPE No 01.14.159.0/96, para os fins de somar esforços no sentido de o INPE/MCT *instalar e fazer funcionar*





**no Sul do País um Complexo de Pesquisas Espaciais**, consolidando a vigente Política Nacional de Desenvolvimento de Atividades Espaciais - **PNDAE**, promovendo *no Programa de Satélites a cobertura permanente e completa de visão do Continente da América do Sul, a totalidade do Território Nacional Brasileiro simultaneamente com os territórios dos países do Cone Sul, com abrangência circunvizinha continental oceânica do Pacífico, do Atlântico e do Caribe.*

Por força desse instrumento a UFSM cedeu, **via escritura pública**, na parte nobre de seu campus, **uma área de 1,2 hectares ao INPE/MCT**, visando colaborar para a futura instalação e funcionamento do Complexo Espacial supra mencionado, tendo as partes signatárias se comprometido a, através da conjunção de esforços, buscar viabilizar a implementação e execução do **Projeto do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRSPE/INPE - MCT**, incluindo Sub - Projeto da **Estação Terrena de Rastreo e Controle de Satélites - ETRCS/CRSPE/INPE - MCT**, em Santa Maria - RS, e o Sub - Projeto do **Observatório Espacial do Sul OES/CRSPE/INPE - MCT**, em São Martinho da Serra - RS.

O Programa de Escolha de Sítio para determinar a região para a sede do OES/CRSPE/INPE - MCT foi extensivo, envolvendo estudos técnicos e científicos de escolha de sítios, nas regiões Centro - Oeste e Sul do Brasil, no Rio Grande do Sul e finalmente na grande região de Santa Maria, atendendo à metodologia de consideração dos fatores antropogênicos, logísticos, macro - micro clima & meteorológicos e do nível de rádio - interferência natural e artificial. Como resultado deste trabalho, foi escolhida uma área na região do Rincão dos Negrinhos, no antigo distrito de Santa Maria, hoje município de São Martinho da Serra - RS.

O Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRSPE/INPE - IVICT foi concebido, portanto, considerando a importância de promover a estratégica descentralização, também para o Sul do País, da pesquisa, da formação de recursos humanos especializados, do desenvolvimento tecnológico e dos serviços relacionados às Ciências Espaciais, Ciências Atmosféricas, Clima & Meteorologia e Sensoriamento Remoto, às Tecnologias e suas engenharias associadas.





### **3.4 Objetivo da Cooperação Internacional Brasil-Japão em Ciências Espaciais Básicas e Ciências Atmosféricas**

A Cooperação Científica Internacional Brasil-Japão em Ciências Espaciais Básicas e Ciências Atmosféricas tem como principal objetivo pesquisar os fenômenos físico-químicos que ocorrem na grande região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul, com coordenação técnico-científica do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM - CT/UFSM e do INPE, no Brasil, e com a coordenação técnico-científica do National Institute of Polar Research - NIPR de Tóquio com a colaboração das seguintes instituições: Takushoku University (Physics Division, Faculty of Engineering), Kyushu University (Dept. of Earth and Planetary Sciences), Nagoya University (Solar Terrestrial Environment Laboratory), Rikkyo University (Dept. of Physics), Kokugaku-in University, Communication Research Laboratory, National Institute of Radiological Sciences (Space and Particle Radiation Science Research Group), no Japão.

### **3.5 Objetivo do Projeto " Estudo da Alta Atmosfera através da Aeroluminescência na Região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul "**

Devido a menor intensidade do campo geomagnético na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS), os cinturões de radiação que circundam a Terra são pressionados em direção a sua superfície. Este fato causa uma grande precipitação de raios cósmicos e partículas do vento solar na região, ocasionando perturbações no campo geomagnético e na ionosfera. Tendo em vista que a Aeroluminescência (*Airglow*) é uma radiação relativamente constante com *background* característico que esta associada ao fluxo de partículas na alta Atmosfera, variações espaciais e/ou temporais podem servir de indicação da ocorrência de incidência de partículas carregadas. Com o objetivo de estudar os processos de Aeroluminescência ocasionados pela precipitação de partículas carregadas, na região da AMAS, através do monitoramento e detecção das variações espectrais da radiação de *Airglow*, em algumas linhas de emissão, tais como





as linhas OI 5577 e OI 6300, o Laboratório de Aeronomia do Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - UFSM mantém Programa de Monitoramento, operando detetores óticos, sendo eles dois fotômetros e 3 Imageadores Óticos de Alta Resolução *All Sky*. O objetivo principal do Programa é detectar variações espaciais e temporais da radiação de *Airglow* - Aeroluminescência - excitadas por colisões devido a precipitação de partículas na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS), permitindo o estudo e determinação de diversos parâmetros da Alta Atmosfera, bem como sua dinâmica, no sul do país e a sua correlação com parâmetros obtidos em outras latitudes.



## 4 Desenvolvimento Teórico

Este tópico visa resumir uma parte do conhecimento teórico desenvolvido pelo bolsista no que diz respeito ao seu Projeto de estudos e pesquisas na área de Aeronomia, mais especificamente no campo de Luminescência Atmosférica, bem como nas outras áreas de atuação do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM, tais como Geofísica Espacial, Geomagnetismo e Monitoramento de Ruído Ionosférico.

### 4.1 Radiação Solar e Terrestre

#### 4.1.1 Princípios da Transferência Radioativa

O mais importante dos processos responsáveis pela transferência de energia na Atmosfera terrestre é a radiação eletromagnética que viaja em forma de onda pelo vácuo a uma velocidade de 299.792.458 m/s e através do ar a uma velocidade próxima desta. O espectro eletromagnético é constituído por todos os comprimentos de onda possíveis e várias partes deste espectro tem nomes específicos, que são listados na Figura 1, juntamente com seus limites aproximados:

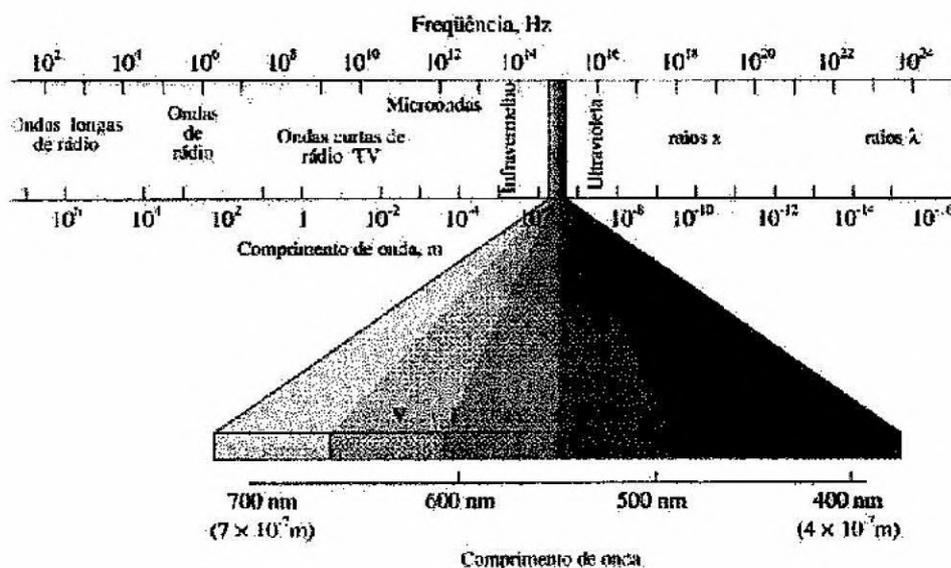


Figura 1 - O Espectro Eletromagnético [19].



#### 4.1.2 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 denominado de *fluxo radiante* e o fluxo radiante por unidade de área é chamado de *densidade de fluxo radiante*. Este último conceito é representado matematicamente por:

$$F = \frac{d^2E}{dAdt} \quad (\text{Equação 1})$$

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*, ou melhor:

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

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

#### 4.1.3 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 chamado de *absorção monocromática* ( $a_\lambda$ ) e é usualmente uma função do comprimento de onda. Um corpo que absorção igual a unidade para todos os comprimentos de onda é chamado de *corpo negro*. Um corpo negro perfeito não existe na natureza, mas pode ser aproximado





precisamente 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* ( $\tau_\lambda$ ). Podemos relacionar as três taxas apresentadas anteriormente por:

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

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.

#### 4.1.4 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:

$$u = h\nu \quad (\text{Equação 4})$$

onde a constante de proporcionalidade  $h$  vale  $6,625 \times 10^{-27}$  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 freqüência, que pode ser escrito na forma:

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





Esta lei foi experimentalmente verificada e tem alto grau de precisão.

#### 4.1.5 Características da Radiação de Corpo Negro:

Se a intensidade de radiação é expresso em termos do comprimento de onda, então a equação anterior torna-se:

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

Podemos notar que esta equação 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 a seguir mostra melhor este conceito.

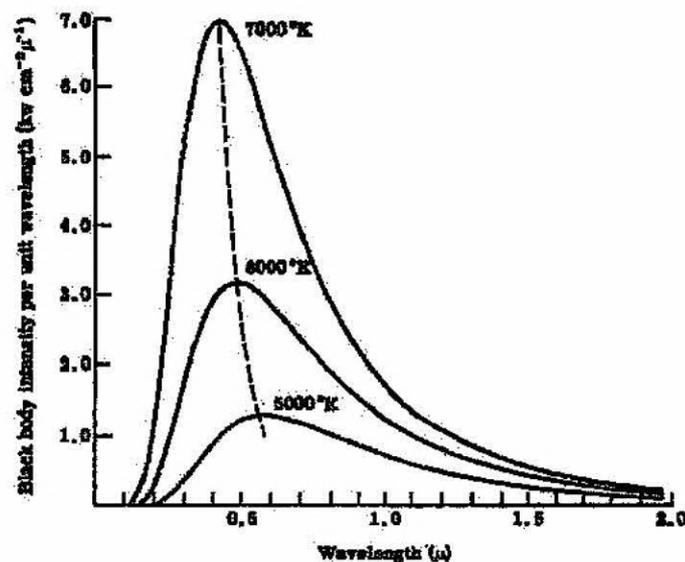


Figura 2 - Intensidade de radiação de Corpo Negro por unidade de comprimento de onda calculadas para temperaturas de 5000, 6000 e 7000 K [8].

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

$$I^* \equiv bT^4 \quad (\text{Equação 7})$$





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

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

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

O comprimento de onda do máximo de intensidade da radiação de corpo negro pode ser encontrada 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:

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

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

#### 4.1.6 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  $1,42 \times 10^6 \text{ Km}$  e temperatura superficial de cerca de  $6 \times 10^3 \text{ K}$ . Acredita-se que a fonte de energia solar seja a fusão nuclear. A energia liberada desta reação é então transportada por radiação e por convecção para a superfície, e é então 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.

#### 4.1.7 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.

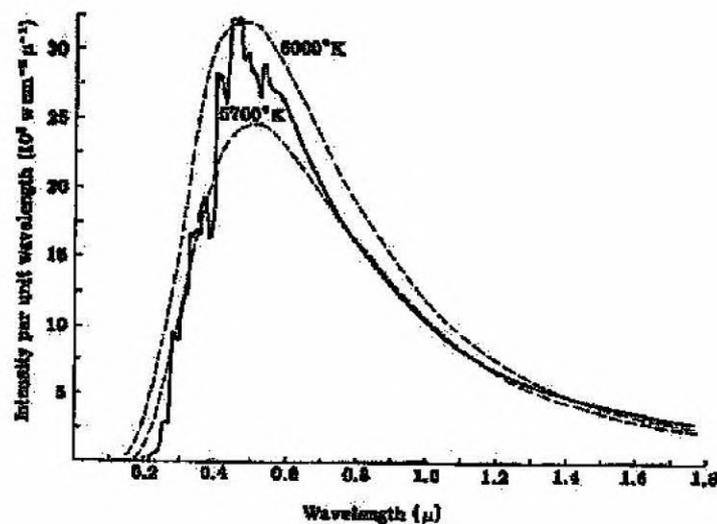


Figura 3 - Espectro solar observado e espectro de um corpo negro a uma temperatura de 6000 e 5700 K [8].

## 4.2 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 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, chamado de 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 as 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 4 mostra as linhas de contorno para a intensidade total do campo geomagnético segundo o modelo IGRF - *International Geomagnetic Field Reference* - para 1995. Os valores estão em unidades de Gauss. 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.

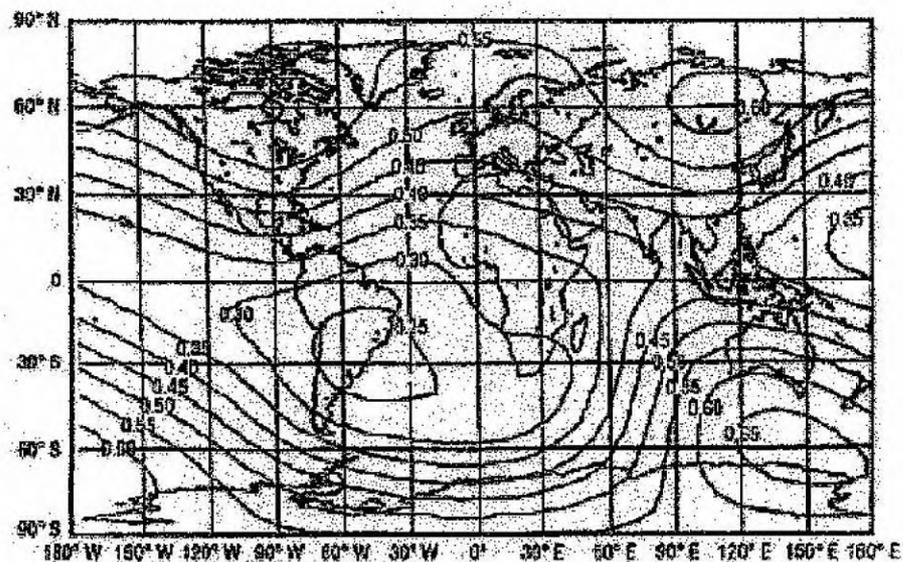


Figura 4 - Modelo IGRF da Intensidade Total do Campo Geomagnético - 1995

(<http://julius.ngdc.noaa.gov>)

#### 4.2.1 A Anomalia Magnética do Atlântico Sul





Devido a assimetria do campo geomagnético, algumas anomalias na intensidade total são encontradas, dentre as quais a Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS, a qual é caracterizada pela baixa intensidade do Campo Geomagnético, resultando uma grande depressão na Magnetosfera terrestre, que se estende sobre o território brasileiro, do estado de São Paulo ao sul do Rio Grande do Sul. Como consequência da AMAS 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 e ocasionando perturbações no campo geomagnético e na Ionosfera, além de radiointerferência.

A depleção do campo geomagnético na região da AMAS e a consequente 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 irá desaparecer 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 desaparecer dentro de 400 anos. Sabe-se que os pólos magnéticos da Terra freqüentemente sofreram reversões 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 consequências imprevisíveis sobre a Atmosfera terrestre e também a 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 consequência de Efeitos Secundários do Buraco de Ozônio Antártico.





### **4.2.2 Variações Geomagnéticas:**

Basicamente há dois tipos de variações magnéticas: as que ocorrem a períodos magneticamente calmos e as variações mais intensas associadas a 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.

### **4.2.3 Índices de Atividades Magnéticas:**

A fim de definir rapidamente o estado de atividade do campo magnético terrestre, foram criados vários índices, baseados nas variações medidas pelos magnetômetros. Em cada estação, 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 deveria ser uniformemente distribuída, o que na realidade não ocorre, havendo muito mais observatórios no hemisfério norte.

### **4.3 Emissões de Ondas Naturais LF/ELF/VLF**

Ondas VLF (3-30 kHz) propagam-se a grandes distâncias na guia de onda limitada pela superfície terrestre e a região D da ionosfera. A altura desta guia é de cerca de 70 km para o Sol a pino e cerca de 85 km a noite. A





propagação é normalmente caracterizada por grande estabilidade tanto em amplitude e fase particularmente durante o dia e exibe baixa atenuação possibilitando então boa recepção a grandes distâncias até dimensões comparáveis ao tamanho da Terra [6,23,41].

Na Troposfera terrestre, a atividade de relâmpagos de tempestades fornece a fonte dominante de excitação de ondas eletromagnéticas no intervalo de frequências de 1Hz - 1 kHz (o qual é aproximadamente o espectro ELF - frequências extremamente baixas). A taxa de ocorrência de relâmpagos é maior sobre massas de terra tropicais; portanto a excitação ELF por relâmpagos não é uniformemente distribuída sobre o Globo. A condutividade elétrica da crosta e oceanos da Terra de um lado e a da região ionosférica D por outro são cerca de 10 ordens de magnitude superiores a condutividade da Atmosfera no meio. Então a cavidade entre a superfície da Terra e a Ionosfera pode ser considerada como uma guia de onda global para ondas ELF.

#### 4.4 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. Estas emissões se devem ao fato de que a atmosfera superior é uma fonte permanente de emissão de fótons que são liberados por átomos ou moléculas excitadas acima de seu nível normal de energia. 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 a 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, energizando os constituintes atmosféricos por colisões, ficando claro a correlação do fenômeno da Aurora com a atividade magnética.







O fluxo de elétrons precipitantes na região da Anomalia Brasileira é menor que o de partículas aurorais por 2 ordens de magnitude. Espera-se que a intensidade de emissão ótica nesta região seja mais fraca que a luminosidade auroral por duas ordens de magnitude. Isto sugere que os detectores óticos terão dificuldade para observar os fenômenos que ocorrem na região central da Anomalia Magnética Brasileira. Entretanto, durante fortes eventos de explosões solares o fluxo de partículas do cinturão de radiação que circunda a Terra (o Cinturão de Van Allen) é incrementado por 100 vezes ou 2 ordens de magnitude comparado ao período quieto, o que nos leva a crer se estas partículas se precipitam a baixa altitude e como consequência induzem fenômenos óticos que poderão ser detectados na forma de emissões pelos sensores instalados no Observatório Espacial do Sul.

O estudo de Luminescência Atmosférica cobre questões de distribuição geofísica de constituintes, a intensidade de várias linhas e a determinação precisa dos seus comprimentos de onda, e particularmente, a identificação da transição eletrônica responsável por cada linha. Um aplicação recente importante é observar o desvio Doppler de uma linha conhecida para assim encontrar a velocidade da espécie emissora e consequentemente medir os ventos termosféricos.

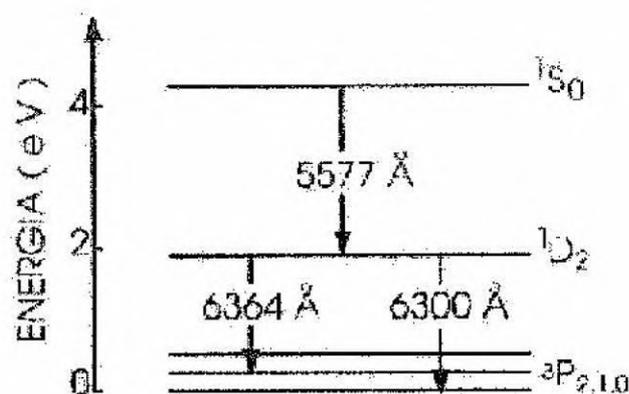


Figura 6 - Diagrama de energia numa forma simplificada para as linhas de emissão do oxigênio atômico [5].

Algumas linhas de emissão de *Airglow* mais importantes são as linhas do oxigênio atômico em 5577 Å (verde) e em 6300 Å (vermelho), com



diagrama de energia simplificado mostrado na Figura 6, a linha do sódio em 5893 Å e as bandas de emissão espectral do radical OH. As taxas de emissão em função da altura de algumas linhas e bandas de emissão estão indicadas na Figura 7. O pico de emissão do oxigênio atômico em 5577 Å 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.

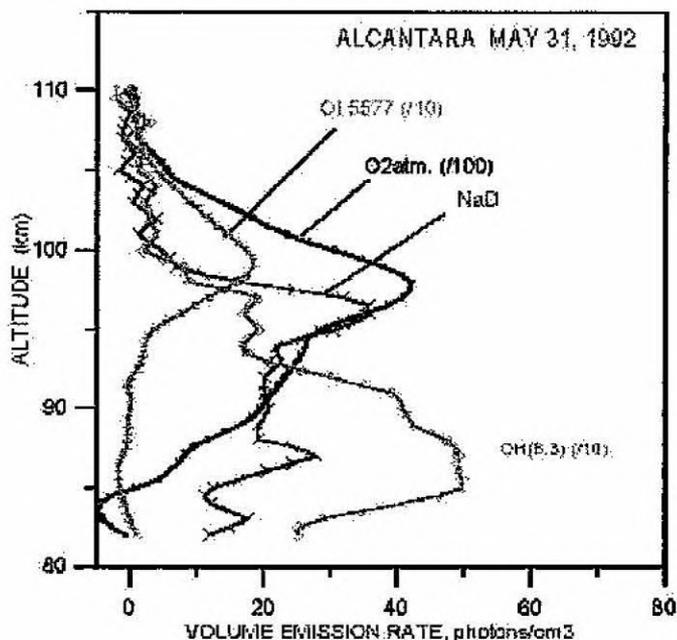


Figura 7 - Taxas de emissão em função de altura de algumas linhas e bandas de emissão de *Airglow*, coletadas por instrumentos de medidas a bordo de foguetes lançados na base de Alcântara (2° S, 44° W). (<http://www.laser.inpe.br/lume>)

Para se fazer medidas e monitoramento de luminescência Atmosférica utilizam-se várias técnicas, no qual duas delas serão descritas a seguir pois foram implementadas no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE, junto ao Laboratório de Ótica e Luminescência Atmosférica - LOLA/OES/CRSPE/INPE, no qual são operados equipamentos provenientes da Cooperação Brasil-Japão. As técnicas a serem descritas tratam-se do monitoramento atmosférico pela operação de um imageador para todo o céu de alta sensibilidade e da Fotometria, pela operação de um detector ótico chamado fotômetro, respectivamente.

#### 4.4.1 Os Imageadores de All Sky



O *TV Image Observation System*, constituído pela Câmara de TV Imageadora e outros dispositivos de controle, instalado junto ao Observatório Espacial do Sul tem como objetivo observar a variação espacial da radiação de *Airglow* de OI 6300, OI 5577,  $N_2^+$  3914. Este sistema foi utilizado pelo *National Institute of Polar Research* em observações aurorais na Groenlândia anteriormente. A sensibilidade desta Câmara de TV é de cerca de 500 R de luminosidade<sup>1</sup>.

A parte ótica do sistema consiste de uma lente *fisheye* para todo o céu, um visor noturno mais uma lente *relay (night-viewer intensifier)* e de uma Câmara CCD de TV (Figura 8). No topo da estrutura onde estes dispositivos estão montados, uma janela semi-esférica de acrílico incolor 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 8 - Câmara CCD de TV do *TV Image Observation System*, para aquisição de dados de Luminescência Atmosférica.

Este sistema está instalado no Prédio 5 do Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE, onde foi implementado o Laboratório de Ótica e Luminescência Atmosférica - LOLA, que possui as condições adequadas para os experimentos de Aeroluminescência no Sul do País.

---

<sup>1</sup> 1 R = 1 Rayleigh = 106 fótons/cm<sup>2</sup> coluna ar





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. Como não há interferência luminosa da cidade próxima ao Observatório, São Martinha da Serra, as condições de observação óptica do sítio estão sendo testadas. 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 tomar. Esta representa o norte magnético. A Figura 9 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 constar 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.

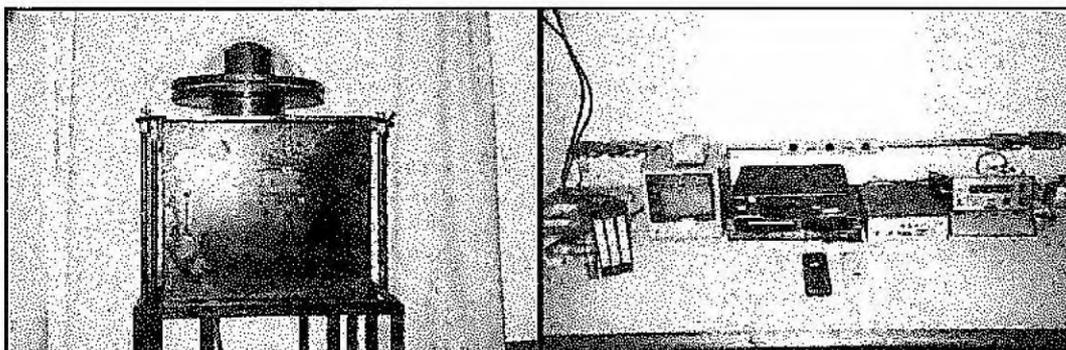


Figura 9 - TV Câmara Imageadora juntamente com os equipamentos que compõe o sistema de observação do OES/CRSPE/INPE.

Como técnica, é ligado 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 monitorar 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 desembaçá-la.

As fitas de vídeo tem 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 pelo LACESM e que encontra-se instalado no Observatório Espacial do Sul.

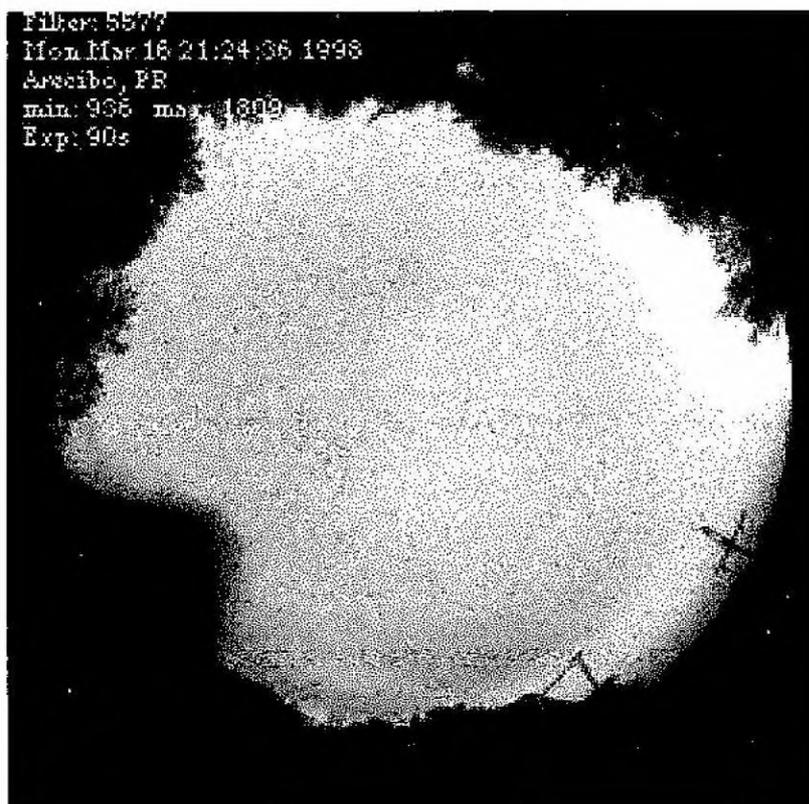


Figura 10 - A figura apresenta o tipo de imagem de todo o céu que é monitorada em laboratório, vindo do imageador CCD de alta definição instalado no OES/CRSPE/INPE.

A Figura 11 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.

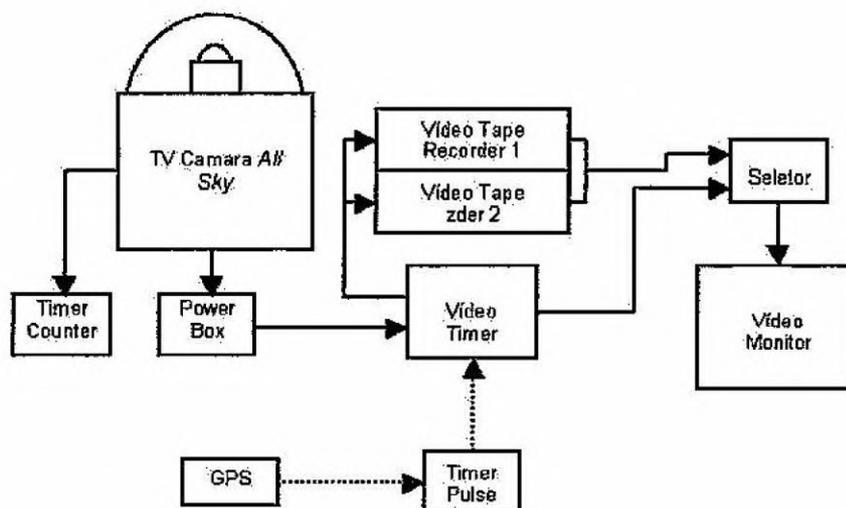


Figura 11 - Sistema de Aquisição de Dados da TV Câmara Imageadora instalado no OES/CRSPE/INPE

#### 4.4.2 O Fotômetro

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 5577 e 6300 provenientes do Oxigênio Ionizado, foi instalado um Fotômetro no Observatório Espacial do Sul – OESCRSPE/INPE. A técnica da fotometria é tradicionalmente empregada no estudo de luminescência atmosférica.

O fotômetro consiste em um sistema de filtros de interferência ótica (que é, na verdade, um 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 amplificação de sinal. Juntamente com estes dispositivos, 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 um amplificador de alta voltagem, necessário ao funcionamento da fotomultiplicadora e um registrador gráfico, para que sejam gravados as variações do sinal gerado pelo fotômetro, possibilitando posterior consulta e comparação com dados coletados de outros dias e épocas do ano. Na Figura 12 tem-se na esquerda o detetor 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. O Sistema é operado somente na de ausência de fontes de luz artificiais e em noites sem lua (ou de lua nova) devido ao fato de que a fotomultiplicadora trabalha em alta tensão, ou seja, uma fonte luminosa muito intensa faria com que a fotomultiplicadora gerasse uma corrente elétrica muito intensa, o que acarretaria na perda do circuito.

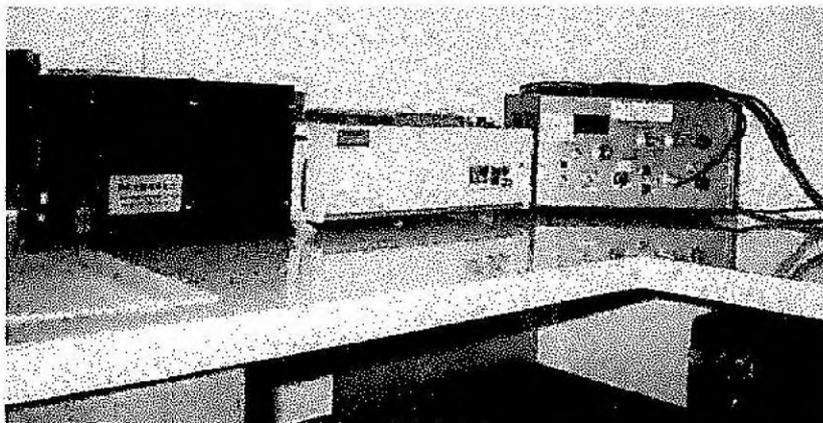


Figura 12 - Sistema do fotômetro instalado no OES/CRSPE/INPE

Quando o fotômetro foi instalado no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, era composto por dois filtros para registro de dois comprimentos de onda diferentes:  $5577 \text{ \AA}$  e  $6300 \text{ \AA}$  provenientes das transições eletrônicas do Oxigênio Ionizado. As duas lentes estavam fixas em um único suporte, dotado da capacidade de rodar, ou seja, girar em torno do seu próprio eixo. 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  $5577 \text{ \AA}$ . Se a





chave for ligada, posição ON, o filtro vai girar registrando os dois comprimentos de onda, num período de 2 segundos em cada.

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 ponto mais alto do céu.

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 750 V) 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 então 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 e a seguir, deve-se 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. Muito importante também é verificar se o gerador de pulso está ajustado ao horário universal. Isto é feito através do *Global System Position (GPS)*.

No registrador gráfico pode-se também selecionar velocidade de impressão e o intervalo entre um registro e outro. A partir deste momento então, verificados todos os procedimentos anteriores, já se pode começar as medições. Gráficamente, o registrador gráfico apresenta uma oscilação





caracterizada por uma curva de forma poligonal, representando exatamente ambos os picos de comprimento de onda ( $5577 \text{ \AA}$  e  $6300 \text{ \AA}$ ). Os períodos preferenciais para observações coincidem com períodos de grande atividade solar, pois durante este período, a emissão de radiação eletromagnética nos comprimentos de onda de interesse, produzida por moléculas excitadas por colisões com partículas carregadas energeticamente ou fótons de alta energia na alta Atmosfera cresce de maneira evidente.





#### 4.5 Ondas de Gravidade na Atmosfera

Do ponto de vista da dinâmica atmosférica, considera-se a atmosfera, entre a superfície e o topo da termosfera (aproximadamente 400 km), como um enorme guia de onda no qual ondas de vários períodos podem ser excitadas. As **Ondas de Gravidade Atmosféricas**, cujos períodos são, tipicamente, da ordem de minutos a horas, fazem parte do espectro da dinâmica de pequena escala. Estas ondas são caracterizadas como o resultado de perturbações da atmosfera estável em que a gravidade e o empuxo atuam como forças restauradoras. O impacto que as ondas de gravidade representam em uma escala global é o de influenciar de modo significativo o balanço energético da alta atmosfera (desvios do equilíbrio radiativo).

A densidade atmosférica decresce exponencialmente com a altitude; assim sendo, as ondas de gravidade ao propagarem-se em regime ascendente crescem em amplitude, devido a conservação de energia. Quando estas ondas alcançam as altitudes das camadas de emissão de Aeroluminescência, elas têm amplitudes suficientes para provocarem alterações detectáveis nas intensidades associadas às emissões. Enquanto que as mudanças na densidade dos constituintes é uma parte da causa referentes às mudanças na intensidade, mudanças na temperatura também afetarão os coeficientes de reação nos processos fotoquímicos que originam as camadas, e, assim, a intensidade da luz radiada também será alterada. Em suma, medindo-se as mudanças nas intensidades das emissões de Aeroluminescência, estaremos aptos a avaliar os efeitos da passagem de uma onda de gravidade sobre a camada, e também de estudar as características de propagação intrínsecas ao evento.





## 5 Desenvolvimento Prático

Nesta etapa do Relatório são descritas as atividades práticas desenvolvidas pelo bolsista. Deve-se salientar que algumas das atividades desenvolvidas não estão diretamente envolvidas com o Projeto em si, mas que foram de grande importância no desenvolvimento técnico-científico do aluno. As principais atividades foram a redução de dados, a aprendizagem a respeito da instrumentação utilizada no estudo da Luminescência Atmosférica, no desenvolvimento de softwares de aquisição e redução de dados, bem como no entendimento da interação Software/Hardware para controle de dispositivos detetores. Alguns dos instrumentos estudados foram descritos anteriormente neste Relatório.

Uma outra importante atividade realizada foi o estudo e a pesquisa de caráter científico no acervo bibliográfico disponível no Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM/CT/UFSM, onde a maior parte das atividades do aluno se concentram, além da consulta ao acervo à Biblioteca Central da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM e da Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Naturais e Exatas - CCNE/UFSM. Artigos técnicos e científicos, publicações em revistas especializadas e a constante consulta a instituições via INTERNET também fizeram parte das atividades de pesquisa do bolsista.

### **5.1 Acompanhamento Técnico – Científico de Cientistas Japoneses em Visita ao Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE para a Instalação de Equipamentos**

Durante o final semestre de 2000, ocorreram visitas de vários pesquisadores japoneses ao Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE, ligados à Cooperação Internacional Brasil-Japão em Ciências Espaciais Básicas. Em duas oportunidades, o Dr. Kazuo Makita, do *National Institute of Polar Research (NIPR)* veio realizar campanhas de observação para a aquisição de dados de Aeroluminescência, operando os sistemas detetores por ele instalados no Laboratório de Ótica e Aeroluminescência - LOLA/OES/CRSPE/INPE.



## **5.2 Cooperação na Implementação do Laboratório de Ótica e Luminescência Atmosférica - LOLA e no Laboratório de Aeronomia - LAE.**

Foi construído no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE o Prédio 5, com o objetivo de abrigar o Laboratório de Ótica e Luminescência Atmosférica – LOLA, Figura 13. Este Prédio recentemente concluído porta os equipamentos e experimentos do OES relativos a Luminescência Atmosférica e Astronomia Ótica. No caso, além do equipamento já em operação, planeja-se instalar junto a este Prédio mais três fotômetros e um telescópio ótico de pequeno porte, visando a formação de recursos humanos, dentro da Cooperação Internacional Brasil-Japão.



Figura 13 - Prédio 5 do OES/CRSPE/INPE, onde está sendo implementado o Laboratório de Ótica e Luminescência atmosférica.

A atuação do bolsista se dá no Laboratório de Aeronomia - LAE/LACESM/CT/UFSM, desde 1997, na área de Iniciação Científica em estudos de Aeronomia, Alta Atmosfera e Luminescência Atmosférica. O acadêmico bolsista foi designado o responsável para atuar a nível discente, do PROGRAMA DE AEROLUMINESCÊNCIA DO PROJETO RADIOASTRONOMIA, COOPERAÇÃO BRASIL-JAPÃO, CONVÊNIO: INPE - UFSM, respondendo por alguns equipamentos instalados no OES,



responsabilidade esta que foi designada pelo Coordenador do Projeto RA/IPS, Dr. Nelson J. Schuch e pelo então Diretor do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM, o Professor Francisco Amaral Wendt.

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

No decorrer do ano, foram realizados diversos experimentos para aquisição de dados de Aeroluminescência bem como para acompanhamento do funcionamento do fotômetro FOTSUL e dos outros sistemas de aquisição de dados instalados no Observatório Espacial do Sul.

Foi necessário planejamento antecipado dos dias bons (ou melhor, noites sem lua e em condições climáticas aceitáveis) para observações. Isto foi obtido com a ajuda de um programa de computador desenvolvido para calcular durante todos os dias de um dado ano ou mês os ângulos lunares em relação ao zenite, ou seja, o ponto em que uma reta extendendo-se do céu até o solo é perpendicular a este. Neste ponto do céu, por definição, temos um ângulo lunar de zero graus. Os ângulos lunares aceitáveis para observação são aqueles que excedem  $90^\circ$ , onde a Lua não aparece no horizonte nem em qualquer ponto visível do céu de nosso sítio de observações.

A *priori*, 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 mês de Agosto e Dezembro de 2000, houve a visita do Pesquisador Japonês, Dr. Professor Kazuo Makita, do National Institute of Polar Research – NPIR. Neste período foi realizada uma campanha de observações para a aquisição de dados de Aeroluminescência. Tivemos a oportunidade de realizar experimentos de aquisição de dados em períodos em que Dr. Makita estava ausente. Os dias em que foram feitas as observações, com o mês, condições climáticas e tempo de observação são apresentados na Tabela 1, abaixo. Ao todo, foram realizadas 18 noites de observação.





Tabela 1 – Experimentos Observacionais Realizados no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE para aquisição de dados de Luminescência Atmosférica em 2000.

<b>Mês/Ano</b>	<b>Dia</b>	<b>Tempo de Observação</b>	<b>Clima</b>
<i>Agosto 2000</i>	<i>26</i>	<i>8 h</i>	<i>Bom</i>
<i>Agosto 2000</i>	<i>27</i>	<i>6 h</i>	<i>Bom</i>
<i>Agosto 2000</i>	<i>28</i>	<i>9 h</i>	<i>Bom</i>
<i>Agosto 2000</i>	<i>29</i>	<i>8 h</i>	<i>Bom</i>
<i>Agosto 2000</i>	<i>30</i>	<i>3 h</i>	<i>Ruin</i>
<i>Agosto 2000</i>	<i>31</i>	<i>8h</i>	<i>Bom</i>
<i>Setembro 2000</i>	<i>1</i>	<i>8 h</i>	<i>Bom</i>
<i>Setembro 2000</i>	<i>2</i>	<i>9 h</i>	<i>Bom</i>
<i>Setembro 2000</i>	<i>3</i>	<i>9 h</i>	<i>Bom</i>
<i>Setembro 2000</i>	<i>4</i>	<i>9 h</i>	<i>Bom</i>
<i>Setembro 2000</i>	<i>6</i>	<i>7 h</i>	<i>Regular</i>
<i>Setembro 2000</i>	<i>28</i>	<i>8 h</i>	<i>Bom</i>
<i>Setembro 2000</i>	<i>29</i>	<i>8 h</i>	<i>Bom</i>
<i>Dezembro 2000</i>	<i>20</i>	<i>7 h</i>	<i>Bom</i>
<i>Dezembro 2000</i>	<i>22</i>	<i>7 h</i>	<i>Bom</i>
<i>Dezembro 2000</i>	<i>23</i>	<i>3 h</i>	<i>Ruin</i>
<i>Dezembro 2000</i>	<i>24</i>	<i>7 h</i>	<i>Bom</i>
<i>Dezembro 2000</i>	<i>25</i>	<i>7 h</i>	<i>Bom</i>
<i>Dezembro 2000</i>	<i>26</i>	<i>7 h</i>	<i>Bom</i>





## **6 Resumos Submetidos:**

Visando o treinamento do acadêmico na elaboração de Resumos destinados a Eventos de Iniciação Científica, bem como na apresentação de Seminários, submeteu-se trabalhos a Instituições que promovem este tipo de evento. As cópias dos certificados estão anexos a este Relatório. Os Eventos de Iniciação Científica e Títulos dos Resumos apresentados são listados a seguir:

### **VI Seminário de Iniciação Científica do INPE**

- Ondas de Gravidade Atmosféricas.

### **XV Jornada Acadêmica Integrada**

- Estudos de Ondas de Gravidade na Atmosfera Através da Aeroluminescência.





## 7 Conclusões

Concluimos que as atividades de Iniciação Científica realizadas no Laboratório de Ciências Espaciais e Santa Maria - LACESM/CT/UFSM, em conjunto com o Laboratório de Luminescência Atmosférica - LUME/DAE/INPE e Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE deram ao acadêmico a oportunidade de aplicar alguns dos conhecimentos adquiridos ao longo do Curso de Graduação em Física da UFSM, o qual faz parte, bem como o aprimoramento dos mesmos e a aquisição de novos conhecimentos, na área específica da Luminescência Atmosférica, bem como nas áreas de Geofísica Espacial e Geomagnetismo, dentre outras.

Houve a necessidade do bolsista complementar seus conhecimentos com estudos em disciplinas não cursadas no decorrer do Curso de Graduação e que não fazem parte do currículo escolar do aluno mas que são de grande importância no desenvolvimento científico de um acadêmico, das quais se destacam: Fundamentos de Astronomia e Geofísica, Eletrônica Geral, Eletrônica Digital, Linguagens de Programação: C, C++, Sistemas Operacionais (UNIX, LINUX), 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 do LACESM. Importante foi o desenvolvimento da habilidade do bolsista na Língua Inglesa, através da leitura de livros e artigos escritos neste idioma.

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, Física, Química, Ciências da Computação), e consiste num campo vasto de pesquisa e desenvolvimento de novas técnicas. O contato com cientistas de nível internacional também foi de grande valia do decorrer das atividades.





## 8 Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao Dr. Nelson J. Schuch, Coordenador do grupo do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM/CT/UFSM e Responsável pela implantação do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRSPE, que esta sempre ajudando e incentivando o acadêmico no melhor desempenho de suas funções bem como na implementação do Laboratório de Ótica e Luminescência Atmosférica - LOLA junto ao Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE, onde novas tecnologias e novos equipamentos estão sendo implantados para o estudo da Alta Atmosfera.

Ao Dr. Hisao Takahashi e aos demais pesquisadores, alunos e técnicos do Laboratório de Luminescência Atmosférica - LUME/INPE, em São José dos Campos – SP, pelo apoio do desenvolvimento deste Projeto. Sem ajuda destas pessoas não seria possível sua conclusão.

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

Finalmente, gostaria aqui de expressar meus sinceros agradecimentos ao CNPq/Pibic devido ao apoio e incentivo no desenvolvimento de minhas atividades como acadêmico bolsista deste órgão durante toda minha graduação. Saliento aqui que esta ajuda foi e continuará sendo de fundamental importância para que jovens cientistas possam continuar desenvolvendo suas atividades e contribuindo no desenvolvimento de nosso País, o qual pretendemos retornar o auxílio dado através de nosso esforço científico.





## 9 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. Sobral, J. H. A.; *Experimentos de uma colaboração científica entre a NASA e o INPE sob a coordenação da Agência Espacial Brasileira, executado no Campo de Lançamento de Alcântara/MAer no período de agosto-outubro de 1994. Resultados científicos da Campanha Guará, de estudos da alta atmosfera e ionosfera; São Paulo; 1997.*
4. Coutinho, E. F.; *Introdução às Partículas Presas e a Anomalia Geomagnética Brasileira, Ciência e Cultura, 26(4), 329-339, 1974.*
5. Kirchoff, V.W.; *Introdução A Geofísica Espacial, Editora da Universidade de São Paulo, 1991*
6. Pinto, O. J.; González, W. D.; *Anomalia Magnética Brasileira, Ciência Hoje, vol. 9, no 52, 31-35, 1989.*
7. Schuch, N.J.; Adaime, S. F.; Oliveira, N. U. V.; Bortolotto, E.; Sarkis, P. J.; Pinheiro, D. K.; Lüdke, E.; Wendt, F. A.; Trivedi, N. B.; Costa, J. M.; Kirchhoff, V. W. J. H.; Dutra, S. L. G.; Sobral, J .H. A.; Abdu, M. A.; Takahashi, H.; *Observatório Espacial do Sul - Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais/INPE, Revista Brasileira de Geofísica; Vol 15(1), 65-70, 1997.*
8. Fleagle, R. G.; Businger, J. A.; *An Introduction to Atmospheric Physics , Academic Press Inc, 1965.*
9. Chamberlain, J. W.; *Physics of the Aurora and Airglow, American Geophysical Union, 1995.*
10. Kivelson, M. G.; Russell, C. T.; *Introduction to Space Physics, Cambridge University Press, 1995.*





11. Rees, M. H.; *Physics and Chemistry of the Upper Atmosphere*, Cambridge University Press, 1989.
12. Hargreaves, J. K.; *The solar-terrestrial environment*, Cambridge University Press, 1992.
13. Melo, Stella M. L.; Gobbi, D.; Takahashi, H.; Teixeira, N. R, Lobo, R.; *O Fotômetro MULTI2 - Experiência de Calibração*, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE-5526-NTC/310, 1993.
14. Meriwether Jr., J. W.; *A Review of the Photochemistry of Selected Nightglow Emissions From the Mesopause*, Journal of Geophysical Research, vol 94, Nº 12, Pages 14,629-14,646, October 20, 1989.
15. Boyd, R. W.; *Radiometry and the Detection of Optical Radiation*, John Wiley & Sons, Inc; 1993.
16. Schildt, H.; *C Completo e Total*, McGraw-Hill, Ltda. e Makron Books do Brasil Editora Ltda.; 1991.
17. Maciel, W. J.; *Astronomia e Astrofísica - Curso de Extensão Universitária*, Impresso no Setor Gráfico do IAG/USP, 1991.
18. *LabTalk Manual Version 5*, Microcal Origin, Inc; 1997.
19. Russel, J. B.; *Química Geral*, McGraw-Hill, Ltda. e Makron Books do Brasil Editora Ltda.

