



Revista Brasileira de Geofísica  
Print ISSN 0102-261X

Rev. Bras. Geof. vol.15 no.1 São Paulo Mar. 1997



**ANÁLISES/RELATÓRIOS**  
**ANALYSES/REPORTS**

## **O Observatório Espacial do Sul**

**CENTRO REGIONAL DO SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS -  
OES/CRSPE/INPE,  
EM SÃO MARTINHO DA SERRA - RS.**

**Nelson Jorge Schuch<sup>1</sup>,  
Silsomar F. Adaime, Norberto U. V. Oliveira, Elias Bortolotto, Paulo J.  
Sarkis, Damaris K. Pinheiro, Everton Lüdke, Francisco A. Wendt<sup>2</sup>  
Nalin B. Trivedi, José M. da Costa, Volker W. J. H. Kirchhoff, Severino L.  
G. Dutra, José H. A. Sobral, Mangalathayil A. Abdu, Hisao Takahashi<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAS - CRSPE/INPE,  
UFSM/CT - LACESM, Cidade Universitária ,  
CEP 97119 -900 - Santa Maria - RS.

<sup>2</sup> LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS ESPACIAIS DE SANTA MARIA, Centro  
de Tecnologia, Cidade Universitária ,  
CEP 97119 -900 - Santa Maria - RS.

<sup>3</sup> INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, Coordenadoria de  
Ciências Espaciais e Atmosféricas,  
Av. dos Astronautas, 1758 - CEP 12.227-010 - São José dos Campos - SP.

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 sistematicamente 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 Radioastrônômico", aprovado pela FINEP/PADCT (Projeto 092/85).

As atividades e as áreas de desenvolvimento de pesquisas conjuntas em Ciências Espaciais e de tecnologias, 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 13/08/1996, foi renovado o antigo convênio com um novo termo de Convênio entre o MCT/INPE e a UFSM (documento INPE/RD/AJR 01.01.098.0/96), onde é ressaltado na Cláusula Primeira - Do Objeto, Item 1.2, "... às áreas de radioastronomia, interferometria, síntese de abertura com a rotação da Terra (Sistema RA), e pesquisas no campo das ciências espaciais e atmosféricas...". O convênio foi assinado pelo Ministro de Estado da Ciência e Tecnologia, pelo Diretor do INPE e pelo Reitor da UFSM, sendo posteriormente ratificado pelo Conselho Universitário da UFSM. O Diretor do INPE, via Designação DE/DIR-908, de 18/10/1996, designou Nelson Jorge Schuch como Coordenador, por parte do INPE, para constituir a Coordenação Técnica e Administrativa do Convênio MCT/INPE - UFSM.

Há interesse do INPE e da UFSM em 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, considerado o disposto no PNDAE 1996-2005.

O INPE tem interesse em 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, as totalidades do território nacional brasileiro simultaneamente com a dos países do Cone Sul, com abrangência circunvizinha continental oceânica do Pacífico, do Atlântico e do Caribe.*

### **O CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS - CRSPE/INPE EM SANTA MARIA.**

Em 13/12/1996, foi assinado pelo Ministro de Estado da Ciência e Tecnologia, pelo Diretor do INPE e pelo Reitor da UFSM o Instrumento Público de Cessão de Uso e Doação, por 50 anos, de 1,2 hectare de área no "campus" da UFSM, entre o INPE e UFSM com a interveniência do Ministério da Ciência e

Tecnologia, para a execução do Projeto de Implantação do CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS - CRSPE/INPE, incluindo o subprojeto da ESTAÇÃO TERRENA DE RASTREIO E CONTROLE DE SATÉLITES - ETRCS/INPE, em Santa Maria, e o subprojeto do OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL - OES/INPE em São Martinho da Serra - RS.. O Diretor do INPE, via Resolução Projeto de Implantação do CRSPE, RE/DIR-391, de 18/10/1996, designou Nelson Jorge Schuch, como Responsável pelo Projeto de implantação do CRSPE/INPE no Sul do País.

O Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRSPE/INPE, em Santa Maria, RS, visa o atendimento dos seguintes objetivos:

1. Dar suporte logístico técnico-científico ao desenvolvimento de programas, projetos e atividades do Instituto Orealizados nas regiões Sul do Brasil e Cone-Sul da América;
2. Apoiar os lançamentos e monitoramentos de foguetes e balões, no trânsito dos mesmos, na calibração das cargas úteis e no processamento dos dados;
3. Efetuar manutenção do banco de dados obtidos pela Estação Terrena de Rastreo e Controle de Satélites - ETRCS/INPE e pelo Observatório Espacial do Sul - OES/INPE;
4. Prestar apoio a usuários localizados nas regiões Sul do Brasil e Cone-Sul da América na obtenção de dados produzidos pelo Instituto;
5. Desenvolver equipamentos, para suporte dos laboratórios, para uso de missões do Instituto e para coleta de dados convencionais ou via satélite;
6. Realizar a administração das atividades, dos recursos humanos e dos recursos financeiros movimentados pelo CRSPE/INPE, ETRCS/INPE e OES/INPE, bem como as de suprimento de materiais, bens patrimoniais e as de orçamento e finanças.

### **O OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL DO CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS - OES/CRSPE/INPE EM SÃO MARTINHO DA SERRA - RS.**

A Sub-Unidade do CRSPE/INPE, o **OBSERVA-TÓRIO ESPACIAL DO SUL, em São Martinho da Serra - RS** tem coordenadas geográficas:

Latitude: 29° 26' 24" Sul,  
Longitude: 53° 48' 38" Oeste,  
Altitude elipsoidal: 488 metros <sup>1</sup>,

e tem coordenadas geomagnéticas:

Latitude: 19° 13' 48" Sul,  
Longitude: 16° 30' Leste <sup>2</sup>,  
Inclinação ou "dip": 32°,989 Sul

Intensidade de Campo Total: 22.989 nT <sup>3</sup>.

O Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE dado à sua localização estratégica do ponto de vista técnico-científico, com o objetivo de dar suporte logístico para os programas de desenvolvimento científico e tecnológico desenvolvidos pelo Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, do INPE, e do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria, da UFSM, no Sul do Brasil, tem como atribuições:

1. Executar e desenvolver as atividades e projetos de pesquisa técnico e científica em Astronomia, nas áreas de astrofísica e radioastronomia;
2. Executar e desenvolver as atividades e projetos de pesquisa técnico e científica em Geofísica Espacial, nas áreas de geomagnetismo, magnetosfera e heliosfera, eletricidade atmosférica, física e química da média e baixa atmosfera;
3. Executar e desenvolver as atividades e projetos de pesquisa técnico e científica em Aeronomia, nas áreas da físico-química e da física da alta atmosfera e da ionosfera;
4. Coletar dados, arquivando-os e mantendo-os em banco de dados formatados de acordo com padrões internacionais;
5. Desenvolver e fortalecer atividades de cooperação científica com pesquisadores e instituições de pesquisas nacionais e estrangeiras.

O INPE possui atribuições e interesse científico de realizar estudos nas áreas de Aeronomia e de Geofísica Espacial, incluindo estudos da ionosfera, termosfera, mesosfera e estratosfera, e geomagnéticos na região da Anomalia Magnética Brasileira ou Anomalia Magnética do Atlântico Sul. O INPE também possui interesse: em participar da construção e da utilização do Radiointerferômetro do Projeto Radioastronomia; em instalar no Sul do Brasil outros telescópios; fomentar o desenvolvimento da Astronomia/Astrofísica, da radioastronomia, do estudo das cintilações interplanetárias e do clima interplanetário no Sul do País no Observatório Espacial do Sul.

O programa de escolha de sítio para determinar a região escolhida para a sede do Observatório foi extensivo, envolvendo estudo técnico e científico 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 (8 anos de atividades concomitantes) e atendendo a metodologia da consideração dos fatores: *antropogênicos, logísticos, macro e microclima, meteorológicos e do nível da rádio interferência natural e artificial*, pré-requisitos básicos e necessários na pesquisa de escolha e instalação de um *sítio, observatório, para observações rádio astronômica. Como resultado deste trabalho* foi escolhida uma área na região do **Rincão dos Negrinhos**, no município de **São Martinho da Serra**, distrito emancipado do município de Santa Maria, em 1992.

A Prefeitura e Câmara Municipal São Martinho da Serra, através da Lei Municipal n° 232/97, de 09/06/1997 e do Decreto Executivo n° 452/97, de 01/06/1997, desapropriou no Município a área escolhida pelo programa de

escolha de sítio para o Observatório. Uma gleba de área de 12 (doze) hectares que destinam-se única e exclusivamente à construção e instalação do Observatório Espacial do Sul pelo INPE. Esta área é adequada para a construção dos prédios necessários para a implementação do Observatório e permite uma otimização com um melhor aproveitamento na distribuição física, no terreno, de sensores, de equipamentos e das antenas pertencentes aos respectivos telescópios. A localização geográfica e topografia do Observatório é estratégica, devendo ser ressaltado que não se tem conhecimento da existência de nenhum outro Observatório Espacial do gênero, no Hemisfério Sul, na latitude do Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE, o que torna inédita, original e de primeira mão, a natureza dos dados coletados por seus instrumentos.

Os sensores e equipamentos, como também as antenas dos rádiotelescópios instalados e ou a serem instalados na área do Observatório Espacial do Sul, são de natureza passiva e não são ou serão poluidores, não produzindo impacto destrutivo ao meio ambiente .

A localização do Observatório Espacial do Sul, em fase de instalação no Centro Oeste do Estado do Rio Grande do Sul, na grande região de Santa Maria, São Martinho da Serra e do Itaára, incluindo seus municípios adjacentes, constitui-se em uma região antropogênica e logisticamente estratégica sob o ponto de vista técnico e científico para os estudos do espaço. Esta região localizada em latitudes geomagnéticas aproximadamente, *dip de @ 32°*, quase idêntica à de Cachoeira Paulista no Estado de São Paulo, onde o INPE possui um Centro de pesquisa e de observação espacial, permite desenvolver estudos inéditos das derivas zonais das irregularidades ionosféricas, dos ventos na formação do fenômeno *spread-F*, incluindo as bolhas ionosféricas e um estudo dinâmico multidisciplinar da Anomalia Magnética do Atlântico Sul. O mesmo se aplica aos estudos da anomalia de Appleton. Muitos outros exemplos poderiam ser citados sobre as possibilidades de estudos locais, que podem ser integrados e comparados com os resultados de outras regiões latitudinais do território Brasileiro, da América do Sul e de outros observatórios.

## **A RADIOASTRONOMIA - PROJETO RA.**

O Projeto Radioastronomia - Projeto RA, visa a construção de um Radiointerferômetro de Síntese de Abertura com a Rotação da Terra, de longa linha de base, 5 a 8 Km<sup>4</sup> - direção Leste/Oeste, operando em baixas frequências, centrada em 150 MHz., via convênios entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP e a Universidade Federal de Santa Maria, através da construção de laboratórios e áreas de apoio adequadas à execução de atividades científicas para implantação no País de técnicas Radiointerferométricas. O Projeto *propicia o desenvolvimento de pesquisas e a formação de recursos humanos* em Ciências Espaciais Básicas, priorizando a Astrofísica, Aeronomia, Geofísica Espacial, Geomagnetismo, Interações Terra - Sol, dentre outras áreas do saber, além das tecnologias vinculadas as áreas de engenharias associadas.

Por falta de recursos no PADCT, o Projeto RA - FINEP/PADCT, por sugestão da FINEP, foi transformado em um Projeto FINEP/FNDCT, que foi novamente aprovado em novembro/1986, tendo parte dos recursos solicitados liberados em 1987, através do Convênio: 52.86.0864-00 - FINEP/UFSM - com o título: "Radioastronomia - Apoio de Recursos Computacionais". Devido a sérias dificuldades de disponibilidade financeira no FNDCT, para honrar com a liberação dos recursos restantes deste Convênio, a FINEP efetuou com a UFSM três Termos Aditivos, assinados em 25/06/1987, 05/04/1989 e 29/05/1991. O Reitor da UFSM, na Resolução 0001/86, datada de 06/01/1986, atribuiu ao antigo NEPAE, hoje LACESM - **Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria**, órgão setorial do Centro de Tecnologia da UFSM, a execução do Projeto e delegou a Nelson Jorge Schuch a tarefa de Coordenador do Projeto RA.

Em 13/04/1993, quando no exercício da Direção do CNPq/Observatório Nacional - CNPq/ON, Rio de Janeiro, em reunião com o Presidente da FINEP, o Coordenador do Projeto Radioastronomia, na época Vice-Diretor do Observatório Nacional, entregou em mãos a *Carta Consulta OF.ON/DIR - 119/93*, solicitando o enquadramento da ordem de US\$ 1,500,000.00 para a conclusão do Projeto Radioastronomia - Projeto RA, Convênios: CNPq/ON - UFSM, INPE - UFSM e FINEP - UFSM, visando *a construção do Rádio Observatório e do Radiointerferômetro na grande região de Santa Maria, RS*. A Carta Consulta foi enquadrada, documento FINEP Ref. 0376/93, na linha de apoio FNDCT. A solicitação de financiamento foi elaborada utilizando a metodologia de duas fases. Na região escolhida, conjuntamente a UFSM e o INPE implantariam a Fase I do Projeto RA/IPS dando início a consolidação do Observatório Espacial do Sul - OES. Nesta *Fase I* do Projeto, seriam executadas as seguintes tarefas: Levantamento topográfico, geológico e magnético visando a construção do Radiointerferômetro RA/IPS, antena piloto e instrumental de grande porte; Construção do Radiointerferômetro piloto; Transferência do instrumental instalado provisoriamente no "campus" da UFSM para o sítio do OES; Construção de um miniprédio de alvenaria, Prédio 1, *para abrigar equipamentos de controle das antenas piloto* na área do Observatório Espacial do Sul.

O Projeto RA/IPS com sua metodologia, *após inspetoria da FINEP e de seus assessores junto ao LACESM/UFSM e visita técnica a São Martinho da Serra, Rincão dos Negrinhos e ao local de construção do Observatório Espacial do Sul*, foi aprovado pela Diretoria da FINEP, Decisão 0358 de 05/06/1995. As tarefas estabelecidas na Fase I do Projeto encontram-se em processo avançado de conclusão. O Prédio 1, foi construído e abriga vários equipamentos que estão em operação, efetuando monitoramento sistemático no Observatório.

O Convênio de execução do Projeto RA - Radioastronomia/Cintilação Interplanetária, por impossibilidade da UFSM, na época, de poder receber recursos de agentes financeiros federais, visto encontrar-se inadimplente, teve que ser celebrado com a Fundação de Apoio à Tecnologia e Ciência - FATEC como Unidade Gestora, tendo o LACESM/UFSM como Unidade Executora e a co-participação do INPE, via Convênio..

Em 13/06/1996, através do ofício ON/DIR - 207/96, do Diretor do CNPq/ON ao Diretor do LACESM, a Coordenação do Projeto RA foi informada que o

Convênio CNPq/ON - UFSM não deveria ser renovado. O Convênio ON - UFSM, portanto, foi cancelado unilateralmente, provocando vários prejuízos ao andamento das atividades. Entretanto, mesmo que na gestão do atual Diretor do ON, os laços formais entre o ON e a UFSM foram oficialmente e unilateralmente cortados, os pesquisadores, técnicos e alunos vinculados ao Projeto RA/LACESM, continuam a interagir sistematicamente com pesquisadores e técnicos de alto nível de Departamentos e com o Laboratório Primário de Tempo & Frequência do Serviço da Hora do ON, no Rio de Janeiro. A natureza política da decisão do Diretor do ON, de interromper formalmente a interação e cooperação interinstitucional com a UFSM, tornou o INPE, o CNPq e a FINEP, as únicas instituições do Ministério da Ciência e Tecnologia a participar com o MEC/UFSM no desenvolvimento do Projeto Radioastronomia e das Ciências Espaciais, Tecnologias e Engenharias associadas no Sul do Brasil.

Os levantamentos topográficos e cartográficos juntamente com a definição por técnicas GPS do alinhamento, este-oeste, e das coordenadas da linha-de-base do radiointerferômetro do Projeto RA foram concluídos. Um protótipo de radiointerferômetro de 4 (quatro) elementos está sendo montado no Observatório.

## **CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS - O PROGRAMA DE MONITORAMENTO DO OZÔNIO ATMOSFÉRICO.**

O Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico da UFSM, é desenvolvido pelo LACESM como subprojeto do Projeto RA e em colaboração com o Laboratório do Ozônio do INPE, dentro do Convênio MCT/INPE - UFSM. O Programa objetiva o monitoramento, a análise estatística dos dados e a análise comportamental da Camada de Ozônio Terrestre, na latitude de 30° Sul, bem como correlação com o monitoramento sistemático da radiação ultravioleta, de partículas de radiação cósmica, de gases traçadores atmosféricos NO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub> com dados físicos e meteorológicos, obtidos através de sondagens troposféricas e estratosféricas e correlações com os fenômenos vinculados com a Anomalia Magnética do Atlântico Sul.

O Programa, no Sul do Brasil, em Santa Maria, foi inicialmente concebido em 1991, e foi implementado entrando em funcionamento em maio de 1992, com o agregamento de equipamentos sofisticados, que foram emprestados temporariamente à UFSM pelo INPE e por outras instituições nacionais e estrangeiras. A cooperação com o INPE visa estudar a física e a química da média e baixa atmosfera, com o monitoramento sistemático da concentração de ozônio atmosférico e da Camada do Ozônio Terrestre no extremo Sul do Brasil, por métodos indiretos via análise da luz solar por rastreamento do Sol, com espectrofotômetro Brewer e métodos diretos, por radiosondagens via balões estratosféricos, determinando a concentração do ozônio em função da altura na troposfera e estratosfera.

Desde 1992, está em funcionamento sistematicamente o Espectrofotômetro Brewer MKIV n° 081. O espectrofotômetro funcionou no "campus" da UFSM de maio/1992 a outubro/1995, quando *foi transferido para um sítio provisório*,

*com microclima livre de serração, na cidade de São Martinho da Serra.* Em dezembro/1996, o Brewer foi transferido para o seu local de operação permanente, no sítio do Observatório Espacial do Sul, junto ao PRÉDIO 1 do Projeto RA/IPS, que foi financiado pela FINEP, através da FATEC, e que devido a sua altura de aproximadamente 500 metros acima do nível do mar, associado a peculiaridades do seu microclima regional, raramente apresenta névoa seca ou serração, vem permitir o contínuo e sistemático rastreamento diário do Sol. Este aparelho mede a concentração atmosférica total de ozônio, dióxido de enxofre e dióxido de nitrogênio, além da intensidade da radiação ultravioleta incidente na faixa de UVB (290 a 320nm).

Em Julho/1996 foi assinado o Convênio nº 96CV00112 entre o Ministério do Meio Ambiente, Recursos Hídricos e Amazônia Legal - MMA e a UFSM, no valor de R\$ 1.100.000,00, com o objetivo de consolidar o Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico, através da aquisição de equipamentos especializados. Com os recursos deste Convênio, a UFSM - LACESM em 1996, adquiriu e instalou no PRÉDIO 1 do Observatório Espacial do Sul, o Sistema de Sondagem Meteorológica W9000, que permite que sejam lançadas, em conjunto com sondas meteorológicas, sondas de ozônio ECC (Electro Chemical Concentration), as quais medem a pressão parcial de ozônio no local onde a sonda se encontra, fornecendo assim um perfil vertical do ozônio atmosférico. As sondagens são efetuadas sistematicamente as sextas-feiras no mesmo período entre 11 horas e 30 minutos e 12 horas e 30 minutos.

Em Novembro/1996 foi assinado o Convênio AEB/PR nº 003/96 entre a Agência Espacial Brasileira da Presidência da República com a Fundação de Apoio à Tecnologia e Ciência, AEB/PR - FATEC, tendo como unidade executora o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM/UFSM, no valor de R\$ 100.000,00. O objetivo do Convênio foi apoiar o Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico da cooperação LACESM/UFSM - LO/INPE, complementado o Convênio MMA/UFSM e consolidando no LACESM e no Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, a pesquisa em Ciências Espacial Básica.

## **GEOMAGNETISMO E MAGNETOSFERA TERRESTRE**

A Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas, com sua Divisão de Geofísica Espacial - INPE/CEA/DGE, foi a primeira unidade do INPE a instalar sensores e equipamentos científicos, do tipo magnetômetros, em Santa Maria.

Foi com a colocação em operação dos sensores de um magnetômetro do tipo de indução, instalados pela Divisão de Geofísica Espacial próximos ao PRÉDIO 1, em colaboração com o LACESM, que o Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, entrou em operação na data histórica de 19/12/1996, com a produção dos primeiros dados observacionais científicos.

## **ORÇAMENTO E FONTES DE RECURSOS PARA OBRAS E EQUIPAMENTOS**



Foi aprovado no Orçamento Geral da União para 1997, através da Comissão de Relações Exteriores e Defesa Nacional - Senado Federal/Congresso Nacional, recursos no valor de R\$ 840.000,00, junto ao orçamento do MCT/INPE para dar o início às obras de construção e implementação do Observatório Espacial do Sul do CRSPE/INPE, em São Martinho da Serra - RS, no exercício do ano fiscal de 1997. Para o exercício do ano fiscal de 1998, o INPE na sua previsão orçamentaria destinou os valores de R\$ 800.000,00 para obras e R\$ 1.400.000,00 para equipamentos visando a consolidação do CRSPE/INPE, em Santa Maria, Estão previstos os recursos orçamentários necessários à execução do CRSPE/INPE nos demais exercícios financeiros.

## **COOPERAÇÃO CIENTÍFICA INTERNA-CIONAL BRASIL/JAPÃO EM CIÊNCIAS ESPACIAIS BÁSICAS**

Uma Cooperação Científica Internacional de coleta e análise de dados por longo período, 12 anos, equivalente a um ciclo solar ou 11 anos, foi estabelecida entre o BRASIL/JAPÃO em Ciências Espaciais Básicas. Nesta cooperação participam pelo lado brasileiro o LACESM da UFSM e a Coordenadoria de Ciências Espaciais e Atmosféricas do INPE, pelo lado japonês participam 3 (três) institutos de pesquisa: National Institute of Polar Research; Communication Research Laboratory; National Institute of Radiological Sciences, e de 5 (cinco) universidades: Nagoya University; Kyushu University; Takushoku University; Kokugakuin University; e Rikkyo University.

Esta cooperação tem como principal objetivo pesquisar os fenômenos dinâmicos: aeronômicos, geofísico espaciais, geomagnéticos e impacto ambiental que ocorrem na grande região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul.

As atividades de cooperação iniciaram em dezembro/1996, com a instalação e operação de um riômetro,  $n = 32.8$  MHz., para medir a absorção do ruído cósmico na ionosfera devido a precipitação de partículas energéticas. É esperado que a precipitação de partículas altamente energéticas na área da Anomalia irá induzir o aumento da densidade eletrônica na camada D promovendo absorção de ruído cósmico; um detector ELF/VLF de ondas natural (com uma antena quadrada com  $n = 200$  voltas, com três filtros passa bandas nas frequências 0,8, 1,6, 4,0 kHz; e com uma outra antena triangular de 10 metros com  $n = 2$  voltas para o detector VLF/LF, o sinal do receptor é amplificado para um largo intervalo de frequência de 100Hz a 100KHz, o sinal banda larga é enviado a três filtros passa banda com frequência central 0,4, 1,6 e 10,0 KHz) quando uma forte emissão é reconhecida, um sinal de banda larga é também gravado pelo gravador de dados analógicos de banda larga. Muitos pesquisadores examinaram emissões no intervalo ELF/VLF/LF para estes fenômenos nas regiões polares. Entretanto, não é bem entendido se emissões naturais similares são esperadas na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul; uma câmara de TV de alta sensibilidade. Com este instrumental é possível ser detectado alguma emissão, fenômeno óptico, somente se a luminosidade do evento for superior a  $1 \text{ kR}^2$ . É parte da metodologia e planejamento operar a câmara de TV durante períodos de intenso eventos solar e também fenômenos

SC<sup>6</sup> Um contador Geiser automatizado efetua contagens sistematicamente 24 h por dia com períodos de integração de 1 e de 10 minutos. Estão no Observatório Espacial do Sul aguardando instalação: o magnetômetro fluxgate, de 1 segundo de integração da Kyushu University e o detector de ruído de ondas de rádio do Communication Research Laboratory.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio recebido para implantar no Sul do País as Ciências Espaciais e Atmosféricas, o Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais e o Observatório Espacial do Sul à: Diretoria do INPE, Presidência da AEB/PR, Reitoria e Direção do Centro de Tecnologia da UFSM, SESu/MEC, GM/MCT, FINEP, CNPq, Secretaria Executiva e Secretaria dos Assuntos de Meio Ambiente/Departamento de Gestão Ambiental do MMA, FAPESP, FAPERGS, FATEC, Prefeitura e Câmara Municipal São Martinho da Serra - RS, Câmara Federal dos Deputados e Comissão de Relações Exteriores e Defesa Nacional - Senado Federal do Congresso Nacional, e às instituições japonesas National Institute of Polar Research, Communication Research Laboratory, National Institute of Radiological Sciences, Nagoya University, Kyushu University, Takushoku University, Kokugakuin University, e Rikkyo University.

<sup>1</sup> Coordenadas geográficas medidas por técnicas GPS, na posição do 3º ponto da linha de base do radiointerferômetro do Projeto Radioastronomia no Sítio do OES/CRSPE/INPE.

<sup>2</sup> Coordenadas geomagnéticas calculadas usando o modelo IGRF 1995 - 2000 e programas utilitários fornecidos pelo USGS.

<sup>3</sup>  $1 \text{ nT} = 1 \text{ g} = 10^{-5} \text{ Gauss}$ .

<sup>4</sup> A determinação da dimensão máxima da linha-de-base este/oeste do radiointerferômetro do Projeto RA, depende da evolução da atividade solar em função do ciclo solar e da opacidade da ionosfera local.

<sup>5</sup>  $1 \text{ kR} = 10^3 \text{ Raleighs}$ .  $1 \text{ R} = 10^6 \text{ Ftons/cm}^2 \text{ colunar}$ .

<sup>6</sup> SC = Solar Sudden Commencement.

© 2002 SBF

Av. Rio Branco, 156, sala 2510  
20043-900 Rio de Janeiro RJ - Brazil  
Tel. / Fax: (55 21) 533.0064

  
[sbgf@sbgf.org.br](mailto:sbgf@sbgf.org.br)

# OBSERVATIONS OF IONOSPHERIC PLASMA DEPLETIONS USING OI 630.0 nm NIGHTGLOW IMAGING

Y. Sahai, J.A. Bittencourt, J.H.A. Sobral, P.R. Fagundes & H. Takahashi

Ionospheric plasma irregularities associated with nighttime equatorial spread-F phenomena have been the subject of intensive experimental and theoretical investigations during recent years. Large scale plasma depletions, referred to as transequatorial bubbles or plumes, continue to attract considerable attention. The studies of ionosphere plasma irregularities assume great importance, because the irregularities degrade the radio wave signals passing through the region and, therefore, have considerable influence on the ionospheric/trans-ionospheric radio wave communications. The F-region nightglow emissions arising from ionospheric recombination processes can be used to remotely observe the dynamics of transequatorial ionospheric plasma bubbles and smaller scale plasma irregularities. In a collaborative project between the Center for Space Physics, Boston University, USA, and the National Institute for Space Research (INPE), Brazil, an all-sky imaging system was put in operation at Cachoeira Paulista (22.7° S, 45.0° W, dip latitude 15.8° S), in March 1987. This wide angle imaging technique provides an unique capability of permitting observations over regions covering several million square kilometers from a single observing station. Also, regular measurements of several nightglow emissions and ionospheric sounding are carried out at Cachoeira Paulista and Fortaleza (3.9° S, 38.4° W, dip latitude 3.7° S). A VHF electronic polarimeter was in operation at Cachoeira Paulista. This clustering of observational facilities in the Brazilian sector provided coincident and complementary observations of various upper atmospheric parameters. In this paper we present and discuss some features of the OI 630.0 nm emission all-sky imaging observations carried out during the period 1987-1989. The transequatorial ionospheric plasma bubbles manifest in all-sky optical imaging observations as nearly north-south aligned intensity-depleted regions. The observed seasonal variation of the airglow depletions shows a maximum during the summer months and virtually no airglow depletions during the winter months. The case studies presented show different forms of generation and development phases of airglow depletions during the course of a night. The all-sky images also permitted the determination of the altitude-latitude extent of the plasma depleted regions and some results are presented. It has been observed that the altitudes reached by the plasma depleted flux tubes over the magnetic equator in the Brazilian sector often exceed 2500 km.

Key words: Ionospheric plasma; Ionospheric bubbles; Atmospheric airglow; Optical imaging; OI 630.0 nm emission.

**OBSERVAÇÕES DE DEPLEÇÕES NO PLASMA IONOSFÉRICO USANDO IMAGEAMENTO DA LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA EM OI 630,0 nm** - Irregularidades no plasma ionosférico associadas com o fenômeno noturno de espalhamento-F equatorial têm sido recentemente objeto de intensos estudos experimentais e teóricos. Depleções de plasma em grande escala, conhecidas como bolhas transequatoriais ou plumas, continuam a atrair atenção considerável. Os estudos destas irregularidades no plasma ionosférico são de grande importância pois elas degradam os sinais de ondas de rádio que atravessam a ionosfera e afetam consideravelmente as comunicações ionosféricas/transionosféricas. As emissões de luminescência atmosférica noturna da região F ionosférica, resultantes de processos de recombinação ionosférica, permitem um sensoriamento remoto da dinâmica destas bolhas transequatoriais de plasma e de irregularidades de pequena escala. Através de um projeto de colaboração entre o Centro de Física Espacial da Universidade de Boston e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), um sistema de imageamento celeste está sendo operado em Cachoeira Paulista (22,7° S, 45,0° W, latitude dip 15,8° S) desde março de 1987. Esta técnica de imageamento com amplo ângulo de visada permite observar regiões no céu cobrindo vários milhões de quilômetros quadrados. Medidas de várias outras emissões noturnas e radiossondas ionosféricas são também regularmente conduzidas em Cachoeira Paulista e Fortaleza (3,9° S, 38,4° W, latitude dip 3,7° S). Um polarímetro em VHF é também operado de Cachoeira Paulista. Este conjunto de equipamentos no setor brasileiro permitiu a observação simultânea de vários parâmetros ionosféricos. Neste artigo são apresentadas e discutidas algumas características das observações de imageamento da emissão OI 630,0 nm conduzidas no período 1987-1989. As bolhas transequatoriais de plasma manifestam-se nas observações de imageamento ótico como regiões de depleção em intensidade quase alinhadas na direção norte-sul magnética. As variações sazonais destas depleções apresentam um máximo nos meses de verão, com praticamente nenhuma depleção nos meses de inverno. Os casos apresentados aqui mostram diferentes formas de iniciação e fases de desenvolvimento das depleções na intensidade das emissões durante a noite. As imagens permitem ainda a determinação da extensão em altitude e latitude das bolhas de plasma e alguns resultados são apresentados. Tem sido observado que elas chegam a atingir altitudes excedendo 2500 km sobre o equador magnético no setor brasileiro.

**Palavras-chave:** Plasma ionosférico; Bolhas ionosféricas; Luminescência atmosférica; Imageamento ótico; Emissão OI 630,0 nm.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, C.P. 515 12201-970 São José dos Campos, SP, Brazil

E-Mail: bittenc@dac.inpe.br; sahai@dgc.inpe.br

Fax: (0123) 21-8743; Tel.: (0123) 25-6000

## INTRODUCTION

Ionospheric plasma irregularities associated with nighttime equatorial spread-F phenomena (Booker & Wells, 1938) have been the subject of intensive experimental and theoretical investigations during recent years. These irregularities are of different scale sizes with wavelengths varying from several tens of kilometers to as small as a meter, or less, and have been observed using ionosondes (e.g., King, 1970; Rastogi, 1978, 1986; Abdu et al., 1981, 1983a; Huang et al., 1987), topside sounders (e.g., Dyson & Benson, 1978; Ben'kova et al., 1988), radar backscatter (e.g., Woodman and La Hoz, 1976; Tsunoda et al., 1979, Tsunoda, 1980), satellite beacon and radio star scintillations (e.g., Basu & Kelley, 1979; Aarons, 1977, 1982), and in situ rocket (e.g., Kelley et al., 1976; Morse et al., 1977; Szuszcwicz et al., 1980) and satellite (e.g., McClure et al., 1977; Hoegy et al., 1982; Oya et al., 1986) measurements. The irregularities characterized by large scale transequatorial plasma depletions, generally referred to as plasma bubbles and plumes, continues to attract much attention. Considerable interest in the studies related to the equatorial ionospheric plasma irregularities stems from the fact that the irregularities degrade radio wave signals passing through the ionospheric region and, therefore, influence ionospheric/trans-ionospheric radio wave communications.

Several investigators have carried out theoretical and computer simulations of equatorial irregularities associated with large scale plasma depletions (e.g., Ossakow et al., 1979; Chiu & Strauss, 1979; Anderson & Mendillo, 1983; Mendillo et al., 1985; Hanson et al., 1986). According to present theoretical interpretations, large scale plasma depletions or spread-F bubbles are initially generated at the F-region bottomside, through a fluid type gradient instability mechanism, such as the gravitational Rayleigh-Taylor instability (Dungey, 1956; Hacrendel, 1973; Ossakow et al., 1979) in conjunction with  $E \times B$  instability (Martyn, 1959).

The ionospheric plasma bubbles are aligned along the magnetic field lines, owing to the much greater conductivity in the magnetic field direction as compared with the perpendicular conductivity. As these bubbles move buoyantly upward with respect to the ambient plasma in the equatorial region, their bottomside feet migrate away from the equator, reaching dip latitudes of over  $\pm 15^\circ$  (Rohrbaugh et al., 1989), and break up into smaller scale size electron density irregularities, which are associated with spread-F, backscatter and scintillations. They usually drift toward the

east in the equatorial ionosphere and are often tilted or curved to the west of the magnetic meridian because of the bubble upward motion.

Airglow observations provide a convenient technique for sensing remotely the dynamics of the upper atmosphere. During recent years rapid advances have been made in electro-optical devices and have offered considerable improvement in the capability of instruments used for optical studies of the upper atmosphere. It is now possible to obtain monochromatic all-sky ( $180^\circ$  field of view) imaging observations for studying the morphology and dynamics of nightglow structures, over regions extending several million square kilometers.

The F-region nightglow emissions arising from ionospheric recombination processes can be used to remotely observe the dynamics of transequatorial ionospheric plasma bubbles and smaller scale size plasma irregularities. During recent years several investigators have carried out observations of the F-region OI 777.4 nm and/or OI 630.0 nm nightglow emissions using wide-angle airglow imaging techniques (e.g. airborne studies: Weber et al., 1978, 1980, 1982; Moore & Weber, 1981; ground-based studies: Mendillo & Baumgardner, 1982; Mendillo & Tyler, 1983; Rohrbaugh et al., 1989; Sahai et al., 1994a) and conventional photometer methods (e.g., Sobral et al., 1980, 1981, 1985; Sahai et al., 1981, 1983; Sipler et al., 1981; Bittencourt et al., 1983; Carman, 1983; Malcolm et al., 1984), to study equatorial and low latitude ionospheric irregularities and have provided valuable and important results related to the evolution, structures, movements and velocities of large scale plasma depleted regions. Rohrbaugh et al. (1989) have used a field-aligned observing geometry which has been discussed in detail by Tinsley (1982).

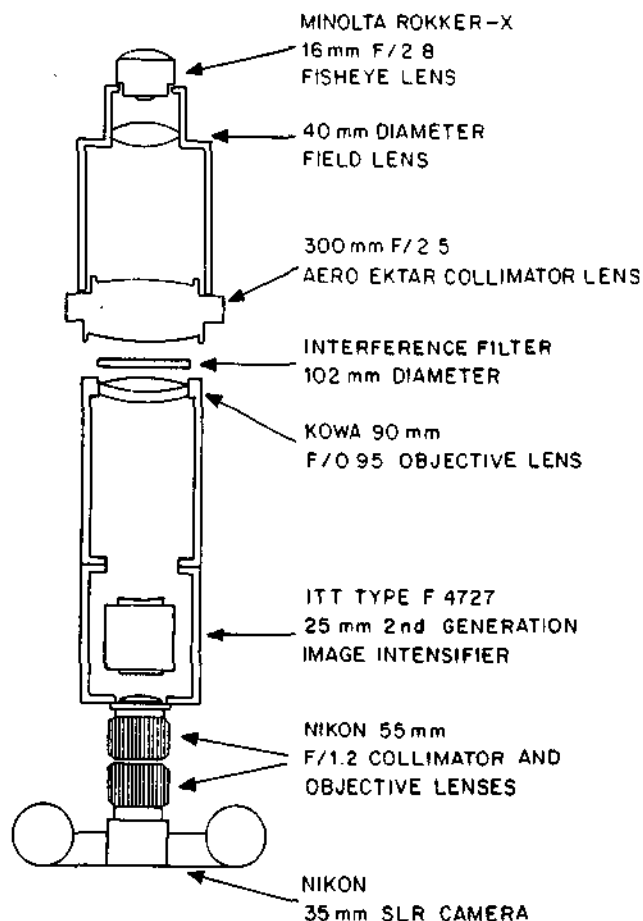
In order to carry out regular observations of the F-region OI 630.0 nm nightglow emission using wide-angle ( $180^\circ$  field of view) imaging to map the nightglow emission structures and their movements, an all-sky imaging system was put in operation at Cachocira Paulista ( $22,7^\circ$  S,  $45,0^\circ$  W), Brazil, in March 1987, in a bilateral collaborative project between the Center for Space Physics, Boston University, USA, and the National Institute for Space Research (INPE), Brazil. Also, two multichannel zenith photometer, an ionosonde, a polarimeter and a magnetometer are in regular operation at Cachocira Paulista (CP).

This clustering of observational facilities at CP provides coincident and complementary observations of various ionospheric and geomagnetic parameters. In this

paper we present and discuss some results from the OI 630.0 nm emission all-sky imaging observations carried out during the period March 1987 to July 1989, related to the morphology and dynamics of transequatorial plasma depletions in the Brazilian sector.

## INSTRUMENTATION

A low light level all-sky ( $180^\circ$  field of view) airglow imaging system, very similar to that described in detail by Mendillo et al. (1982) and Mendillo & Baumgardner (1982), was put in routine operation at CP in March 1987 (Fig. 1). The magnetic dip latitude in 1987 for CP was  $15.8^\circ$  S. The imaging system records intensified monochromatic images on 35 mm films using a conventional single lens reflex

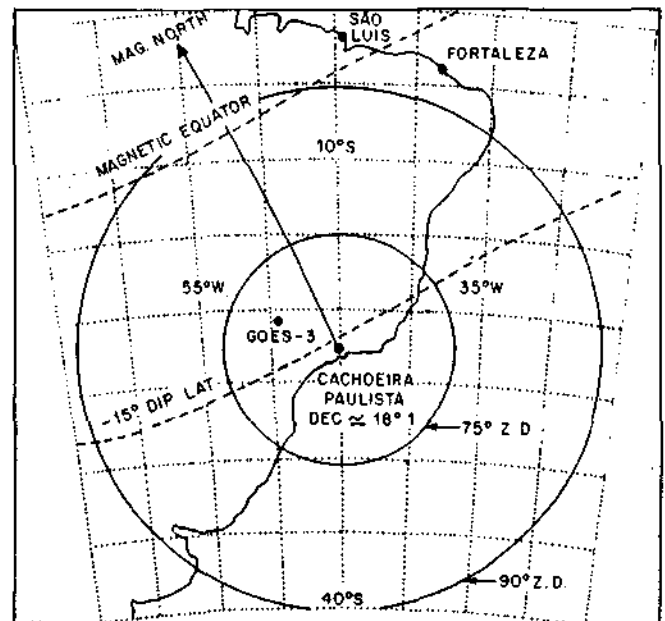


### ALL SKY INTENSIFIED CAMERA SCHEMATIC

**Figure 1** - Schematic diagram of the OI 630.0 nm all-sky imaging system.

**Figura 1** - Diagrama esquemático do sistema de imageamento do céu na linha OI 630,0 nm.

camera and, in its present configuration, the system can be used only for one selected nightglow emission. A 4 in diameter interference filter with 1.35 nm bandwidth has been used for the OI 630.0 nm emission observations. Most of the images presented in this paper were obtained at 20 min intervals, using a 32 sec time exposure. As pointed out by Mendillo & Baumgardner (1982), a zenith angle of  $75^\circ$  encompasses approximately  $\pm 8^\circ$  of latitude/longitude, equivalent to a horizontal diameter of 1800 km at about 300 km. Zenith angles from  $75^\circ$  to  $90^\circ$  encompass an additional  $\pm 8^\circ$  latitude/longitude, but compression effects are large in this region. The observing geometry with the all-sky imaging system for the OI 630.0 nm emission at CP, is shown in Fig. 2.



**Figure 2** - The imaging system field of view at  $75^\circ$  and  $90^\circ$  zenith angles at 300 km. The magnetic north direction is also indicated.

**Figura 2** - Campo de visão do sistema de imageamento para ângulos zenitais de  $75^\circ$  e  $90^\circ$  a 300 km de altitude. A direção norte magnética está também indicada.

The OI 630.0 nm nightglow emission intensities presented in this study were measured by a multi-channel tilting filter type zenith photometer, which has been in operation at CP since January 1987. The photometer provides measurements of the OI 777.4 nm, 630.0 nm and 557.7 nm, NaD 589.3 nm, OH(9-4) and  $O_2$  - atm.(0-1) nightglow

emissions at intervals of 3 min. The photometer operation and the data acquisition system were controlled by a Z80A microprocessor and the data were recorded on a digital cassette system. The photomultiplier used is a cooled Hamamatsu R943-02 (GaAs photocathode). The photometer has a field of view of 2° full angle and the effective diameter of the interference filters used is 2 in. The effective bandwidths of the interference filters for the OI 630.0 nm and 777.4 nm emissions are 1.46 and 1.05 nm, respectively. A calibrated standard light source (Eppley ES-8315) was used for determination of absolute sensitivities of the photometer. A substandard light source (Tungsten filament pilot lamp) was used for field calibration. The OI 630.0 nm emission absolute intensities were calculated using tilting filter (Yano, 1966) and calibration (Kulkarni & Sanders, 1964) techniques. As narrow band filters are used, the OH(9-3) band contamination at 630.0 nm has been considered to be negligible. The estimated error in the absolute sensitivity for this emission is approximately ± 15%. The OI 777.4 nm absolute intensities are calculated using the technique described by Sahai et al. (1981). The absolute calibration is estimated as ± 20%.

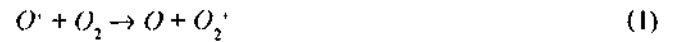
The ionospheric data presented in this study were obtained from ionosondes in routine operation at CP and Fortaleza (3.9° S, 38.4° W), Brazil. Fortaleza (FTZ) is the closest ionospheric sounding station to the magnetic dip equator in this region. The magnetic dip latitude in 1987 for FTZ was 3.7° S. Abdu et al. (1983a) have pointed out that the longitude at which the magnetic meridional plane of CP intersects the magnetic equatorial plane, is about 12° westward of FTZ.

A VHF (136.379 MHz) electronic polarimeter monitoring the Faraday rotation angle and amplitude of geostationary satellite (GOES 3) beacon signals was in operation at CP during the imaging observations. The sub-ionospheric point corresponding to these measurements was -20.9° latitude and -49.4° longitude. Also, some results from the VHF polarimeter are presented in this study.

### TROPICAL ATOMIC OXYGEN AIRGLOW EMISSION MECHANISMS

The OI 630.0 nm nightglow emission comes from a relatively narrow layer centered near 300 km altitude in the bottomside region of the F-layer and is an optical manifestation of several ionospheric processes (Serafimov et al., 1977). At equatorial and low latitude regions the OI

630.0 nm emission is mainly due to dissociative recombination of O<sup>+</sup> ions in the F-region (e.g. Peterson & Van Zandt, 1969), produced by the two-step process



As discussed by Van Zandt & Peterson (1968), this emission is strongly dependent on the height changes associated with the bottom-side of the F-region, with smaller dependence to changes in the F-region electron density. The spatial distribution is mostly governed by the  $E \times B$  vertical plasma drifts and thermospheric neutral winds.

The OI 777.4 nm emission is produced mainly by the radiative recombination process,



as discussed by Tinsley et al. (1973), and provides an indirect measurement of the F-region peak electron density  $n_m(f)$ . The OI 777.4 nm emission intensities observed at CP, during the course of the present study, have been, in general, very low and nearly at the threshold level of detection. Therefore, they have not been included in some of the case studies presented here.

### OPTICAL AND RADIO DIAGNOSTICS OF LARGE-SCALE F-REGION PLASMA DEPLETIONS

The F-region ionospheric irregularities associated with large-scale plasma depletions or bubbles cause intense range-type spread-F and VHF/UHF scintillations at equatorial and low latitude regions (see e.g., Maruyama, 1990; Rastogi et al., 1990). The pioneering work of Weber et al. (1978), using all-sky OI 630.0 nm airglow imaging, showed that the north-south aligned equatorial airglow depletions (see e.g. Weber et al., 1978, Fig. 1) are the optical signatures of large-scale plasma depletions or bubbles associated with F-region ionospheric irregularities. Sahai et al. (1981), using a conventional photometric method (5° field of view), observed simultaneous short-time large intensity drop-outs or depletions in the OI 630.0 nm and 777.4 nm emissions at CP during range-type spread-F conditions. The F-region airglow intensity depletions are associated with the passage of F-region holes or bubbles drifting across the sky. As pointed out by Mendillo and Baumgardner (1982), in the

study of equatorial plasma depletions, radio (ionosonde and scintillation) and optical methods are complementary. Whereas all-sky optical methods offer broad, instantaneous coverage of general features, radio and photometric diagnostics offer possibilities for very detailed *line of sight* studies.

Both range/and or frequency spreading are observed in ionograms at equatorial and low latitude regions. King (1970) has pointed out that range type spread-F echoes are due to partial reflection from large tilted surfaces of ionization, possibly similar in nature to the walls of plasma bubbles, and much of the frequency spreading is simply the decay product of the range spreading (see also Rastogi, 1980). However, frequency spreading has been observed immediately after sunset, independent of range spreading (see e.g. Abdu et al., 1981; Valladares et al., 1983). An analysis of VHF electronic polarimeter data obtained at CP by Abdu et al. (1985) shows Faraday rotation angle fluctuations correlated with range-type spread-F events in the local ionograms and amplitude scintillations in satellite beacon signals, indicating that those variations are associated with large scale plasma depletions in the equatorial region (see also Basu et al., 1987).

## RESULTS AND DISCUSSION

During the period March 1987 / July 1989, a good series of simultaneous measurements of the OI 630.0 nm emission zenith intensities and all-sky images was obtained at CP. Also, complementary data from ionosondes (CP and FTZ) and VHF electronic polarimeter (CP) measurements were available during this period. This was a period of ascending solar cycle. The monthly average 10.7 cm flux varied from a minimum value of 73.3 (March 1987) to a maximum value of 247.2 (June 1989). The average 10.7 cm flux during the period under study was 139.3 ( $\sigma = 50.1$ ).

### Seasonal occurrence pattern

Several investigations have recently studied the seasonal and longitudinal variations in the occurrence characteristics of equatorial scintillations and spread-F using radio diagnostic techniques (e.g. Maruyama & Matuura, 1984; Tsunoda, 1985; Ben'kova et al., 1988). Abdu et al. (1983a) have studied the seasonal variation of the spread-F (both range and frequency-type) in the Brazilian sector from simultaneous ionosonde measurements at CP and FTZ.

In Fig. 3 we present the observed seasonal occurrence pattern of large scale plasma depletions as evidenced by quasi north-south aligned valleys of intensity depletions in the OI 630.0 nm all-sky images (hereafter referred to as airglow depletions). The occurrence frequency is very low during the period April to September and shows a maximum during the summer season. This is very similar to the seasonal pattern observed for range type spread-F (Abdu et al., 1983b) and from scintillation measurements (Tsunoda, 1985) in this region. It appears, therefore, that the airglow depletions or large scale plasma depletions generally do not develop in this region during winter months and have high occurrence probabilities during summer, with equinox months occupying an intermediary position. This is in accordance with the result obtained by Tsunoda (1985, see also Abdu et al., 1983a; Batista et al., 1986), that the seasonal maximum in the occurrence of equatorial scintillation and spread-F coincides with the time of year when the solar terminator is most nearly aligned with the geomagnetic meridian.

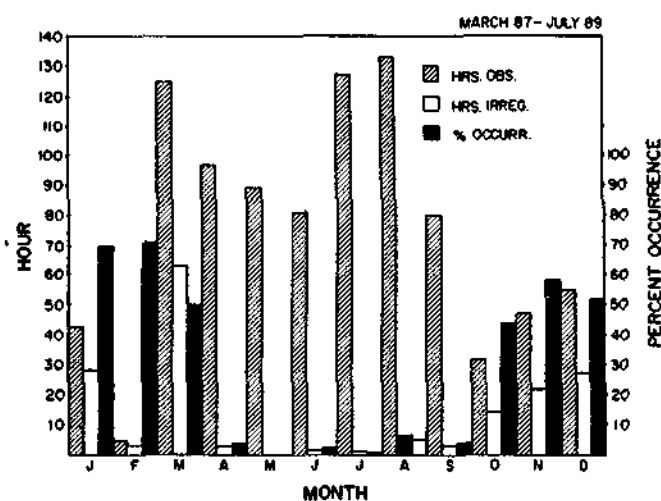


Figure 3 - Seasonal variation of north-south aligned OI 630.0 nm nightglow emission depletion occurrences observed at Cachocira Paulista.

*Figura 3 - Variação sazonal das ocorrências de depleções da emissão de luminescência noturna OI 630,0 nm alinhadas norte-sul, observadas em Cachoeira Paulista.*

An analysis of the airglow depletions observed on a few nights during winter months (May, June, July and August), a period when these depletions are almost absent, revealed that, unlike summer months, the few depletions that were observed occurred on nights which were



magnetically disturbed. These observations have been discussed in detail by Sahai et al. (1994b).

During the month of August 1988, an intensive campaign of the OI 630.0 nm imaging observations was carried out a CP in conjunction with the Equatorial Dynamics campaign in the Pacific sector. While fully developed equatorial spread-F signatures were observed in the Pacific sector on several nights in August 1988 (Mendillo, private communication), no airglow depletions were observed in the Brazilian sector. Also, weather conditions permitted a good series of airglow observations during the months of August, September and October, 1988. The frequency of occurrence of airglow depletions was observed to increase from zero in August (nights of observations: 11; nights with depletions: 0) to a situation where most nights showed strong depletions in October (nights of observations: 4; nights with depletions: 4), with September (nights of observations: 9; nights with depletions: 3) showing depletions on a few nights. It appears there is a *transition period* from no equatorial irregularities to strong generation as we move from August to October in this region.

In Fig. 4 we show complementary ionospheric data for the night of August 15-16, 1988, an example of a night in which no airglow depletions were observed. Also, no spread-F or scintillations were observed on this night. It may be noted that the afternoon  $f_oF2$  at FTZ is generally higher than that at CP and there is virtually no post-sunset uplifting of the F-layer, as evidenced by the  $h'F$  variations at both CP and FTZ on this night. In order to investigate the relative changes in the ionospheric parameters, during the period August to October, we show, in Fig. 5, average monthly values of  $f_oF2$  and  $h_pF2$  (virtual height at  $0.834 \times f_oF2$ , a good approximation for the F-layer peak height,  $h_mF2$ ) observed at FTZ and CP during these months in 1978. The reduced ionospheric data ( $f_oF2$  and  $h_pF2$ ) for both the stations CP and FTZ were available for these three months and the average 10.7 cm fluxes for these months in 1988 ( $144.5$ ,  $\sigma = 19.1$ ) and 1978 ( $160.2$ ,  $\sigma = 6.1$ ) are comparable.

Rastogi (1989) has pointed out, that spread-F at equatorial stations is preceded by a marked rise of  $h'F$  during the post-sunset hours, and the post-sunset rise of  $h'F$  is accompanied by a similar rise of the F-region peak height,  $h_mF2$ . It is observed, from Fig. 5, that in addition to amplification in post-sunset uplifting of the

F-layer at FTZ, there is a considerable increase in afternoon  $f_oF2$  at CP compared with FTZ, indicating intensification of the equatorial ionospheric anomaly as we move from August to October. Recent investigations by Raghavarao et al. (1988), Alex et al. (1989) and Rastogi (1989) also show the significant role of the intensification of the equatorial ionospheric anomaly in the initiation of spread-F. The present *transition-period* observations of airglow depletions are in agreement with the results of spread-F reported by these investigators.

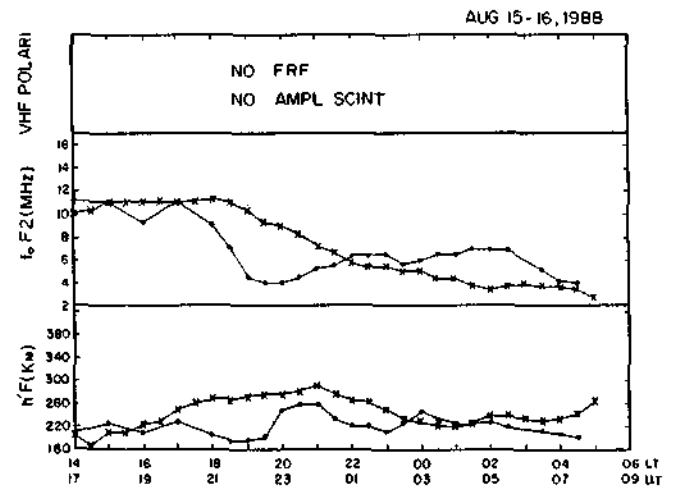
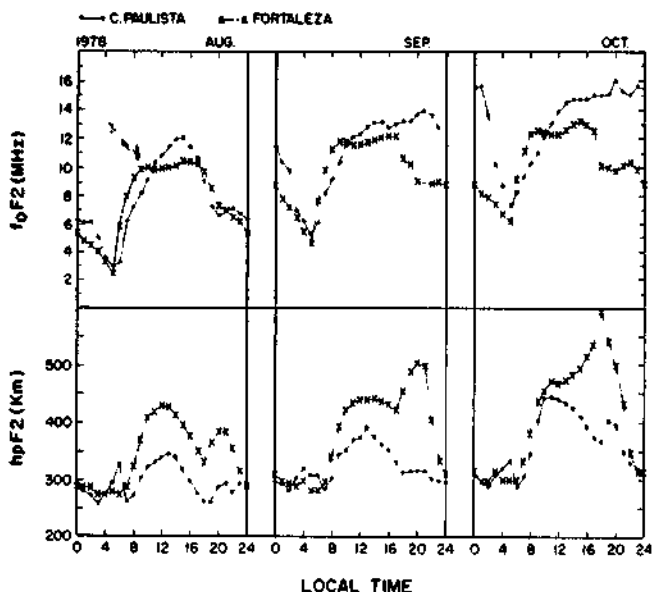


Figure 4 - An example of the complementary observations on a night when no nightglow depletions were seen on the OI 630.0 nm all-sky images, on 15-16 August, 1988, at Cachoeira Paulista. The ionospheric F-region data ( $h'F$  and  $f_oF2$ ) plotted are shown by closed circles (Cachoeira Paulista) and crosses (Fortaleza). Also shown are the VHF polarimeter observations at Cachoeira Paulista.

Figura 4 - Um exemplo de observações complementares numa noite quando não ocorreram depleções na emissão OI 630,0 nm observadas pelo sistema de imageamento, durante 15-16 de agosto de 1988, em Cachoeira Paulista. Os dados da região-F ionosférica ( $h'F$  e  $f_oF2$ ) estão apresentados por círculos cheios (Cachoeira Paulista) e por cruces (Fortaleza). Estão também apresentadas as observações com polarímetro VHF em Cachoeira Paulista.



**Figure 5** - Mean F-region peak heights ( $h_p f_2$ ) and peak electron densities ( $f_o f_2$ ) variations observed at Cachoeira Paulista (closed circles) and Fortaleza (crosses) for the months of August, September and October, 1978.

*Figura 5* - Médias das altitudes do pico da região-F ( $h_p f_2$ ) e das densidades do pico ionosférico ( $f_o f_2$ ) observadas em Cachoeira Paulista (círculos cheios) e em Fortaleza (cruzes) para os meses de agosto, setembro e outubro de 1978

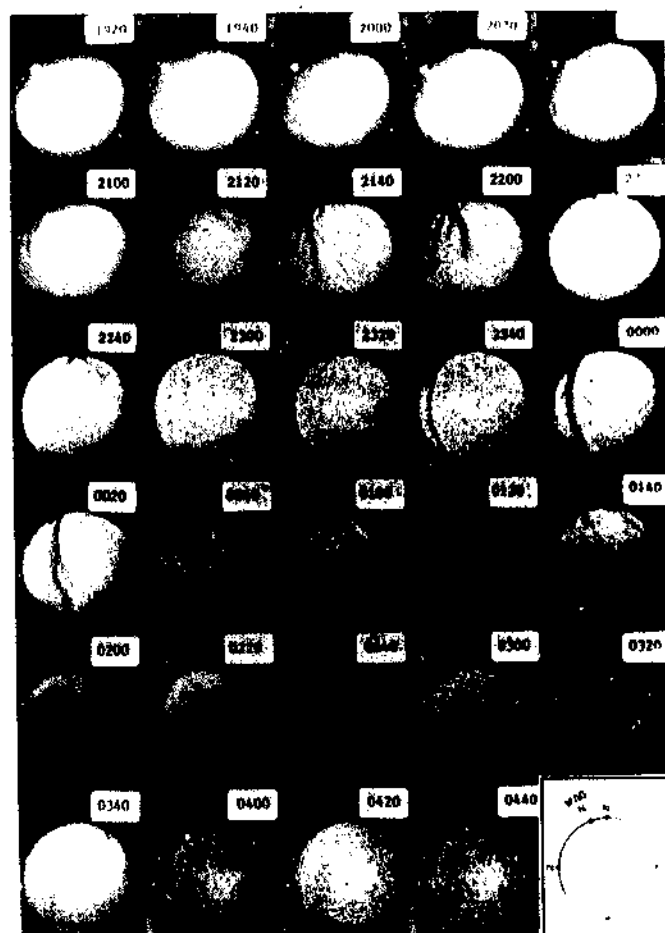
**Post-sunset onset and development of equatorial ionospheric plasma depletions**

In this section we present two case studies of the post-sunset onset and development of the equatorial ionospheric depletions as evidenced by a series of the OI 630.0 nm all-sky images. Both the nights 19-20 January, 1988 (summer) and 22-23 March, 1988 (equinox) are magnetically quiet.

**i) March 22-23, 1988**

In Fig. 6a we present a sequence of the OI 630.0 nm all-sky images obtained on 22-23 March, 1988. This night shows the formation phase of airglow depletions or ionospheric plasma bubble structures and the west to east movement of a plasma bubble structure, possibly formed well beyond the western horizon (fossil depletion). In Fig. 6b we present complementary photometric and ionospheric data for this night. A comparison of ionospheric data at CP and FTZ shows

large post-sunset uplifting of the F-region in the equatorial region and a well developed equatorial ionospheric anomaly. The range-type spread-F at CP occurred later than at FTZ and only during two short intervals, when the airglow depletions passed overhead, as discussed later. The Faraday rotation fluctuations and amplitude scintillations obtained by the VHF polarimeter were observed over a longer period than the range-type spread-F on the ionograms at CP.



**Figure 6a** - Sequence of OI 630.0 nm all-sky images obtained on 22-23 March, 1988.

*Figura 6a* - Sequência de imagens do céu em OI 630,0 nm obtidas durante 22-23 de março de 1988.

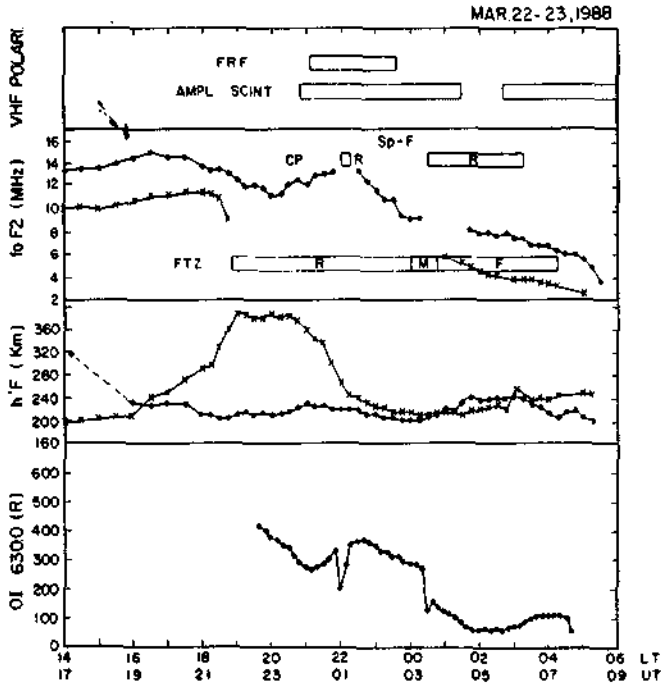


Figure 6b - Same as in Fig. 4., but for 22-23 March, 1988. The OI 630,0 nm emission intensities are also presented.

Figura 6b - Análogo à Fig. 4, mas para 22-23 de março de 1988. A variação das intensidades da emissão OI 630,0 nm está também apresentada.

The series of OI 630.0 nm all-sky images, shown in Fig. 6a, shows considerably lower emission intensities in the northern region, indicating an uplifted F-region, when the observations started at 1920 LT (local time referred to 45° W longitude). At 2000 LT we start seeing several small north-south protruding airglow depletions (multiple plasma bubbles) from the low intensity region on the northern side. The subsequent images show evolution of the airglow depleted regions. At 2100 LT we observe one of the airglow depleted regions growing in the west of the magnetic meridian and a part of this well-developed structure passes overhead at about 2200 LT. The OI 630.0 nm zenith observation (Fig. 6b) shows a sharp intensity decrease at this time. At 2300 LT we observe a single airglow depletion moving from west to east and subsequently acquiring a wishbone structure (Mendillo & Baumgardner, 1982) by 0040 LT. This is one of the good examples of the isolated formation and evolution of a bifurcated depletion (Mendillo & Tyler, 1983).

ii) January 19-20, 1988

In Figs. 7a and 7b, respectively, we present a series of OI 630.0 nm images and complementary photometric and ionospheric data, from the summer night of January 19-20, 1988. The post-sunset  $h'F$  variation at FTZ and the  $f_oF_2$  variations at CP and FTZ are similar to those observed on the earlier equinox night discussed here. However, the  $h'F$  variation at CP shows similar uplifting of the layer as observed at FTZ, thus the uplifting of the F-region covered a large latitudinal region. The occurrence of spread-F at FTZ and CP and Faraday rotation fluctuations and amplitude scintillations are very similar to the those on the night discussed earlier.

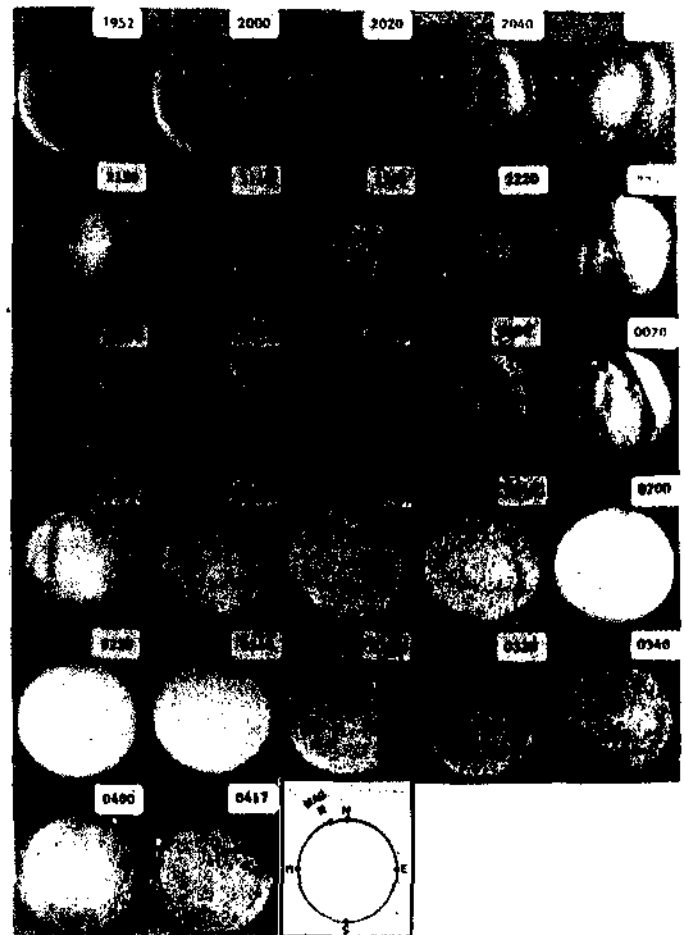


Figure 7a - Same as in Fig. 6a, but for 19-20 January, 1988.

Figura 7a - Análogo à Fig. 6a, mas para 19-20 de janeiro de 1988.

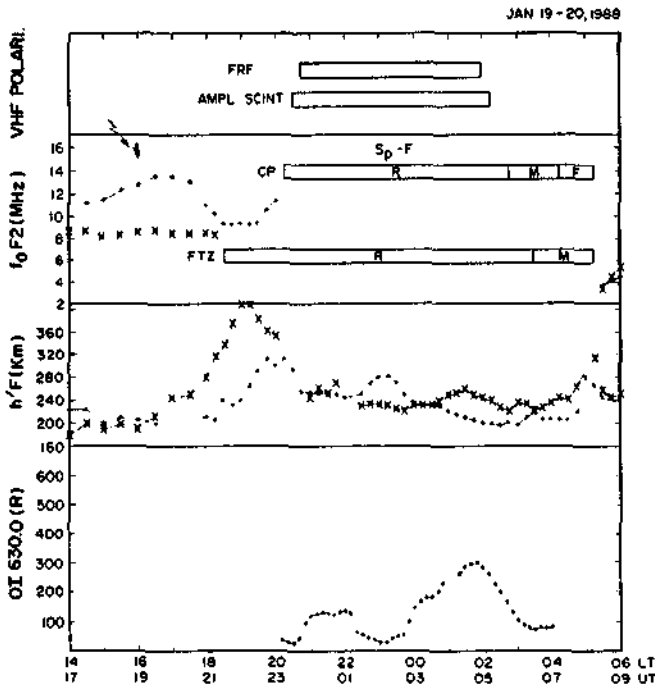


Figure 7b - Same as Fig. 6b but for 19-20 January, 1988.

Figura 7b - Análogo à Fig. 6b, mas para 19-20 de janeiro de 1988.

It is observed, from Fig. 7a, that when the observations started at 1952 LT, the western horizon was still under twilight conditions. However, a generally low intensity level all-round indicates extended uplifting of the F-region in the entire low latitude region. At 2020 LT we start seeing well-formed airglow depletion regions extending fully from north to south. Similar results were seen on a few other nights during this month. Possibly an extended latitudinal uplifting of the F-region results in rapid formation of elongated airglow depleted regions. This initiation mechanism is different from that discussed for the earlier night. Strong airglow depletions continue till about 0020 LT and then gradually disappear. At about 2300 LT a broad airglow depleted region passes overhead CP and Fig. 7b shows a broad intensity depletion in the OI 630.0 nm emission and an increase in h'F around this time. Weber et al. (1978) have also reported that regions of airglow depletions are characterized by an increase in the virtual height of the F-layer.

In this section we presented two nights (one equinox and one summer) of coincident optical and radio diagnostic observations of equatorial ionospheric irregularities. It is observed that although the post-sunset ionospheric condition (marked uplifting of the F-layer and well-developed equatori-

al ionospheric anomaly) are somewhat similar on these nights, the initiation and development of airglow depleted regions are very different. Large day to day differences have been observed during the course of this long series of airglow imaging observations. These results will be important for present efforts in modelling equatorial ionospheric irregularities.

**Altitude-latitude extent of equatorial ionospheric plasma depletions**

Mendillo & Tyler (1983) have discussed the geometry of depleted plasma regions in the equatorial ionosphere, using the OI 630.0 nm all-sky images. The OI 630.0 nm images exhibit nearly north-south aligned intensity depleted regions, which are the bottomside signatures of plasma-depleted flux tubes.

Fig. 8 shows the geometry of the low-latitude magnetic field lines, the height of the OI 630.0 nm emission layer (~ 300 km) and the field of view of the all-sky imaging system for the zenith angles 75° and 90° as seen from Cachoeira Paulista. The latitudinal extension

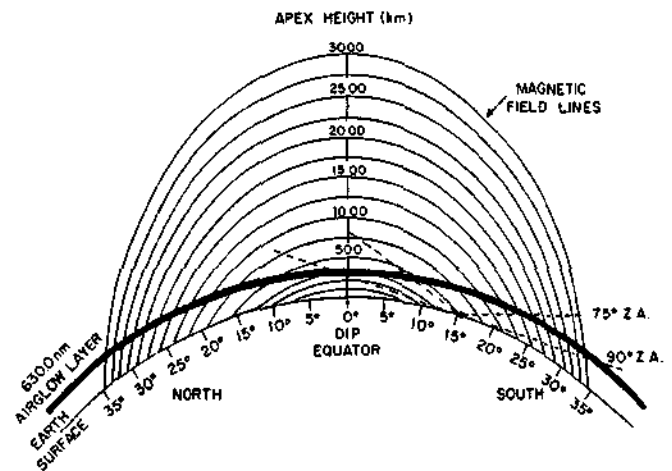
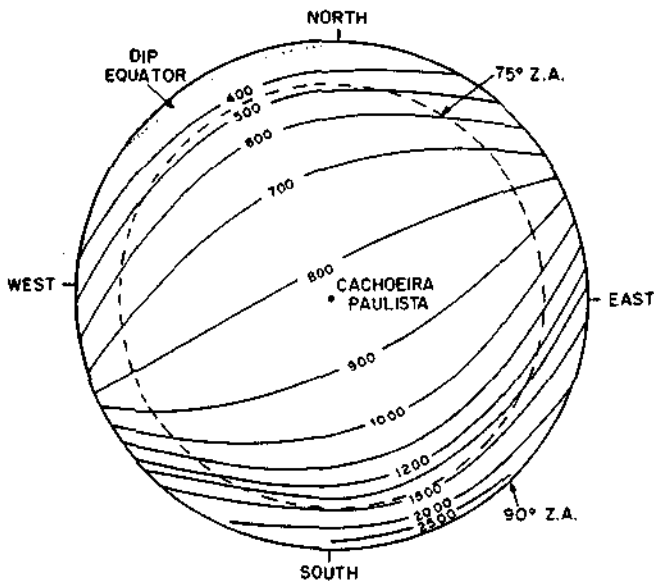


Figure 8 - Dipole geometry of the geomagnetic field lines in the magnetic meridional plane of Cachoeira Paulista. The extension of the airglow depletions at about 300 km from the all-sky observations at Cachoeira Paulista (dashed lines) is also shown.

Figura 8 - Geometria dipolar das linhas de campo geomagnéticas no plano meridional magnético de Cachoeira Paulista. A extensão das depleções na luminescência atmosférica, em torno de 300 km, observadas pelo sistema imageador do céu, em Cachoeira Paulista, está também apresentada.

of the intensity depleted regions are mapped along the magnetic field lines to equatorial crossing altitudes as shown in Fig. 9. For example, the single bubble at 0000 LT in Fig. 6a, which is occupying the full field of view, has a latitudinal extension as far as about  $30^\circ S$  dip latitude, and the corresponding plasma depleted flux tube crosses the magnetic equatorial plane at an altitude above 2500 km.



**Figure 9** - An image overlay pattern as seen from Cachoeira Paulista. The near north-south aligned airglow depletions can be used to estimate the field-aligned plasma bubble altitudes above the magnetic equator, considering that the OI 630.0 nm emission layer is located near 300 km. A depleted region extending well up to the southern edge of the image will correspond to an altitude greater than 2500 km above the magnetic equator.

**Figura 9** - Projeção das altitudes equatoriais das linhas de campo sobre a imagem celeste vista de Cachoeira Paulista. As depleções de luminescência quase alinhadas norte-sul podem ser usadas para estimar as altitudes das bolhas de plasma alinhadas ao longo das linhas do campo geomagnético sobre o equador, considerando que a camada de emissão em OI 630,0 nm está localizada próxima de 300 km. Uma região de depleção que se estende até a borda sul da imagem mapear-se-á para altitudes maiores que 2500 km sobre o equador magnético.

Several plasma depleted regions, shown in Fig. 7a, also present similar latitude-altitude extent. The altitude-latitude extent of the equatorial plasma depletions reported here are not readily observed by other ionospheric diagnostic techniques. The observed apex altitudes of the plasma-depleted flux tubes in the present series of observations in the Brazilian sector are much higher compared with those reported by Mendillo & Tyler (1983) at Ascension island ( $8^\circ S, 14^\circ W$ ), about 1200 km, and by Rohrbaugh et al. (1989) at Hawaii ( $21^\circ N, 157^\circ W$ ), about 900 km.

## CONCLUSIONS

In this paper we have presented some results from a long series (1987-1989, a period of ascending solar cycle) of OI 630.0 nm all-sky imaging observations carried out at a low latitude station in the Brazilian sector. Complementary photometric and radio propagation measurements were used to study the formation and evolution of large-scale ionospheric plasma depletions. The principal features are summarized below.

- 1) The observed seasonal variation of the airglow depletions shows a maximum during the summer months and virtually no airglow depletions during the winter months.
- 2) A good series of observations during the period August-October, 1988, indicated the existence of a *transition period*, that is from virtually no airglow depletions in the month of August, to frequent occurrence in October. Also, an analysis of the mean diurnal variation of the ionospheric parameters  $f_oF_2$  and  $h_p F_2$  at CP and FTZ, during these months, showed an increase in the post-sunset rise of the layer height ( $h_p F_2$ ) at FTZ and strong intensification in the F-region peak electron densities at CP, as we move from August to October. It appears that in addition to marked uplifting of the layer, a well-developed equatorial ionospheric anomaly is important for the occurrence of large-scale ionospheric plasma irregularities.
- 3) Two case studies presented showed different types of development of the plasma depletions during the course of a night. These studies, one equinox night and one summer night, involved 630.0 nm all-sky images, zenith photometer and ionospheric radio sounding data. A large day-to-day variability was observed in the geometry of the airglow depletions. On about 40% of the nights

studied in the present investigations, on which depletions occurred, both the initial formation of irregularities and the later eastward motion of airglow depletions were observed. On the remaining 60% of nights showing depletions only the latter phase was seen. The formation phase was characterized by an initial lowering of intensity in the northern sky followed by north-south depletions protruding into the field of view of the imaging system.

- 4) By mapping the airglow depleted regions, along geomagnetic field lines to the magnetic equatorial plane, the latitude-altitude extent of the large-scale equatorial plasma depletions have been studied. Plumes with heights exceeding 2500 km above the geomagnetic equator have been observed. The unusually very high apex altitudes observed, warrants further investigations and simulations for the instability conditions required to cause such pronounced effects.

## ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank Professors Michael Mendillo, Jules Aarons and Jeffrey Baumgardner, Boston University, Boston, USA, for their kind and continued interest in this bilateral research project. Thanks are also due to Dr. M.A. Abdu for providing the ionospheric data obtained at CP and FTZ, and to Dr. E.R. Paula for the monthly averages of the ionosonde data for the period August-October 1987.

## REFERENCES

- AARONS, J. - 1977 - Equatorial scintillations: A review. *IEEE Trans. Antennas Propag.*, **AP-25**: 729-736.
- AARONS, J. - 1982 - Global morphology of ionospheric scintillations. *Proc. IEEE*, **70**: 360-378.
- ABDU, M. A., BATISTA, I. S. & BITTENCOURT, J. A. - 1981 - Some characteristics of spread-F at the magnetic equatorial station Fortaleza. *J. Geophys. Res.*, **86**: 6836-6841.
- ABDU, M. A., DE MEDEIROS, R. T. & NAKAMURA, Y. - 1983a - Latitudinal and magnetic flux tube extension of the equatorial spread F irregularities. *J. Geophys. Res.*, **88**:4861-4868.
- ABDU, M. A., DE MEDEIROS, R. T., BITTENCOURT, J. A. & BATISTA, I. S. - 1983b - Vertical ionization drift velocities and range type spread F in the evening equatorial ionosphere. *J. Geophys. Res.*, **88**: 339-402.
- ABDU, M. A., KANTOR, I. J., BATISTA, I. S. & DE PAULA, E. R. - 1985 - East-west plasma bubble irregularity motion determined from spaced VHF polarimeters: Implications on velocity shear in the zonal F region bulk plasma motion. *Radio Sci.*, **20**: 111-122.
- ALEX, S., KOPARKAR, P. V. & RASTOGI, R. G. - 1989 - Spread-F and ionization anomaly belt. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **51**:371-379.
- ANDERSON, D. N. & MENDILLO, M. - 1983 - Ionospheric conditions affecting the evolution of equatorial plasma depletions. *Geophys. Res. Lett.*, **10**: 541-544.
- BASU, S. & KELLEY, M. C. - 1979 - A review of recent observations of equatorial scintillation and their relationship to current theories of F region irregularity generation. *Radio Sci.*, **14**: 471-485.
- BASU, S., MACKENZIE, E., COSTA, E., FOUGERE, P. F., CARLSON, H. C. & WHITNEY, H. E. - 1987 - 250 MHz/GHz scintillation parameters in the equatorial, polar and auroral environments. *IEEE J. on Selected Areas in Communications, SAC-5*: 102-115.
- BATISTA, I. S., ABDU, M. A. & BITTENCOURT, J. A. - 1986 - Equatorial F region vertical plasma drifts: Seasonal and longitudinal asymmetries in the American sector. *J. Geophys. Res.*, **91**: 12055-12064.
- BEN'KOVA, N. P., VASYL'YEV, G. V., DENYEVA A. KH., KOCHENOVA, N. A. & FLIGEL'M, D. - 1988 - Some features of low-latitude F scattering according to Intercosmos-19 satellite data. *Geomag. Aeron.*, **28**: 252-253.
- BITTENCOURT, J. A., TEIXEIRA, N. R., SAHAI, Y. & TAKAHASHI, H. - 1983 - Mapping of ionospheric F-region parameters from atomic oxygen airglow emissions. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **45**: 697-705.
- BOOKER, H. G. & WELLS, H. W. - 1938 - Scattering of radio waves by the F-region of the ionosphere. *J. Geophys. Res.*, **43**: 249-256.
- CARMAN, E. H. - 1983 - Equatorial depletions in the 630.0 nm airglow at Vanimo. *Planet. Space Sci.*, **31**: 355-362.
- CHIU, Y. T. & STRAUSS, J. M. - 1979 - Rayleigh-Taylor and wind-driven instabilities of the nighttime equatorial ionosphere. *J. Geophys. Res.*, **84**: 3283-3288.
- DUNGEY, J. W. - 1956 - Convective diffusion in the equatorial F region. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **9**: 304-310.
- DYSON, P. L. & BENSON, R. F. - 1978 - Topside sounder observations of equatorial bubbles. *Geophys. Res. Lett.*, **5**: 795-798.

- HAERENDEL, G.** - 1973 - Theory of equatorial spread F. Report Max-Planck Institut für Phys. und Astrophys., Munich, Germany.
- HANSON, W. B., CRAGIN, B. L. & DENNIS, A.** - 1986 - The effect of vertical drift on the equatorial F-region stability. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **48**: 205-212.
- HOEGY, W. R., CURTIS, S. A., BRACE, L. H., MAUNARD, N. C. & HEELIS, R. A.** - 1982 - Dynamics explorer observations of equatorial spread F: Evidence for drift waves. *Geophys. Res. Lett.*, **9**: 993-996.
- HUANG, Y.-N., KANG, C. & HUANG, W.-T.** - 1987 - Seasonal and solar cycle variations of spread F at the equatorial anomaly crest. *J. Geomag. Geoelectr.*, **39**: 639-657.
- KELLEY, M. C., HAERENDEL, G., KAPPLER, H., VALENZUELA, A., BALSLEY, B. B., CARTER, D. A., ECKLUND, W. L., CARLSON, C. W., HAUSLER, B. & TORBERT, R.** - 1976 - Evidence for a Rayleigh-Taylor type instability and upwelling of depleted density regions during equatorial spread-F. *Geophys. Res. Lett.*, **3**: 448-451.
- KING, G. A. M.** - 1970 - Spread-F on ionograms. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **32**: 209-221.
- KULKARNI, P. V. & SANDERS, C. L.** - 1964 - Use of a radio-activated light source for the absolute calibration of two-colour night airglow photometer. *Planet. Space Sci.*, **12**: 189-194.
- MALCOLM, R., MILES, C. & TINSLEY, B. A.** - 1984 - Field aligned observation of trans-equatorial bubbles from Raratonga in 1969-70. *Geophys. Res. Lett.*, **11**: 665-668.
- MARTYN, D. F.** - 1959 - The normal F-region of the ionosphere. *Proc. IRE.*, **47**: 147-155.
- MARUYAMA, T.** - 1990 - A diagnostic model for equatorial spread F. I. Model description and application to electric field and neutral wind effects. *J. Geophys. Res.*, **93**: 14611-14622.
- MARUYAMA, T. & MATUURA, N.** - 1984 - Longitudinal variability of annual changes in activity of equatorial spread F and plasma bubbles. *J. Geophys. Res.*, **89**: 10903-10912.
- McCLURE, J. P., HANSON, W. B. & HOFFMAN, J. H.** - 1977 - Plasma bubbles and irregularities in the equatorial ionosphere. *J. Geophys. Res.*, **75**: 7199-7216.
- MENDILLO, M. & BAUMGARDNER, J.** - 1982 - Airglow characteristics of equatorial plasma depletions. *J. Geophys. Res.*, **87**: 7641-7652.
- MENDILLO, M., BAUMGARDNER, J. & SPENCE, H.** - 1982 - Airglow imaging studies of natural and artificially induced ionospheric disturbances. Final Scientific Report no. AFGL-TR-82-0075. Air Force Geophysics Laboratory, Hanscom AFB, Mass., USA.
- MENDILLO, M. & TYLER, A.** - 1983 - The geometry of depleted plasma regions in the equatorial ionosphere. *J. Geophys. Res.*, **88**: 5778-5782.
- MENDILLO, M., SPENCE, H. & ZALESK, S. T.** - 1985 - Simulation studies of ionospheric airglow signatures of plasma depletions at the equator. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **47**: 885-893.
- MOORE, J. G. & WEBER, E. J.** - 1981 - OI 6300 and 7774 Å airglow measurements of equatorial plasma depletions. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **43**: 851-858.
- MORSE, F. A., EDGAR, B. C., KOONS, H. C., RITA, C. J., HEIKKILA, W. J., HOFFMAN, J. H., TINSLEY, B. A., WINNINGHAM, J. D., CHRISTENSEN, A. B., WOODMAN, R. F., POMALAZA, J. & TEIXEIRA, N. R.** - 1977 - Equion. an equatorial ionospheric irregularity experiment. *J. Geophys. Res.*, **82**: 578-579.
- OSSAKOW, S. L., ZALESK, S. T., MCDONALD, B. E. & CHATURVEDI, P. K.** - 1979 - Nonlinear equatorial spread - F: Dependence on altitude of the peak and bottomside electron density gradient scale length. *J. Geophys. Res.*, **84**: 17-29.
- OYA, H., TAKAHASHI, T. & WATANABE, S.** - 1986 - Observation of low latitude ionosphere by the impedance probe on board the Hinotori satellite. *J. Geomag. Geoelectr.*, **38**: 111-123.
- PETERSON, V. L. & VAN ZANDT, T. E.** - 1969 - *O(1D)* quenching in the ionospheric F-region. *Planet. Space Sci.*, **17**: 1725-1736.
- RASTOGI, R. G.** - 1978 - On the equatorial spread F. *Proc. Indian Acad. Sci.*, **87**: 115-131.
- RASTOGI, R. G.** - 1980 - Seasonal and solar cycle variations of equatorial spread-F in the American zone. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **42**: 593-597.
- RASTOGI, R. G.** - 1986 - On the occurrence of equatorial spread-F in the evening hours. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **48**: 687-693.
- RASTOGI, R. G.** - 1989 - Spread-F equatorial fountain of plasma irregularities. *Ind. J. Radio Space Phys.*, **18**: 95-98.
- RASTOGI, R. G., KOPARKAR, P. V. & PATHAN, B. M.** - 1990 - Nighttime radio wave scintillations at Equa-

- torial Stations in Indian and American Zones. *J. Geomag. Geoelectr.*, **42**: 1-10.
- RAGHAVARAO, R., NAGESWARRAO, M., SASTRI, J. H., VYAS, G. D. & SRIRAMA RAO, M.** - 1988 - Role of equatorial ionization anomaly in the initiation of equatorial spread F. *J. Geophys. Res.*, **93**: 5959-5964.
- ROHRBAUGH, R. P., HANSON, W. B., TINSLEY, B. A., CRAGIN, B. L. & MCCLURE, J. P.** - 1989 - Images of transequatorial bubbles based on field-aligned airglow observations from Haleakala in 1984-1986. *J. Geophys. Res.*, **94**: 6763-6770.
- SAHAI, Y., BITTENCOURT, J. A., TEIXEIRA, N. R. & TAKAHASHI, H.** - 1981 - Plasma irregularities in the tropical F-region detected by OI 7774 and 6300 Å nightglow measurements. *J. Geophys. Res.*, **86**: 3496-3500.
- SAHAI, Y., BITTENCOURT, J. A., TEIXEIRA, N. R. & TAKAHASHI, H.** - 1983 - Observations of large scale F-region irregularities using airglow emissions at 7774 Å and 6300 Å. *Ann. Geophys.*, **1**: 271-276.
- SAHAI, Y., AARONS, J., MENDILLO, M., BAUMGARDNER, J., BITTENCOURT, J. A. & TAKAHASHI, H.** - 1994 - OI 630 nm imaging observations of equatorial plasma depletions at 16°S dip latitude. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **56**: 1461-1475.
- SAHAI, Y., AARONS, J., MENDILLO, M., TAKAHASHI, H., ABDU, M. A. & DE PAULA, E. R.** - 1994 - Studies of storm-time equatorial F-region irregularities. In *Low-Latitude Ionospheric Physics F.S. Kuo, ed. Proc. COSPAR Colloquium no. 7.*, Pergamon Press.
- SERAFIMOV, K., GOGOSHEV, M. & GOGOSHEVA, TS.** - 1977 - Models of the nighttime vertical distribution of the 6300 Å emission. *Geomag. Aeron.*, **17**: 702-705.
- SIPLER, D. P., BIONDI, M. A. & HAKE JR., R. D.** - 1981 - Studies of the motion of equatorial 630.0 nm airglow depletions. *Planet. Space Sci.*, **29**: 1267-1272.
- SOBRAL, J. H. A., ABDU, M. A. & BATISTA, I. S.** - 1980 - Airglow studies on the ionospheric dynamics over low latitude in Brazil. *Ann. Geophys.*, **36**: 199-204.
- SOBRAL, J. H. A., ABDU, M. A., BATISTA, I. S. & ZAMLUTTI, C. J.** - 1981 - Wave disturbances in the low latitude ionosphere and equatorial ionospheric plasma depletions. *J. Geophys. Res.*, **86**: 1374-1378.
- SOBRAL, J. H. A., ABDU, M. A. & SAHAI, Y.** - 1985 - Equatorial eastward plasma velocity characteristics from scanning airglow photometer measurements over Cachoeira Paulista. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **47**: 895-900.
- SZUSCZEWICZ, E. P., TSUNODA, R. T., NARCISI, R. & HOLMES, J. C.** - 1980 - Coincident radar and rocket observations of equatorial spread-F. *Geophys. Res. Lett.*, **7**: 537-540.
- TINSLEY, B. A.** - 1982 - Field aligned airglow observations of transequatorial bubbles in the tropical F-region. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **44**: 547-557.
- TINSLEY, B. A., CHRISTENSEN, A. B., BITTENCOURT, J. A., GOUVEIA, H., ANGREJI, P. D. & TAKAHASHI, H.** - 1973 - Excitation of oxygen permitted line emissions in the tropical nightglow. *J. Geophys. Res.*, **78**: 1174-1185.
- TSUNODA, R. T.** - 1980 - On the spatial relationship of 1-m equatorial spread F irregularities and plasma bubbles. *J. Geophys. Res.*, **85**: 185-190.
- TSUNODA, R. T.** - 1985 - Control of the seasonal and longitudinal occurrence of equatorial scintillations by the longitudinal gradient in integrated E region Pedersen conductivity. *J. Geophys. Res.*, **90**: 447-456.
- TSUNODA, R. T., BARON, M. J., OWEN, J. & TOWEL, D. M.** - 1979 - ALTAIR: an incoherent scatter radar for equatorial spread F. *Radio Sci.*, **14**: 1111-1119.
- VALLADARES, C. E., HANSON, W. B., MCCLURE, J. P. & CRAGIN, B. L.** - 1983 - Bottomside sinusoidal irregularities in the equatorial F region. *J. Geophys. Res.*, **88**: 8025-8042.
- VAN ZANDT, T. E. & PETERSON, V. L.** - 1968 - Detailed maps of tropical 6300 Å nightglow enhancements and their implications on the ionospheric F2 layer. *Ann. Geophys.*, **24**: 747-759.
- WEBER, E. J., BUCHAU, J., EATHER, R. & MENDE, S. B.** - 1978 - North-south aligned equatorial airglow depletions. *J. Geophys. Res.*, **83**: 712-716.
- WEBER, E. J., BUCHAU, J. & MOORE, J. G.** - 1980 - Airborne studies of equatorial F layer ionospheric irregularities. *J. Geophys. Res.*, **85**: 4631-4641.
- WEBER, E. J., BRINTON, H. C., BUCHAU, J. & MOORE, J. G.** - 1982 - Coordinated airborne and satellite measurements of equatorial plasma depletions. *J. Geophys. Res.*, **87**: 10503-10513.
- WOODMAN, R. F. & LAHOZ, C.** - 1976 - Radar observation of F region equatorial irregularities. *J. Geophys. Res.*, **81**: 5447-5466.



**YANO, K. - 1966** - Nightglow photometer using filter tilting technique. Rep. Ionosph. Space Res., Japan, 20: 229-232.

Submetido em: 02/05/95

Revisado pelo(s) autor(es) em: 30/10/95

Accito em: 30/11/95

## NOTAS SOBRE OS AUTORES NOTES ABOUT THE AUTHORS

### Y. Sahai

**Y. Sahai** - M. Sc. (Tech.) em 1960 e Ph. D. 1966 pela University of Allahabad, Allahabad, India. Pesquisador (1960-1962) e Professor Assistente (1962-1971) no Departamento de Física Aplicada da University of Allahabad. Ingressou no INPE em maio de 1971. Pesquisador Titular no INPE a partir de 1980. Áreas de pesquisa incluem luminescência atmosférica, física da ionosfera e ozônio atmosférico.

### J. A. Bittencourt

**J. A. Bittencourt** - M. Sc. em Ciências Espaciais pelo INPE, 1972 e Ph. D. em Física Especial/Física de Plasmas pela University of Texas at Dallas, USA, 1975. Ingressou no INPE em janeiro de 1971. Áreas de pesquisa incluem física de plasmas básica e aplicada, plasmas ionosférico e magnetosférico, processos dinâmicos em plasmas, alta atmosfera e simulação computacional de fenômenos em plasmas espaciais e de laboratório. Desde 1975 lecionou várias disciplinas de pós-graduação em Física de Plasmas, Eletrodinâmica, Propagação de Ondas Eletromagnéticas, Termodinâmica, Teoria Cinética, Mecânica Quântica, Física da Ionosfera e Dinâmica da Alta Atmosfera. Orientou vários alunos de Doutorado e Mestrado no INPE e no ITA (CTA). Possui cerca de 50 publicações em revistas internacionais de renome e é autor do livro texto *Fundamentals of Plasma Physics* (701 pp., 1ª ed. 1986; 2ª ed. 1995). É assessor da FAPESP e do CNPq, e Editor Associado (Aeronomia) da Revista Brasileira de Geofísica.

### José H. A. Sobral

**José H. A. Sobral** - Graduado engenheiro eletrônico pela Escola Nacional de Engenharia (Rio de Janeiro, 1966,

atual UFRJ), mestre em ciências espaciais pelo INPE em 1969 e Ph. D. em engenharia elétrica pela Cornell University, USA, 1973. Ingressou no INPE em 1967 como pesquisador assistente. Tem cerca de 50 publicações em revistas estrangeiras de renome internacional. É editor da International STEP News Letter editado pela NASA/Goddard Space Flight Center. Orientou diversos estudantes de mestrado e doutorado. É assessor da FAPESP e membro do comitê assessor do CNPq para Geofísica e Meteorologia. Atualmente é pesquisador titular do INPE e desempenha a função de Coordenador Geral da Área de Ciências Espaciais e Atmosféricas do INPE.

### P. R. Fagundes

**P. R. Fagundes** - Bacharel em Física pela Universidade Federal de São Carlos, 1985. Mestre em Ciências pelo INPE, 1988 e Doutor em Ciência Espacial pelo INPE, 1993. Atualmente é bolsista do CNPq atuando como pesquisador no INPE. Áreas de pesquisa de interesse incluem física da ionosfera, dinâmica da termosfera e acoplamento entre a termosfera e a ionosfera.

### H. Takahashi

**H. Takahashi** - Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, desde 1970. Nasceu no Japão em 1944. Bacharelado em Física pela Universidade de Niigata, Japão, mestrado em Física da Alta Atmosfera na mesma e doutoramento na área de Ciência Espacial pelo INPE em 1980. É membro da Sociedade Brasileira de Geofísica e do American Geophysical Union (AGU), USA. Orientou quatro alunos de pós-graduação nos cursos do INPE. Possui cerca de 60 publicações em revistas científicas internacionais de renome. Áreas de pesquisa de interesse incluem aeronomia e luminescência atmosférica.