

Relatório Final de Bolsa de Iniciação Científica - PIBIC

Instituição onde foi realizada esta Bolsa: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, São José dos Campos, S. P.

Instituição outorgante: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico- CNPq

Bolsista: Sabrina Gomes Pereira
Orientador: Dr. José Humberto Andrade Sobral

Título do projeto: Estudos da Ionosfera de baixa latitude:

- 1. Variações diurnas, sazonais, com a atividade magnética e com o ciclo de atividade solar do perfil de densidade eletrônica, sobre a região brasileira;**
- 2. Irregularidades ionosféricas na região brasileira.**

Relatório Final
Prazo de entrega 30/06/2000

1. Objetivo Geral

Este projeto de pesquisa está dividido em duas partes. A primeira delas tem como objetivo o estudo das variações do perfil de densidade eletrônica com a hora local (variação diurna), sazonal, atividade magnética e ciclo de atividade solar. O objetivo dessa parte do estudo será levar ao conhecimento o comportamento físico da ionosfera sobre a região brasileira, focalizando as variabilidades das concentrações eletrônicas. A Segunda parte tem como objetivo estudar a incidência das irregularidades do plasma ionosférico sobre a região brasileira e levar ao conhecimento das características temporais das irregularidades da ionosfera sobre a região brasileira.

2. Introdução

Para este trabalho, aprendi a utilizar o modelo IRI para calcular o perfil teórico da densidade eletrônica do pico da região F sobre a região de Cachoeira Paulista (-22,4°, 315°) e Fortaleza (-4°, 322°), tendo como objetivo compará-los com dados experimentais de ionosonda, levando em consideração as variações diárias, sazonais, atividade solar e atividade magnética (Kp). Levando em consideração a atividade solar máxima, escolhemos o ano de 1978 para estes cálculos.

Também, conforme previsto no projeto original, dei continuidade ao projeto anterior intitulado "Estudos estendidos sobre a frequência de ocorrência das bolhas ionosféricas da região sudeste brasileira", que investiga a frequência de ocorrência das bolhas ionosféricas sobre a região de Cachoeira Paulista no período de 1977 a 1998, baseando-se em cerca de 934 noites de experimentos noturnos de aeroluminescência OI 630nm realizados em Cachoeira Paulista.

3. Primeira parte:

Nesta parte do projeto de pesquisa tomamos o conhecimento das variações da densidade eletrônica da região F sobre a região brasileira, conforme citado na seção 1. A região F é a parte mais densa da ionosfera e, portanto, a sua parte mais importante no que diz respeito às suas propriedades físicas (radiopropagação e comportamento do plasma).

3.1 Metodologia

A densidade eletrônica do pico da região F foi calculada a partir da frequência crítica da camada F (foF2), esse valor foi colocado na seguinte fórmula: $N = F_n^2 \times 1,2407 \times 10^4$, onde N é a densidade eletrônica e F_n^2 é a frequência crítica da camada F, para o caso experimental. Para o caso teórico foi usado o modelo ionosférico internacional IRI (International Reference Ionosphere (RAWER)). A partir do modelo teórico IRI obtivemos perfis para os horários: 0h, 6h, 12h e 18h e a partir dos dados experimentais foi obtido valores (tabela 4) de densidade eletrônica no pico e sua altura correspondente, para os mesmos horários, da seguinte maneira:

- A partir de uma tabela de Kp (obtida na Internet no seguinte endereço: ftp://ftp.ngcd.noaa.gov/STP/GEOMAGNETIC_DATA/INDICES/KP_AP), foram selecionados os três dias mais calmos e os três dias mais perturbados.
- Pegamos os dados de ionossonda (foF2 e hpF2) para os dias já selecionados.
- Os valores de foF2 foram jogados na fórmula acima descrita, onde se calcula a densidade eletrônica;
- Tiramos uma média para os valores de densidade eletrônica e hpF2, que foram utilizados para compor a tabela 4;
- A partir desta tabela pudemos compor os gráficos das Figuras 8, 9, 10 e 11.

3.2 IRI

O modelo empírico *International Reference Ionosphere (IRI)* em primeira instância foi desenvolvido por um comitê internacional (*Comite on Space Research, COSPAR*) nos finais da década de 60. A partir da sua criação o IRI vem sendo constantemente aperfeiçoado (atualizado) com as descobertas mais recentes com o objetivo de tornar seus resultados bem próximos dos fenômenos (dados) reais que ocorrem na ionosfera.

O IRI descreve o perfil de distribuição vertical de temperatura eletrônica e iônica, densidade eletrônica e composição iônica, sendo que estas descrições são uma média mensal das mesmas. As temperatura eletrônica e iônica e a composição iônica, estão fora do escopo deste trabalho. Por outro lado o IRI não leva em conta o comportamento das irregularidades ionosféricas, irregularidades como "Spread-F", camada E esporádica, tempestades magnéticas. Também não estão incluídas no modelo IRI as Latitudes Aurorais.

Para o caso do IRI-90 (modelo utilizado neste trabalho) as fontes de dados utilizados foram medidas de ionossonda, medidas de radares de espalhamento incoerente, medidas de sondas a bordo de satélites, medidas *in situ*, medidas em foguetes, dados de sinais de satélites e medidas de absorção (a partir da superfície).

Uma variedade de funções e expressões analíticas são utilizadas no IRI para representar as variações espaciais e temporais ionosféricas. O código computacional que determina o IRI, publicado em 1967 pelo *Comite de Consulta Internacional de Radio Comunicação (CCIR)*, foi baseado em um grande número de medidas feitas por ionossondas, em mais de cem estações espalhadas pelo mundo. Este conjunto de dados, entretanto, são escassos em algumas regiões do planeta, como o hemisfério sul e sobre os oceanos. Para estes casos foi necessário fazer algoritmos de interpolação para ser introduzido no modelo.

Discutiremos a seguir as possíveis análises a serem feitas pelo IRI:

- **Densidade Eletrônica:**

O perfil da densidade eletrônica do IRI é dividido em seis sub-regiões distintas, sendo estas: o topo (*topside*), a base da camada F2 (*F2-bottomside*), a camada F1, a região intermediária, a região do “vale” da camada E (*E-valley*), a base da camada E e a região D.

Região F2 (e topside) – O IRI é baseado matematicamente nas Análises de Fourier da variação diurna média mensal observada pela rede de ionossondas e em uma descrição mundial em termos de funções esféricas (Legendre). Duas séries de coeficientes são fornecidos para cada mês, sendo que uma é para baixa atividade solar e outra para alta atividade solar. Para atividades intermediárias estes valores são encontrados através de interpolações lineares.

Para o modelo URSI (*International Union of Radio Science*), as regiões com escassez de dados (oceanos e hemisfério sul) foram principalmente analisados tendo como princípio o povoamento destas lacunas com valores da frequência crítica obtidos da teoria aeronômica e então aplicado no processo de análise.

A altura do pico pode ser obtido por processos de extrapolação do perfil ou através da correlação com o parâmetro de propagação M(3000)F2. O modelo *topside* foi baseado na compilação descritiva de dados de sondagem de satélites e funções *Epstein* e são usadas para obter uma representação analítica dos valores.

Região F1 – O IRI tem relações entre a frequência crítica da camada F1 e a atividade solar, latitude da inclinação magnética e ângulo zenital solar, onde a Camada F1 é suposta existir apenas um determinado valor deste ângulo zenital. O IRI omite traços da camada F1 a noite e no inverno, isto devido a evidências experimentais.

Região E (e região intermediária) – O perfil da região intermediária é obtido por uma relação entre a função do perfil da camada F1 e a densidade na camada e, ou através da interpolação linear.

A frequência crítica do pico da camada E depende da média mensal dos últimos 12 meses do fluxos solar de 10,7cm, da estação do ano, da latitude geodésica e do ângulo zenital solar. Um ângulo zenital modificado foi introduzido para aperfeiçoar a variação noturna.

O perfil do vale e do pico da região F é descrito por uma série de potência de 5^o ordem, onde os parâmetros utilizados foram obtidos através de medidas de espalhamento incoerente. As irregularidades observadas na região do vale durante o dia e em latitudes baixas e equatoriais, e também as irregularidades como o fenômeno E-espalhado não foram incluídas no IRI.

Região D e base da Região E – O modelo utiliza uma relação empírica baseada em dados de foguetes, uma média mensal dos últimos 12 meses, número de manchas solares e ângulo zenital solar. O perfil de densidade é representado por um polinômio de 3^o ordem e uma exponencial é utilizada para conectar o perfil da região D com a densidade do pico da camada E.

Uma combinação de quatro funções LAY (*Rawer LAYer Function*) pode ser utilizada para representar o perfil da densidade eletrônica desde o pico da camada E até o pico da camada F2. A função LAY combina a função de transição Epstein com um termo linear.

- **Densidade Iônica**

O IRI descreve a porcentagem relativa das densidades iônicas devido à condição de neutralidade de carga, ou seja, a densidade dos íons positivos é igual a densidade eletrônica. O modelo descreve a porcentagem dos íons O^+ e O_2^+ (até 100%) com os íons mais leves no topo e com íons NO^+ em baixas altitudes. Uma décima parte dos íons leves é suposta ser He^+ e o restante H^+ . Devido as limitações dos dados, o modelo está restrito a Ter como respostas as horas iluminadas pelo sol.

Em baixas altitudes usa-se dados de foguetes (espectrômetro de massa iônico) e para o topo, o perfil de O^+ conta com alguns dados de satélites. O IRI distingui condições de dia e noite e dois intervalos de latitude.

Somente duas funções Epstein são necessárias para representar o perfil de O_2^+ . As porcentagens de NO^+ , H^+ e He^+ também podem ser determinadas por estas funções. Um modelo alternativo descreve a densidade relativa do O^+ , H^+ , He^+ , NO^+ , O_2^+ , N_2^+ e íons aglomerados nas altitudes entre 75Km e 1000Km, levando em conta a variação com o ângulo zenital solar, latitude, estação do ano e atividade solar e este é baseado em dados de satélites e foguetes (Danilov and Yaichnickov, 1985).

3.3 Discussão e Conclusões da 1ª parte:

Pudemos notar que existe uma discrepância entre o valor teórico e o valor experimental, isso mostra que o modelo teórico não está adequado para a região de baixa latitude. Caso já observado pelo orientador desta bolsa IC.

Há uma imprevisibilidade da dinâmica da atmosfera na baixa latitude, Fortaleza, por ficar próximo a região de eletrojato equatorial fica exposto a esta imprevisibilidade, já Cachoeira Paulista aproxima-se mais do modelo.

Pudemos perceber também que as 12hs existe uma maior previsibilidade quanto aos valores experimentais e teórico.

Quando existe espalhamento na camada F (Spred-F), não temos como obter o fOF2. O espalhamento aparece entre 18:15h até 6h da manhã, daí a dificuldade de obter os valores para 0h nos seguintes gráficos:

- Fortaleza/Maio (dias perturbados)
- Fortaleza/Fevereiro(dias perturbados)

Para o gráfico Cachoeira Paulista/Novembro(dias perturbados), na figura 11, não temos dados experimentais.

4. Segunda parte:

Esta parte do projeto consiste basicamente em dar continuidade a estatística das bolhas ionosféricas que foi feita no projeto anterior, o qual se encontra atualizado até o ano de 1998.

O fenômeno ionosférico aqui estudado é conhecido por bolhas ionosféricas (*ionospheric plasma bubbles*), as quais consistem em regiões de grandes dimensões espaciais de depleção de plasma ionosférico e foram descobertas sobre a região brasileira, por volta de 1977 pelo núcleo de estudos ionosféricos do INPE (Sobral et al., 1980a,b; 1981). Elas se estendem ao longo das linhas de força do campo geomagnético, podendo atingir milhares de quilômetros ao longo das linhas de força, tomando muitas vezes extensões trans-equatoriais. Sua dimensão no plano perpendicular ao campo magnético é em torno de 150 km. Esse fenômeno é de grande importância para o ambiente espacial brasileiro devido à sua forte interferência nas telecomunicações, inclusive as telecomunicações via satélite. Sua estrutura de irregularidades de densidade eletrônica causa interferências na onda eletromagnética através de processos de interação onda-partícula, onde as partículas (íons e elétrons) do meio ionosférico ou roubam ou ganham energia da radiação eletromagnética.

A figura 1A ilustra o comportamento dinâmico da bolha, mostrando-a desde o seu aparecimento logo após o por do sol e subindo em altura, sempre alinhada ao longo da linha de campo geomagnético, à medida que se desloca para leste. A figura 1B mostra, esquematicamente a interferência da bolha nas telecomunicações via satélites.

Este projeto visa estudar a ionosfera noturna na região de Cachoeira Paulista (CP), utilizando-se a técnica ótica de aeroluminescência, ou *airglow* na língua inglesa. Os experimentos aqui concernentes foram realizados durante vários anos pelo orientador desta bolsa IC, na cidade de Cachoeira Paulista situada no interior de São Paulo. Esses experimentos foram executados pelos observadores técnicos Pedro Paulo e Hélio Borges, do observatório de aeroluminescência do INPE de CP.

Este projeto apresenta três tabelas mostrando a frequência de ocorrência das bolhas ionosféricas no período de 1977 a 1998.

A tabela 1 mostra o período de atividade solar completo, ou seja, o período de máxima atividade solar mais o de mínima, compreendendo os anos de 1977 a 1998, perfazendo um total de 934 noites de observação.

Após refeitas as tabelas foram plotados os respectivos gráficos referentes ao número de dias de observação e a frequência de ocorrência das mesmas completando, assim, a estatística de aparecimento das bolhas ionosféricas.

Favor verificar no relatório anterior sobre “A luminescência noturna OI 630nm” e “O Observatório de Luminescência de Cachoeira Paulista”

4.1 Metodologia

A detecção das bolhas ionosféricas é feita através dos registros da intensidade da aeroluminescência onde aparecem as assinaturas das bolhas sob forma de vales que se deslocam de oeste para leste nos perfis espaciais da aeroluminescência $\lambda = 630$ nm. A Figura 1D, no topo, mostra a camada emissora de aeroluminescência com o céu quieto, ou seja, sem perturbações da aeroluminescência. Na parte inferior da Figura 1D está ilustrado o perfil perturbado pela presença da bolha ionosférica. Colocando-se tais registros perturbados pela bolha da Figura 1D um após o outro, resulta a seqüência de perturbações onde aparece o deslocamento das bolhas ionosféricas tal como mostra a Figura 1F (veja também os registros das figuras apresentadas por Sobral et al. 1980a,b; 1981; 1985; 1990; 1991).

Os registros de aeroluminescência no comprimento de onda acima citado são possivelmente o melhor método diagnóstico para detectar a presença da bolha já que a sua presença é quase impossível passar despercebida na aeroluminescência. Por isso cremos nos resultados do nosso estudo estatístico.

Os perfis acima citados são montados numa folha de papel, um após o outro, e tudo isso feito à mão por se tratarem de dados antigos sem a digitalização que temos hoje em dia desses dados. O sistema de aquisição de dados dos fotômetros de varredura somente foi digitalizado no ano de 1992. De modo que a maioria dos experimentos mostrados na Tabela 1 foram feitos com registro em folha de papel registrador. A seqüência de perfis montada na forma acima citada chamamos de “mosaico” (veja tais perfis ilustrados por Sobral et al. (1980a,b;1981;1985;1990;1991).

É importante salientar que nesta atualização da estatística pudemos contar também com dados do imageador fotográfico e imageador CCD, nos anos de 1994 a 1998. Na figura 1G e 1H do Imageador CCD, tiradas no dia 23/10/1998, podemos notar a presença e não presença das bolhas, respectivamente. Devemos salientar que as imagens cobrem uma área de 1100km^2 centrada em Cachoeira Paulista.

Os anos aqui estudados (1977 – 1998) foram divididos em dois grupos: um deles correspondente às menores atividades solares (1977, 1983 – 1987, 1993 – 1998) e o outro às maiores atividades solares (1978 – 1982, 1988 – 1992).

Abaixo está a tabela de manchas solares (*sunspot numbers*) relativas ao período aqui estudado.

ANO	SUNSPOT NUMBERS
1977	27,5
1978	92,5
1979	155,4
1980	154,6
1981	140,4
1982	115,9
1983	66,6
1984	45,9
1985	17,9
1986	13,4
1987	29,4
1988	100,2
1989	157,6
1990	142,6
1991	145,7
1992	94,3
1993	54,6
1994	29,9
1995	17,5
1996	8,7
1997	21,5
1998	64,3

Sunspot Numbers

A tabela acima mostra o número médio de manchas solares em cada ano do período aqui estudado (1977 – 1998). Conforme pode-se notar tais números são maiores no grupo de anos de maior atividade solar (1978 - 1982 , 1988 – 1992) cujo número médio é 129,92 e menores nos de menor atividade solar (1977 , 1983 – 1987, 1993 - 1998) cujo número médio é 33,1.

4.2 Discussão e Conclusões da 2ª parte

Foi feito neste trabalho um estudo sobre a frequência de ocorrência das bolhas ionosféricas sobre a região de Cachoeira Paulista envolvendo um total de 934 noites estudadas. Ao que nos conta este é o estudo estatístico envolvendo o maior número de dados (número de dias) que temos conhecimento. Portanto este trabalho deverá resultar numa publicação num periódico especializado, de alto nível científico.

No projeto anterior conseguimos atingir a marca de 751 noites de experimentos, portanto, em nossa estatística foram acrescentadas 183 noites, sendo dados do fotômetro e do Imageador, conforme citado anteriormente.

A Tabela 1 mostra os resultados da análise completa que fizemos sobre a ocorrência das bolhas ionosféricas sobre a região de Cachoeira Paulista.

A Tabela 2 mostra a frequência de ocorrência das bolhas ionosféricas no período de máxima atividade solar.

A Tabela 3 mostra a frequência de ocorrência das bolhas ionosféricas no período de mínima atividade solar.

Analisando os gráficos das respectivas tabelas podemos verificar a grande sazonalidade da ocorrência das bolhas ionosféricas, já que durante os meses de verão, ou mais especificamente no período que vai de outubro a março, a ocorrência delas é bastante frequente (veja também Sobral et al., 1980a,b; 1981). Durante o período restante do ano, ou seja, de abril a setembro, a frequência de ocorrência das bolhas vai diminuindo a partir de abril, até atingir um mínimo de ocorrência no mês de julho (Sobral et al. 1997a). As bolhas ionosféricas também podem ocorrer nos meses de inverno quando existem fortes tempestades magnéticas (Sobral et al. 1997b).

Foram examinados os experimentos de luminescência noturna durante o período de 1977-1998, cerca de 934 dias de experimentos de aeroluminescência ionosférica ($\lambda = 630 \text{ nm}$) com o objetivo de detectar bolhas ionosféricas na região de Cachoeira Paulista. Para cada noite de experimento foram montados perfis de intensidade de aeroluminescência correspondendo cada perfil a uma varredura espacial de $\pm 75^\circ$ em torno do plano vertical. A seqüência de tais perfis permitiu verificar se a bolha estava presente ou não. Os nossos resultados indicaram uma grande sazonalidade na ocorrência das bolhas ionosféricas cuja frequência de ocorrência se maximiza no período de outubro a março e se minimiza no inverno, ou seja, de abril a setembro.

As conclusões deste projeto de pesquisa podem ser resumidas, como verificado no término da pesquisa, da seguinte maneira:

1) Existe claramente uma considerável sazonalidade na frequência de ocorrência das bolhas ionosféricas sobre a região de Cachoeira Paulista.

2) A frequência de ocorrência das bolhas ionosféricas durante o período completo de atividade solar corresponde a máxima ocorrência no mês de janeiro (86,0%) e a mínima ocorrência no mês de maio (11,2%). O gráfico desta frequência de ocorrência está mostrado na Figura 3. A figura 2 mostra, sob forma de ocorrência o histograma da ocorrência ou não das bolhas desse mesmo período.

3) A frequência de ocorrência das bolhas ionosféricas durante o período de máxima atividade solar corresponde a máxima ocorrência no mês de janeiro (82,6%) e a mínima ocorrência no mês de maio (10,5%). O gráfico desta frequência de ocorrência está mostrado na Figura 5. A figura 4 mostra, sob forma de ocorrência o histograma da ocorrência ou não das bolhas desse mesmo período.

4) A frequência de ocorrência das bolhas ionosféricas durante o período de mínima atividade solar corresponde a máxima ocorrência no mês de janeiro (90%) e a mínima ocorrência no mês de maio (12,2%). O gráfico desta frequência de ocorrência está mostrado na Figura 7. A figura 6 mostra, sob forma de ocorrência o histograma da ocorrência ou não das bolhas desse mesmo período.

As conclusões acima estão coerentes com o fato de as bolhas ocorrerem com mais frequência quanto maior for a velocidade de subida da ionosfera após o pôr do sol e isso ocorre nos meses de verão, mas precisamente no mês de janeiro e com menos frequência durante o inverno pois, durante o inverno tais velocidades de subida da ionosfera são menores.

5. Conclusão:

1º Parte:

Neste projeto obtivemos os gráficos acima citados, capazes de mostrar as variações do perfil de densidade eletrônica com a hora local (variação diurna), sazonal, atividade magnética e ciclo de atividade solar e a comparação com o modelo teórico.

2º Parte:

Através do conhecimento da variabilidade do perfil de densidade eletrônica sobre a região brasileira, com a hora local, estação do ano, etc, e da determinação das características temporais da ocorrência das irregularidades ionosféricas sobre a região brasileira, que provocam fortes interferências nas telecomunicações, pudemos adquirir uma visão substancial da ionosfera e atmosfera brasileira.

6. Legendas

Figura 1A. Esta figura ilustra o comportamento dinâmico da bolha, mostrando-a desde o seu aparecimento logo após o por do sol e subindo em altura, sempre alinhada ao longo da linha de campo geomagnético, à medida que se desloca para leste. A parte sombreada representa o período noturno no globo terrestre.

Figura 1B. Essa figura mostra esquematicamente a interferência da bolha ionosférica sobre o sinal do satélite. A bolha rouba energia do sinal resultando num sinal de menor intensidade ao sair da bolha.

Figura 1C. Esta figura ilustra esquematicamente a camada emissora ante o perfil de densidade eletrônica da ionosfera. A camada emissora da aeroluminescência OI 630 nm aqui estudada fica próxima e logo abaixo do pico da camada F da ionosfera e tem cerca de uns 40 km de espessura. A altura do máximo de densidade eletrônica está situada em torno de 300 km de altura. Entretanto essa altura pode variar com a hora do dia e com a localidade geográfica. Porém a camada emissora em geral é considerada como situada a uma altura de 300 km.

Figura 1D. Mostra-se esquematicamente, no topo da figura, a camada emissora de aeroluminescência com o céu quieto, ou seja, sem perturbações da aeroluminescência. Na parte inferior está ilustrada a mesma camada na presença de uma bolha ionosférica.

Figura 1E. Esta figura mostra uma visão geral dos equipamentos das Divisões de Aeronomia (DAE) e Geofísica Espacial (DGE) da área de Ciências Espaciais e Atmosféricas CEA

Figura 1F. Esta figura mostra o a seqüência dos registros perturbados num caso real, ou seja, um resultado experimental onde aparece o deslocamento das bolhas ionosféricas

Figura 1G. Esta imagem mostra claramente a detecção de bolhas ionosféricas pelo Imageador CCD no dia 23/10/1998 às 22:33:32(hora local).

Figura 1H. Esta figura mostra a não detecção de bolhas ionosféricas pelo Imageador CCD no dia 23/10/1998 às 19:13:37(hora local).

Figura 2. Histograma das bolhas observadas no período completo (1977 a 1998).

Figura 3. Frequência de ocorrência das bolhas ionosféricas no período de 1977 a 1998.

Figura 4. Histograma das bolhas observadas no período máximo (1978 a 1982, 1988 a 1992).

Figura 5. Frequência de ocorrência das bolhas ionosféricas no período máximo (1978 a 1982, 1988 a 1992).

Figura 6. Histograma das bolhas observadas no período mínimo (1977, 1983 a 1987 e 1993 a 1998).

Figura 7. Frequência de ocorrência das bolhas ionosféricas no período mínimo (1977, 1983 a 1987 e 1993 a 1998).

Figura 8. Mostra os gráficos de Cachoeira Paulista e Fortaleza para o mês de Fevereiro, com os dias calmos e perturbados.

Figura 9. Mostra os gráficos de Cachoeira Paulista e Fortaleza para o mês de Maio, com os dias calmos e perturbados.

Figura 10. Mostra os gráficos de Cachoeira Paulista e Fortaleza para o mês de Agosto, com os dias calmos e perturbados.

Figura 11. Mostra os gráficos de Cachoeira Paulista e Fortaleza para o mês de Novembro, com os dias calmos e perturbados.

Tabela 1. Frequência de ocorrência das bolhas ionosféricas no período de 1977 a 1998.

Tabela 2. Frequência de ocorrência das bolhas ionosféricas no período de 1978 a 1982, 1988 a 1992.

Tabela 3. Frequência de ocorrência das bolhas ionosféricas no período de 1977, 1983 a 1987 e 1993 a 1998.

Tabela 4 A tabela mostra os dados de densidade eletrônica e h_pF_2 utilizados para confecção dos gráficos para os horários: 0h, 6h, 12h e 18h.

7. Referências Bibliográficas:

International Reference Ionosphere, Rawer, K., NOAA Rept, UAG-82, U. S. Dept. of Commerce, Washington, DC, 1981.

SOBRAL, J. H. A.; ABDU, M. A.; BATISTA, I. S. "Airglow Studies on Ionosphere Dynamics over Low Latitude in Brazil". *Ann. Geophys.* 36(2), 199-204, 1980.

SOBRAL, J. H. A.; ABDU, M. A.; BATISTA, I. S.; ZAMLUTTI, C. J. "Association Between Plasma Bubble Irregularities and Airglow Disturbances over Brazilian Low Latitudes". *Geophys. Res. Lett.*, 11(7), 980-982, 1980.

SOBRAL, J. H. A.; ABDU, M. A.; ZAMLUTTI, C. J.; BATISTA, I. S. "Wave Disturbance in the Low Latitude Ionosphere and Equatorial Ionosphere Plasma Depletions". *J. Geophys. Res.*, 86(A3), 1374-1378, 1981.

SOBRAL, J.H.A.; ABDU, M.A.; BATISTA, I.S. "Airglow Studies on Ionosphere Dynamics over low Latitude in Brazil". *Ann. Geophys.* t.36, fasc. 2, 1980, pp. 199-204, 1980a.

SOBRAL, J.H.A.; ABDU, M.A.; BATISTA, I.S.; ZAMLUTTI, C.J. "Association Between Plasma Bubble Irregularities and Airglow Disturbances over Brazilian Low Latitudes". *Geophys. Res. Lett.*, 11 (7), 980-982, 1980b.

SOBRAL, J.H.A.; ABDU, M.A.; ZAMLUTTI, C.J.; BATISTA, I.S. "Wave Disturbances in the Low Latitude Ionosphere and Equatorial Ionospheric Plasma Depletions". J. Geophys. Res., 86, A3, 1374-1378, 1981.

SOBRAL, J.H.A.; ABDU, M.A.; SAHAI, Y. "Equatorial Plasma Bubble Eastward Velocity Characteristics from Scanning Airglow Photometer Measurements over Cachoeira Paulista". J. Atmos. Terr. Phys. vol. 47(8-10), 895-900, 1985.

SOBRAL, J.H.A. and ABDU, M.A. "Latitudinal Gradient in the Plasma Bubble Zonal Velocities as Observed by Scanning 630nm Airglow Measurements". J. Geophys. Res., vol. 95, nº A6, 8253-8257, 1990.

SOBRAL, J.H.A.; ABDU, M.A. "Solar Activity Effects on Equatorial Plasma Bubble Zonal Velocity and its Latitude Gradient as Measured by Airglow Scanning Photometers". J. Atmos. Terr. Phys. vol. 53(8), 729-742, 1991.

SOBRAL, J. H. A.; BORBA, G. L.; ABDU, M. A.; BATISTA, I. S.; SAWANT, H.S.; ZAMLUTTI, C. J.; TAKAHASHI, H.; NAKAMURA Y. "Post-sunset wintertime 630.0 nm airglow perturbations associated with gravity waves at low latitudes in the south american sector". J. Atmos. Terr. Phys., vol. 59, 13, 1611-1623, 1997a.

SOBRAL, J. H. A.; ABDU, M. A.; GONZÁLEZ, W. D.; TSURUTANI, B., T.; BATISTA, I. S. "Effects of intense storms and substorms on the equatorial ionosphere/thermosphere system in the American sector from ground based and satellite data". J. Geophys. Res., vol. 102, 14305-14313, 1997b.

Agradecimentos – Esta Bolsa de Iniciação Científica foi outorgada pelo CNPq através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica e executada nas dependências da Divisão de Aeronomia do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. A Bolsista agradece a atenção do Prof. Ijar M. Fonseca, responsável por tais bolsas no INPE.

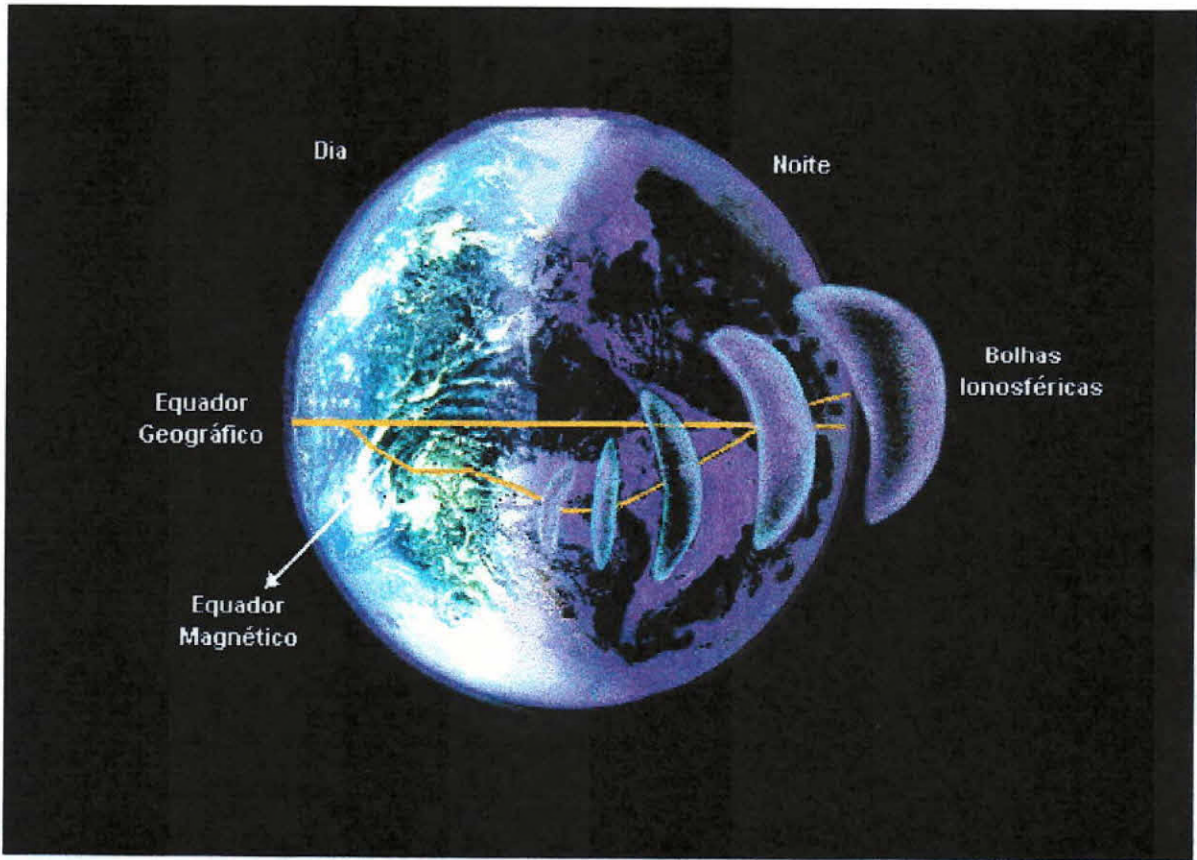


Figura 1A

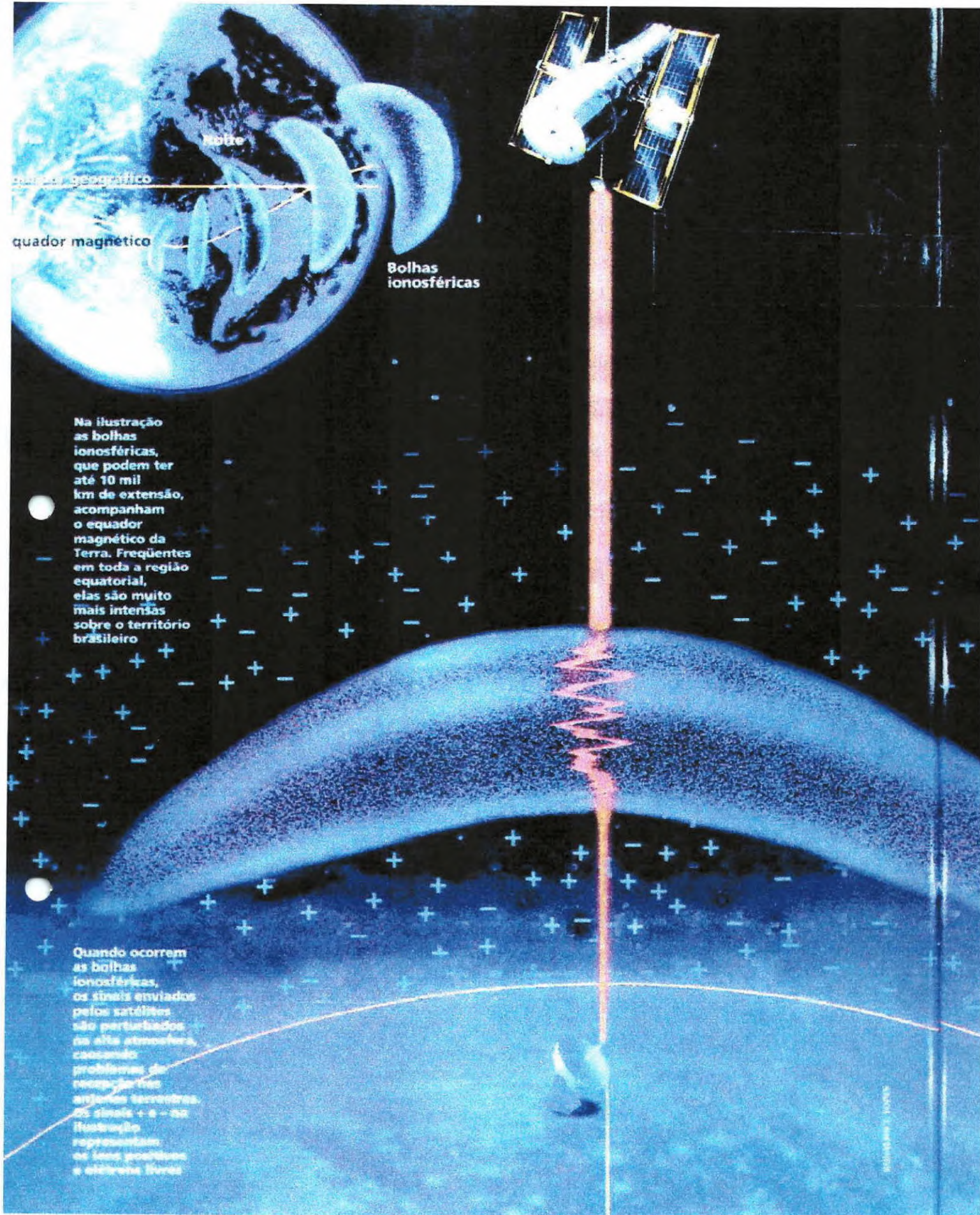


Figura 1B

A IONOSFERA E A LUMINESCÊNCIA NOTURNA

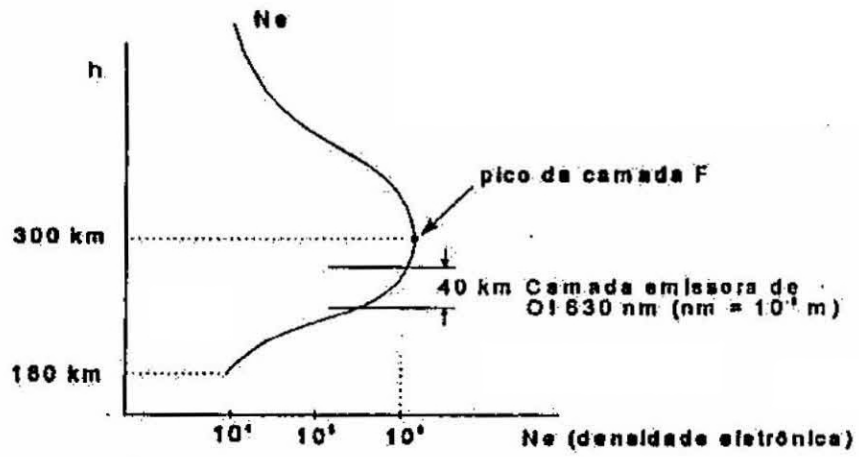


Figura 1C

OBSERVAÇÃO DO AIRGLOW

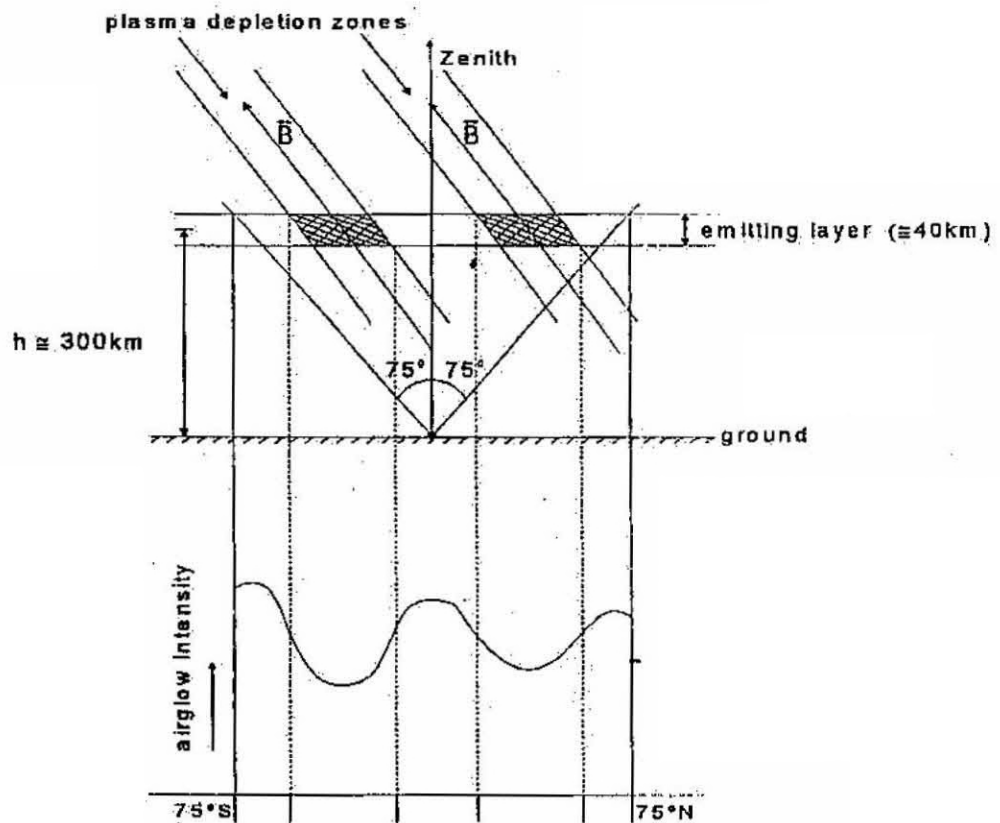
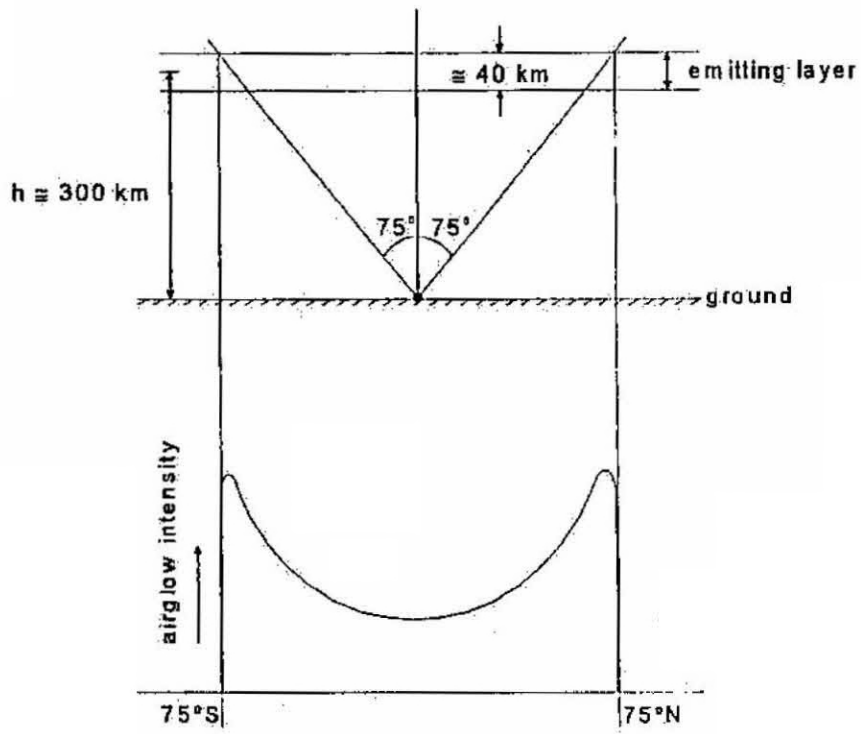


Figura 1D

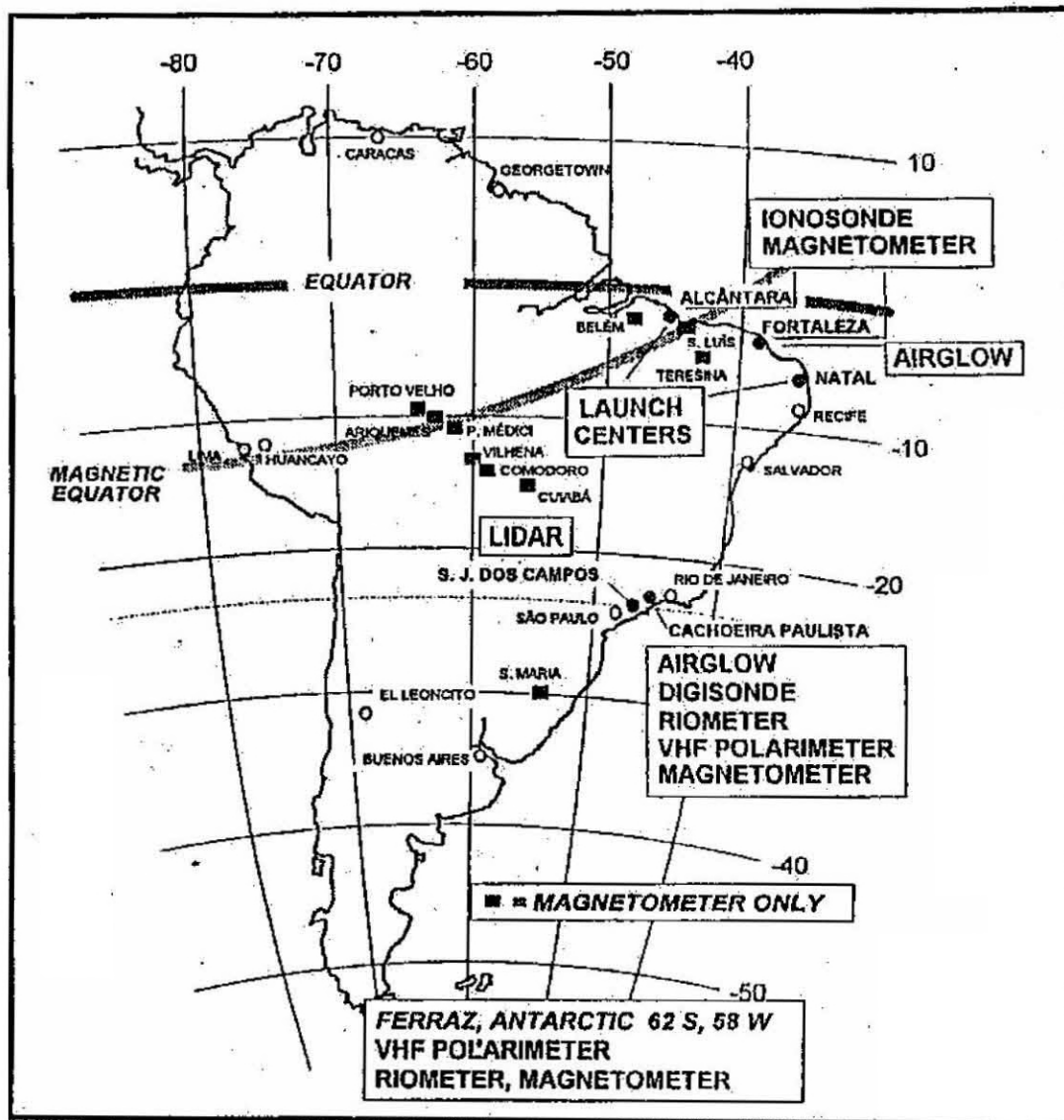


Figura 1E

EXEMPLO DE PERFIS DE AIRGLOW DE VARREDURAS LESTE-OESTE SOBRE CACHOEIRA PAULISTA

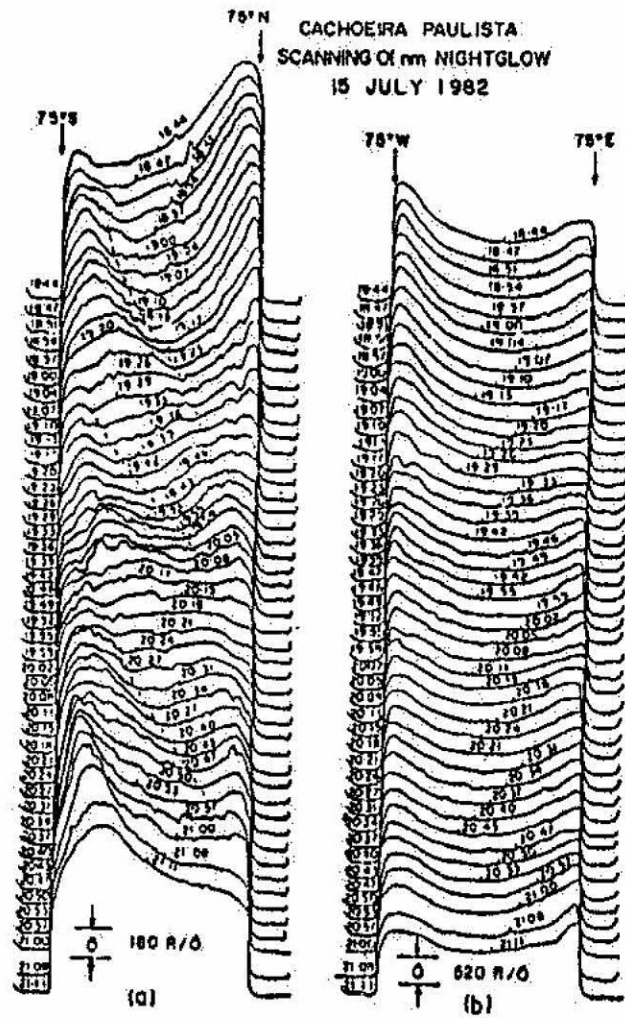


Figura 1F



Figura 1H



Figura 1G

COMPLETE SOLAR ACTIVITY PERIOD OF BUBBLE OBSERVATION -TOTAL OF 934 NIGHTS

YEAR	BUBBLES	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1977	YES												
	NO								8			2	
1978	YES						1	3		2	3	2	2
	NO			2		9	4	6	4	1			
1979	YES	1	1	3	5							3	
	NO					7	3	4	2			3	
1980	YES	1	7	6	3	2				3	2	3	3
	NO		1	2	5	8	4	4	5	3	1	2	5
1981	YES	5	4	3					3	3	2	2	5
	NO	2	2		1		1	10	4	1	3	2	
1982	YES	2	3	1	3			2			4		
	NO	1	4	3	8	7	7	14					
1983	YES	2	3	6									
	NO				4	10	4	10	11				
1984	YES							1		1	4	1	
	NO			1	3		4	9	3	5	5		3
1985	YES		1	2							2		
	NO		5	3	1			1			5		
1986	YES	3	1	1							4	2	
	NO	1		1			11				8		
1987	YES	2	5	5	1						1	4	1
	NO	1	2	7	4	9	10	11	6			1	2
1988	YES	5		3							3	3	7
	NO											1	2
1989	YES			2			3			1	2	1	1
	NO			1			2						
1990	YES	3	1	4	3	4	5		2	4	1	10	3
	NO			3	1	9	4	4	2			2	
1991	YES	1		5	4		2	2	2	1	1	1	2
	NO				1	7	5	5	5	8			
1992	YES	1	2	3	2		1				2		
	NO	1	2	1	3	4	11	2					
1993	YES										4	4	3
	NO										1	2	1
1994	YES	2	3	1	1						4	4	5
	NO		1	2					1	5	3		
1995	YES	1	3	3		1	2	9	9		3	1	
	NO		1	1	9	4	6	1	1	1	2		
1996	YES	2	2	2	2	2	4	4	3	1		3	1
	NO				2	1	6	3	3	1			
1997	YES		7	2	1	2	3	2	2	2	5	2	
	NO		1	2	6	4	2	4	6	2	1		
1998	YES	6	2	1					2	1	3	3	4
	NO				2	8	8	9	10	2	2	1	1
total	OBSERVED	37	45	53	25	11	21	23	23	19	50	49	37
	NOT OBSERVED	6	19	29	50	87	92	97	71	29	31	16	14
Total number of days:		43	64	82	75	98	113	120	94	48	81	65	51
Frequency of occurrence:		86,0%	70,3%	64,6%	33,3%	11,2%	18,6%	19,2%	24,5%	39,6%	61,7%	75,4%	72,5%

Tabela 1

**COMPLETE SOLAR ACTIVITY PERIOD
BUBBLES OBSERVATION FOR A TOTAL OF 934 NIGHTS OF EXPERIMENTS**

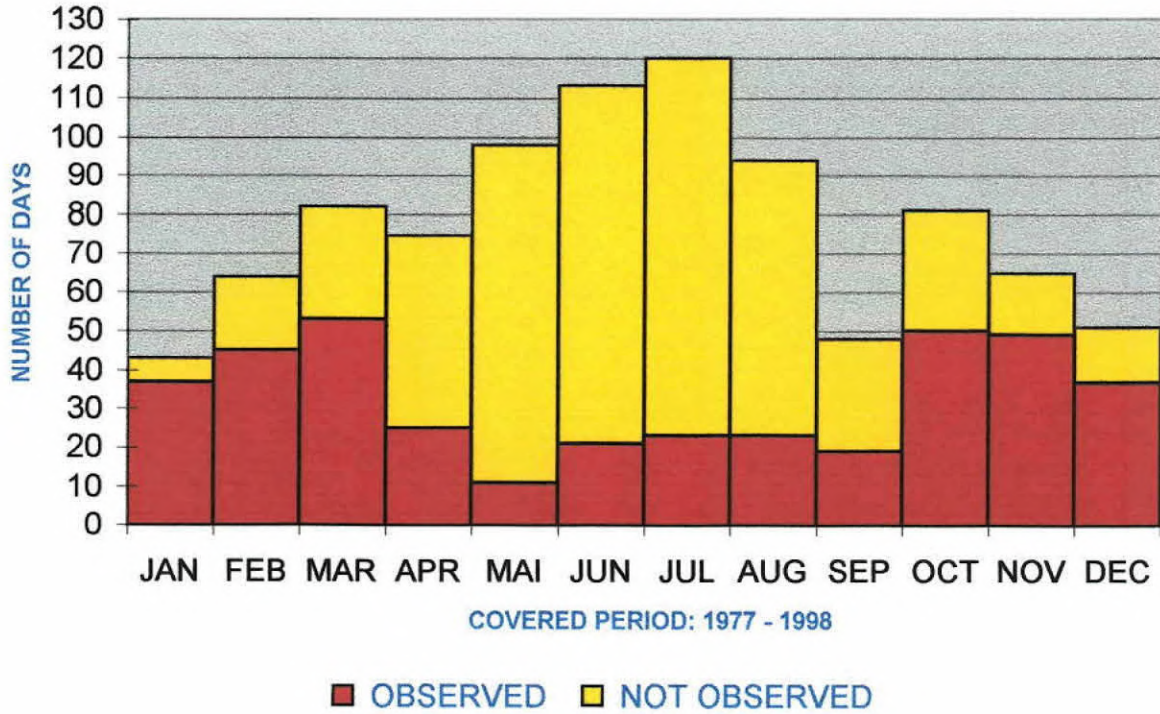


Figura 2

**FREQUENCY OF OCCURRENCE FOR THE COMPLETE SOLAR ACTIVITY
PERIOD AND FOR A TOTAL OF 934 NIGHTS OF EXPERIMENTS**

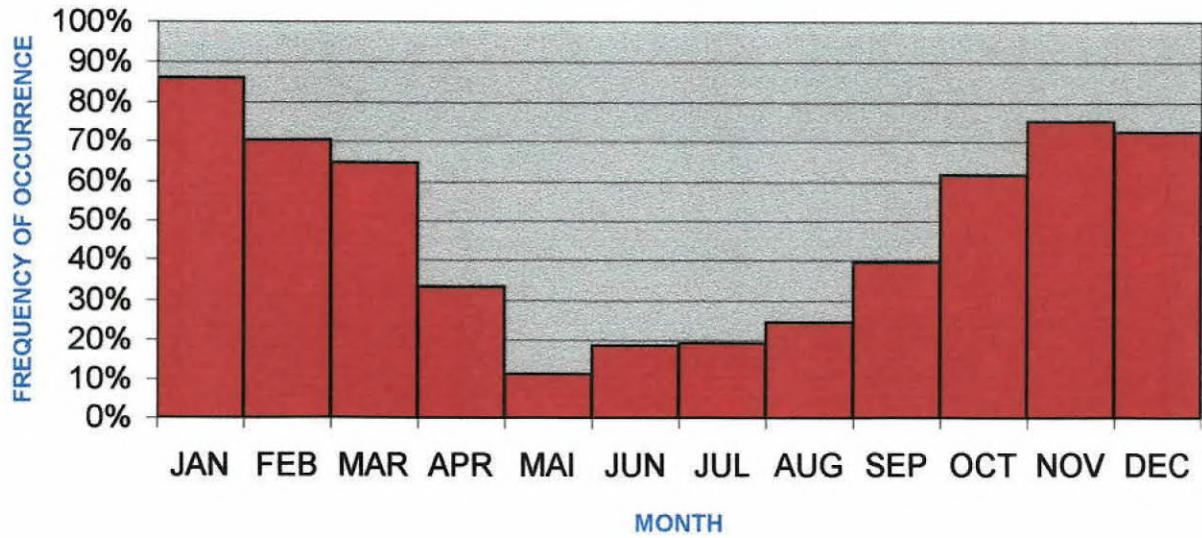


Figura 3

SOLAR MAXIMUM PERIOD

TOTAL OF 442 NIGHTS

YEAR	BUBBLES (YES OR NO)	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1978	YES						1	3		2	3	2	2
	NO			2		9	4	6	4	1			
1979	YES	1	1	3	5							3	
	NO					7	3	4	2			3	
1980	YES	1	7	6	3	2				3	2	3	3
	NO		1	2	5	8	4	4	5	3	1	2	5
1981	YES	5	4	3					3	3	2	2	5
	NO	2	2		1		1	10	4	1	3	2	
1982	YES	2	3	1	3			2			4		
	NO	1	4	3	8	7	7	14					
1988	YES	5		3							3	3	7
	NO											1	2
1989	YES			2			3			1	2	1	1
	NO			1			2						
1990	YES	3	1	4	3	4	5		2	4	1	10	3
	NO			3	1	9	4	4	2			2	
1991	YES	1		5	4		2	2	2	1	1	1	2
	NO				1	7	5	5	5	8			
1992	YES	1	2	3	2		1				2		
	NO	1	2	1	3	4	11	2					
total	BUBBLES OBSERVED	19	18	30	20	6	12	7	7	14	20	25	23
	BUBBLES NOT OBSERVED	4	9	12	19	51	41	49	22	13	4	10	7
Total number of days:		23	27	42	39	57	53	56	29	27	24	35	30
Frequency of occurrence:		82,6%	66,7%	71,4%	51,3%	10,5%	22,6%	12,5%	24,1%	51,9%	83,3%	71,4%	76,7%

Tabela 2

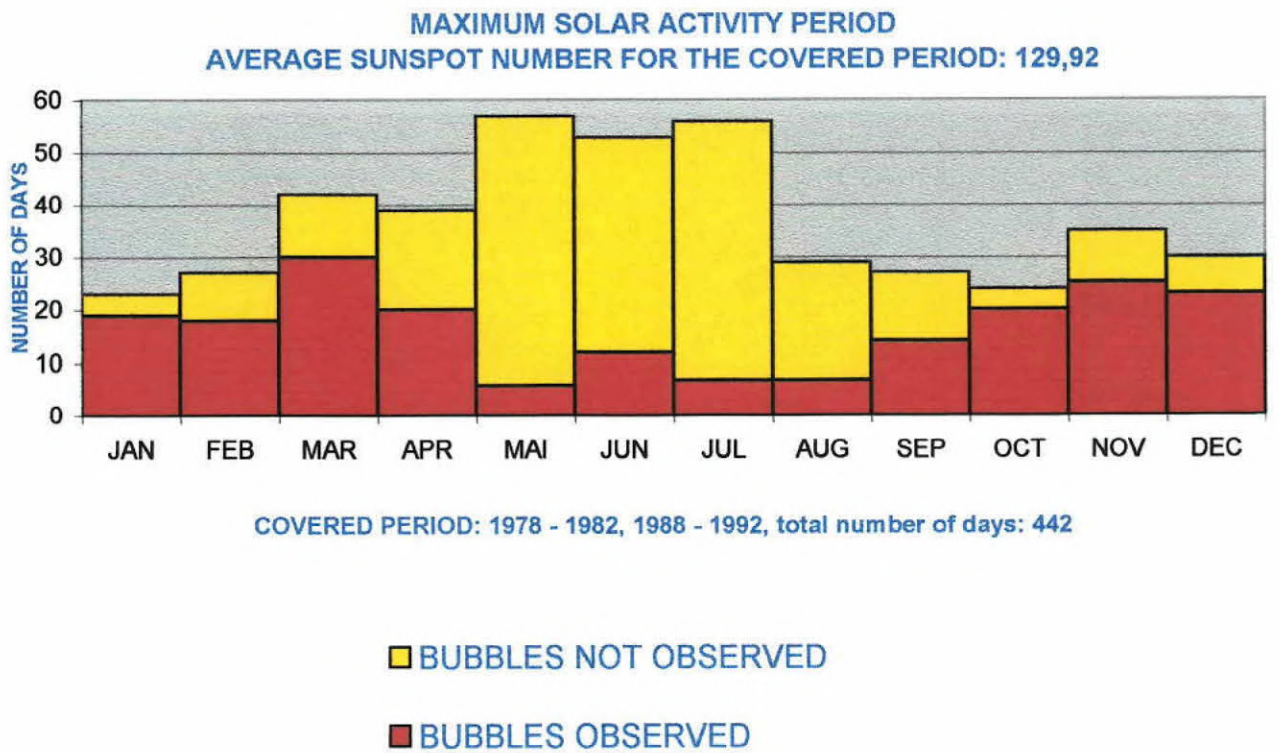


Figura 4

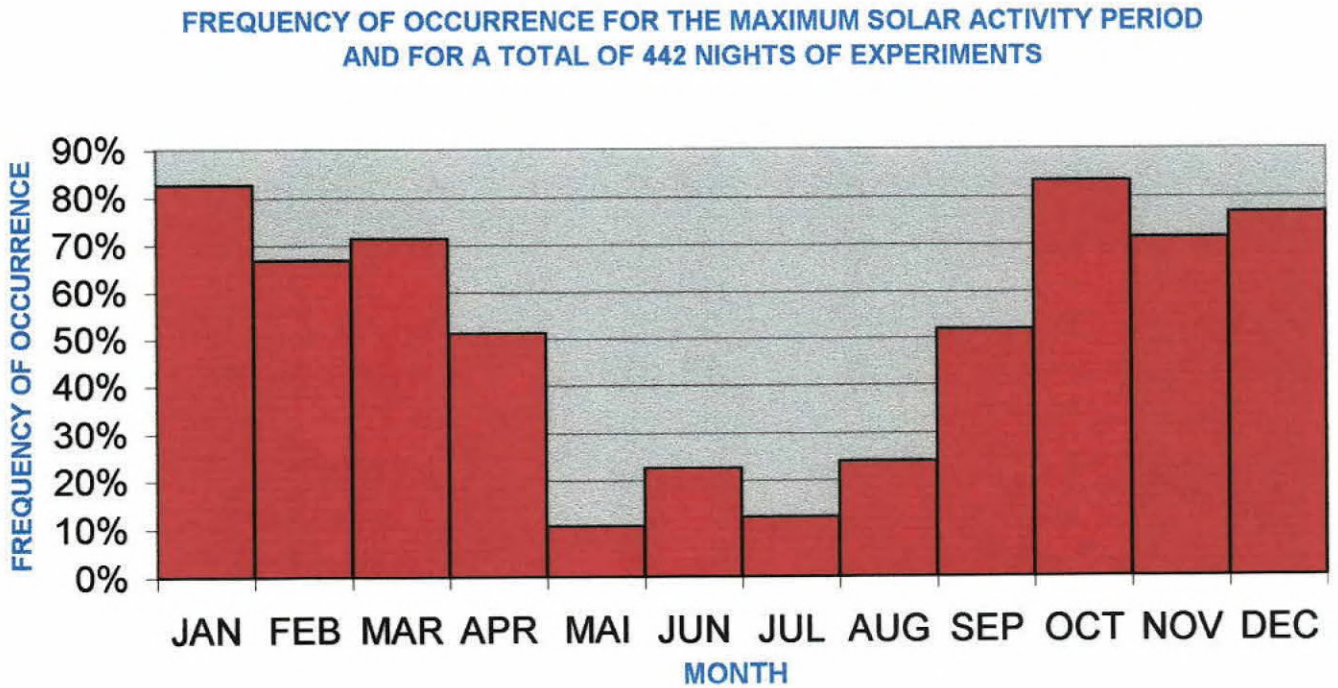


Figura 5

SOLAR MINIMUM PERIOD

TOTAL OF 492 NIGHTS

YEAR	BUBBLES (YES OR NO)	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1977	YES												
	NO								8			2	
1983	YES	2	3	6									
	NO				4	10	4	10	11				
1984	YES							1		1	4	1	
	NO			1	3		4	9	3	5	5		3
1985	YES		1	2							2		
	NO		5	3	1			1			5		
1986	YES	3	1	1							4	2	
	NO	1		1			11				8		
1987	YES	2	5	5	1						1	4	1
	NO	1	2	7	4	9	10	11	6			1	2
1993	YES										4	4	3
	NO										1	2	1
1994	YES	2	3	1	1						4	4	5
	NO		1	2					1	5	3		
1995	YES	1	3	3		1	2	9	9		3	1	
	NO		1	1	9	4	6	1	1	1	2		
1996	YES	2	2	2	2	2	4	4	3	1		3	1
	NO				2	1	6	3	3	1			
1997	YES		7	2	1	2	3	2	2	2	5	2	
	NO		1	2	6	4	2	4	6	2	1		
1998	YES	6	2	1					2	1	3	3	4
	NO				2	8	8	9	10	2	2	1	1
total	BUBBLES OBSERVED	18	27	23	5	5	9	16	16	5	30	24	14
	BUBBLES NOT OBSERVED	2	10	17	31	36	51	48	49	16	27	6	7
Total number of days:		20	37	40	36	41	60	64	65	21	57	30	21
Frequency of occurrence:		90,0%	73,0%	57,5%	13,9%	12,2%	15,0%	25,0%	24,6%	23,8%	52,6%	80,0%	66,7%

Tabela 3

**MINIMUM SOLAR ACTIVITY PERIOD
AVERAGE SUNSPOT NUMBER FOR THE COVERED PERIOD: 33,1**

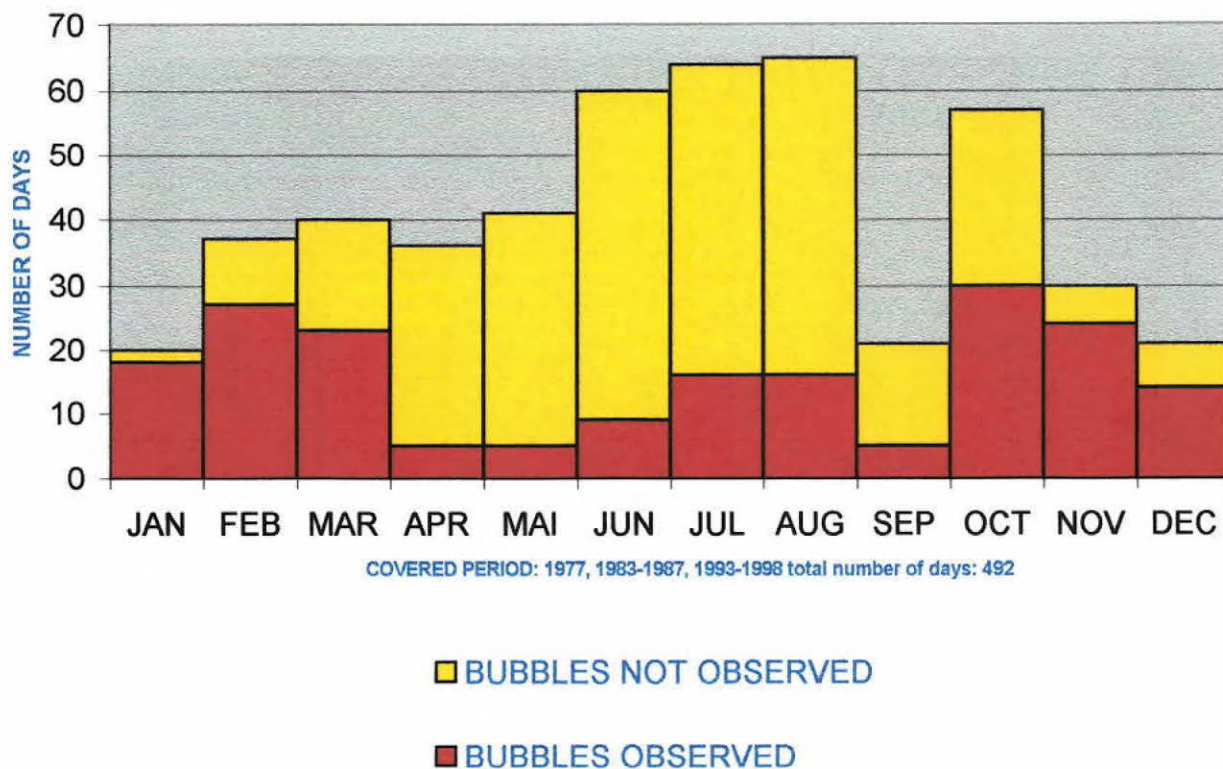


Figura 6

**FREQUENCY OF OCCURRENCE FOR THE MINIMUM SOLAR ACTIVITY
PERIOD AND FOR A TOTAL OF 492 NIGHTS OF EXPERIMENTS**

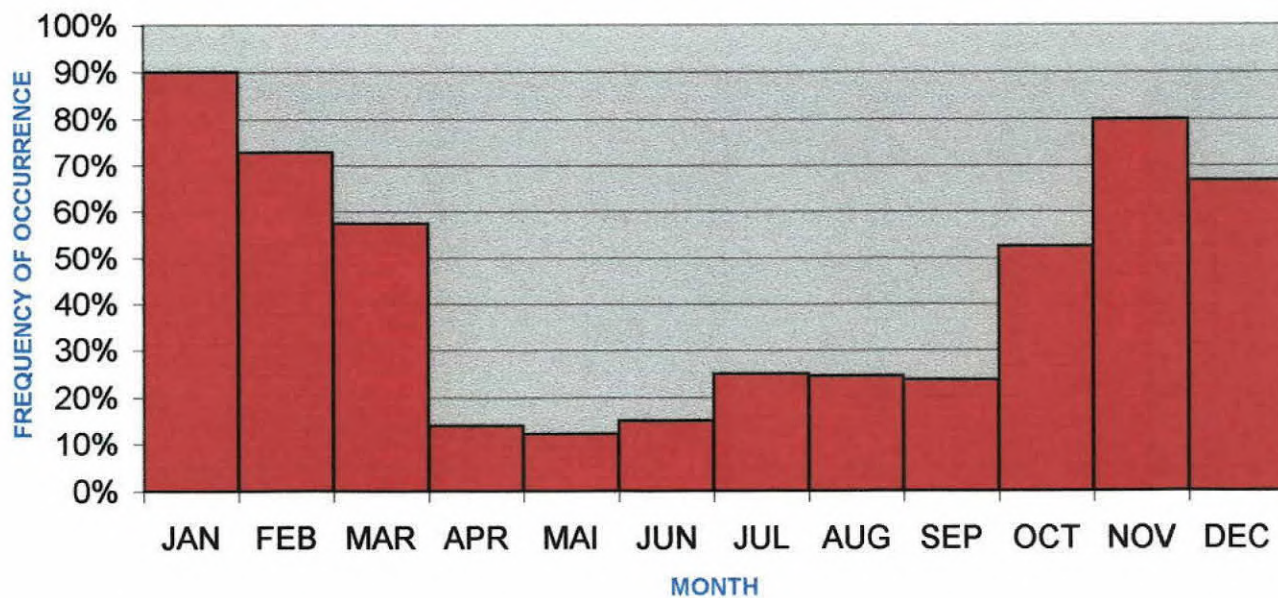


Figura 7

Dens. Electronica	Media 00h	Pontos	Media 06h	Pontos	Media 12h	Pontos	Media 18h	Pontos	HpF2	Media 00h	Media 06h	Media 12h	Media 18h
Cal.For/Fev	1004963	1	462655,1	3	1294872	3	1329841	2	Cal.For/Fev	280	283,3333	418,3333	405
Per.For/Fev	0	0	417369,7	1	4019851	1	1191563	1	Per.For/Fev	0	255	480	440
Cal.Cac/Fev	2064682	3	423883,4	2	1623904	3	2425724	3	Cal.Cac/Fev	298,3333	262,5	465	338,3333
Per.Cac/Fev	928598,1	2	348511,2	1	2023201	3	2668983	3	Per.Cac/Fev	340	385	380	328,3333
Cal.For/Mai	431885,8	1	700951,3	3	1234946	3	1035401	3	Cal.For/Mai	280	291,6666	433,3333	365
Per.For/Mai	0	0	780955,4	2	1747560	3	1556824	2	Per.For/Mai	0	285	468,3333	445
Cal.Cac/Mai	390074,4	3	279611,2	3	1866873	3	1815219	3	Cal.Cac/Mai	273,3333	293,3333	311,6666	255
Per.Cac/Mai	1637779	2	314309,3	3	2553929	3	2997932	3	Per.Cac/Mai	322,5	343,3333	361,6666	310
Cal.For/Ago	417369,7	1	405169,6	3	1327047	3	1141150	3	Cal.For/Ago	260	280	420	338,3333
Per.For/Ago	0	0	516935,5	2	1501572	3	1387924	3	Per.For/Ago	0	260	410	371,6666
Cal.Cac/Ago	448388,3	3	164350,7	3	1202233	3	3759017	3	Cal.Cac/Ago	290	311,6666	316,6666	251,6666
Per.Cac/Ago	550785,8	3	202191,9	3	1575724	3	1170678	3	Per.Cac/Ago	355	321,6666	333,3333	275
Cal.For/Nov	1004963	1	934656,8	3	2005831	3	2227792	1	Cal.For/Nov	310	310	476,6666	680
Per.For/Nov	1091522	3	970057,9	3	1604342	3	1444376	3	Per.For/Nov	330	300	480	533,3333
Cal.Cac/Nov	2681017	1	909491,3	2	2085918	2	2538213	2	Cal.Cac/Nov	275	295	288,3333	367,5
Per.Cac/Nov	0	0	0	0	0	0	0	0	Per.Cac/Nov	0	0	0	0

Tabela 4

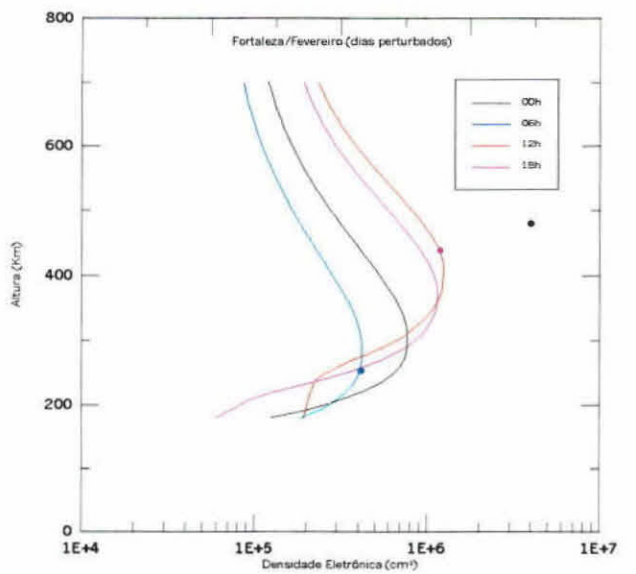
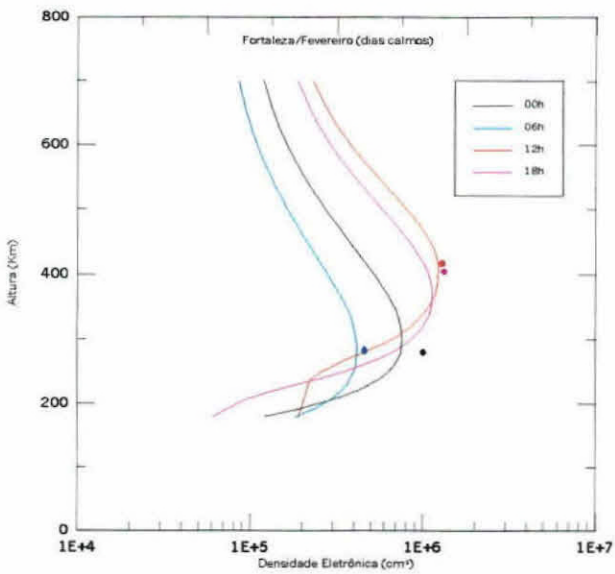
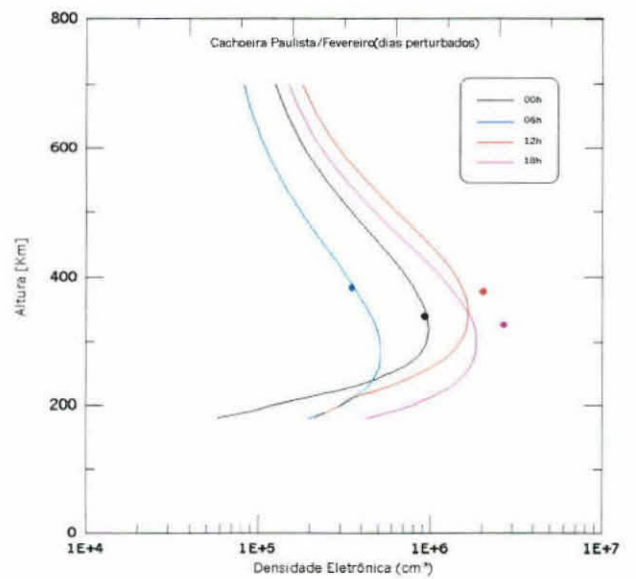
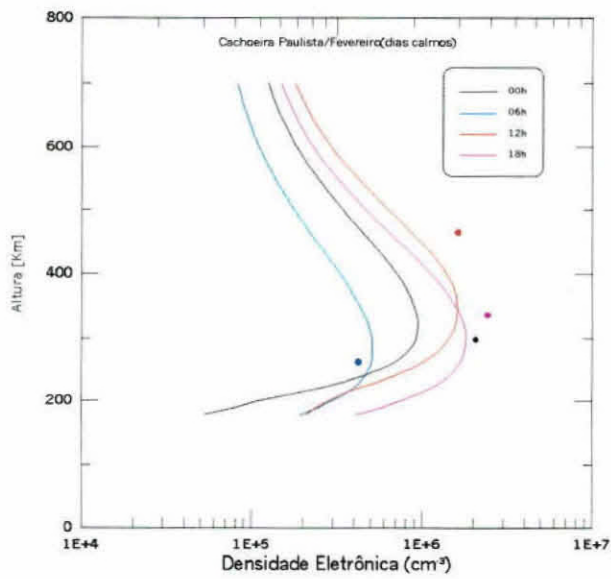


Figura 8

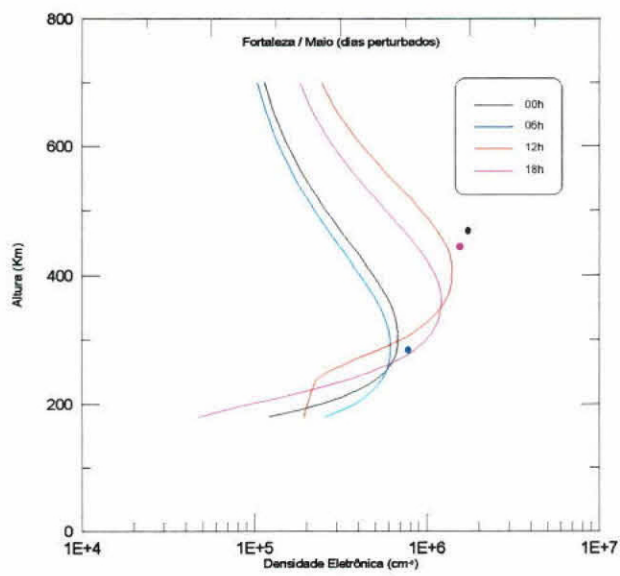
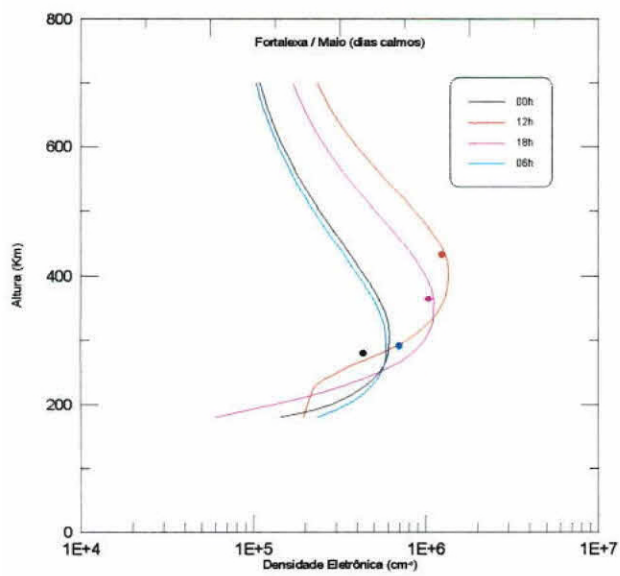
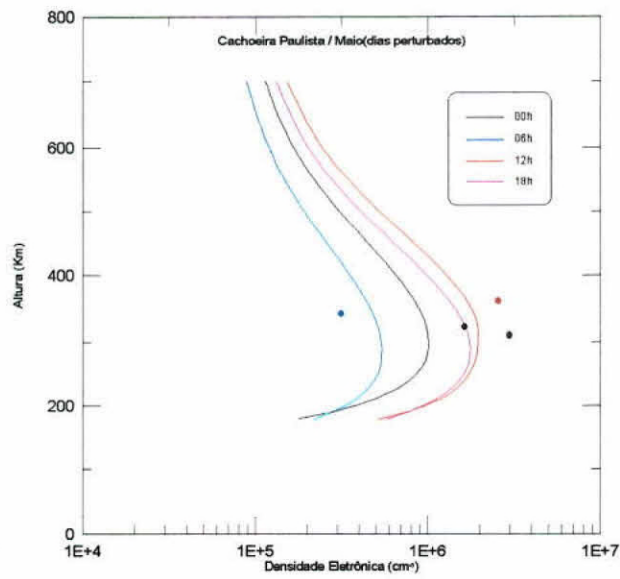
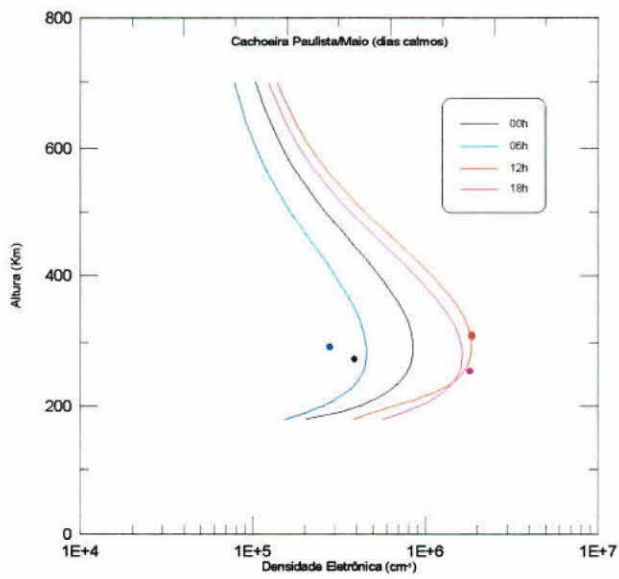


Figura 9

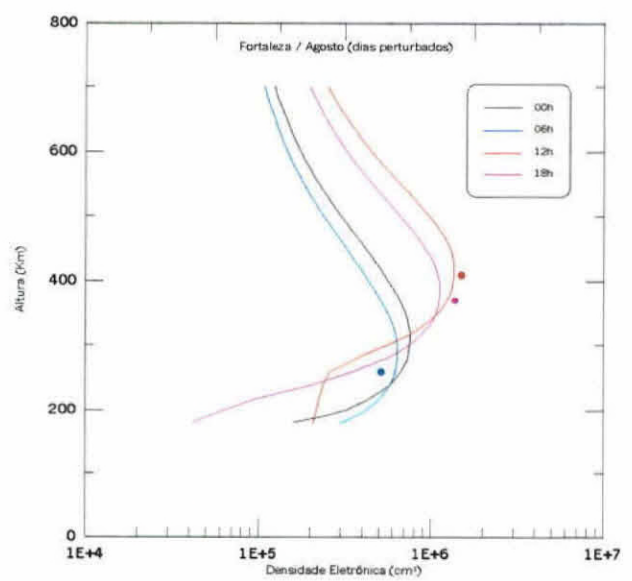
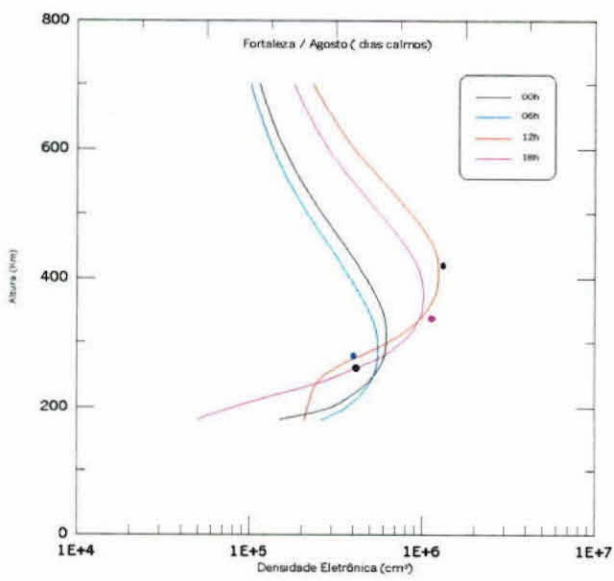
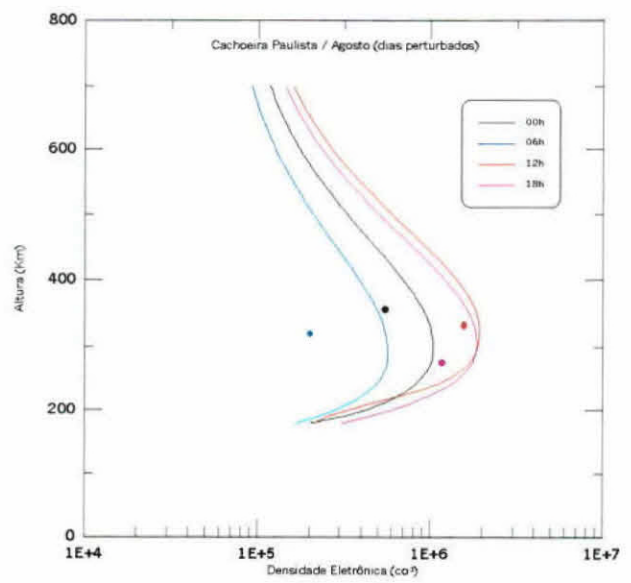
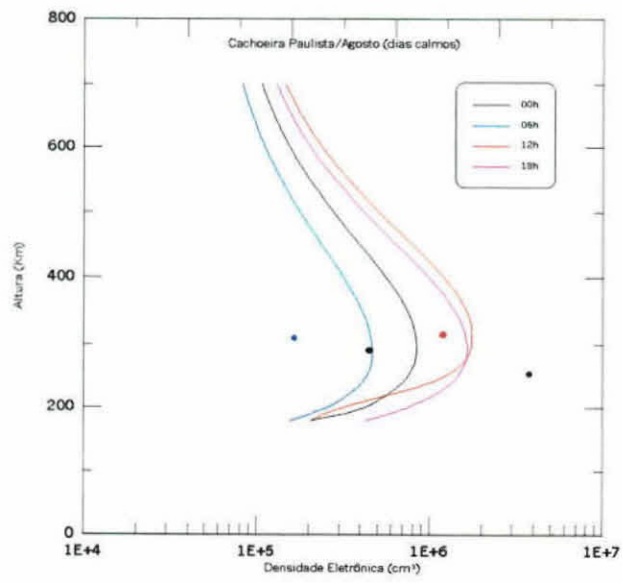


Figura 10

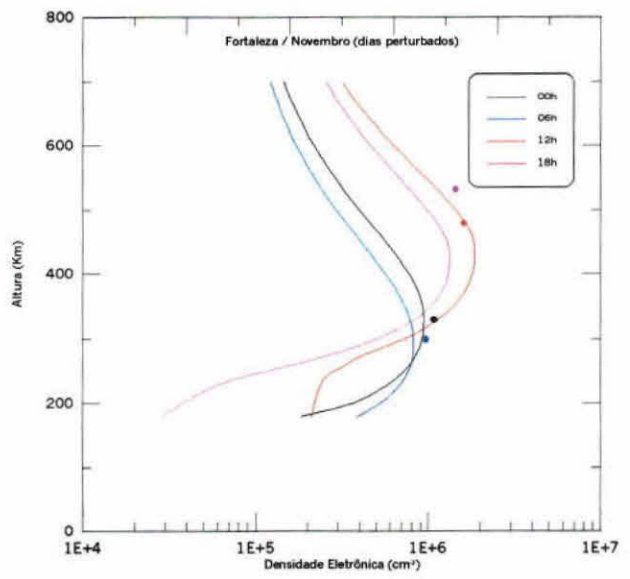
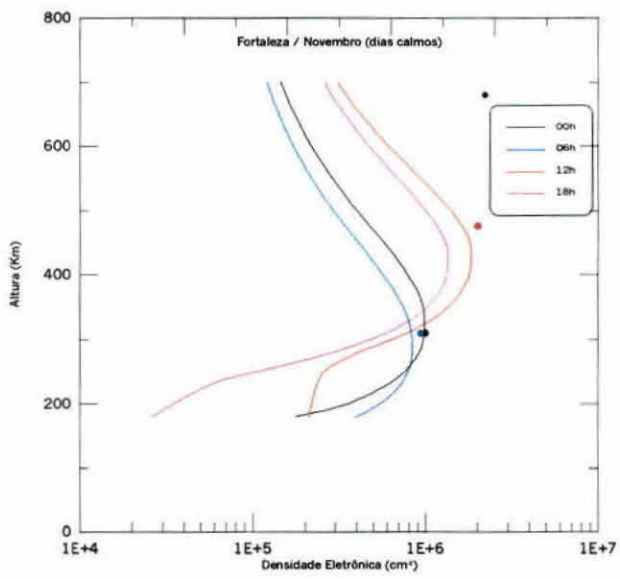
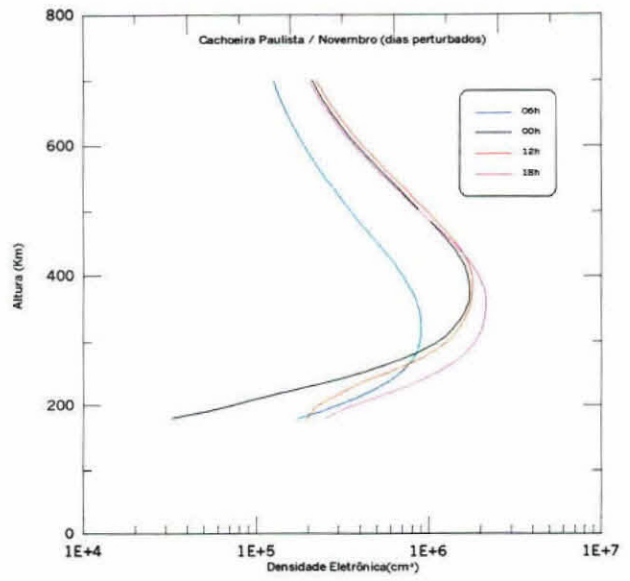
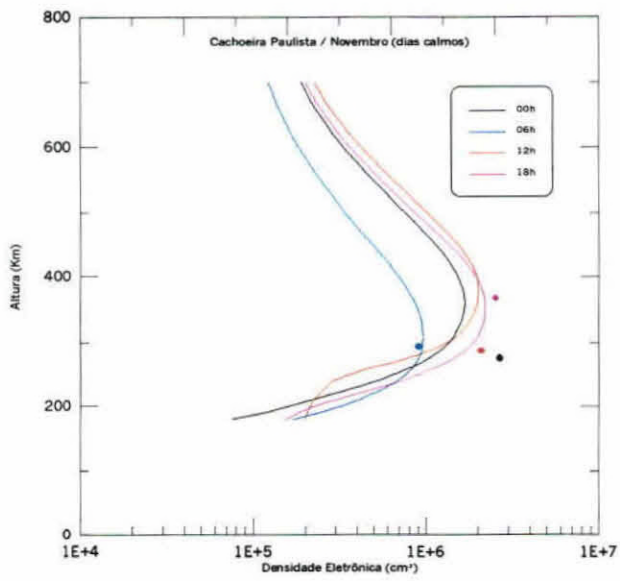


Figura 11