



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



**ESTUDO DAS TENDENCIAS DE LONGO TERMO DOS
PARÂMETROS IONOSFÉRICOS SOBRE A REGIÃO
BRASILEIRA: CACHOEIRA PAULISTA (SP)**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
PIBIC/INPE – CNPq/MCT**
Concedido pelo CNPq em 04/08/2005.

Everaldo Marcos Gonçalves - (INPE, Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT)
E-mail: everaldo@dae.inpe.br

Dra. Inez Staciarini Batista - (Orientadora, DAE/CEA/INPE – MCT)
E-mail: inez@dae.inpe.br

São José dos Campos
Junho de 2007





Dados de Identificação

Bolsista:

Everaldo Marcos Gonçalves
Curso: Licenciatura em Física
ETEP - Faculdades

Orientador:

Dra. Inez Staciarini Batista
Divisão de Aeronomia - DAE/CEA/INPE – MCT
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT
São José dos Campos - SP

Colaboradores:

Roberta de Cássia Ferreira – ETEP/DAE/CEA/INPE – MCT

Local de Trabalho/Execução do Projeto:

O projeto foi desenvolvido na Divisão de Aeronomia (DAE) da Área de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), sob a orientação da Dra. Inez Staciarini Batista, pesquisadora da Divisão.

**SUMÁRIO**

INDICE DE FIGURAS	6
INDICE DE TABELAS	7
INTRODUÇÃO	8
II – ATMOSFERA	9
2.1 – Troposfera.....	9
2.2 – Tropopausa.....	9
2.3 – Estratosfera	9
2.4 – Estratopausa.....	9
2.5 – Mesosfera.....	10
2.6 – Mesopausa	10
2.7 – Termosfera.....	10
2.8 – Ionosfera	11
2.8.1 - Região D.....	11
2.8.2 - Região E	11
2.8.3 - Região F.....	11
III – Sol.....	13
3.1 – Zonas do sol.....	13
3.1.2 – Núcleo.....	13
3.1.3 - Zona Radiativa.....	14
3.1.4 - Zona de Interface	14
3.1.5 - Zona de Convecção	14
3.1.6 - Fotosfera	14
3.1.7 - Cromosfera	15
3.1.8 - Região de Transição	16
3.1.9 - Coroa	16
3.1.10 - Atividade Solar	16
3.1.11 - Manchas Solares	17
3.1.11.1 – Ciclo das Manchas Solares	17
IV - ÍNDICES MAGNÉTICOS.....	19
4.1 - Índices Kp.....	19
4.2 - Índices Ap.....	19



V – INSTRUMENTAÇÃO	20
5.1 – A Ionossonda	20
5.2 – A Digissonda.....	21
5.3 – SAO Explorer v 3.2.06 (SAO-X.exe)	22
5.3.1 – O Ionograma	23
5.4 – Principais Parâmetros Ionosféricos	24
5.5 – Letras Qualificativas e Descritivas	25
VI – DADOS ANALISADOS	26
6.1 – Escolha do dia	26
VII – RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
VIII - CONCLUSÕES.....	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Divisão da atmosfera terrestre.....	10
Figura 2.2 – Nomenclatura e localização das camadas ionosféricas.....	12
Figura 3.1 – Zonas Solares.....	13
Figura 3.2 - Imagem da Fotosfera solar obtida pelo satélite SOHO (The Solar and Heliospheric Observatory), na linha de 584 Å do hélio (He).....	15
Figura 3.3 – Imagem da Cromosfera obtida pelo satélite SOHO (The Solar and Heliospheric Observatory).....	15
Figura 3.4 – Coroa solar vista durante o eclipse total do Sol de fevereiro de 1980 na Índia.	16
Figura 3.5 – Ilustração das manchas solares	17
Figura 3.6 - Ciclo das manchas solares	18
Figura 5.1 – Princípio de funcionamento da Ionossonda	20
Figura 5.2 - Ionograma de Cachoeira Paulista do dia 13/11/1978 às 12:00.....	21
Figura 5.3 – Antena Transmissora de Cachoeira Paulista.....	21



INDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Dias que estão reduzidos **31**

Tabela 2 – Escolha do dia geomagneticamente mais calmo..... **32**

Tabela 3 – Formato de armazenamento dos dados..... **33**

**INTRODUÇÃO**

O presente trabalho apresenta um estudo das tendências de longo termo dos parâmetros ionosféricos foF2 (frequência crítica da camada F2), h'F (altura virtual mínima da camada F), hmF2 (altura do pico de densidade eletrônica da camada F2), utilizando a base de mais de 30 anos de dados de ionossonda e digissonda para a localidade de Cachoeira Paulista, SP. Esses dados (ionogramas) eram registrados em filmes fotográficos, em um determinado período impressos em papel, e posteriormente, a partir de 1990 e 1994 esses dados eram registrados diretamente em um microcomputador. Normalmente os equipamentos registram um ionograma a cada 15 minutos, num total de 96 ionogramas diários, porém em certos períodos de campanhas científicas específicas, os ionogramas são registrados a cada 5 minutos o que aumenta o volume de dados. Ao considerarmos o período total de dados temos que cada estação possui mais de 10^6 (um milhão) ionogramas, portanto restringiu-se a análise ao dia mais calmo de cada mês, eliminando assim as variações devidas às atividades magnéticas. Os horários escolhidos para o estudo são 06h00min, 12h00min e 18h00min (hora local), que permitirão analisar o comportamento com contribuições distintas da radiação solar.

II – ATMOSFERA

É a camada de gases, que envolve a Terra presa pela força da gravidade, composta de Nitrogênio (N_2), Oxigênio (O_2), Argônio (AR), Hélio (He), Ozônio (O_3), Hidrogênio (H_2), indícios de Criptônio (Kr), Xenônio (Xe), Radônio (Rn) e Metano (CH_4).

A atmosfera terrestre pode ser dividida em camadas com nomenclaturas que variam com temperatura, ionização, campo magnético ou propagação de ondas eletromagnéticas, em relação à altura.

Quanto à temperatura as camadas da atmosfera são: Troposfera, Estratosfera, Mesosfera e Termosfera. Separando uma camada da outra existem as “pausas” denominadas: Tropopausa, Estratopausa e Mesopausa. Cada uma das camadas e suas respectivas pausas serão descritas a seguir.

2.1 – Troposfera

É a camada que se estende até aproximadamente 17 km a partir da superfície terrestre nos trópicos e 7 km nos pólos. Também é conhecido como baixa atmosfera. Quase todos os fenômenos meteorológicos ocorrem nessa camada. A temperatura nesta região decresce rapidamente com a altitude. Formam-se nuvens, e pode existir muita turbulência devido a variações na temperatura, pressão e densidade.

2.2 – Tropopausa

A Tropopausa é o nome dado ao ponto intermediário entre a troposfera e a estratosfera, onde o gradiente térmico é nulo. A distância da Tropopausa em relação ao solo varia conforme as condições climáticas da troposfera, da temperatura do ar, a latitude entre outros fatores, porém a altura média está em torno de 17 km no equador. Se existe na troposfera uma agitação climática com muitas correntes de convecção, a tropopausa tende a subir. Isto ocorre por causa do aumento do volume do ar na troposfera.

2.3 – Estratosfera

A estratosfera situa-se entre a troposfera e a ionosfera. A temperatura nesta região aumenta com a altura, e existe muito pouco vapor de água. Caracteriza-se pelas correntes horizontais. Nesta camada começa a difusão da luz do sol, que origina a cor azul do céu. Como é uma camada relativamente calma e a com poucas variações de temperatura, esta camada quase não influencia a propagação de ondas rádio.

2.4 – Estratopausa

É a região limítrofe próxima à mesosfera e onde a maior parte do ozônio da atmosfera situa-se. O gradiente térmico é nulo, isto é também é um ponto de inflexão da temperatura e encontra-se em torno de 50 km acima da superfície, na parte superior da estratosfera e inferior da mesosfera.

2.5 – Mesosfera

A partir da estratopausa, inicia-se a mesosfera, também conhecida como média atmosfera, onde a temperatura decresce com a altura. Esta é a camada atmosférica onde há uma substancial queda de temperatura chegando a um mínimo de -90°C em seu topo. Situa-se entre 50 a 85 km de altitude. É na mesosfera que ocorre o fenômeno da aeroluminescência das emissões da hidroxila. É também a região onde pode se estudar as ondas de marés e ondas de gravidade devido ao movimento de propagação dos gases ionizados.

2.6 – Mesopausa

A mesopausa é a região da atmosfera que determina o limite entre uma atmosfera com massa molecular constante de outra onde predomina a difusão molecular. Ela marca o limite entre a Mesosfera e a Termosfera.

2.7 – Termosfera

Esta é a camada localizada na parte superior da atmosfera terrestre, acima da mesopausa se estende até 600 km de altura. Sua temperatura aumenta com a altitude rápida e monotonicamente até onde a densidade das moléculas é tão pequena e se movem em trajetórias aleatórias tal que raramente se chocam, devido à energia recebida do sol, chegando à ordem de 1727°C . Esta região também é conhecida como alta atmosfera.

Estas camadas estão ilustradas na figura 2.1

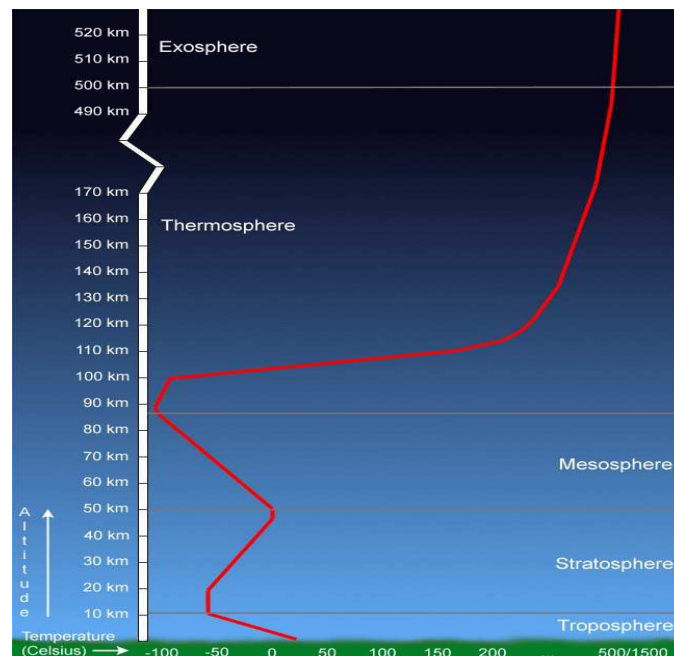


Figura 2.1 – Divisão da atmosfera terrestre.

Fonte: <http://www.haystack.mit.edu/atm/science/thermo/index.html>.

2.8 – Ionosfera

A ionosfera é caracterizada pela alta concentração de elétrons livres e íons positivos criados pela radiação solar, a ponto de influenciar a propagação das ondas de rádio. Está situada aproximadamente entre 50 km e 1000 km de altura. Normalmente a ionosfera se divide em três regiões, chamadas D, E, e F, que correspondem a três faixas de altura do perfil de densidade eletrônica de íons.

2.8.1 - Região D

Localizada entre 60 km e 80 km de altura. É a menos densa de todas as regiões ionosféricas deixando de existir durante a noite. Nessa região ocorre a aglutinação de íons com moléculas de água formando íons complexos (water cluster íon). Durante o dia, essa região é responsável pela absorção das ondas de rádio em alta frequência, e que são refletidas nas camadas superiores.

2.8.2 - Região E

Localizada entre 80 km e 130 km de altura. Pode apresentar estratificações tais como a camada E2, mais densa que a camada E, e a camada Es (esporádica) que pode ser pouco densa e de ocorrência irregular. A região E é importante pela presença de correntes elétricas que nela fluem e por sua interação com o campo magnético.

2.8.3 - Região F

Localizada acima de 180 km de altura. Nela se encontra o pico de densidade eletrônica da ionosfera. Durante o dia pode se subdividir normalmente em camadas F1, F2 e ainda em determinadas latitudes e horários pode surgir a camada F3.

A região F é subdividida da seguinte forma:

- a) *Região F1* – Esta região refrata a radiofrequência que atravessa a região E, alterando assim o ângulo de incidência na região F2 podendo em alguns casos, refletir parcialmente o sinal.
- b) *Região F2* – Nesta região ocorre uma interação entre a ionosfera superior e os ventos termosféricos. A distribuição dos íons nesta região é altamente influenciada pelo campo magnético.
- c) *Região F3* – Ainda em discussão esta camada encontra-se a uma altura virtual de 650 km em latitudes próximas ao equador.

O presente estudo concentra-se apenas na região F.

A nomenclatura das regiões ionosféricas em função da densidade eletrônica está indicada na Figura 2.2. As alturas e as densidades numéricas apresentadas na figura representam valores típicos representativos de condições médias, pois os valores numéricos reais podem variar de acordo com vários fatores, por exemplo: localização, estação do ano, tempo local, atividade magnética, etc.

Os limites inferiores e superiores não são perfeitamente definidos, porém a concentração eletrônica se torna muito pequena, abaixo de 70 km e acima de 1000 km.

Acima desta altura, começam a predominar os íons de hidrogênio (prótons) na região conhecida como protonosfera.

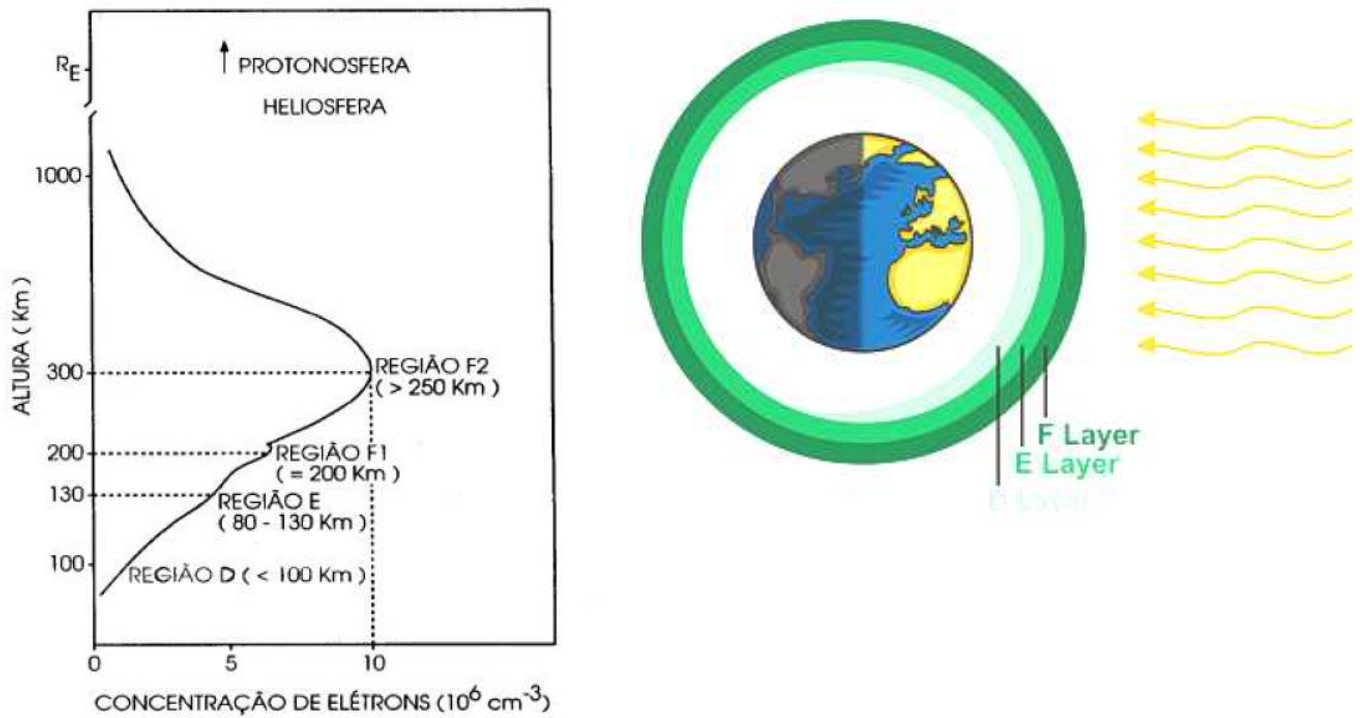


Figura 2.2 – Nomenclatura e localização das camadas ionosféricas.

Fonte: Kirchhoff (1991 p. 77).

<http://radar.weather.gov/jetstream/atmos/images/ionlayers.jpg>

III – Sol

O sol constitui-se de uma massa gasosa brilhante (basicamente hidrogênio e hélio), em uma espécie de equilíbrio dinâmico entre a sua própria gravidade e as forças geradas por reações nucleares que ocorrem no interior do núcleo. Ele fornece luz, calor e outros tipos de energia para a Terra. A maior parte da energia emitida pelo sol é a luz visível e o que conhecemos como radiação infravermelha (calor), que são duas formas de radiação eletromagnética, porém, existem seis faixas de energia em seu espectro (ondas de rádio, raios infravermelhos, luz visível, ultravioleta, raios-X e raios gama). O fluxo de energia que o sol emite pode atingir uma potência de até $3,9 \times 10^{26}$ W, ou seja, esta emissão de energia não é uniforme, há variações neste fluxo de energia. É interessante notar que essa energia representa apenas 0,001% da energia capaz de ionizar a atmosfera neutra terrestre, formando a ionosfera.

3.1 – Zonas do sol

O sol e sua atmosfera consistem em várias zonas ou camadas ilustradas na figura 3.1. Como os astrônomos não podem ver dentro do sol diretamente, o que se conhece sobre o interior solar é baseado em propriedades observadas, do sol como um todo, ou através de cálculos que produzem fenômenos em zonas observáveis.

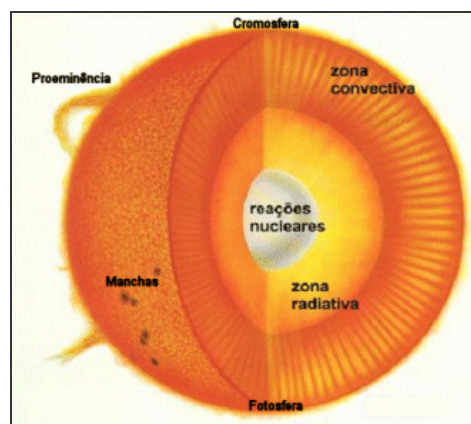


Figura 3.1 – Zonas Solares.

Fonte: Kepler de Souza Filho e Maria de Fátima Oliveira (2007)

3.1.2 – Núcleo

O núcleo se estende do centro do sol a aproximadamente a um quarto de seu raio. Constitui aproximadamente 2% do seu volume e metade da massa solar, uma temperatura acima de 15 milhões Kelvin, com uma densidade de 150 g/cm^3 . O núcleo solar exerce a uma pressão 200 bilhões de vezes maior que a pressão atmosférica ao nível do mar, devido à alta temperatura e grande densidade. Isto faz com que o sol não entre em colapso (se desmorone sobre si mesmo). Sob estas condições no núcleo solar ocorrem as reações nucleares. Estas transformam o hidrogênio em hélio e nessa transformação é liberada uma enorme quantidade de energia.

3.1.3 - Zona Radiativa

Ao redor do núcleo existe uma enorme Zona Radiativa. O limite exterior desta zona encerra 70% do raio solar, 32% do volume e 48% da massa do sol. Nesta zona a energia transita principalmente por radiação. Fótons que emergem do núcleo passam através de uma estável camada de gás, porém são espalhados, devido a densas partículas de gases. A densidade dessa camada varia de, aproximadamente, 20 g/cm^3 na sua parte mais próxima do núcleo e decai até um mínimo de $0,2 \text{ g/cm}^3$ em direção ao topo. Para estes mesmos pontos, a temperatura cai de $7 \times 10^6 \text{ }^\circ\text{C}$ até $2 \times 10^3 \text{ }^\circ\text{C}$.

3.1.4 - Zona de Interface

A camada de interface encontra-se entre a zona radioativa e a zona de convecção. Na região onde estas duas camadas deveriam se encontrar detecta-se uma radiação muito fraca e a inexistência de movimentos de fluídos (encontrados na camada de convecção). Nesta camada encontram-se duas alterações, uma na composição química do Sol e a outra na velocidade dos fluídos em torno desta camada, a qual pode alongar as linhas de força do campo magnético.

3.1.5 - Zona de Convecção

É o nível mais alto do interior solar e se estende até a superfície do sol. Esta zona consiste em celas de transmissão. Compõe aproximadamente 66% do volume do sol, muito embora possua um pouco mais que 2% da massa solar. Nesta camada a energia se propaga de maneira convectiva, ou seja, a parte que está em contato com a zona de radiação aumenta de temperatura e fica menos densa e sobe para a superfície, e a que está na superfície tende a descer. Um processo análogo ao que ocorre quando fervemos a água.

3.1.6 - Fotosfera

É a camada mais baixa da atmosfera solar. Possui aproximadamente 500 km de espessura. A temperatura varia de 6400 K (na base) a 4400 no topo. Nesta zona é produzida a luz que enxergamos (figura 3.2). Consiste de inúmeros grânulos que são o topo das celas de convecção. Estes grânulos possuem um diâmetro de aproximadamente $5 \times 10^3 \text{ km}$ e dura entre 10 a 15 min. A temperatura varia entre $1 \times 10^4 \text{ K}$ a $5 \times 10^3 \text{ K}$. As regiões escuras entre os grânulos são regiões onde o gás mais frio e o gás mais denso escorrem para baixo. Além da granulação, nesta camada podem ser observadas manchas escuras conhecidas como manchas solares.

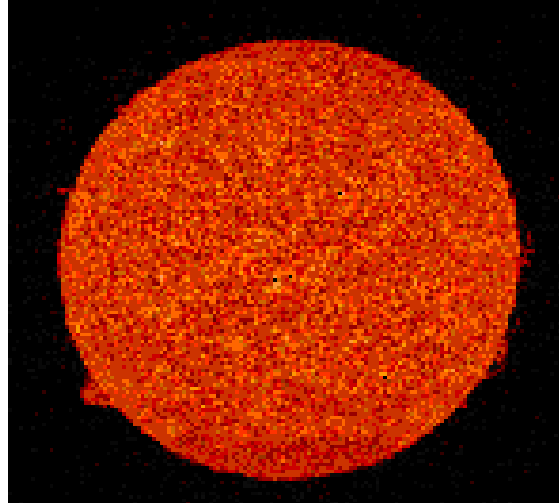


Figura 3.2 - Imagem da Fotosfera solar obtida pelo satélite SOHO (The Solar and Heliospheric Observatory), na linha de 584 Å do hélio (He).

Fonte: Kepler de Souza Filho e Maria Fátima de Oliveira(2006).

3.1.7 - Cromosfera

A principal característica desta zona é um crescimento da temperatura, que alcança aproximadamente 10.000 K e em certos lugares 20.000 K. Possui uma densidade muito menor que a Fotosfera emite linhas no espectro visível que parecem flamejar e por isso é conhecido como espectro de flash. Nota-se que no limbo do Sol ocorrem jatos tênues de gás brilhante com tamanhos de 500 a 1500 km, elevando-se até 10000 km acima da cromosfera. Esses fenômenos de ejeção de gases recebem o nome de espículas (SPIHK yoolz). Uma espícula típica tem aproximadamente 1000 km de altura. Além disso, podem-se distinguir outras estruturas cromosféricas, como proeminências, filamentos e fáculas.

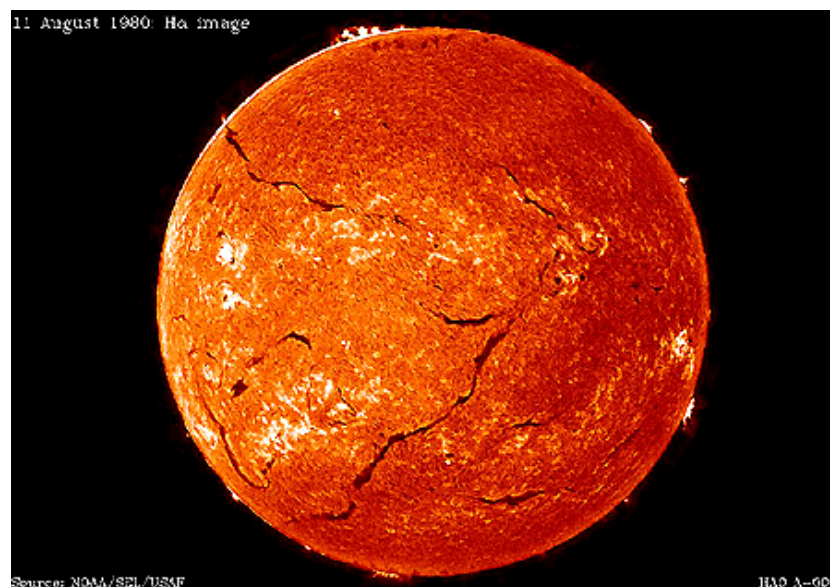


Figura 3.3– Imagem da Cromosfera obtida pelo satélite SOHO (The Solar and Heliospheric Observatory)

3.1.8 - Região de Transição

A temperatura da Cromosfera atinge aproximadamente 20.000 K e a Coroa Solar tem uma temperatura ainda muito maior. Entre elas existe uma zona com temperatura intermediária conhecida como Região de transição Cromosfera-Coroa. A Região de Transição recebe muita energia da Coroa. Esta região emite a maior parte da luz no espectro ultravioleta. Possui uma espessura de algumas centenas de quilômetros. Em lugares relativamente frios os espículos se estendem da Cromosfera em direção à atmosfera solar.

3.1.9 - Coroa

A coroa é a parte da atmosfera do sol, onde a temperatura é de 1×10^6 K a 2×10^6 K. Consiste de estruturas como “loop” e jatos de gases ionizados, que se conectam com a superfície solar verticalmente, onde o campo magnético que emerge do sol os molda. A ionização dos gases produz elétrons e íons que podem formar os ventos solares. Na figura 3.4 podemos ver claramente a coroa, devido a um eclipse, ocorrido em fevereiro de 1980, visto na Índia.

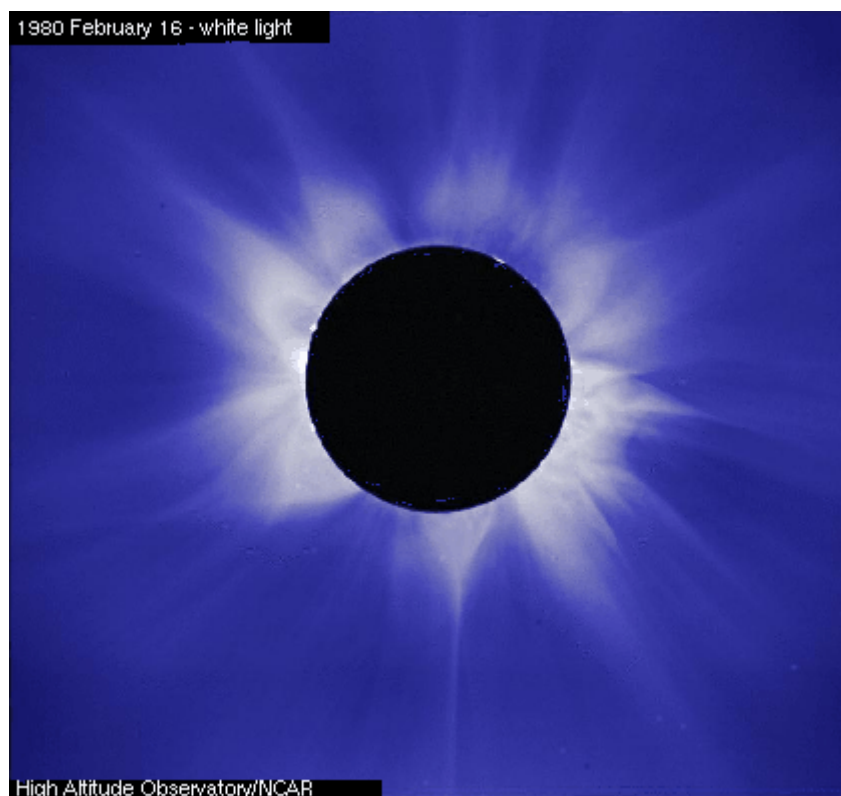


Figura 3.4 – Coroa solar vista durante o eclipse total do Sol de fevereiro de 1980 na Índia.
Fonte: Dr. Richard R. Fisher, NASA Goddard Space Flight Center

3.1.10 - Atividade Solar

O campo magnético solar aumenta através da zona de convecção e rompe através da Fotosfera, Cromosfera e Coroa solar. Isto conduz à atividade solar, que inclui fenômenos como manchas solares, flares e ejeções de massa coronal. A emissão de

energia do Sol não é uniforme e pode chegar a 5% do fluxo médio de energia. Atribui-se o nome de Sol calmo quando ele se mantém no mínimo de emissão de energia e Sol ativo quando está no máximo de emissão. Esse mínimo, ou máximo, é observado quando há um número menor ou maior dos fenômenos já citados. Áreas onde ocorrem as manchas solares são conhecidas com regiões ativas. Este fenômeno influencia o meio interplanetário, causando efeitos que podem ser observados na atmosfera e no campo magnético terrestre. Sabe-se que variações da atividade solar possuem um ciclo de 11 anos, conhecido como ciclo solar.

3.1.11 - Manchas Solares

As manchas solares são regiões relativamente mais frias e mais escuras que a fotosfera. Elas se formam onde o campo magnético solar tem uma intensidade muito maior (cerca de 0,1 T) quando comparado com a superfície ao seu redor (cerca de 1×10^{-4} T). Este forte campo magnético bloqueia a energia que é transmitida para cima nas celas de convecção (Eddy, 1976, Schove, 1983, Kivelson e Russel, 1995).

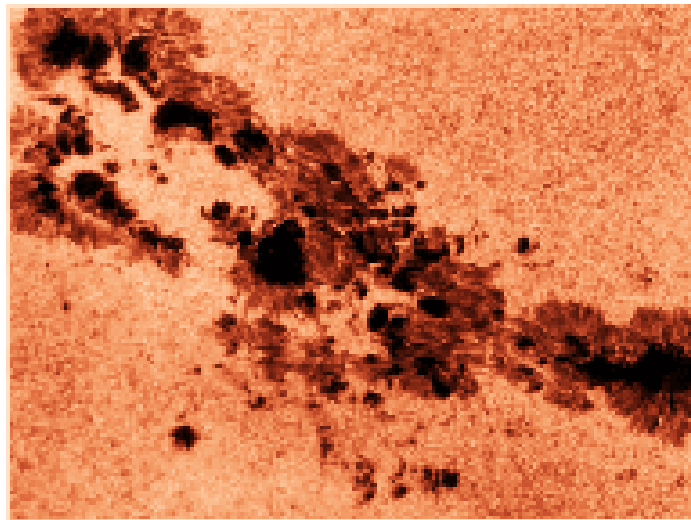


Figura 3.5 – Ilustração das manchas solares
Fonte: Dr. Tycho von Roseninge, NASA.

3.1.11.1 – Ciclo das Manchas Solares

Como as manchas solares estão diretamente relacionadas com a atividade solar, uma vez que se monitora o número de manchas solares podemos observar um ciclo de aproximadamente 11 anos. Porém o ciclo de atividade solar completo dura o dobro deste período, num processo que regenera continuamente os campos magnéticos - chamado dínamo - inicia-se nos pólos magnéticos do Sol. Enquanto o campo dos pólos originais desaparece, retornamos aos campos originais de polaridade, assim completando um ciclo magnético de 22 anos. Uma observação importante quanto à relação entre o ciclo de atividade magnética solar de 11 anos e as suas conseqüências na terra é que a ionosfera terrestre é sensivelmente afetada pela atividade solar.

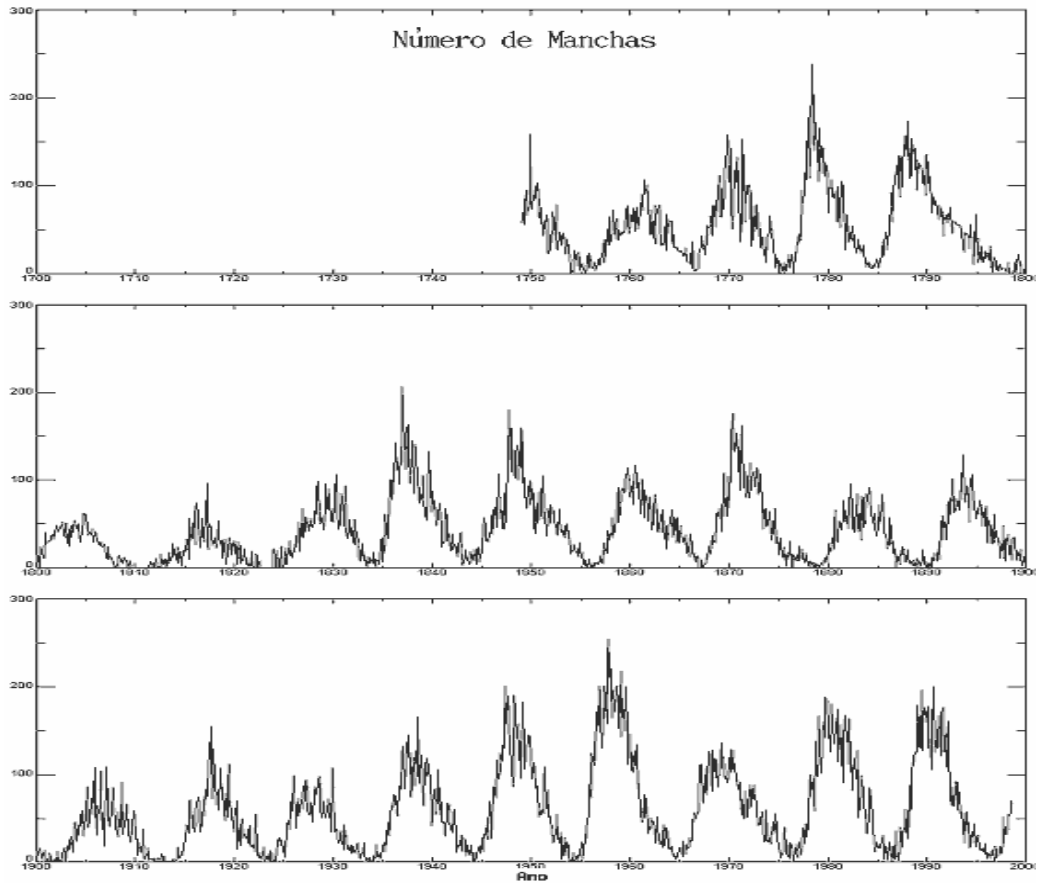


Figura 3.6 - Ciclo das manchas solares

Fonte: Kepler de Souza Filho e Maria Fátima de Oliveira (2007).

IV - ÍNDICES MAGNÉTICOS

Os distúrbios do campo magnético da Terra podem ser monitorados por observatórios magnéticos terrestres analisando as três componentes do campo magnético e assim monitorando as suas variações. Os índices magnéticos quantificam tais variações e fornecem informações sobre as atividades geomagnéticas. Existem vários índices, porém os mais utilizados são o Kp e a o seu correspondente linear Ap; AE e Dst. O presente estudo utiliza os dois primeiro (Kp e Ap), por serem uma estimativa da entrada global de energia na magnetosfera. Os outros dois são índices que monitoram efeitos mais localizados nas regiões auroral e equatorial, respectivamente.

4.1 - Índices Kp

A definição de Kp por Siebert (1971) é a seguinte:

“São todos os distúrbios irregulares do campo magnético, causado por radiação solar dentro de um intervalo de 3 horas. Todos os outros distúrbios regulares ou irregulares não são uma variação Kp.”

O índice Kp (planetarische Kennziffer) reflete globalmente o grau de perturbação da componente horizontal do campo geomagnético. Seus valores variam de 0 a 9 em uma escala não linear. Porém, este índice representa melhor as perturbações do campo magnético do hemisfério norte devido à maior quantidade de observatórios magnetométricos.

4.2 - Índices Ap

O índice Ap é o correspondente linear do índice Kp, cujos valores são derivados das medições feitas da variação do campo geomagnético. Para um dado dia (UT) é a medida do nível geral da atividade geomagnética.

V – INSTRUMENTAÇÃO**5.1 – A Ionossonda**

A ionossonda é um radar de alta frequência que consiste de um transmissor e um receptor. O transmissor envia para a ionosfera pulsos de energia de curta duração na faixa de rádio-frequência. O receptor registra a intensidade do pulso refletido nas camadas ionosféricas e o tempo decorrido entre a transmissão e a recepção (conforme a Figura. 5.1). Se a frequência de rádio não for muito alta, os pulsos são refratados de volta direcionados para o chão. A ionossonda registra o retardo entre a transmissão e a recepção de pulsos. Através da variação da frequência dos pulsos transmitidos, um registro é obtido do tempo de atraso em diferentes frequências, obtendo-se assim as chamadas curvas de $h'F$ ou ionogramas.

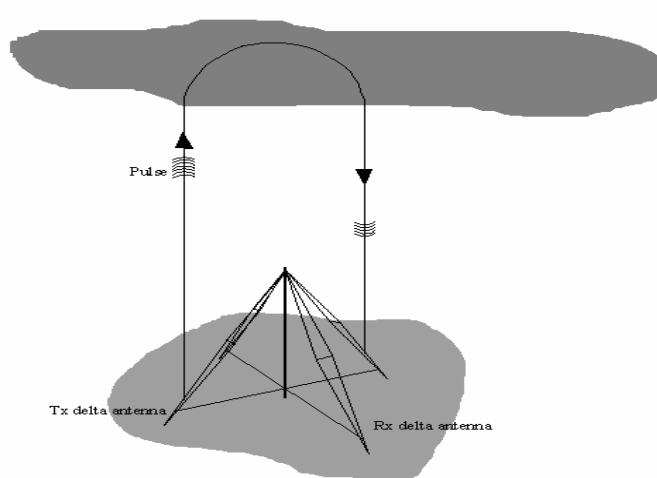


Figura 5.1 – Princípio de funcionamento da Ionossonda.

Fonte: <http://www.roen.inpe.br/frames/ionossonda.htm>

Em poucas palavras, a técnica de sondagem da ionosfera baseou-se, inicialmente, na reflexão de ondas de rádio, e assim, desenvolveu-se através dos anos. O avanço tecnológico na área de microprocessadores, circuitos integrados, entre outras coisas, permitiu o surgimento da ionossonda digital ou digissonda.

Com a ionossonda podemos obter através dos ionogramas e baseado na teoria de propagação de ondas na ionosfera, as curvas de densidade eletrônica em função da altura.

Os ionogramas são registros produzidos por sondadores ionosféricos (Ionossondas ou Digissonda) que mostram a variação da altura de reflexão da onda de rádio em função da frequência dessa onda (curvas de $h'F$).

Nas estações ionosféricas do INPE, os ionogramas são registrados em intervalos regulares de tempo de 15 em 15 min, durante todo o ano, salvo quando ocorrem problemas técnicos com as ionossondas ou durante campanhas científicas, nas quais se pode diminuir o intervalo de tempo entre as sondagens.

Para os dados mais antigos, obtidos pela ionossonda analógica, os ionogramas estão disponíveis em filmes de 35 mm. Essas curvas de $h'F$ são gravadas em filmes fotográficos através da modulação da intensidade de uma fonte luminosa pelo sinal

recebido. A altura virtual, denominada h' , é a metade do espaço percorrido pelo sinal à velocidade da luz, desde o transmissor até o ponto de reflexão e de volta ao receptor. Um ionograma registrado pela ionossonda (conforme a Figura 5.2) contém inúmeras informações, porém, é necessária uma mesa digitalizadora e um projetor para obtenção desses dados.

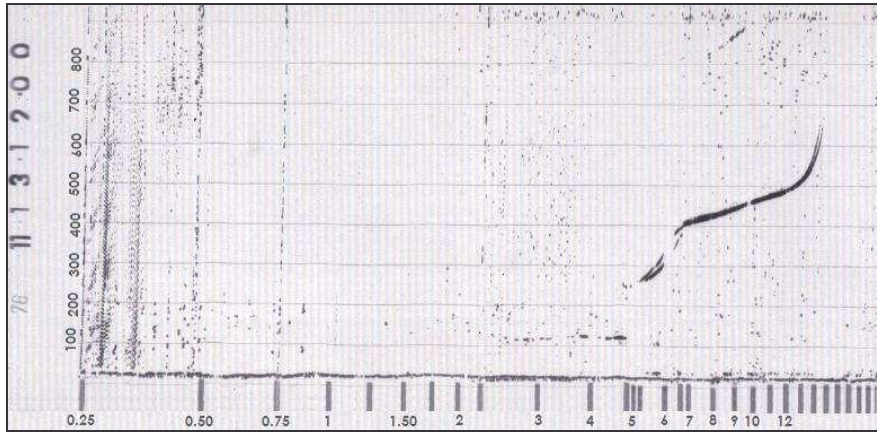


Figura 5.2 Ionograma de Cachoeira Paulista do dia 13/11/1978 às 12:00
Fonte: INPE – Redução de Dados.

5.2 – A Digissonda

A digissonda DGS256 é um sistema que foi desenvolvido na Universidade de Lowell, nos Estados Unidos (Reinisch et al., 1989). O INPE possui digissonda DGS256 instaladas em São Luís e Cachoeira Paulista. Em geral, uma antena log-periódica tipo delta (Figura 5.3), é utilizada para transmissão pulsada que pode cobrir, segundo o fabricante, frequências de 0,5 a 30 MHz. Desenvolve potência de 10 kW de pico.



Figura 5.3 – Antena Transmissora de Cachoeira Paulista.

Para a recepção dos sinais de eco refletidos pelas camadas ionosféricas há um conjunto de 4 ou 7 antenas de espiras transversais (Figura 5.4). Pré-amplificadores ligados a cada elemento de espira de cada antena permitem deslocar a fase do sinal captado de $+90^\circ$ a -90° antes da soma com o sinal do outro elemento de espira, tornando possível distinguir entre ondas circularmente polarizadas à esquerda e à direita e, portanto, entre o modo ordinário e extraordinário.



Figura 5.4 – Antena Receptora de Cachoeira Paulista.

Fonte: Wagner Borges (2007).

A ionossonda DGS 256 funciona de modo diferente conforme a informação que se deseja obter. Para o modo de ionograma (registros produzidos por sondadores ionosféricos que mostram a variação da altura virtual de reflexão da onda de rádio em função da frequência dessa onda) são emitidos pulsos que varrem geralmente as frequências de 1 a 20 MHz, em passos de 5, 10, 25, 50, 100 ou 200kHz. O tempo de permanência em cada frequência está entre 0,5 e 2s, resultando em resolução Doppler de 2 a 0,5 Hz.

5.3 – SAO Explorer v 3.2.06 (SAO-X.exe)

Este programa é o responsável pela edição dos sinais recebidos da digissonda. Os dados do intervalo de 1990 até 2001 estão no formato denominado TAP. Neste formato, além dos ionogramas, há a informação da interpretação automática feita pelo programa Automatic Real-Time Ionogram Scaler with True-height (ARTIST). A primeira função do ARTIST é produzir parâmetros de ionograma reduzidos a partir da potência de sinal versus dados de altura e frequência do ionograma – parâmetros reduzidos de frequências (foF2, foF1, foEs, foE, etc.), de alturas (h'F, h'E, h'Es, etc.), fatores de propagação oblíqua (MUF, M3000) bem como a curva h'(f) de altura versus frequência (Reinish e Huang, 1983 citado por Bullet, 1994). Esses dados de ionogramas reduzidos

automaticamente muitas vezes necessitam de intervenção manual corretiva, durante o pós-processamento, efetuado pelo software de editoração SAO Explorer v 3.2.06.

5.3.1 – O Ionograma

Na Figura 5.5 pode ser visto um exemplo de um ionograma exibido pelo software SAO Explorer v 3.2.06. Tanto no ionograma da ionossonda (Figura 5.2) quanto da digissonda, no eixo horizontal tem-se a frequência da onda transmitida, e que retornou ao solo após se refletir em uma determinada altura da ionosfera. A altura de reflexão está no eixo y. Essa altura recebe o nome de altura virtual devido ao fato de que o tempo decorrido entre a transmissão e a recepção de um pulso é transformado em distância considerando-se que o mesmo se propagou à velocidade da luz.

O pulso recebido é chamado de eco. A altura real, onde a reflexão realmente aconteceu é sempre menor que a altura virtual devido ao retardo sofrido pelo sinal eletromagnético ao atravessar a ionização presente abaixo do ponto de reflexão.

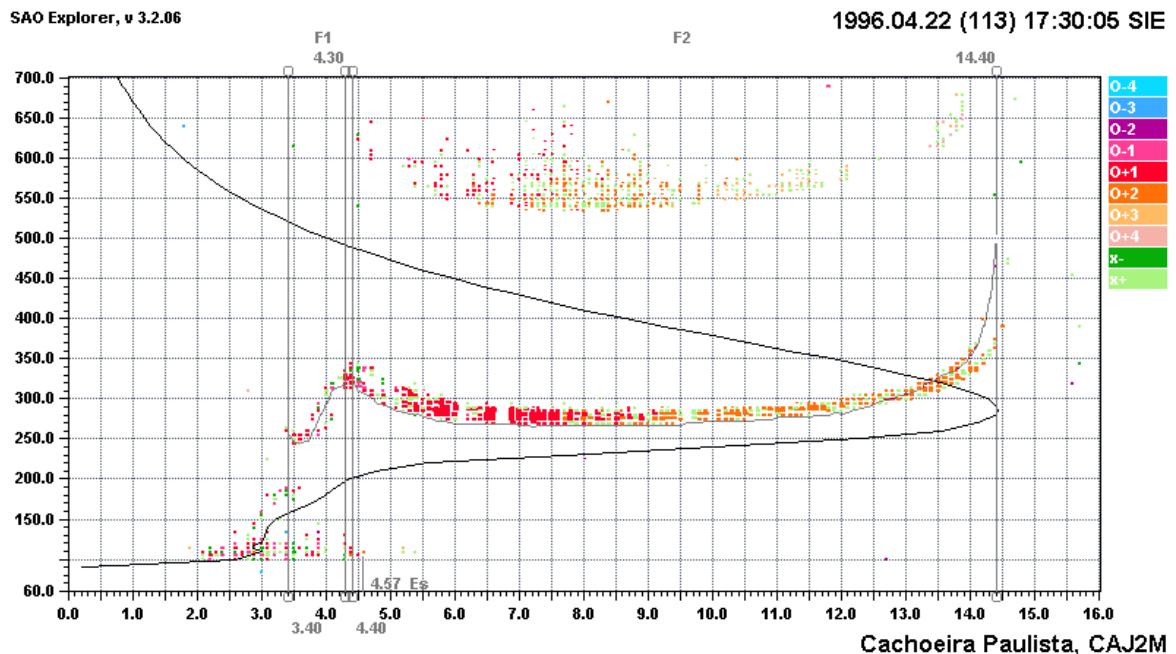


Figura 5.5 – Imagem de um ionograma de Cachoeira Paulista do dia 22/04/1996 às 17h 30min 05s

Quando a frequência da onda transmitida atinge a chamada frequência crítica (ou seja, é igual à frequência de plasma no pico de densidade eletrônica da ionosfera), a reflexão alcança a altura onde a onda incidente transpassa a camada não havendo, portanto, retorno do pulso incidente. O sondador então mede a altura virtual como infinita.

Um grande número de informações pode ser obtido a partir de um ionograma, mas, existem algumas que são muito usadas em pesquisas científicas da ionosfera e em aplicações em telecomunicações e por isso são considerados padrões (Wakai et al., 1986). Estas informações são conhecidas como parâmetros ionosféricos e fornecem uma análise geral do ionograma.

5.4 – Principais Parâmetros Ionosféricos

Os parâmetros ionosféricos aqui mostrados são parâmetros convencionais adotados internacionalmente e, para a camada F, são os seguintes:

$h'F$ – altura virtual mínima da camada F: este parâmetro representa a altura da base da camada F da ionosfera, sem levar em conta o atraso de propagação da luz no meio magneto iônico, e é obtido através de leitura direta nos ionogramas.

$h'F2$ – altura virtual mínima do traço ordinário da camada estável mais alta na região F.

$hpF2$ – é uma estimativa da altura do pico da camada F2 obtida a partir de uma aproximação parabólica para a forma dessa camada.

$hmF2$ – altura do pico da camada F2.

$foF1$ – frequência crítica da onda ordinária da camada F1.

$foF2$ – frequência crítica da onda ordinária da camada F2. É a frequência máxima de reflexão da onda eletromagnética na ionosfera.

Neste estudo estão sendo enfocados os parâmetros $h'F$, $hmF2$, $hpF2$ e $foF2$ que são mostrados nas Figuras 5.6 e 5.7.

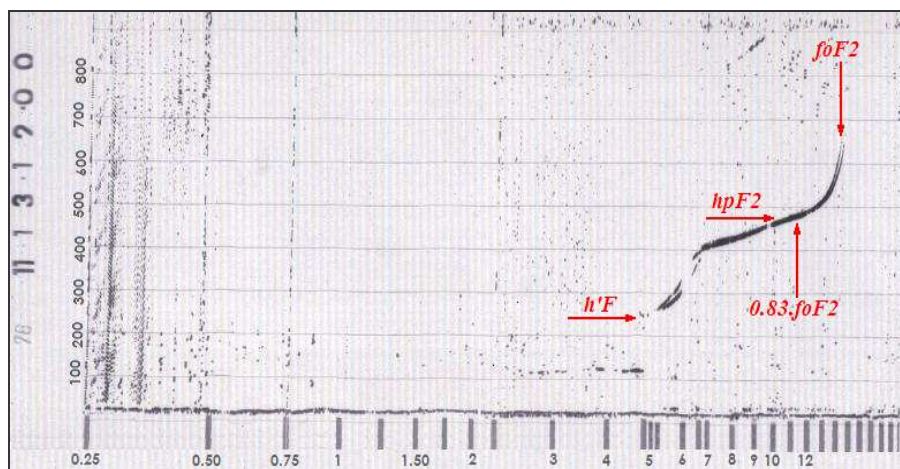


Figura 5.6 - Ionograma e os parâmetros utilizados

Fonte: INPE – Maria Goretei S. Aquino

Note-se que o parâmetro $hmF2$ não está mostrado na figura 4.4.1, pois nos ionogramas analógicos ele é aproximado pelo parâmetro $hpF2$.

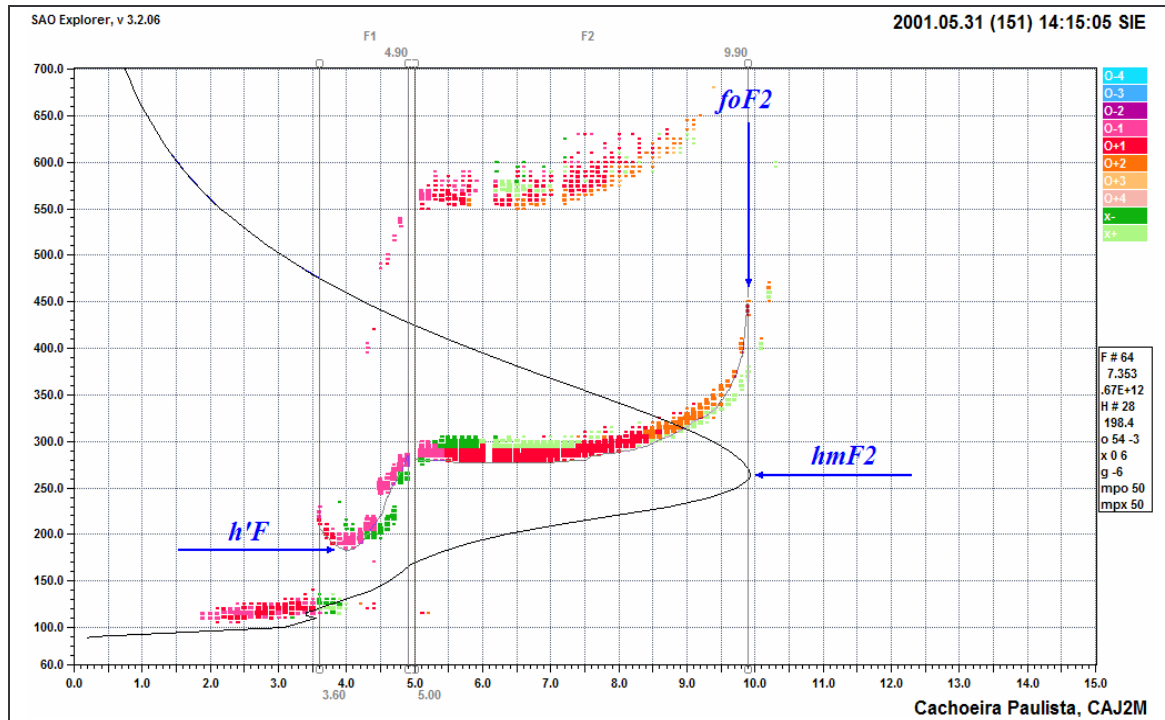


Figura 5.7. – Parâmetros utilizados

Fonte: INPE – S.J.C.

5.5 – Letras Qualificativas e Descritivas

Todos os parâmetros, com exceção do parâmetro TIPO, são acompanhados das letras qualificativas e descritivas. As letras qualificativas e descritivas são um conjunto de letras maiúsculas utilizadas sempre que a leitura for feita com aproximações, ou que for impossível ler o parâmetro, ou ainda, quando se desejar registrar alguma ocorrência que envolva o parâmetro. Colocando uma ou duas letras, conforme a necessidade, elas estarão informando maiores detalhes sobre a precisão na leitura do parâmetro.

A letra qualificativa indica uma incerteza e a letra descritiva a causa da incerteza. O uso dessas letras é de grande importância, pois ao analisar um gráfico obtido de um ionograma, caso seja observado algum comportamento fora do padrão, o usuário terá condições de saber as causas da alteração do comportamento.

VI – DADOS ANALISADOS

O estudo desenvolvido neste projeto prevê a análise de mais de 30 anos de dados para a estação de Cachoeira Paulista-SP (22° 39' S, 45° 00' O), os quais foram coletados no período de 1973 até o ano de 2005. Os dados estão em três formatos descritos a seguir:

- Do ano de 1992 a dezembro de 2005 (exceto o ano de 1995), os dados estão no formato digital e a redução foi feita utilizando o Software Sao Explorer v. 3.2.06. Nestes dados temos valores para os seguintes parâmetros: h'F, foF2 e hmF2.
- De 1990 a 1991 os ionogramas estão impressos em folhas de impressora matricial, sendo os dados coletados manualmente. Para este período têm-se valores para os seguintes parâmetros: h'F, foF2 e hpF2. Não há, portanto valores para o parâmetro hmF2, já que este é uma medida calculada computacionalmente.
- No período de 1973 a 1989 os ionogramas estão registrados em filmes fotográficos de 35 mm. Neste período, os parâmetros reduzidos são os seguintes: h'F, foF2 e hpF2. Para a obtenção desses valores utilizou-se um aparato que constitui basicamente de um projetor e uma mesa digitalizadora.

6.1 – Escolha do dia

Embora esse estudo se perfaça num período de 30 anos, fica inviável a redução de todos os dias em todos os horários, em um curto período de tempo. Portanto optou-se para a escolha do dia mais calmo de cada mês, utilizando o seguinte critério:

O dia com o menor valor do somatório dos índices geomagnéticos K_p , dado pelo Observatório: *Adolf Schmidt-Observatorium für Geomagnetismus*, Tabela 2, porém com nenhum dos valores parciais de $K_p > 3$ salvo algumas exceções, para meses altamente perturbados. Com este anexo podemos também obter o valor do índice A_p . Os horários escolhidos para o estudo são 6h:00 min, 12h:00min e 18h:00min, sendo todos horários locais (L.T), com uma tolerância de ± 15 min.

Os dias escolhidos estão mostrados na Tabela 1.

VII – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o presente estudo, os parâmetros ionosféricos foram analisados através da comparação de seus valores com o número de manchas solares. Em cada uma das figuras que se segue, o primeiro gráfico é das 6h00, o segundo das 12h00, o terceiro das 18h00 e o último é o número de manchas solares, que nos mostra claramente o ciclo solar de 11 anos. Na figura 7.1, o parâmetro utilizado nesta comparação é o $h'F$ em azul, e a sua suavização, obtida com a média corrida de 10 pontos, em vermelho, durante o período de 1973 a 2005. A correlação é pouco visível, mas notamos uma correlação tênue com o ciclo solar, quando comparamos o horário das 18h00.

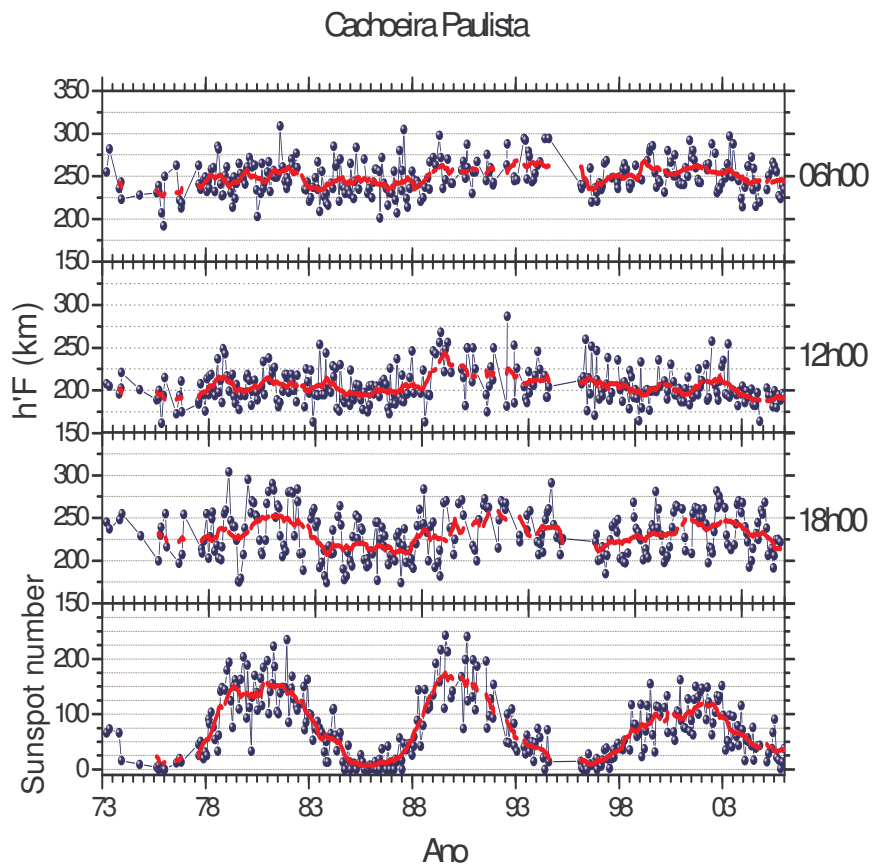


Figura 7.1: Comparação entre os parâmetros de altura virtual, $h'F$ e o número de manchas solares.

Esta correlação se mostra bastante forte na figura 7.2, onde relacionamos o parâmetro foF2 com os valores em azul e a suavização em vermelho, com o número de manchas solares, também com valores em azul e suavizações em vermelho. Podemos observar que este parâmetro apresenta uma melhor correlação com o número de manchas solares principalmente às 12h00 e às 18h00. Esta correlação também pode ser observada às 6h00, porém em menor escala.

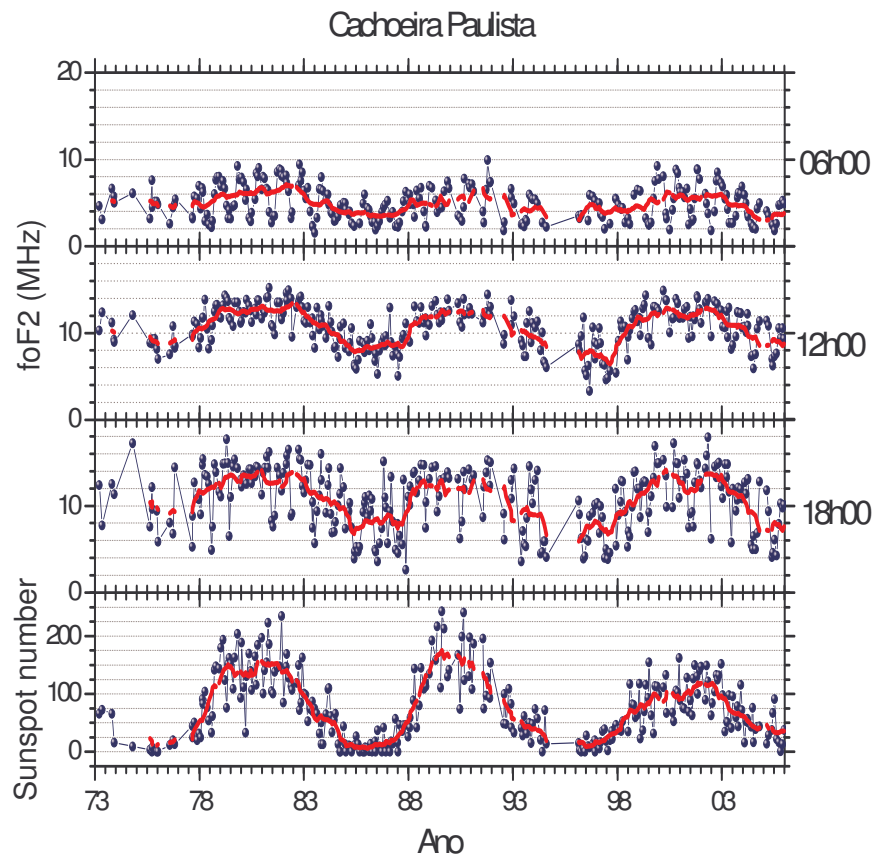


Figura 7.2: Comparação entre os parâmetros de frequência, foF2 e o número de manchas solares.

Na figura 7.3 relacionamos os parâmetro hpF2 e hmF2 com valores em azul e a suavização em vermelho, com o numero de manchas solares. Podemos notar que, embora mais fraca, a correlação se mantém.

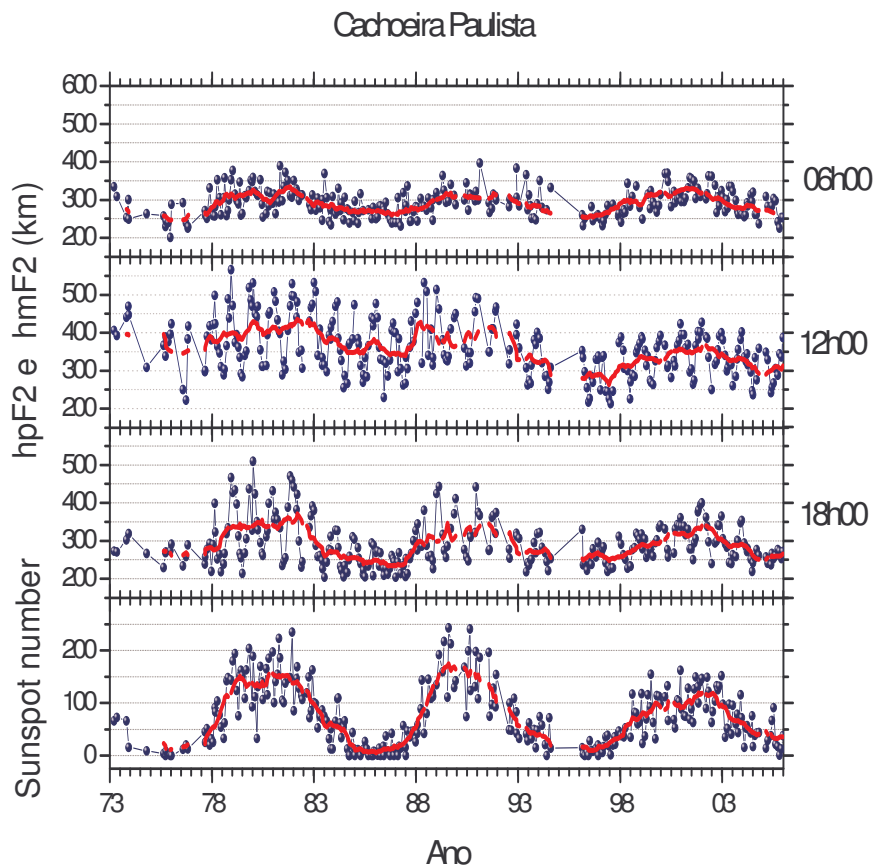


Figura 7.3: Comparação entre os parâmetros de altura hpF2 e hmF2 e o número de manchas solares.

Analisando os gráficos obtidos, vemos claramente que o parâmetro que melhor se correlaciona com a variação do ciclo solar é o foF2. Superposta à variação com o ciclo solar existe também uma variação sazonal que pode ser vista pela alta variabilidade do parâmetro em relação à sua suavização. Vemos também esta variação sazonal no parâmetro hpF2 e hmF2.

O parâmetro h'F é o que apresenta menor correlação com o ciclo solar. A correlação dos parâmetros hpF2 e hmF2 às 12h00 também é muito baixa. Por se tratarem de parâmetros de altura não se esperava uma boa correlação destes parâmetros com o número de manchas solares.

Construiu-se um banco de dados, cujos arquivos possuem o formato mostrado na Tabela 3. Nesta tabela encontra-se apenas o ano 2003, porém o banco completo contém todos os dados de Cachoeira Paulista para o período de 1973 a 2005. Este banco de dados será usado para a análise das variações de longo período da ionosfera. Esta é a primeira etapa deste estudo.

VIII - CONCLUSÕES

Com base nos dados e nos gráficos podemos concluir que o número de manchas solares influencia altamente a densidade da ionosfera terrestre, pois ao analisarmos o parâmetro foF2 vemos que quanto maior o número de manchas maior o seu valor. Isto ocorre porque as regiões em volta das manchas solares são de grande atividade e alto fluxo solar, causando, portanto maior ionização na ionosfera.

Em uma análise preliminar do comportamento de hpF2 e hmF2 às 12h00 observa-se uma tendência de decréscimo da altura média da camada. Se isso for confirmado caracterizaria o “abaixamento” proposto por Rishbeth (1990). Porém análises mais rigorosas são necessárias para confirmar esta tendência. Esta será a próxima parte deste trabalho. Daremos continuidade a este estudo realizando análise estatística e análise espectral nos dados, para quantificar as correlações com o ciclo solar e com as estações do ano.

ano/mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1973			15 Q1		5 Q5					26 Q1	30 Q4	3 Q10
1974										23 Q1		
1975								19 Q2	24 Q1	2 Q1	15 Q3	20 Q4
1976	9 Q1							4 Q3	28 Q4	29 Q1	5 Q4	
1977								29 Q5	5 Q1	5 Q17	22 Q4	25 Q10
1978	21 Q1	24 Q1	4 Q1	7 Q1	19 Q1	14 Q2	31 Q1	15 Q2	19 Q1	17 Q5	7 Q3	10 Q1
1979	10 Q1	20 Q1	20 Q5	19 Q2	17 Q1	3 Q1	2 Q3	15 Q1	7 Q2	31 Q5	28 Q1	25 Q1
1980	9 Q1	12 Q2	17 Q1	2 Q1	17 Q1	17 Q2	3 Q3	29 Q1	18 Q3	16 Q5	3 Q2	24 Q1
1981	19 Q2	14 Q1	22 Q4	15 Q6	5 Q1	14 Q1	10 Q2	9 Q2	23 Q1	31 Q1	30 Q1	7 Q2
1982	5 Q1	27 Q1	6 Q1	7 Q1	23 Q1	5 Q1		27 Q3	29 Q1	15 Q4	7 Q1	6 Q2
1983	6 Q1	2 Q1	10 Q2	18 Q3	29 Q3	4 Q1	11 Q1	18 Q1	30 Q1	26 Q2	4 Q5	3 Q3
1984	23 Q4	25 Q1	14 Q3	16 Q1	7 Q1	14 Q2	7 Q2	18 Q5	17 Q2	1 Q10	24 Q4	24 Q1
1985	5 Q5	26 Q3	13 Q1	15 Q1	27 Q3	3 Q4	2 Q1	6 Q1	2 Q4	30 Q1	24 Q2	7 Q3
1986	16 Q1	16 Q1	10 Q1	4 Q1	28 Q1	5 Q5	12 Q3	16 Q3	22 Q1	24 Q1	19 Q4	6 Q3
1987	4 Q1	13 Q5	2 Q1	3 Q1	19 Q1	30 Q1	1 Q1	2 Q3	19 Q1	9 Q1	17 Q1	27 Q2
1988	23 Q1	1 Q1	24 Q1	17 Q2	23 Q7		9 Q14	7 Q2	29 Q1	29 Q3	4 Q10	
1989	3 Q1	17 Q3		21 Q2	19 Q4	24 Q11	16 Q1	5 Q1	14 Q4	5 Q5	15 Q2	10 Q1
1990					16 Q1	20 Q1	25 Q1	25 Q5	2 Q1		22 Q6	10 Q1
1991	19 Q2						26 Q2	10 Q1	18 Q3	15 Q2	25 Q3	6 Q1
1992							26 Q1	3 Q1	1 Q1	24 Q1	29 Q1	6 Q1
1993	23				25 Q1	21 Q1	14 Q1	14 Q1	1 Q1	15 Q1	12 Q1	9 Q4
1994	24 Q3		4 Q1	28 Q2	27 Q1	23 Q1	12 Q1	8 Q1				
1995												
1996		21 Q3	7 Q1	6 Q2	18 Q1	13 Q1	9 Q2	8 Q1	2 Q3	26 Q4	30 Q1	6 Q2
1997	16 Q1	20 Q1	9 Q1	15 Q1	23 Q2	14 Q2	14 Q2	26 Q1	25 Q1	5 Q1	29 Q1	8 Q2
1998	15 Q1	26 Q1	8 Q1	1 Q1	14 Q1	28 Q2	8 Q2	9 Q1	14 Q1	16 Q1	11 Q1	17 Q1
1999	19 Q1	2 Q2	22 Q1	15 Q1	11 Q1	21 Q1	4 Q1	14 Q1	25 Q1	20 Q1	27 Q1	22 Q1
2000			15 Q1	26 Q1	8 Q1	30 Q1		22 Q1	10 Q1	20 Q1	17 Q1	15 Q1
2001	1 Q1	18 Q1	15 Q1	27 Q1	31 Q1	28 Q1	28 Q1	16 Q1	10 Q1	24 Q1	3 Q1	9 Q1
2002	3 Q1		17 Q1	8 Q1	1 Q4	28 Q1	14 Q1	24 Q2	23 Q1	13 Q1	8 Q1	18 Q1
2003	13 Q3	25 Q1	25 Q1	7 Q1	4 Q1	12 Q1	8 Q1	31 Q1	28 Q1	11 Q1	28 Q1	19 Q1
2004	29 Q2	26 Q1	24 Q1	2 Q1	26 Q1	22 Q1	6 Q5	8 Q2	11 Q1	17 Q1		
2005		23 Q2	22 Q2		26 Q3	10 Q2	6 Q1	11 Q1	21 Q2	23 Q3	27 Q2	23 Q1

Tabela 1 – Dias que estão reduzidos. Os campos em verde são os meses para os quais não há dados, seja por falta de ionogramas ou mesmo por impossibilidades de reduzi-los. Os campos em amarelo ocre são os dias que possuem alguma incerteza na redução. Esta incerteza é classificada com as letras qualificativas e descritivas.

IUGG: Association of Geomagnetism and Aeronomy
 (International Service of Geomagnetic Indices)

February 2006
International quiet and disturbed days

Quietest days	1 - 5 :	14	25	9	18	13
	6 - 10 :	5	27	1	8	2
Most disturbed days	1 - 5 :	20*	21*	22*	6*	15*

Geomagnetic Planetary Indices

	Kp three-hourly								Sum	daily	
	1	2	3	4	5	6	7	8		Ap	Cp
1	0o	0+	1+	1-	1o	1-	0+	2+	7-	4	0.1
2	2-	1-	0+	1+	1-	1-	2-	2-	9-	4	0.1
3	0+	0+	1-	2-	1-	1+	3o	1+	9+	5	0.2
4	2+	3o	1+	1o	1o	1o	0+	0+	10+	6	0.3
5	1o	0o	2-	1-	0+	0+	2-	1-	6+	3	0.1
6	2-	4-	2o	2o	4-	2+	3o	4-	22o	14	0.8
7	2o	1+	1o	0o	0+	1-	1+	2-	8+	4	0.1
8	3-	1-	1+	1-	0+	0o	0+	0+	6+	4	0.1
9	0o	0o	0+	1-	1o	0o	1+	1+	5-	2	0.0
10	1o	0+	0o	0o	0o	0+	2-	3o	6+	4	0.1
11	2o	2o	2o	1-	2o	3-	1+	0+	13o	6	0.3
12	2+	3o	2-	1-	1o	1+	0o	0o	10o	5	0.2
13	0o	0o	0o	0o	1-	2-	1o	1o	4+	2	0.0
14	0o	0o	0o	0o	0+	0o	0o	1+	2-	1	0.0
15	1-	1o	2o	3o	2o	2-	3+	4-	17+	10	0.6
16	3o	3-	3o	2+	1+	1+	2-	1+	17-	9	0.5
17	1o	3-	2-	1-	1o	1o	0+	1o	9+	5	0.2
18	0o	0+	0o	1-	2-	1-	1-	1-	5-	2	0.0
19	2o	2o	2o	1o	1+	1+	2+	2-	14-	6	0.3
20	2+	2o	3-	3+	4+	5-	3+	3+	26o	19	1.0
21	3+	4-	3o	4o	3+	4-	3o	3-	27-	19	1.0
22	4o	3+	3+	3+	3-	3+	2-	2-	23+	15	0.9
23	2-	2o	1+	1+	0+	0+	1o	1o	9o	4	0.2
24	3-	2-	1o	2+	2+	1-	0+	0+	11+	6	0.3
25	2o	1-	0+	0+	0o	0o	0o	0o	3+	2	0.0
26	1o	2+	1-	0+	1+	2o	2-	3-	12o	6	0.3
27	2-	1+	2-	1-	1-	0o	0+	1+	8-	4	0.1
28	0+	0o	1o	2o	1+	1-	2-	2+	9+	4	0.2
									Mean	6	0.29

Preliminary sudden commencements: none

 Editor: GeoForschungsZentrum Potsdam
 Adolf-Schmidt-Observatorium für Geomagnetismus
 Lindenstr. 7
 D-14823 Niemegk
 F.R. Germany

Tabela 2 – Escolha do dia geomagneticamente mais calmo a partir da análise do índice Kp. Nesta tabela também encontramos o valor do índice magnético Ap. Os valores são diários e possui valores para todos os dias do mês.

Cachoeira Paulista

Ap	ssn	Ano	Mês	Dia	Hora LT	Classificação do dia	h`F	QD	foF2	QD	hmF2	QD
7	98	2003	1	13	06:00	Q9	254,3		6,9		306,8	
7	98	2003	1	13	12:00	Q9	235		10,75		381,8	
7	98	2003	1	13	18:00	Q9	268		10,9		305,5	
5	35	2003	2	25	06:00	Q1	248,3		5,45		269,1	
5	35	2003	2	25	12:00	Q1	196,1		10,65		340,3	
5	35	2003	2	25	18:00	Q1	239,6		14.825		292,1	
3	52	2003	3	25	06:00	Q1	264,4		5,9		300,5	
3	52	2003	3	25	12:00	Q1	194,8		12.525		300,1	
3	52	2003	3	25	18:00	Q1	232,1	UH	13.300	UH	282,8	
5	51	2003	4	7	06:00	Q1	255,7	UH	4.300	UH	277,9	
5	51	2003	4	7	12:00	Q1	254,5		9,5		308,6	
5	51	2003	4	7	18:00	Q1	222,2		14,8		286,5	
5	98	2003	5	4	06:00	Q1	295,5		2,9		390,7	
5	98	2003	5	4	12:00	Q1	192,3		12.925		323,7	
5	98	2003	5	4	18:00	Q1	192,3		11,6		242,8	
7	41	2003	6	12	06:00	Q1	247		2,8		374,6	
7	41	2003	6	12	12:00	Q1	197,8		8,15		316,1	
7	41	2003	6	12	18:00	Q1	200		5,8		240,3	
3	96	2003	7	8	06:00	Q1	331,5		2,2		438	
3	96	2003	7	8	12:00	Q1	200,1		8,613		260,6	
3	96	2003	7	8	18:00	Q1	214,5	UH	12,00	UH	264,1	
6	60	2003	8	31	06:00	Q1	250		3,5		298,9	
6	60	2003	8	31	12:00	Q1	195		9,613		285,3	
6	60	2003	8	31	18:00	Q1	231,7		9,45		259	
4	79	2003	9	28	06:00	Q1	245		5,613		263,3	
4	79	2003	9	28	12:00	Q1	182,5		12,425		331,8	
4	79	2003	9	28	18:00	Q1	244,6		10,7		301,7	
2	44	2003	10	11	06:00	Q1	245		6,15		262,2	
2	44	2003	10	11	12:00	Q1	198,7		12,35		356,1	
2	44	2003	10	11	18:00	Q1	225		12,107		299,8	
5	116	2003	11	28	06:00	Q1	240		8,2		349,4	UC
5	116	2003	11	28	12:00	Q1	195,8		12,313		382,3	
5	116	2003	11	28	18:00	Q1	259		11,95		347,6	
1	72	2003	12	19	06:00	Q1	214,5	UH	6.900	UH	261,4	
1	72	2003	12	19	12:00	Q1	205		10,65		401,7	
1	72	2003	12	19	18:00	Q1	254,7		10,85		354,1	

Tabela 3 – Formato de armazenamento dos dados. Para cada ano existe uma tabela, contendo os valores dos índices magnéticos Ap, o número de manchas solares, o mês, o dia mais calmo com os horários específicos e a sua classificação. Também os valores dos parâmetros utilizados, obtidos através dos ionogramas, e as letras qualificativas e descritivas ao lado de cada valor de parâmetro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APPLETON, E. V.; BARNETT, M. A. F. Local reflection of wireless waves from the upper atmosphere. **Nature**, v.115, p.333-334, 1925.
- BARBOSA NETO, PAULO F. The ionospheric F3 layer. **Rev. Bras. Geof.**, v.17, n.2-3, DOI: 10.1590/S0102-261X1999000200036. 1999
- BERTONI, F. C. P. **ESTUDOS DE DERIVAS IONOSFERICAS POR MEIO DE IONOSSONDAS DIGITAIS** : Dissertacao (MESTRADO)- INPE, 1998. -. São José dos Campos, SP: INPE, 1999. 135 p., (INPE-7169-TDI/675).
- BIBL, K.; REINISCH, B. W. The universal digital ionosonde. **Radio Science**, v.13, n.3, p.519-530, 1978.
- BIBL, K.; REINISCH, B. W.; KITROSSER, D. **General description of the compact digital ionospheric sounder**. University of Lowell, 1981.
- BILITZA, D., International Reference Ionosphere, Recent developments, **Radio Science**, v.21, p. 343-346, 1986.
- BULLET, T.W. **Mid-latitude ionospheric plasma drift: a comparison of digital ionosonde and incoherent scatter radar measurements at Millstone Hill**, Ph.D. Thesis, University of Massachusetts, Lowell. 1994
- HENRY RISHBETH – Department of Physics and Astronomy, **University of Southampton, Southampton**, SO17 IRL U.K 1990
- J.A. EDDY, The Maunder minimum, **Science** v. 192, pp. 1189–1202. 1976
- KIRCHHOFF, V. W. J. H. **INTRODUCAO A GEOFISICA ESPACIAL**. . -. SAO PAULO, SP: NOVA STELLA, 149 p., 1991.
- KIVELSON, M. G.; Russel, C. T. Ed. **Introduction to space physics**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- REINISCH et al., **High latitude F-region drift studies**. Lower Mississippi River Forecast Center, Slidell, LA, Center for Atmospheric Research dez 1986. – p., 1989.
- REINISCH, B. W. New techniques in ground-based ionospheric sounding and studies. **Radio Science**, v.21, n.3, p.331-341, 1986.
- SCALI, J. L. **Digissonde drift analysis**. **University of Lowell, Center of Amospheric Research**. Lowell, 1933.
- SCHOVE, D. J. - Sunspot Cycles, **Hutchinson Ross Publishing Co, Stroudsburg**, v.68, p.410, 1983.
- SIEBERT, K. D. Dynamo circuits for magnetopause reconnection **Journal of Geophysical Research**. v.107, Issue A7, pp. SMP 6-1, CiteID 1095, DOI (10.1029/2001JA000237) 1971.
- SOBRAL, J. H. A.; Abdu, M. A.; Batista, I. S. "**Airglow Studies on Ionosphere Dynamics over Low Latitude in Brazil**". . -. SAO JOSE DOS CAMPOS, SP: INPE, 20 p., (INPE-1644-RPE/100). 1980
- WAKAI, N.; OHYAMA, H.; KOIZUMI, T. **Manual of Ionogram Scaling, third version**. **Radio Research Laboratory**, Ministry of Posts and Telecommunication, Japan, 1987.

Sites consultados:

EOS, **Transaction, American Geophysical Univ.** v.80, N49, December 7, 1999.
National Weather Service Southern Region Headquarters [on-line], disponível em:
<http://radar.weather.gov/jetstream/atmos/ionosphere_max.htm>

Acesso em 17 Jan 2007.

INPE – **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.** [on-line] , disponível em:
<<http://www.roen.inpe.br/frames/ionossonda.htm>>

Acesso em 17 jan 2007

KEPLER S. F.; SARAIVA M.F. - **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**
<<http://astro.if.ufrgs.br/esol/explorsol.htm>>

Acesso: 04 jun 2007

LINTHE, H.-J. **Geomatic Kp Index** International Service of Geomagnetic Indices,
GFZ, Adolf-Schmidt-Observatory Niemeck [on-line], disponível em:
<<http://www.gfz-potsdam.de/pb2/pb23/index.html>>

Acesso em 17 Jan 2007

MIT Haystack Observatory

<<http://www.haystack.mit.edu/atm/science/thermo/index.html>>

Acesso em 02 Fev 2007

NEVES.L.F.F **Wikipedia Homepage.** (Ionosfera)

<<http://pt.wikipedia.org/wiki/Ionosfera>>

Acesso em 17 Jan 2007.

NASA, **National Aeronautics and Space Administration** [on-line], disponível em:
<http://umbra.gsfc.nasa.gov/spartan/the_corona.html>

Acesso em 01 jun 2007

<<http://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/bestofsoho.html>>

Acesso em 01 jun 2007

<<http://helios.gsfc.nasa.gov/sspot.html>>

Acesso em 04 jun 2007

WALEY, J. Espectro da coroa solar durante Eclipse. **Wikipedia Homepage.**

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Coroa_solar>

Acesso em 17 Jan 2007