



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



**ESTUDO DAS TENDÊNCIAS DE LONGO TERMO DOS
PARÂMETROS IONOSFÉRICOS SOBRE A REGIÃO
BRASILEIRA: FORTALEZA**

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
PIBIC/INPE – CNPq/MCT

Roberta de Cássia Ferreira - (INPE, Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT)
E-mail:roberta@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:

Roberta de Cássia Ferreira
Curso: Licenciatura em Matemática
ETEP - Faculdades

Orientadora:

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

Colaboradores:

Everaldo Marcos Gonçalves – 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.

1- SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE TABELAS	8
INTRODUÇÃO	9
II Atmosfera	10
2.1.1 – Troposfera	10
2.1.2 – Tropopausa	11
2.1.3 - Estratosfera.....	11
2.1.4 - Estratopausa	11
2.1.5 - Mesosfera	11
2.1.6 - Mesopausa.....	11
2.1.7 – Termosfera.....	11
III Ionosfera	13
Região D	14
Região E	14
Região F	14
3.1 Índices Magnéticos	15
3.1.1 Índice Kp (planetarische Kennziffer)	15
3.1.2 Índice Ap	15
3.2 Manchas Solares	15
3.2.1 Índice Sunspot number (número de manchas solares)	16
4.1 Ionossonda	17
4.1.2 Ionossonda analógica.....	18
4.1.3 Ionossonda digital e digissonda.....	18
4.2 Ionogramas	19
4.3 Parâmetros Ionosféricos e Letras Qualificativas e Descritivas	20
4.3.1 Parâmetros Ionosféricos	20
4.3.2 Principais Parâmetros Genéricos:.....	20
4.3.3 Principais Parâmetros da Região E:	20
4.3.4 Principais Parâmetros da Região F:.....	21
4.3.5 Letras Qualificativas e Descritivas.....	21
4.3.6 Algumas Letras Qualificativas	21
4.3.7 Algumas Letras Descritivas.....	21
V Metodologia	22
5.1 Dia mais calmo	22
5.2 SAO Explorer	23
5.3 Sistema Ionocadi	24
5.4 Dados da Ionossonda analógica.....	25
5.5 Armazenamento dos dados.....	26
5.6 Tratamento dos dados.....	26



VI Resultados e Discussões	29
VII Conclusões	36
VIII Referências Bibliográficas.....	37
Apêndice A –	39
Análise das diferenças entre a suavização calculada e os parâmetros analisados.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Divisão da atmosfera terrestre.	10
Figura 2.2: Classificação da Atmosfera neutra e da Atmosfera ionizada terrestre.	12
Figura 3.1: Localização das camadas Ionosfera.de acordo com a altura.....	13
Figura 3.2: - Camadas Ionosféricas de acordo com a altura e representando os íons predominantes.	14
Figura 3.3: Imagem representando a concentração das manchas solares onde se vê também regiões de umbra e penumbra Fonte: www.gea.org.br/sol/estrela.html	15
Figura 3.4: Progressão do número de Manchas Solares de 1994 até 2006	16
Figura 3.5: Ciclo das manchas solares	16
Figura 4.1: Sistema transmissor-receptor da Digissonda DPS de Fortaleza – CE	17
Figura 4.2: Antena Transmissora de Fortaleza – CE em 2001	17
Figura 4.3: Antenas receptoras de Fortaleza – CE em 2001	18
Figura 4.4: Sondador digital CADI (Canadian Advanced Digital Ionosonde)	18
Figura 4.5: Ionograma registrado pela ionossonda convencional em 13/02/1979, as 4h59 em Fortaleza – CE	19
Figura 4.6: Ionograma registrado pela CADI.....	19
Figura 4.7: Ionograma de Fortaleza – CE registrado pela DPS no dia 30/04/2006, as 14h00.	20
Figura 5.1: Ionogramas referentes ao dia 17/05/2003 às 6:00, às 12:00 e às 18:00 horas.	24
Figura 5.2: Ionogramas registrados pela CADI, referente ao dia 21/03/1995, às 6:00, às 12:00 e às 18:00 horas.	25
Figura 5.3: Ionograma registrado pela ionossonda referente a 13/02/1979, as 17h30...25	
Figura 6.1: O parâmetro foF2 e sua suavização para as 6h00, 12h00 e 18h00 (7/1975 a 5/2006) e o número de manchas solares no mesmo intervalo.	29
Figura 6.2: Os parâmetros hmF2 e hpF2 e suas suavizações para as 6h00, 12h00 e 18h00 (7/1975 a 5/2006) e o número de manchas solares no mesmo intervalo.....	30



Figura 6.3: O parâmetro $h'F$ e sua suavização para as 6h00, 12h00 e 18h00 (7/1975 a 5/2006) e o número de manchas solares no mesmo intervalo.....31

Figura 6.4: Variação de $foF2$ e sua suavização e a diferença entre a suavização e o parâmetro.....31

Figura 6.5: Variação de $hpF2$ e $hmF2$ e sua suavização e a diferença entre a suavização e o parâmetro.32

Figura 6.6: Variação de $h' F$ e sua suavização e a diferença entre a suavização e o parâmetro.....32



ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 5.1 Índices magnéticos Kp e Ap para o mês de janeiro de 1991 e a escolha do dia mais calmo.	23
Tabela 5.2 – Armazenamento dos dados coletados.	27
Tabela 5.3: Sumário de todo o período analisado, que permite visualizar os períodos que não houve dados, as falhas e a classificação de cada dia reduzido. Abrange o período de junho de 1975 a julho de 2006	28
Tabela 6.1: Quantidade de picos positivos e negativos referente à diferença entre os parâmetros ionosféricos analisados e suas suavizações.	33
Tabela 6.2: Comparação dos picos máximos (positivos) e mínimos (negativos) obtidos da diferença entre os parâmetros e a suavização	34
Tabela 6.3 – Coeficiente de correlação entre o número de manchas solares e os parâmetros h'F, foF2 e hmF2.	35

INTRODUÇÃO

Neste trabalho serão apresentadas as atividades desenvolvidas no período de agosto de 2006 a junho de 2007. Neste período foram desenvolvidas atividades de estudos teóricos dos temas relacionados com o projeto proposto, para conhecimento e explicação das atividades instrumentais. Este trabalho teve como finalidade mostrar as variações dos parâmetros ionosféricos com a atividade solar.

O foco do presente trabalho é na região de Fortaleza, CE ($3,8^{\circ}$ S, 38° O). A análise se concentra na região F com dados de 1975 a 2006, estudando as tendências dos parâmetros de altura e de frequência: $h'F$ (altura virtual mínima da camada), $hmF2$ (altura real do pico de densidade eletrônica da ionosfera), $hpF2$ (estimativa da altura real do pico da camada) e $foF2$ (frequência crítica da camada F2). Considerando o extenso volume de dados, a análise foi reduzida ao dia mais calmo de cada mês e restrita a três horários, às 6h00 LT, às 12h00 LT e às 18h00 LT, horários com distintas contribuições da radiação solar. A escolha do dia mais calmo foi feita pela análise dos valores individuais do índice K_p e de sua somatória.

Foram feitos gráficos dos valores de cada parâmetro nos quais foram sobrepostas as respectivas suavizações. Em tais gráficos pôde-se observar uma correlação dos parâmetros ionosféricos com a atividade solar. Essa concordância proporcionou uma série de discussões salientadas neste trabalho.

II Atmosfera

A atmosfera é uma fina camada que envolve a terra, presa pela força da gravidade, composta basicamente de gás retido pela força da gravidade. É uma mistura de gases dos quais o nitrogênio é o mais abundante.

A atmosfera terrestre pode ser dividida em função de suas características de ionização, campo magnético, propagação das ondas eletromagnética e por temperatura, em relação à altura.

Por propagação das ondas eletromagnética se divide em duas, atmosfera neutra e atmosfera ionizada ou ionosfera. A atmosfera eletricamente neutra é a camada entre a superfície da Terra e a Ionosfera, com altura de 50km. E por temperatura as camadas da atmosfera são: Troposfera, Estratosfera, Mesosfera e Termosfera. Separando uma camada da outra existem as “pausas” denominadas: Tropopausa, Estratopausa e Mesopausa. A Figura 2.1 mostra a divisão em termos de temperatura.

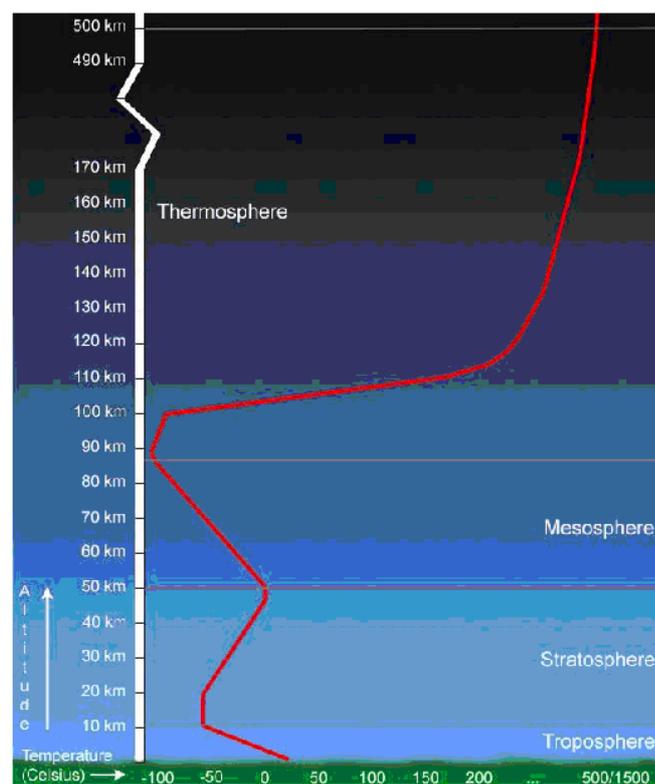


Figura 2.1: Divisão da atmosfera terrestre.

Fonte: <http://www.zenite.nu/tema/>.

2.1.1 – Troposfera

É a camada que se estende da superfície terrestre até a base da estratosfera (0 - 17 km). É também conhecida 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.

2.1.2 – Tropopausa

A Tropopausa é o nome dado ao ponto intermediário entre a troposfera e a estratosfera. A distância da Tropopausa em relação ao solo varia conforme as condições climáticas da troposfera, da temperatura do ar, da latitude entre outros fatores. 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.

2.1.3 - Estratosfera

É caracterizada pelas correntes horizontais. Esta região é caracterizada pelo aumento da temperatura com a altura, e apresenta pequena concentração de vapor de água. 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.

2.1.4 - Estratopausa

É a região limítrofe próxima à mesosfera e onde a maior parte do ozônio da atmosfera situa-se. Localiza-se em torno de 50km acima da superfície, na parte superior da estratosfera e inferior da mesosfera.

2.1.5 - Mesosfera

Conhecida como média atmosfera, é uma região onde a temperatura novamente 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. Está situada entre 50 a 85 km de altitude. Nesta camada ocorre o fenômeno da aeroluminescência das emissões da hidroxila. É também a região onde podem ser estudadas as ondas de maré e ondas de gravidade devido ao movimento de propagação dos gases ionizados.

2.1.6 - 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 ponto de transição entre a Mesosfera e a Termosfera.

2.1.7 – Termosfera

Esta é a camada localizada na parte superior da atmosfera terrestre, acima da mesopausa e que se estende até 600 km de altura. Sua temperatura aumenta com a altitude rápida e monotonicamente devido à energia recebida do sol, chegando à ordem de 1727°C . Nas altas altitudes a densidade das moléculas é tão pequena que elas se

movem em trajetórias aleatórias tal que raramente se chocam. Esta região também é conhecida como alta atmosfera.

A Figura 2.2 mostra a classificação da atmosfera neutra e da ionosfera terrestres.

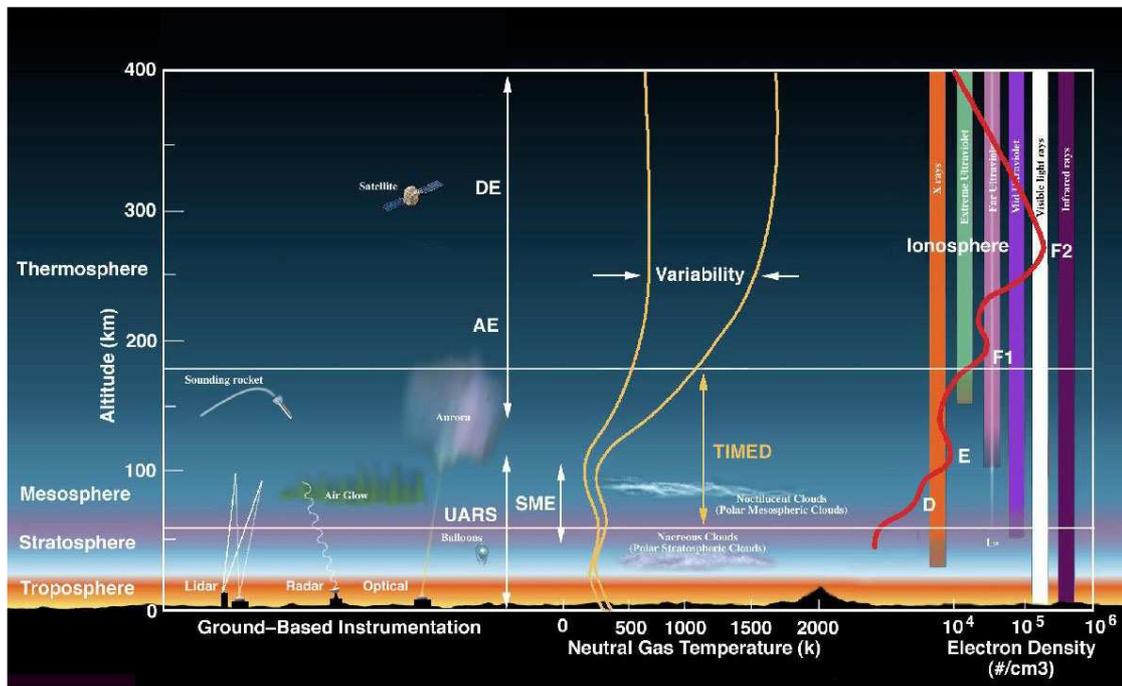


Figura 2.2: Classificação da Atmosfera neutra e da Atmosfera ionizada terrestre.

III Ionosfera

A ionosfera se sobrepõe à mesosfera e à termosfera, predominando aproximadamente entre 60 km a 1000 km. Pode ser considerada como um constituinte menor da atmosfera terrestre, pois seu peso, comparado com o da atmosfera não ionizada, é desprezível, porém a concentração de elétrons e íons positivos livres é apreciável tendo propriedade de alterar a trajetória das ondas de rádio.

O conhecimento da ionosfera é importante para aplicações que utilizam rádio frequência e sistema de posicionamento por satélites, pois as ondas eletromagnéticas que propagam na ionosfera são afetadas pelos distúrbios nela existentes.

A ionosfera é variável, o número de partículas eletrizadas depende da latitude, da atividade geomagnética e de variações provocadas pela iluminação solar durante o dia e a ionização varia com o ciclo solar, o qual apresenta uma periodicidade de 11 anos.

O principal processo de produção iônica é a absorção de radiação solar na faixa espectral do extremo ultravioleta (EUV) e de raios x. Os fótons de energia espectral acima de aproximadamente 12 eV (elétrons volts) são capazes de ionizar os componentes atmosféricos, e ao mesmo tempo são responsáveis pelo aquecimento da termosfera (Kirchhoff, 1991). Num outro processo, chamado corpuscular, partículas ionizadas de energia cinética elevada podem produzir ionização através de colisões com partículas neutras.

Normalmente a ionosfera se divide em três regiões, região D, região E e região F, como mostra a figura:

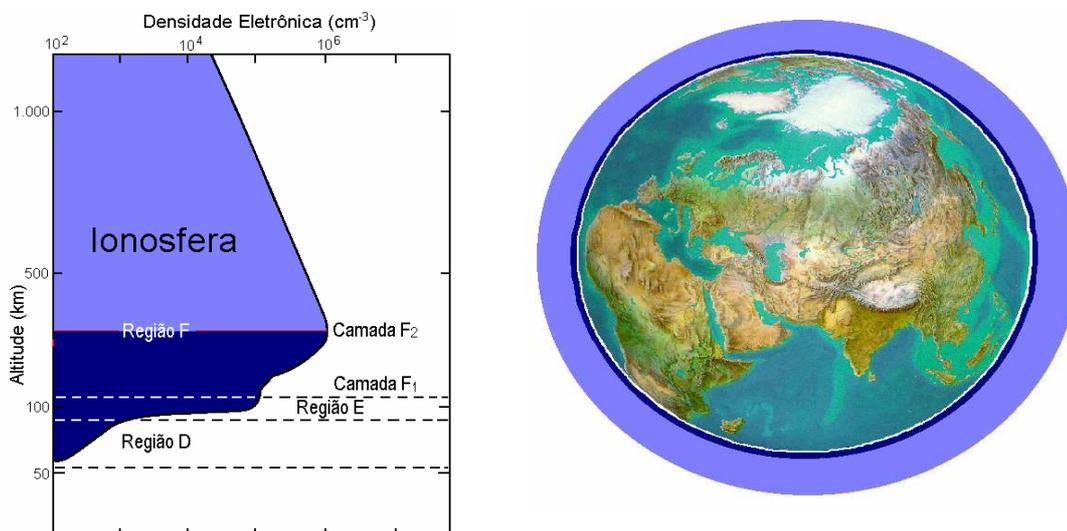


Figura 3.1: Localização das camadas Ionosfera, de acordo com a altura.

Fonte: Denardini (1999, p.23)

Região D – é a região mais baixa e a menos densa de todas as regiões ionosféricas, deixando de existir durante a noite. Acredita-se que é a região que mais apresenta absorção das ondas de rádio. As reações químicas mais importantes incluem os componentes O, O₃, NO, NO₂, CO₂ e H₂O. Em proporções pequenas estão presentes os metais Na, K e Li.

Região E – é importante pela presença de correntes elétricas que nela fluem e por sua interação com o campo magnético (Kirchhoff, 1991). Apresenta estratificações como a camada E₂, mais densa que a camada E e a camada E_s (esporádica) pouco densa e altamente variável. Os principais íons primários ionizados nesta região são de N₂⁺, O₂⁺, e O⁺. Encontram-se também grande número de NO⁺, formado a partir de reações químicas. As radiações EUV são absorvidas pelo oxigênio molecular para formar O₂⁺.

Região F – é onde se concentram as camadas refletoras mais importantes. Normalmente subdivide-se em camadas F₁ e F₂. A camada F₁, encontrada normalmente durante o dia, é caracterizada por um pequeno pico secundário ou uma pequena inflexão na curva de densidade de elétrons. A espécie molecular predominante na altura da camada F₁ é o N₂ e o íon majoritário é o NO⁺. A camada F₂ é caracterizada por apresentar a mais alta densidade, ou seja, é onde se localiza o pico da densidade eletrônica. Os íons positivos predominantes são O⁺ e H⁺ (este apenas na parte superior). Ocasionalmente ocorre também a camada F₃ em uma estreita faixa de latitude próxima do equador magnético. Esse estudo se localiza na região F.

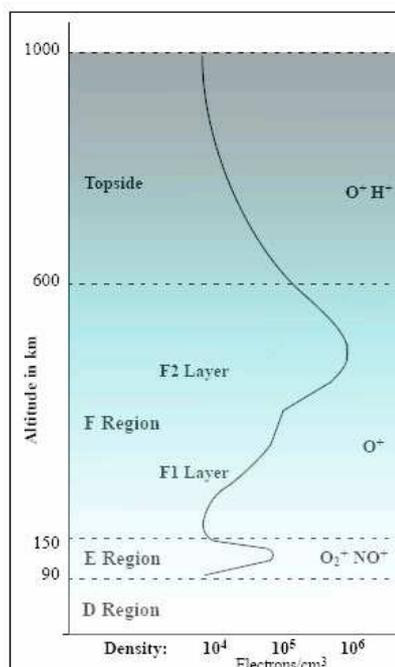


Figura 3.2: - Camadas Ionosféricas de acordo com a altura e representando os íons predominantes.

Fonte: www.iaragroup.org/sole/IARA1_ole_SID.htm.

3.1 Índices Magnéticos

Os índices magnéticos são utilizados para monitorar as variações ocorridas no campo magnético, fornecendo informações sobre o nível de atividade geomagnética. Os índices utilizados nesse estudo são o Kp e o Ap.

3.1.1 Índice Kp (planetarische Kennziffer)

Estima a entrada global de energia na magnetosfera e por esse motivo é chamado de índice planetário; é um número proporcional ao grau de perturbação global do campo magnético terrestre. É obtido através de observatórios espaciais internacionais distribuídos ao longo do globo, e mede a variação da componente horizontal do campo geomagnético. Seus valores representam uma média obtida no intervalo de três horas, variando de 0 até 9, ou seja, cada dia possui 8 valores de Kp. Seus valores são observados em 13 diferentes estações ao redor do mundo, sendo 11 no hemisfério norte e 2 no hemisfério sul (Austrália e Nova Zelândia). A soma desses oito valores chama-se ΣKp (somatória de Kp).

3.1.2 Índice Ap

É uma medida do nível geral da atividade geomagnética sobre o globo para um dado dia (UT). O índice Ap varia de 0 a 400 e expressa o intervalo de perturbações do campo geomagnético terrestre. Este índice é obtido pela média das 8 medições do valor de Kp. A primeira estimativa de Ap é feita às 21:00 UT, baseado nas últimas 7 medições e um valor é estimado. Às 00:00 UT é informado o valor correto de Ap em função dos valores conhecidos.

3.2 Manchas Solares

Manchas solares são regiões de campos magnéticos fortes, regiões mais frias e escuras, que aparecem na superfície do Sol. Elas são rodeadas por regiões mais brilhantes que emitem um nível mais alto de radiação ultravioleta, e assim, são constituídas de duas partes: a umbra, parte central mais escura, com temperatura em torno de 3800 graus Kelvin, e a penumbra, região um pouco mais clara e com estrutura radial em torno da umbra. As manchas solares tendem a se formar em grupos, e estão associadas a intensos campos magnéticos no Sol (SARAIVA M.F.O., 2000). Veja a figura 3.3.

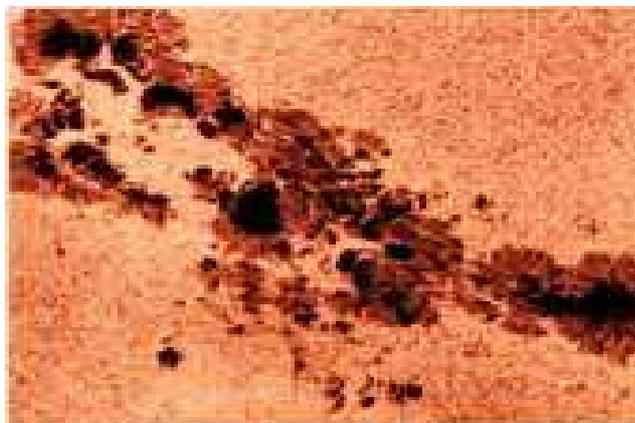


Figura 3.3: Imagem representando a concentração das manchas solares onde se vê também regiões de umbra e penumbra Fonte: www.gea.org.br/sol/estrela.html

3.2.1 Índice Sunspot number (número de manchas solares)

O número de manchas solares é o índice mais antigo da atividade solar, com observações de manchas solares estendendo-se desde 1611. Ele serve como uma medida da atividade magnética geral do Sol.

O número de manchas solares varia ciclicamente com um período de 11 anos. No início de um ciclo, o número de manchas solares é mínimo e a maioria delas está ao redor de 35° do equador solar. O máximo solar ocorre aproximadamente 5.5 anos depois; vê-se então um grande número de manchas solares e a maioria delas estão a apenas 5° do equador solar. As figuras 3.4 e 3.5 mostram o último ciclo solar e uma seqüência de ciclos solares desde 1750.

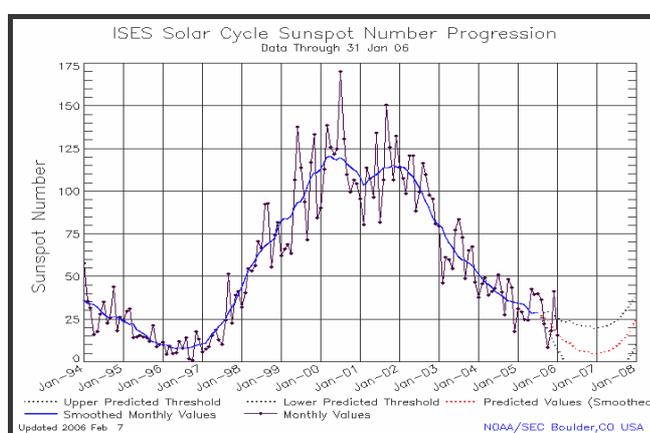


Figura 3.4: Progressão do número de Manchas Solares de 1994 até 2006

Fonte: NOAA/ Sec Boulder, Co USA

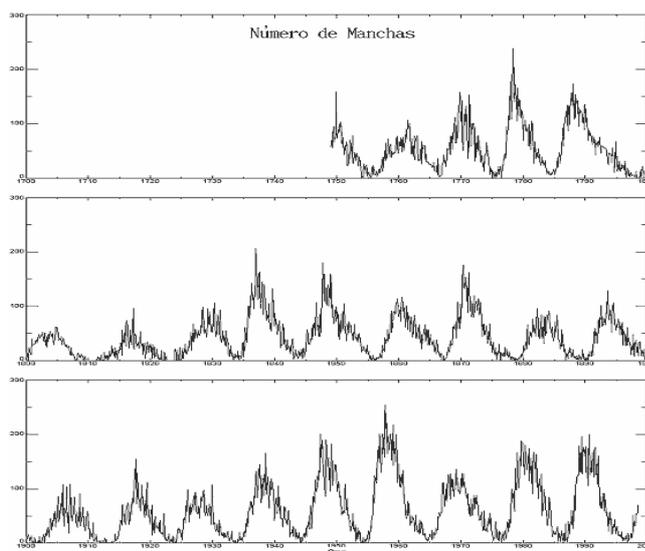


Figura 3.5: Ciclo das manchas solares

Fonte: Kepler de Souza Filho e Maria Fátima de Oliveira (2007), disponível em <http://astro.if.ufrgs.br/esol/explorsol.htm>

IV Instrumentação

4.1 Ionossonda

A ionossonda é um equipamento utilizado para pesquisa e monitoramento da ionosfera, que mede o perfil de densidade eletrônica da ionosfera em função da frequência de sondagem, considerado o mais representativo para a medição de dados ionosféricos.

Trata-se de um radar de alta frequência, composto por um sistema transmissor-receptor e antenas (veja as figuras 4.1, 4.2 e 4.3). O transmissor emite pulsos de energia em rádio frequência (fazendo uma varredura de 1 a 30 MHz), e o receptor registra o sinal que é refletido pela ionosfera. A altura onde ocorreu a reflexão pode ser calculada a partir do tempo entre a emissão da onda eletromagnética e o seu retorno ao receptor, o qual é registrado pelo equipamento. Dessa forma, fazendo-se uma varredura em frequência obtém-se um gráfico de frequência em função da altura virtual, obtendo-se assim um perfil de densidade eletrônica da ionosfera. Esses valores são registrados na forma de ionogramas, especificados adiante.



Figura 4.1: Sistema transmissor-receptor da Digissonda DPS de Fortaleza – CE



Figura 4.2: Antena Transmissora de Fortaleza – CE em 2001



Figura 4.3: Antenas receptoras de Fortaleza – CE em 2001

4.1.2 Ionossonda analógica

Foram instrumentos muito utilizados, devido ao baixo custo de manutenção e à qualidade para monitorizar as condições ionosféricas. As ionossondas convencionais eram responsáveis pelo registro de ionogramas, que eram registrados em filmes fotográficos de 35 mm.

Em 1967 uma ionossonda pertencendo a Marinha Americana operou em Natal e foi posteriormente doada ao Inpe. Esta ionossonda foi instalada em Fortaleza em julho de 1975 permanecendo até os três primeiros dias de abril de 1993. Seus dados foram utilizados neste trabalho de Iniciação Científica.

4.1.3 Ionossonda digital e digissonda

As técnicas de sondagem ionosféricas sofreram avanços tecnológicos, principalmente na área computacional, resultando em aquisição de ionogramas já em forma digital.

A ionossonda digital é um equipamento mais moderno tendo controle digital sobre o processamento e armazenamento dos dados ionosféricos, permitindo observar um número maior de parâmetros, e como as ionossondas convencionais, sua operação e manutenção são relativamente baratas.

Neste trabalho utilizamos dados da ionossonda digital CADI (ver figura 4.4) e da digissonda DPS (já mostrada na figura 4.1) instalada em Fortaleza.



Figura 4.4: Sondador digital CADI (Canadian Advanced Digital Ionosonde)

4.2 Ionogramas

Os ionogramas são registros produzidos pela sondagem ionosférica, ou seja, os valores de frequência em função de altura registrados em um gráfico. A altura registrada no ionograma é chamada de altura virtual devido ao fato de o sondador medir o tempo (t) entre a transmissão e a recepção do mesmo pulso após sua reflexão na ionosfera e transformar este tempo em distância considerando que a onda se propagou no meio com a velocidade da luz (c) e, portanto, a altura virtual (h') é calculada pela expressão $h'(f) = ct/2$.

O pulso recebido é chamado eco. A altura virtual é sempre maior que a real, devido ao atraso sofrido pelo pulso, ou seja a velocidade de propagação da onda na ionosfera é menor do que a velocidade da luz.

Normalmente os ionogramas são fornecidos em intervalos regulares de 15 min, portanto em um dia são coletados 96 ionogramas. As figuras 4.5 a 4.7 mostram exemplos dos ionogramas de Fortaleza registrados pelos diversos equipamentos e que serão utilizados neste trabalho. Em cada uma das figuras o eixo horizontal mostra a frequência (em MHz) e o eixo vertical mostra a altura virtual (em km)

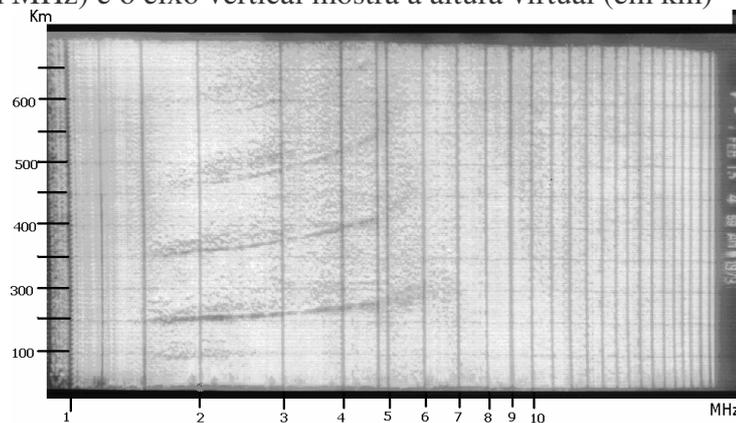


Figura 4.5: Ionograma registrado pela ionossonda convencional em 13/02/1979, as 4h59. Fortaleza – CE

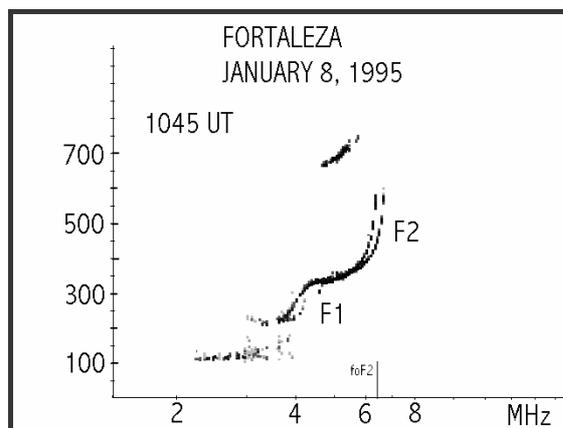


Figura 4.6: Ionograma registrado pela CADI

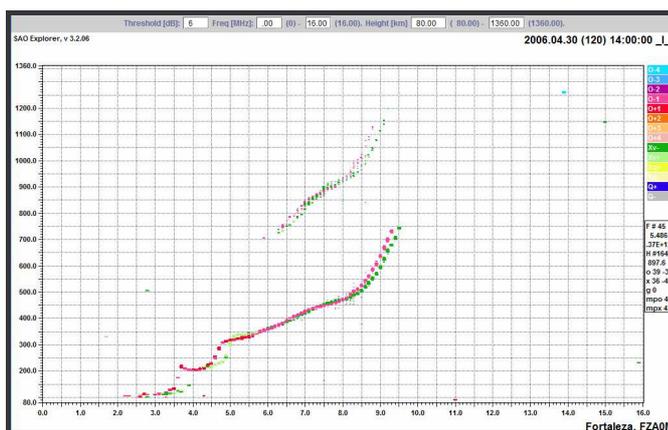


Figura 4.7: Ionograma de Fortaleza – CE registrado pela DPS no dia 30/04/2006, as 14h00.

4.3 Parâmetros Ionosféricos e Letras Qualificativas e Descritivas

Um ionograma contém uma vasta quantidade de informações, as quais são sumarizadas mediante a definição de parâmetros representativos que são normalmente tabulados. Junto com os parâmetros foi definido um conjunto de letras que indicam a confiabilidade com que um determinado parâmetro foi extraído do gráfico.

4.3.1 Parâmetros Ionosféricos

Os parâmetros se subdividem em três grupos: um grupo específico para a região E, contendo a letra E na sigla do parâmetro, um grupo específico para a região F, contendo F1 ou F2 na sigla do parâmetro e um grupo que não contém as letras E ou F na sigla, porém dão informação independente da região. Veja a seguir:

4.3.2 Principais Parâmetros Genéricos:

fmI – a mínima frequência na qual os traços de espalhamento são observados na camada F.

fmin – a menor frequência na qual o traço do eco foi observado no ionograma.

4.3.3 Principais Parâmetros da Região E:

fbEs – a menor frequência da onda ordinária, na qual a camada Es (E esporádica) começa a ser transparente.

foEs – a maior frequência da onda ordinária, na qual o traço contínuo da camada Es é observado.

h'Es – altura virtual mínima da camada Es observada.

foE – frequência crítica da onda ordinária correspondente à camada densa mais inferior na região E que causa descontinuidade do traço E.

h'E – altura virtual mínima em toda a camada E normal.

foE2 - frequência crítica da onda ordinária da camada E2 densa que aparece entre a camada E normal e a camada F1.

h'E2 – altura virtual mínima da camada E2.

4.3.4 Principais Parâmetros da Região F:

foF1 – frequência crítica da onda ordinária da camada F1.

M(3)F1 – fator de MUF (*maximum usable frequency*) para um percurso de 3000 km, usando a camada F1.

foF2 – frequência crítica da onda ordinária da camada F2, a camada mais alta na região F.

M(3)F2 – fator de MUF para um percurso de 3000 km, usando a camada F2.

h'F – Altura virtual mínima da camada F

hpF2 – Altura virtual do traço ordinário, correspondente à frequência igual a 83% da frequência foF2.

hmF2 – Altura real do pico de densidade eletrônica da ionosfera

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

Os parâmetros utilizados para análise dos ionogramas deste trabalho foram os seguintes: h'F, foF2, hmF2 e hpF2.

4.3.5 Letras Qualificativas e Descritivas

Os valores medidos, de uma maneira geral, são acompanhados de letras qualificativas (Q) e descritivas (D) para informar se a leitura foi feita com aproximações ou se foi inviabilizada. Dessa forma as letras qualificativas e descritivas vão indicar a confiabilidade dos dados (Q) e especificar a causa da incerteza ou de sua ausência (D).

4.3.6 Algumas Letras Qualificativas

I – Valor interpolado que substitui valor faltante.

U – Valor incerto ou duvidoso.

M – incerteza quanto à interpretação dos modos.

T – Valor determinado a partir de uma seqüência de observações, significando inconsistência e incerteza na leitura.

4.3.7 Algumas Letras Descritivas

C – medida influenciada ou impossível devido a motivos não ionosféricos.

S – medida influenciada ou impossível devido a interferência.

B - medida influenciada ou impossível devido a absorção nas vizinhanças de fmin (frequência mínima).

H - medida influenciada ou impossível devido à presença de estratificações.

V Metodologia

De acordo com a Proposta de Pesquisa deste Projeto de Iniciação Científica, esse estudo se concentra na região F e estuda as tendências de longo termo dos parâmetros ionosféricos $h'F$, $foF2$ e $hmF2$, parâmetros especificados anteriormente, utilizando como base 30 anos de dados de ionossonda para Fortaleza – CE.

Devido ao extenso número de dados (de 1975 a 2006) a análise foi restrita aos dias mais calmos de cada mês, com horários específicos: 6:00 LT, 12:00 LT e 18:00 LT horas, horários com contribuições variáveis da radiação solar. Os horários noturnos foram excluídos devido à presença de irregularidades e espalhamento (bolhas de plasma) em qualquer época do ano nesta localidade (Fortaleza).

Neste trabalho, a redução dos dados se dividiu em três etapas. Devido a uma parte dos dados já estarem processados (para o período de 2001 a 2006) a primeira parte consistiu em coletar os dados usando o programa de redução SAO-X, organizar e padronizá-los para a análise. A segunda parte consistiu em selecionar e reduzir os dados registrados pela ionossonda CADI, e a terceira se referiu aos dados da ionossonda analógica. Assim como a primeira, as outras etapas também passam pelo processo de tabulação para análise.

Após a redução dos dados, foi obtido gráfico através do software “Origin” para cada parâmetro estudado, sobre o qual se sobrepôs a média corrida de 10 pontos. Para o número de manchas solares foi feito o gráfico com os valores diários e a média mensal corrida.

5.1 Dia mais calmo

A escolha do dia mais calmo foi feita pela análise dos valores individuais do índice K_p e de sua somatória. Cada um dos 8 valores individuais não poderia ultrapassar 3° e sua somatória deveria ser inferior a 24, porém diante da dificuldade de se encontrar dias que atendessem este critério, para alguns meses abriram-se algumas exceções, ou seja, foram escolhidos dias com valores de K_p menores que 4, desde que a somatória fosse sempre menor que 24. Os dias mais calmos foram escolhidos através de tabelas retiradas do site: <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/>.

A Tabela 4.1 mostra dados referentes a janeiro de 1991, onde se tem do lado esquerdo a data, na seqüência as oito parcelas do índice magnético K_p , a somatória de K_p , oito parcelas de outro índice magnético ap e depois o valor do índice de grande importância Ap . Para obter o dia mais calmo teremos que utilizar o critério estabelecido, neste caso o dia mais calmo é 07/01/1991, as parcelas do K_p são menores que 3 e sua somatória menor que 24 ($\sum K_p=5 < 24$). Esses sinais de + e -, indicam a soma e subtração de 0,3 ao número base, ou seja, 1- quer dizer 0,7 e 1+ quer dizer 1,3.

Após a escolha do dia mais calmo, verifica-se a existência de dados para o mesmo. Não havendo dados para este dia seleciona-se o segundo, ou terceiro dia mais calmo, sempre seguindo o critério explicado acima. Assim, após a redução do dia escolhido, o valor de Ap é alimentado numa tabela juntamente com os valores reduzidos.

JANEIRO DE 1991

YYYYMMDD	Kp[8]	Sum	ap[8]								Ap
19910101	4 3-1+1 1 1 0+0+	12-	27	12	5	4	4	4	2	2	8
19910102	3-4-2+2 2+2 2+2	19+	12	22	9	7	9	7	9	7	10
19910103	2+3 3 3+3 1+1-2	19-	9	15	15	18	15	5	3	7	11
19910104	2+3+2 1+1+1+1+2+	15+	9	18	7	5	5	5	5	9	8
19910105	2+2+1+2-3 1 2 2	16-	9	9	5	6	15	4	7	7	8
19910106	1 2-1-1-1-0+1-1	7-	4	6	3	3	3	2	3	4	4
19910107	1+0+0+0+1-1-0+1	5	5	2	2	2	3	3	2	4	3
19910108	2+2-2+2 3 1+2+2	17	9	6	9	7	15	5	9	7	8
19910109	1+3-2 2 1+1 2-3+	15+	5	12	7	7	5	4	6	18	8
19910110	3 1 2-2 3-3-1+3-	17	15	4	6	7	12	12	5	12	9
19910111	1+2 1 2+3-2+2-2-	15	5	7	4	9	12	9	6	6	7
19910112	4 3-5 3-2 4-3 2+	25+	27	12	48	12	7	22	15	9	19
19910113	3 4 3 2-2-2 3 1+	20-	15	27	15	6	6	7	15	5	12
19910114	1 1-1-0+1 1+1+1-	7	4	3	3	2	4	5	5	3	4
19910115	3+3-2 2 2+1 4-3+	20+	18	12	7	7	9	4	22	18	12
19910116	2-1-2-2 3-1+2-3-	14+	6	3	6	7	12	5	6	12	7
19910117	3-2-1 2+3 4-2+3-	19+	12	6	4	9	15	22	9	12	11
19910118	3-2 1+2-2+3+3-3	19	12	7	5	6	9	18	12	15	11
19910119	0+0+0+1 1-1+2-1	7-	2	2	2	4	3	5	6	4	4
19910120	2-1-1-1+1-2+2 0+	10-	6	3	3	5	3	9	7	2	5
19910121	0+3-0+1 1 0+0+2	8	2	12	2	4	4	2	2	7	4
19910122	2 2-1-0+1-1-0+1	7+	7	6	3	2	3	3	2	4	4
19910123	1 1-1+1+1 1 2 3	11+	4	3	5	5	4	4	7	15	6
19910124	5-3+3+4 3-4 4-3-	28+	39	18	18	27	12	27	22	12	22
19910125	2-2 2 2+2-3+5-3	21-	6	7	7	9	6	18	39	15	13
19910126	3-4-2+2 2 2-1 3+	19-	12	22	9	7	7	6	4	18	11
19910127	0+1+1 2-2 1+2+3	13	2	5	4	6	7	5	9	15	7
19910128	1 2-1+1+1-2-1 2	11-	4	6	5	5	3	6	4	7	5
19910129	2 1-1+2-1-0+0+2-	9-	7	3	5	6	3	2	2	6	4
19910130	0+0+0+1-1+2 2 1	8	2	2	2	3	5	7	7	4	4
19910131	2+3 3+2 2 3 3-4	22+	9	15	18	7	7	15	12	27	14

somatória de Kp

Tabela 5.1 Índices magnéticos Kp e Ap para o mês de janeiro de 1991 e a escolha do dia mais calmo.

5.2 SAO Explorer

O SAO Explorer é um software desenvolvido pela equipe do Centro de Pesquisas Atmosféricas da Universidade de Massachusetts Lowell, EUA.

Do computador de saída, depois de cada integração coerente, o espectro digital multicanal de fase e amplitude é transferido para o processamento pelo ARTIST (Automatic Real-Time Scaler), o qual é uma coleção de programas que rodam em computador pessoal IBM- compatível. O espectro do Processador é analisado e arquivado em mídia digital (CD's).

Esses dados freqüentemente necessitam de intervenção manual corretiva, efetuada através de um software de editoração dos arquivos de dados gerados pelo ARTIST. Este software é o SAO Explorer. Ele permite editar a curva de altura virtual x freqüência de sondagem, traçada pelo ARTIST.

Como já foi mencionado, parte dos dados já estava reduzida (período de 2001 a 2006). Os dados desse período foram coletados e armazenados em tabelas do Excel. A figura 5.1 mostra três ionogramas para o dia 17/05/2003, para os horários 6:00, 12:00 e 18:00, indicando os parâmetros que foram tabulados, ou seja, foF2, h'F e hmF2.

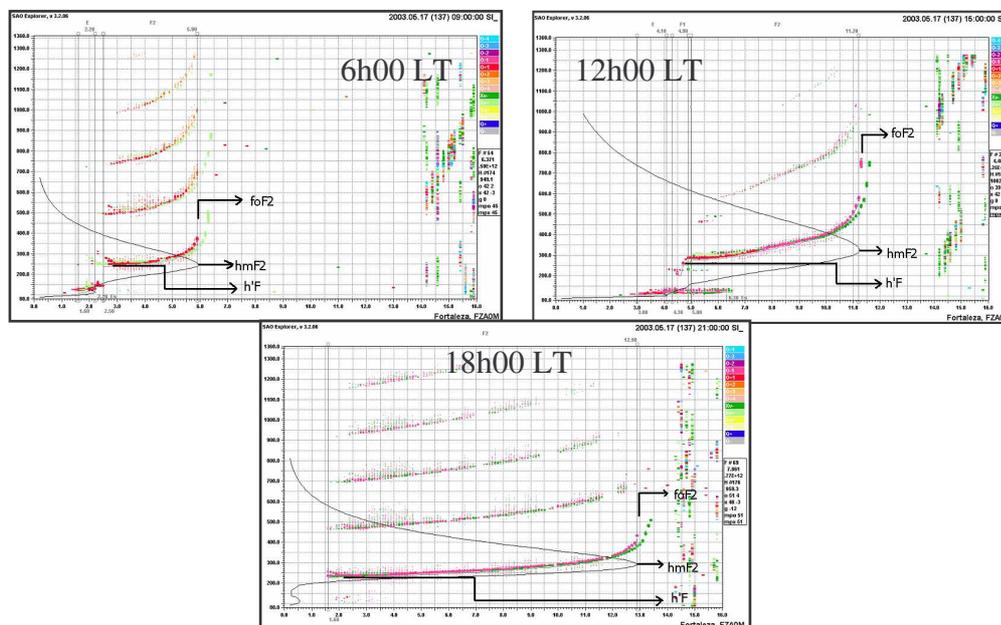


Figura 5.1: Ionogramas referentes ao dia 17/05/2003 às 6:00, às 12:00 e às 18:00 horas.

5.3 Sistema Ionocadi

A CADI (Canadian Advanced Digital Ionosonde) é uma ionossonda digital de pequeno porte, desenvolvida para ser usada em campanhas, mas foi bastante utilizada em Fortaleza – CE.

O sistema Ionocadi, que extrai informações de ionogramas registrados pela ionossonda digital CADI, foi utilizado para a redução dos dados de outubro de 1994 a outubro de 2000. Elaborado para fazer a redução dos principais parâmetros ionosféricos, este sistema não fornece o parâmetro hmF2, e por isso foi utilizado o parâmetro hpF2, em vez de hmF2. A redução no sistema ionocadi é feita manualmente, ou seja, o usuário irá identificar e interpretar os parâmetros escolhidos. Os resultados são armazenados em um arquivo.

A figura 5.2 mostra três ionogramas para o dia 21/03/1995, para os horários escolhidos, indicando os parâmetros que foram tabulados, ou seja, foF2, h'F e hpF2.

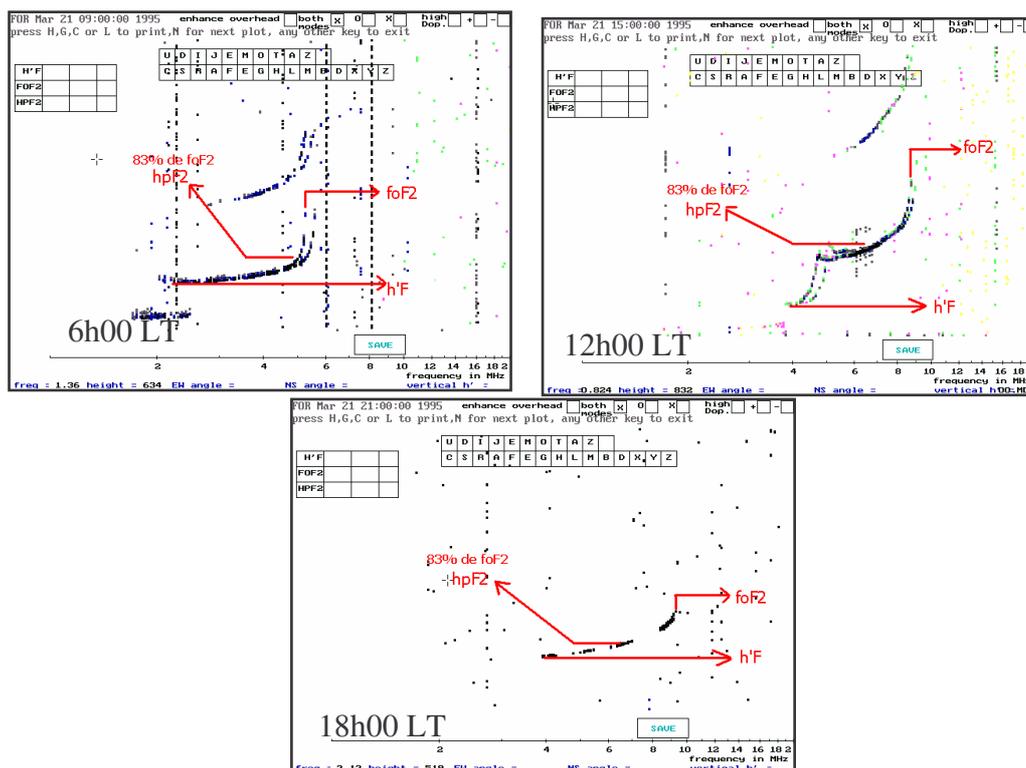


Figura 5.2: Ionogramas registrados pela CADI, referente ao dia 21/03/1995, às 6:00, às 12:00 e às 18:00 horas.

5.4 Dados da Ionossonda analógica

Como já visto, é o tipo de equipamento mais antigo, instalado em Fortaleza em 1975. Seus dados são registrados em filmes fotográficos. O ionograma registrado no filme é projetado em uma mesa de luz, a qual é acoplada a uma mesa digitalizadora, e os parâmetros são alimentados em micro-computador pelo usuário. As informações dos parâmetros ionosféricos têm que ser extraídas manualmente, onde o usuário tem que interpretar os parâmetros. A figura 5.3 mostra um exemplo de ionograma registrado em Fortaleza em, 13/02/1979, às 17:30.

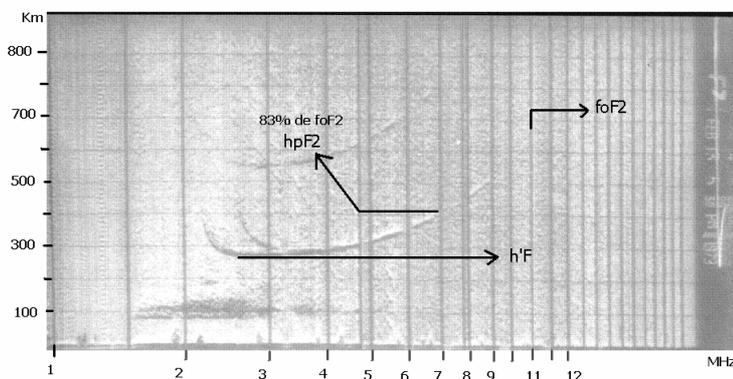


Figura 5.3: Ionograma registrado pela ionossonda referente a 13/02/1979, às 17h30.

Fonte: Cortesia de Maria Goreti Aquino - INPE

5.5 Armazenamento dos dados

Depois de reduzidos, os dados são alimentados em planilhas, organizados por ano e meses. Cada planilha contém uma tabela onde constam os índices magnéticos A_p e o número de manchas solares, a classificação do dia, os horários estabelecidos e os parâmetros ionosféricos seguidos das letras qualificativas e descritivas. A tabela 5.2 apresenta uma amostra do arquivo que é gerado para cada ano de dados.

Considerando o volume de dados, temos 31 planilhas com o modelo da tabela 5.2; para uma melhor visualização, organização e controle dos dados foi construído um outro modelo (tabela 5.3) que permite visualizar o volume de dados, as falhas, a classificação dos dias reduzidos e o nome de cada arquivo anual.

A tabela 5.3 mostra um panorama geral dos dados, em amarelo mostra os dias reduzidos sem nenhuma falha, em cinza indica que algum parâmetro não foi reduzido em algum horário ou existe alguma falha de horário. Para cada mês foi reduzido o dia mais calmo encontrado, facilmente se visualiza quais os dias reduzidos de cada mês e seu grau de perturbação e se precisar verificar a tabela onde constam os dados sabe-se o nome do arquivo a ser procurado.

5.6 Tratamento dos dados

Para melhor analisar as informações contidas nas tabelas anuais, os horários foram separados por um programa em Matlab, gerando das 31 tabelas apenas três arquivos: um arquivo para todos os dados das 6h00, um para os das 12h00 e um para os das 18h00, facilitando a análise e interpretação de resultados.

Fortaleza – CE

Ap	ssn	Ano	Mês	Dia	Classif. do dia	Hora LT	h'F	QD	foF2	QD	hpF2	QD
5	139	1979	1	13	Q2	06:00	250.0	0	07.31	0	311.0	0
5	139	1979	1	13	Q2	12:00	194.0	0	11.13	0	472.0	0
5	139	1979	1	13	Q2	18:00	313.0	0	08.59	0	463.0	0
6	150	1979	2	14	Q2	06:00	248.0	0	07.47	US	276.0	US
6	150	1979	2	14	Q2	12:00	197.0	0	10.79	0	497.0	0
6	150	1979	2	14	Q2	18:00	296.0	UC	06.81	UC	470.0	UC
4	131	1979	3	21	Q2	06:00	226.0	0	07.15	0	278.0	0
4	131	1979	3	21	Q2	12:00	193.0	0	11.84	0	511.0	0
4	131	1979	3	21	Q2	18:00	307.0	0	09.42	0	460.0	0
2	63	1979	4	20	Q1	06:00	244.0	0	08.10	0	273.0	0
2	63	1979	4	20	Q1	12:00	182.0	0	11.39	0	404.0	0
2	63	1979	4	20	Q1	18:00	331.0	0	08.91	0	461.0	0
5	173	1979	5	16	Q3	06:00	256.0	0	07.54	0	291.0	0
5	173	1979	5	16	Q3	12:00	202.0	0	10.83	0	404.0	0
5	173	1979	5	16	Q3	18:00	305.0	0	09.61	0	367.0	0
4	189	1979	6	5	Q2	06:00	268.0	0	07.57	0	294.0	0
4	189	1979	6	5	Q2	12:00	209.0	0	11.28	0	493.0	0
4	189	1979	6	5	Q2	18:00	287.0	0	09.19	0	338.0	0
3	134	1979	7	25	Q2	06:00	271.0	0	06.40	0	311.0	0
3	134	1979	7	25	Q2	12:00	196.0	0	11.20	0	446.0	0
3	134	1979	7	25	Q2	18:00	298.0	0	08.45	0	395.0	0
5	103	1979	8	16	Q3	06:00	269.0	0	06.73	0	289.0	0
5	103	1979	8	16	Q3	12:00	195.0	0	09.78	0	448.0	0
5	103	1979	8	16	Q3	18:00	307.0	0	09.27	0	383.0	0
5	153	1979	9	9	Q1	06:00	261.0	0	08.45	0	266.0	0
5	153	1979	9	9	Q1	12:00	205.0	0	12.68	0	503.0	0
5	153	1979	9	9	Q1	18:00	349.0	0	09.57	0	445.0	0
3	196	1979	10	18	Q1	06:00	258.0	0	09.29	0	294.0	0
3	196	1979	10	18	Q1	12:00	198.0	0	12.07	0	520.0	0
3	196	1979	10	18	Q1	18:00	432.0	0	07.00	0	557.0	0
2	78	1979	11	28	Q1	06:00	248.0	0	09.22	0	294.0	0
2	78	1979	11	28	Q1	12:00	193.0	0	10.83	0	483.0	0
2	78	1979	11	28	Q1	18:00	320.0	0	08.04	0	512.0	0
3	97	1979	12	23	Q2	06:00	244.0	0	08.65	0	295.0	0
3	97	1979	12	23	Q2	12:00	191.0	0	10.27	0	502.0	0
3	97	1979	12	23	Q2	18:00	309.0	0	09.03	0	470.0	0

Tabela 5.2 – Armazenamento dos dados coletados. Para cada ano existe uma tabela, contendo os valores dos índices magnéticos Ap e o número de manchas solares, o mês, o dia mais calmo com os horários específicos e a sua classificação*, os valores dos parâmetros utilizados, obtidos através dos ionogramas, e as letras qualificativas e descritivas ao lado de cada valor de parâmetro.

*Classificação do dia – usando o critério de dia mais calmo, são classificados em Q1, Q2..., onde Q significa quieto e o número indica sua classificação. Ex. Q3 – terceiro dia mais calmo do mês.

Fortaleza – CE

ANO	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Agos.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Arquivo
1975	*****	*****	*****	*****	*****	29	3 Q3	3 Q3	24	2	15 Q3	13 Q2	for_1975
1976	9	25 Q2	21 Q4	18	13 Q11	16 Q10	21	15	11	26 Q2	5 Q4	15	for_1976
1977	10	27	4	1 Q2	27 Q4	15	26 Q2	31	6 Q3	1 Q3	9 Q3	8	for_1977
1978	21	24	12 Q2	29 Q4	19	9	31	20	19	6	6	10	for_1978
1979	13 Q2	14 Q2	21 Q2	20	16 Q3	5 Q2	25 Q2	16 Q3	9	18	28	23 Q2	for_1979
1980	10	13	17	2	17	27	2	29	21	29 Q3	5	24	for_1980
1981	19 Q2	14	24 Q2	5	4 Q2	12 Q2	21 Q4	14 Q5	17 Q2	16 Q6	30	7 Q2	for_1981
1982	14	28 Q2	28 Q3	7	8 Q5	5	4	8 Q3	29	24	17 Q2	1	for_1982
1983	6	3 Q4	10 Q2	19 Q2	29 Q3	4	31 Q9	18	30	26 Q2	23	4 Q4	for_1983
1984	8	25	20	16	31 Q3	14 Q2	7 Q2	22	18	31 Q2	26 Q3	25 Q3	for_1984
1985	18 Q3	4	9 Q4	15	30	2 Q11	N	N	N	28 Q2	24 Q2	23 Q2	for_1985
1986	13 Q2	1 Q4	20 Q3	4	14 Q2	25	20	18	22	24	22	5	for_1986
1987	30 Q4	3	20 Q2	28 Q2	19	23 Q2	1	7	19	9	7 Q5	8	for_1987
1988	23	20 Q6	21	26	28 Q2	3	20 Q2	17 Q2	29	3 Q2	20	9 Q2	for_1988
1989	3	26	25	21 Q2	10	21	4 Q3	5	25 Q3	14	25	10	for_1989
1990	19	13 Q4	10 Q5	19 Q3	16	5 Q5	9 Q5	25 Q5	2	1	22 Q6	21 Q6	for_1990
1991	1 Q11	24 Q7	15 Q3	9 Q12	6 Q6	14 Q3	5	10	23	16	27 Q2	15 Q4	for_1991
1992	23 Q2	16 Q2	14 Q2	9 Q7	31 Q9	2 Q4	8 Q10	N	24 Q2	N	N	N	for_1992
1993	29 Q2	N	31 Q4	2 Q3	N	N	N	N	N	N	N	N	for_1993
1994	N	N	N	N	N	N	N	N	N	21	25	21 Q3	for_1994
1995	28	25	21	3	1	13	21 Q7	31	29	28	24	8	for_1995
1996	9	21 Q3	2 Q2	N	18	13	27 Q3	8	3	6	N	N	for_1996
1997	N	N	N	28	12	14 Q2	14	26	25	5	29	8 Q2	for_1997
1998	15	26	8	1	14	17	14	17	14	16	11	17	for_1998
1999	31	1	22	15	11	21	4	14	25	20	27	22	for_1999
2000	21	4 Q3	15	26	8	20 Q8	24 Q3	22	N	N	N	N	for_2000
2001	30	18	15	27	31	28	28	16	10	18	3	9	for_2001
2002	3	14	17	9 Q2	24	27 Q2	14	6	N	N	N	N	for_2002
2003	N	25	12 Q4	7	17	12	8	31	28	11	28	19	for_2003
2004	8	10 Q5	25 Q5	2	18 Q2	22	8	4	11	17	6	4	for_2004
2005	26	23 Q2	22 Q2	27	26	10 Q2	6	11	24	15	16	23	for_2005
2006	9	14	5	30	1	26	21	*****	*****	*****	*****	*****	for_2006

Tabela 5.3: Sumário de todo o período analisado, que permite visualizar os períodos que não houve dados, as falhas e a classificação de cada dia reduzido. Abrange o período de junho de 1975 a julho de 2006.

VI Resultados e Discussões

A figura 6.1 mostra a variação do parâmetro foF2 para os três horários analisados, para todo o período estudado. Os pontos representam o valor do dia mais calmo do mês e a curva contínua (em vermelho) representa a média corrida de 10 pontos. Na parte inferior mostra-se o número de manchas solares (sunspot number) para o mesmo período. O parâmetro de frequência (foF2), é o que apresenta a melhor correlação com o número de manchas solares, fato que já era esperado, pois foF2 é proporcional à raiz quadrada da densidade eletrônica, que, por sua vez, é função da taxa de fotoionização pela radiação solar. A correlação parece ser melhor às 06h00 e às 12h00 do que às 18h00, provavelmente em razão das diferentes constantes de tempo dos efeitos fotoquímicos e dinâmicos para o balanço final de densidade eletrônica nos distintos horários. Às 18h00 a distribuição de ionização é fortemente afetada pelos efeitos eletrodinâmicos que intensificam o efeito fonte, alterando a distribuição latitudinal de ionização. Em outras palavras, o campo elétrico exerce uma ação grande sobre o parâmetro foF2 as 18h00, por isso a concordância com o número de manchas solares não é evidente. Além disso, no horário em que o sol está se pondo, a radiação solar é menor e produz menos ionização.

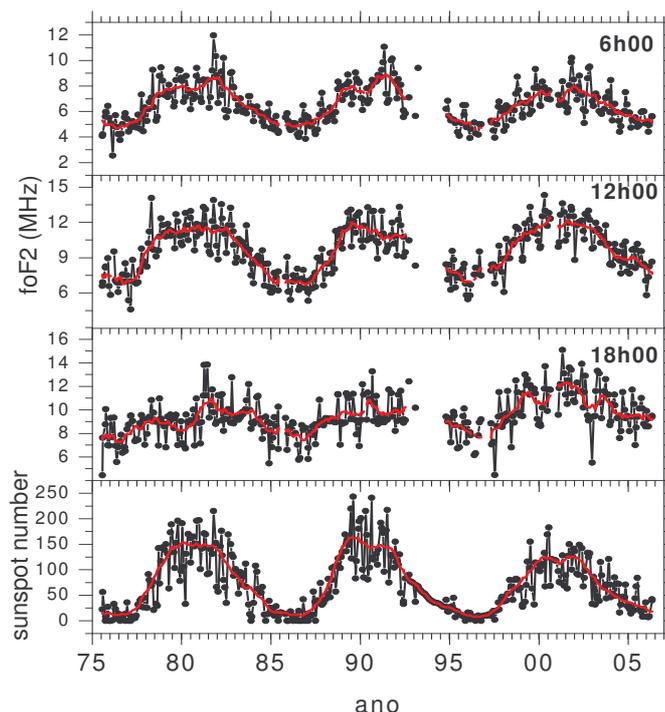


Figura 6.1: O parâmetro foF2 e sua suavização para as 6h00, 12h00 e 18h00 (7/1975 a 5/2006) e o número de manchas solares no mesmo intervalo.

De acordo com a análise dos gráficos de hmF2 (Figura 6.2) e h'F (figura 6.3), percebe-se um “abaixamento” nas alturas a partir do ano de 1995. Isso pode ter ocorrido devido à mudança de equipamento, pois a sensibilidade dos mesmos é diferente. Nos horários das 6h00 e das 18h00 o índice de ionização é menor, pois há menor incidência do sol. Isso ocasiona frequências muito baixas, e os equipamentos não conseguem registrá-las,

assim muitas vezes acaba não registrando o início do traço. Mas, de um equipamento para outro a tecnologia é diferente, sendo alguns mais sensíveis que outros, o que pode ter ocasionado a diferença de altura. Este ponto ainda deverá ser mais bem investigado. É importante lembrar que na figura 6.2 existem parâmetros obtidos por duas técnicas diferentes, hmF2 é a altura do pico da camada F obtida a partir da inversão do ionograma de altura virtual para altura real, enquanto hpF2 é obtido a partir de uma aproximação parabólica para o perfil de altura real. As linhas verticais vermelhas na Figura 6.2 mostram os intervalos de transição entre os parâmetros. Até a primeira linha (de 1975 a 09/2000) o parâmetro é hpF2, da primeira linha até segunda (10/2000 a 8/2002) é hmF2, da segunda até a terceira (de 09/2002 a 01/2003) hpF2 novamente e o restante hmF2.

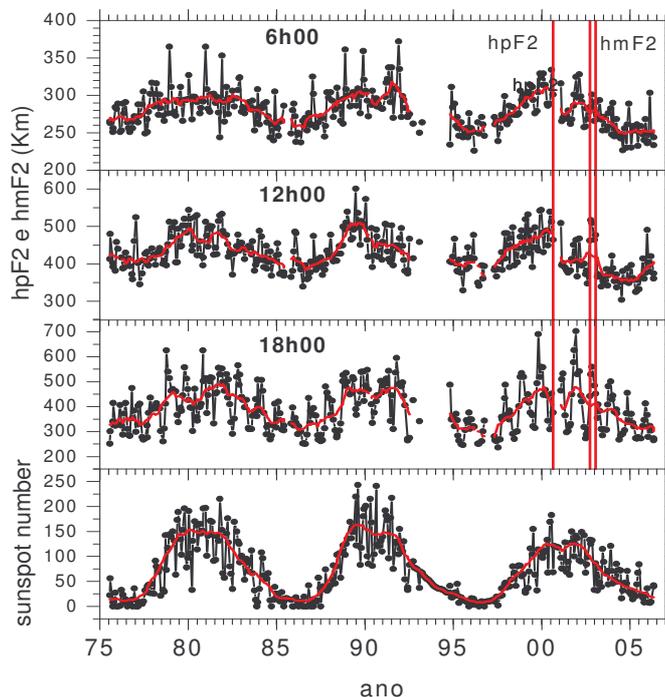


Figura 6.2: Os parâmetros hmF2 e hpF2 e suas suavizações para as 6h00, 12h00 e 18h00 (7/1975 a 5/2006) e o número de manchas solares no mesmo intervalo.

Segundo o trabalho de Batista et al. (1991) hpF2 pode diferir de hmF2, principalmente durante as horas do dia. Essa diferença é mais acentuada durante os meses de dezembro (verão) podendo atingir valores próximos de 55 km.

Sabendo que o parâmetro hpF2 pode diferir da altura real do pico da ionosfera hmF2, para um estudo das variações de longo prazo desse parâmetro será necessário fazer uma correção para que os dados obtidos pelos dois critérios possam ser comparados. Esse fator de correção será objeto de um trabalho futuro.

Não se espera muita correlação entre h'F e o número de manchas solares, embora, da Figura 6.3 se possa perceber alguma correlação nos horários de 06h00 e 12h00. A pior correlação ocorre às 12h00, horário em que o h'F normalmente apresentaria pouca variabilidade, portanto, picos que ocorrem provavelmente podem ter ocorrido devido à presença de camada E esporádica ou devido à absorção das ondas de rádio nas frequências mais baixas.

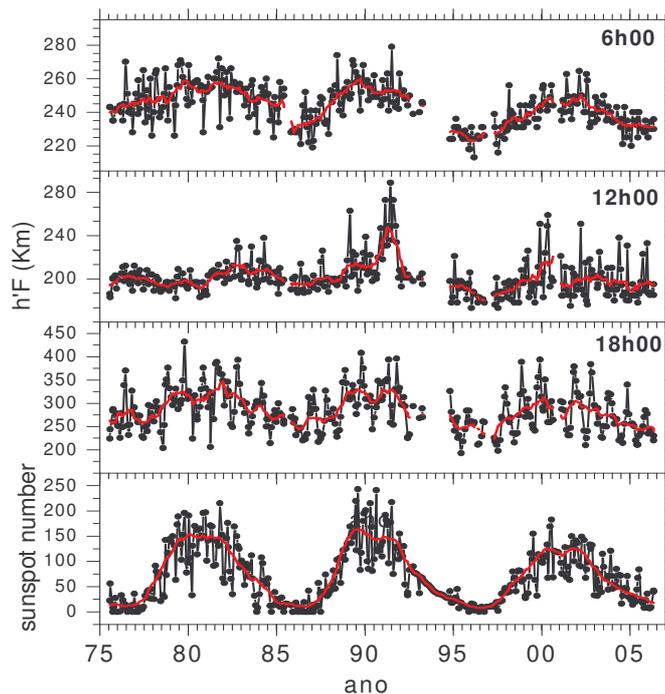


Figura 6.3: O parâmetro $h'F$ e sua suavização para as 6h00, 12h00 e 18h00 (7/1975 a 5/2006) e o número de manchas solares no mesmo intervalo.

As figuras 6.4, 6.5 e 6.6, mostram a variação dos parâmetros analisados com a suavização dos mesmos e a diferenças entre eles. Através da análise dos gráficos dos parâmetros ionosféricos a cada cinco anos conforme mostra o apêndice A, e como exemplifica as figuras 6.5 e 6.6 com escala ampliada, percebe-se que as variações mais comuns são as semi-anuais e quadrianuais. Algumas variações anuais também estão presentes.

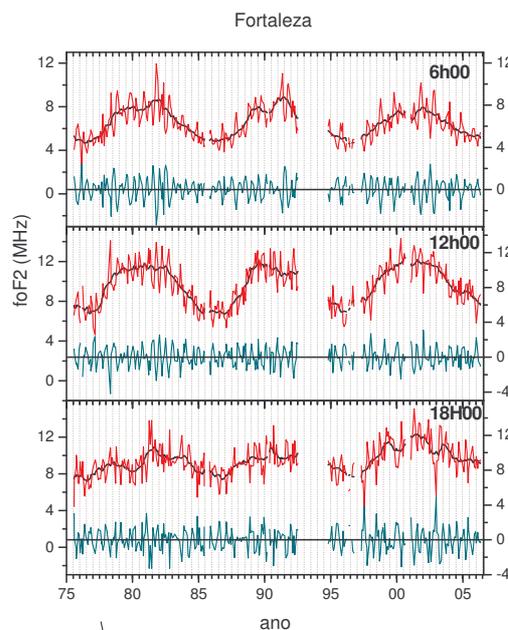


Figura 6.4: Variação de $foF2$ e sua suavização (curvas em vermelho e em preto), e a diferença entre a suavização (curva em verde) e o parâmetro.

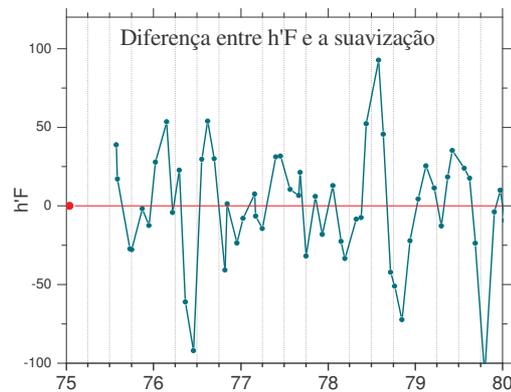
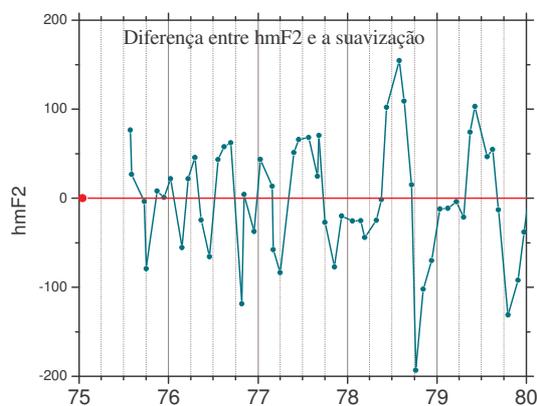
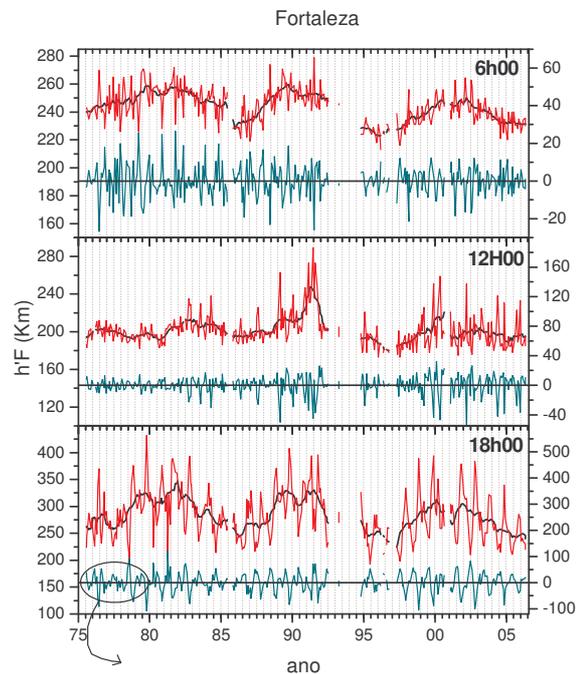
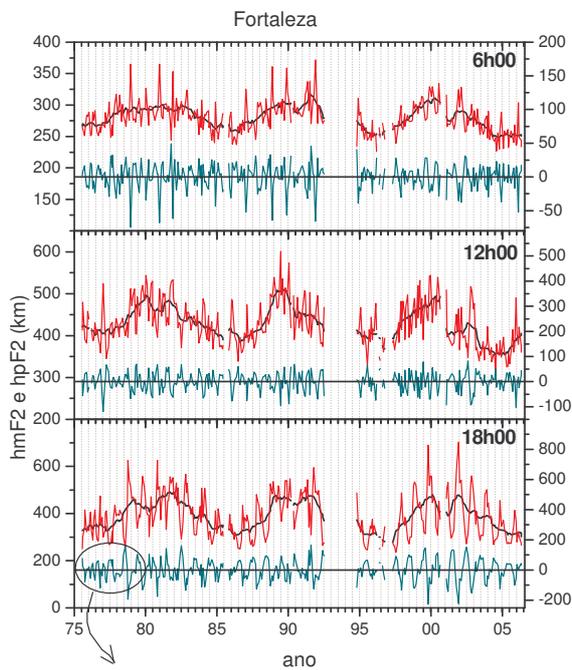


Figura 65: Variação de hpF2 e hmF2 e sua suavização (curvas em vermelho e em preto), e a diferença entre a suavização (curva em verde) e o parâmetro. No destaque mostra-se a diferença em um período de 5 anos (75 a 80).

Figura 6.6: Variação de h' F e sua suavização (curvas em vermelho e em preto), e a diferença entre a suavização (curva em verde) e o parâmetro. No destaque mostra-se a diferença em um período de 5 anos (75 a 80).

Para melhor visualizar as variações mencionadas acima, foram feitas duas tabelas, uma com a quantidade de picos positivos e negativos referente aos anos em ordem cronológica (Tabela 6.1), e outra com os valores referentes ao fluxo solar em ordem crescente (Tabela 6.2), agrupando-os em grupos (70 a 100, 100 a 150, 150 a 200 e 200 a 250). Junto ao fluxo solar colocou-se o número de manchas solares e os anos aos quais se refere esta análise. Através disso observou-se que as variações semi-anuais estão presentes durante todo o período analisado, desde o período de menor ao maior

fluxo solar. As variações anuais ocorrem em períodos de menor fluxo, e as variações com três picos costumam aparecer em períodos com fluxo solar mais alto.

Através das figuras 6.1, 6.2 e 6.3 percebe-se que o comportamento dos parâmetros analisados às 18h00 são mais variáveis que nos outros horários, o que pode ser confirmado pela análise da diferença entre os parâmetros e suas suavizações (figuras 6.4, 6.5 e 6.6) onde se observa uma variação grande de picos neste horário, diferindo dos outros em que a variação é pequena.

ANO	POSITIVO			NEGATIVO			POSITIVO			NEGATIVO			POSITIVO			NEGATIVO		
	6h	12h	18h	6h	12h	18h	6h	12h	18h	6h	12h	18h	6h	12h	18h	6h	12h	18h
	h'F	h'F	h'F	h'F	h'F	h'F	foF2	foF2	foF2	foF2	foF2	foF2	hm	hm	hm	hm	hm	hm
1975	1F	2	1	1F	1	1	1F	2	2	1F	1	1F	1F	1	1F	2F	1	
1976	2	2	2	1	3	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2
1977	3	3	2	3	3	2	3	2	2	2	2	2	1	2	2	2	3	2
1978	2	3	2	3	2	2	1	2	1	2	2	2	3	2	1	3	2	2
1979	2	3	3	1	3	2	2	2	3	2	2	3	2	2	1	1	2	1
1980	2	2	2	2	1	2	2	3	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2
1981	2	2	3	3	2	1	2	1	3	2	2	3	2	2	2	2	2	2
1982	3	2	2	3	2	2	2	2	4	2	2	3	3	1	2	2	1	2
1983	3	2	2	2	2	1	2	3	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2
1984	1	3	2	1	2	2	2	2	2	2	2	3	2	1	2	2		2
1985	2	1	1	1	2	2		2F	3		2F	3	2F	2F	1	2F	1F	2
1986	2	3	2	2	2	1	3	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1
1987	2	2	1	1	2	2	1	2	2	1	1	3	2	1	1	2	1	1
1988	1	2	2	1	1	2	2	1	3	2	2	1	2	1	1	2	2	1
1989	2	3	2	2	2	2	2	1	3	2	2	2	2	2	3	2	1	2
1990	2	3	3	2	3	2	2F	3	3	2F	2	3	2	3F	2	1	3	2
1991	3	3	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	2	2	1	3	2	2
1992			2			2	2F	2F	2	1F	2	3	1F	1F		2F	1F	
1993											1F							
1994																1		
1995	2	2	2	2	2	2	1	2	3	1		2	2	2	1	2	2	2
1996		1F			0F			2F	1		2	2		1F				1F
1997	2F	2F	1F	1F	2F	1F	1F	1F	2	1	2F	2	1F	2F	1F	1F	2F	1F
1998	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	1F	2	2	3	1	2	3	1
1999	2	1	2	2	2	2	2	1	3	1	2	3	2	3	2	2	4	2
2000	1F	2F	3	2	1F	2	3	2F	2	1F	1F	2	1F	1	2	2F	1	2
2001	2	3	1	1	3F	2	2	3	3	2	2	2	2F	2	1F	3F	2	2
2002	2	2	1	2	3	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1
2003	2	2	2	3	2	2	3	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2
2004	2	3	2	2	2	2	2	2	1	3	2	2	3	1		4	1	
2005	3	2	1	3	3		3	2	3	2	2	2	2	3	1	3	3	2
2006	1	1	1	1			1	1		1	1		1	1		1	1	

Tabela 6.1: Quantidade de picos positivos e negativos referente à diferença entre os parâmetros ionosféricos analisados e suas suavizações. As letras F significam falhas de dados.

				MÁXIMO			MÍNIMO			MÁXIMO			MÍNIMO			MÁXIMO			MÍNIMO		
				6h	12h	18h	6h	12h	18h	6h	12h	18h									
FLUXO SOLAR	R12	ANO		h'F			h'F			fof2			fof2			hmF2/ hpF2			hmF2/hpF2		
70 A	72	8,6	1996		1*			0*			2*	1*		2*	2*			1*			1*
100	73,4	12,6	1976	2	2	2	1	3	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2
	76,1	15,5	1975	1*	2	1	1*	1	1	1*	2	2	1*	1	1	1*	1*	1	1*	2*	1
	77	17,5	1995	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1		2	2	2	1	2	2	2
	80		2006	1*	1*	1*	1*			1*	1*		1*	1*		1*	1*		1*	1*	
	81	21,5	1997	2*	2*	1*	1*	2*	1*	1*	1*	2	1	2*	2	1*	2*	1*	1*	2*	1*
	85,3	29,4	1987	2	2	1	1	2	2	1	2	2	1	1	3	2	1	1	2	1	1
	85,8	29,9	1994																1		
	86,9	27,5	1977	3	3	2	3	3	2	3	2	2	2	2	2	1	2	2	2	3	2
	91,7	29,8	2005	3	2	1	3	3		3	2	3	2	2	2	2	3	1	3	3	2
100 A	101	45,9	1984	1	3	2	1	2	2	2	2	2	2	2	3	2	1	2	2		2
150	107	40,4	2004	2	3	2	2	2	2	2	2	1	3	2	2	3	1		4	1	
	110	54,6	1993											1*							
	118	64,3	1998	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	1*	2	2	3	1	2	3	1
	120	66,6	1983	3	2	2	2	2	1	2	3	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2
	129	63,7	2003	2	2	2	3	2	2	3	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2
	141	100	1988	1	2	2	1	1	2	2	1	3	2	2	1	2	1	1	2	2	1
	144	92,5	1978	2	3	2	3	2	2	1	2	1	2	2	2	3	2	1	3	2	2
150 A	151	94,3	1992			2			2	2*	2*	2	1*	2	3		1*	1*		2*	1*
200	154	93,3	1999	2	1	2	2	2	2	2	1	3	1	2	3	2	3	2	2	4	2
	175	116	1982	3	2	2	3	2	2	2	2	4	2	2	3	3	1	2	2	1	2
	180	104	2002	2	2	1	2	3	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1
	180	120	2000	1*	2*	3	2	1*	2	3	2*	2	1*	1*	2	1*	1	2	2*	1	2
	181	111	2001	2	3	1	1	3*	2	2	3	3	2	2	2	2*	2	1*	3*	2	2
	190	143	1990	2	3	3	2	3	2	2*	3	3	2*	2	3	2	3*	2	1	3	2
	192	155	1979	2	3	3	1	3	2	2	2	3	2	2	3	2	2	1	1	2	1
	199	155	1980	2	2	2	2	1	2	2	3	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2
200 A	203	140	1981	2	2	3	3	2	1	2	1	3	2	2	3	2	2	2	2	2	2
250	208	146	1991	3	3	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	2	2	1	3	2	2
	214	158	1989	2	3	2	2	2	2	2	1	3	2	2	2	2	2	3	2	1	2

Tabela 6.2: Comparação dos picos máximos (positivos) e mínimos (negativos) obtidos da diferença entre os parâmetros e a suavização, com valores referentes ao fluxo solar em ordem crescente agrupados. Junto ao fluxo solar colocou-se o número de manchas solares (R12) e os anos aos quais se refere esta análise..

Para quantificar a relação entre os parâmetros ionosféricos e a atividade solar, os coeficientes de correlação foram calculados através de um programa em Matlab. Os valores obtidos com intervalo de confiança de 95% estão mostrados na Tabela 6.3.

Horário	6h00	12h00	18h00
h'F	0,5771	0,3335	0,5276
Intervalo	[0,5009 ; 0,6444]	[0,2343 ; 0,4259]	[0,4456 ; 0,6008]
foF2	0,7224	0,7369	0,3301
Intervalo	[0,6667 ; 0,7701]	[0,6833 ; 0,7825]	[0,2306 ; 0,4227]
hmF2	0,5771	0,5757	0,5543
Intervalo	[0,5009 ; 0,6444]	[0,4989 ; 0,6436]	[0,4749 ; 0,6246]

Tabela 6.3 – Coeficiente de correlação entre o número de manchas solares e os parâmetros h'F, foF2 e hmF2.

O que visualmente se percebia, é confirmado através do coeficiente de correlação, ou seja, as melhores correlações são observadas para o parâmetro foF2 às 6h00 e às 12h00 e as piores são observadas para foF2 às 18h00 e h'F às 12h00.

VII Conclusões

A frequência é o parâmetro que melhor se correlaciona com o número de manchas solares.

Às 18h00 o parâmetro de frequência não se correlaciona bem com o número de manchas solares devido aos efeitos eletrodinâmicos que superam o efeito da fotoionização (ionização é baixa neste horário).

As alturas acompanham também o ciclo de atividade solar, embora com menor correlação.

O parâmetro hpF2, para os horários analisados, normalmente é superior ao parâmetro hmF2. Essa diferença pode variar com a época do ano, por exemplo dezembro tem maior variação do que março.

Nos parâmetros de altura hmF2, hpF2 e h'F houve uma queda a partir do ano de 1995. Esta variação pode ter sido instrumental e deverá ser mais bem investigada.

A diferença entre os parâmetros analisados e a suavização entre eles ressalta as variações anuais, semi-anuais e sazonais.

VIII Referências Bibliográficas

Batista, I.S., Paula E.R., Abdu M.A. e Kantor I.J. – Comparative study of ionogram F2 peak height from different techniques, **Geofísica Intermacional**, v.30, n.4, p.249-252, 1991.

Davies, K., 1990, Ionospheric Radio. Peter Peregrinus, London. - NOAA Space Environment Center Propagation Primer - AE4RV

Dernardini, C.M; Desenvolvimento de um sistema de correção de fase para radar ionosférico de São Luiz do Maranhão. São José dos Campos, Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1999.

Kirchhoff, V. W.J.H - Introdução a Geofísica Espacial - São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 1991.

Limiro, LAT “Sistema Ionocadi – Manual do Usuário” – São José dos Campos, Inpe, 1997.

Saraiva, M.F.O. O Sol – a nossa estrela. Astronomia e Astrofísica Cap. 16, p. 11 a 22, Porto alegre: Ed.UFRGS, 1987.

Sites consultados:

Neto. A. F.

<http://www.if.ufrgs.br/oei/stars/sol/sol.htm> (acessado em 6 de janeiro de 2007).

Grimm A. M.

<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap1/cap1-2.html> (acessado em 9 de janeiro de 2007).

NOAA Space Environment Center

<http://paginas.terra.com.br/arte/sarmentocampos/IntroPropagacao.htm> (acessado em 7 de janeiro de 2007).

Costa, J. R. V.

<http://www.zenite.nu/tema/> (acessado em 5 de janeiro de 2007).

Battaiola R.; Pluchino I. S.

http://www.iaragroup.org/sole/IARA1_sole_SID.htm (acessado em 5 de janeiro de 2007).

Science, Kyoto University

<http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/> (9 de janeiro de 2007).

Filho. K. S.; Oliveira M. F.



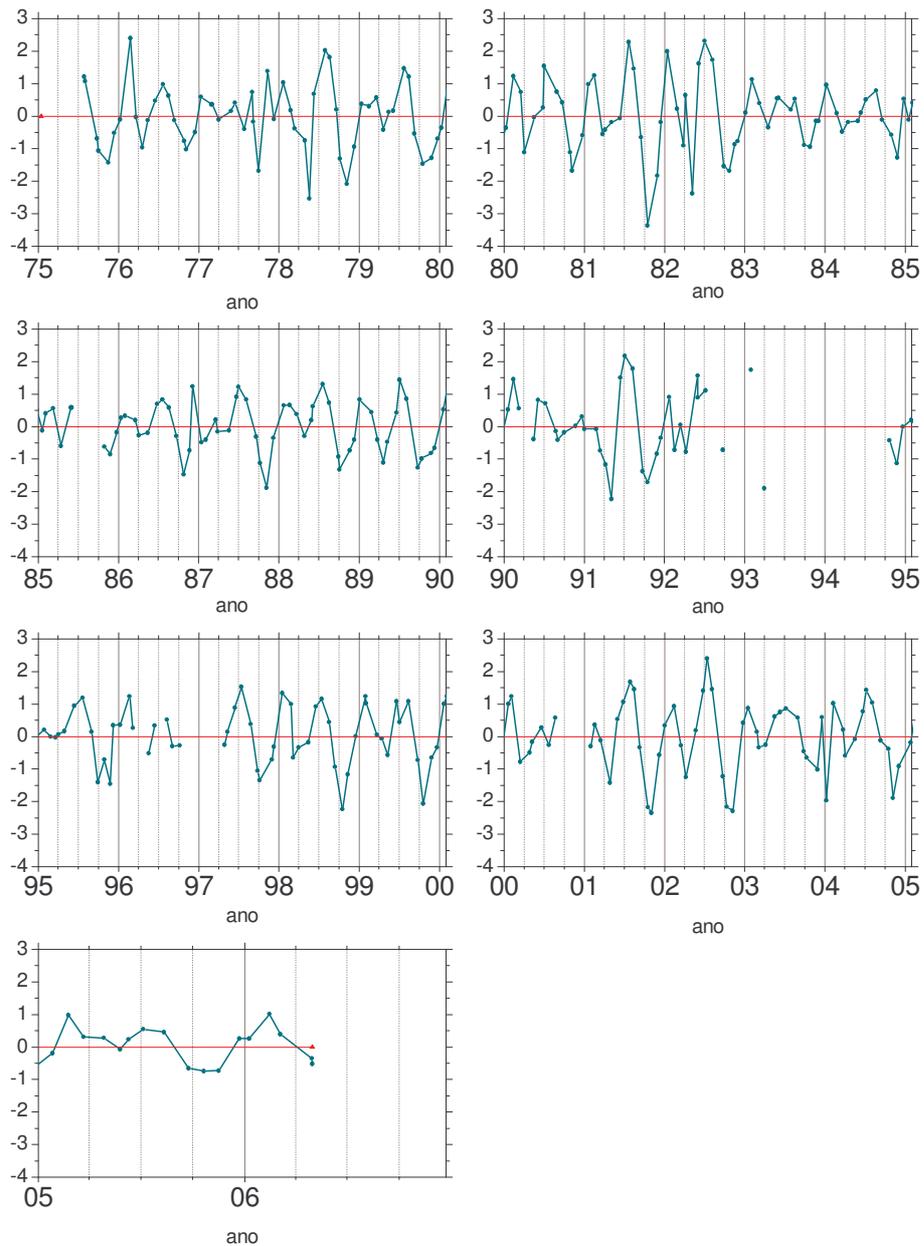
<http://astro.if.ufrgs.br/esol/explorsol.htm> (acesso em 12 de junho de 2007),

Apêndice A –

Análise das diferenças entre a suavização calculada e os parâmetros analisados.

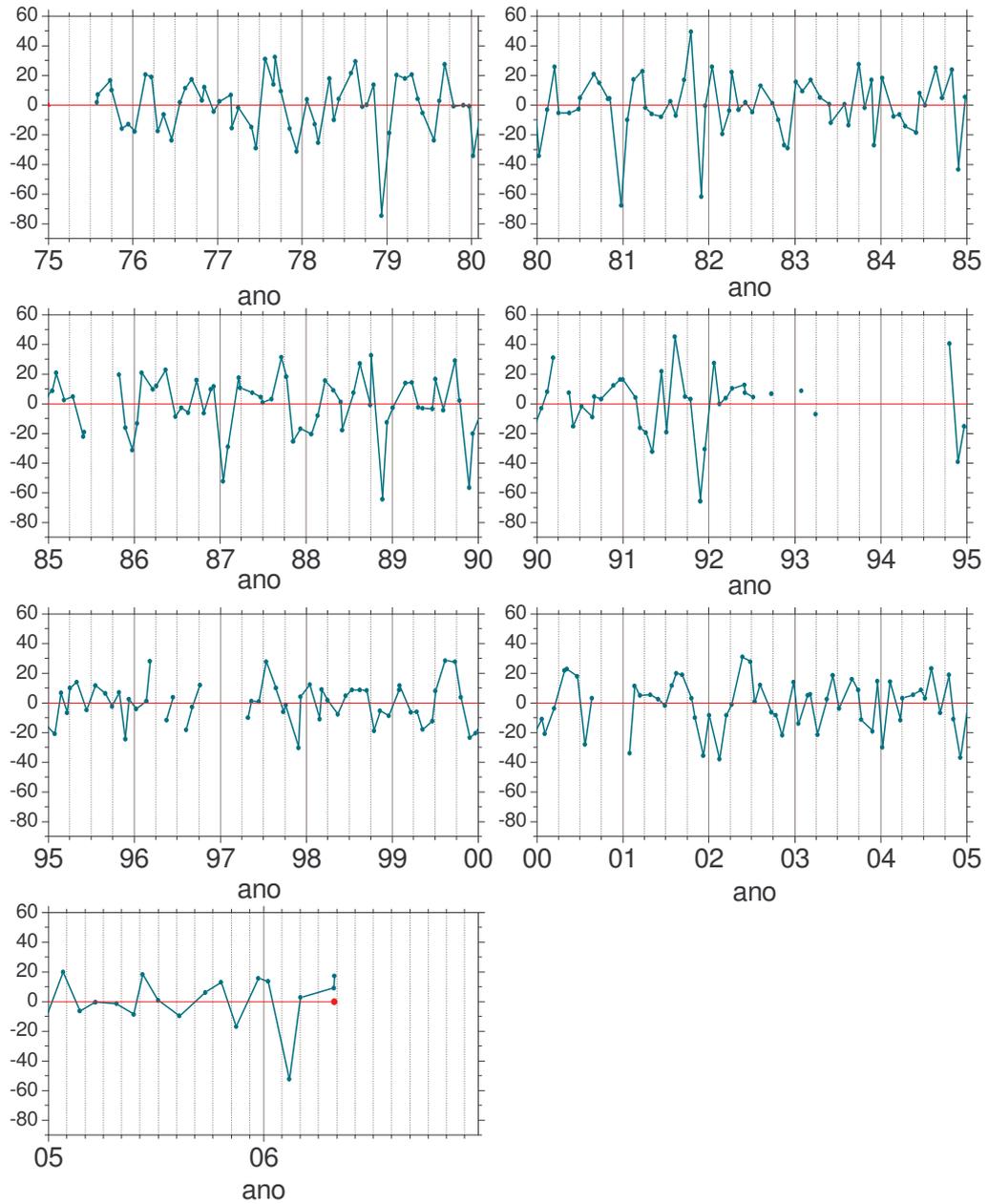
Fortaleza - 6h00 foF2

Diferença entre a suavização e foF2



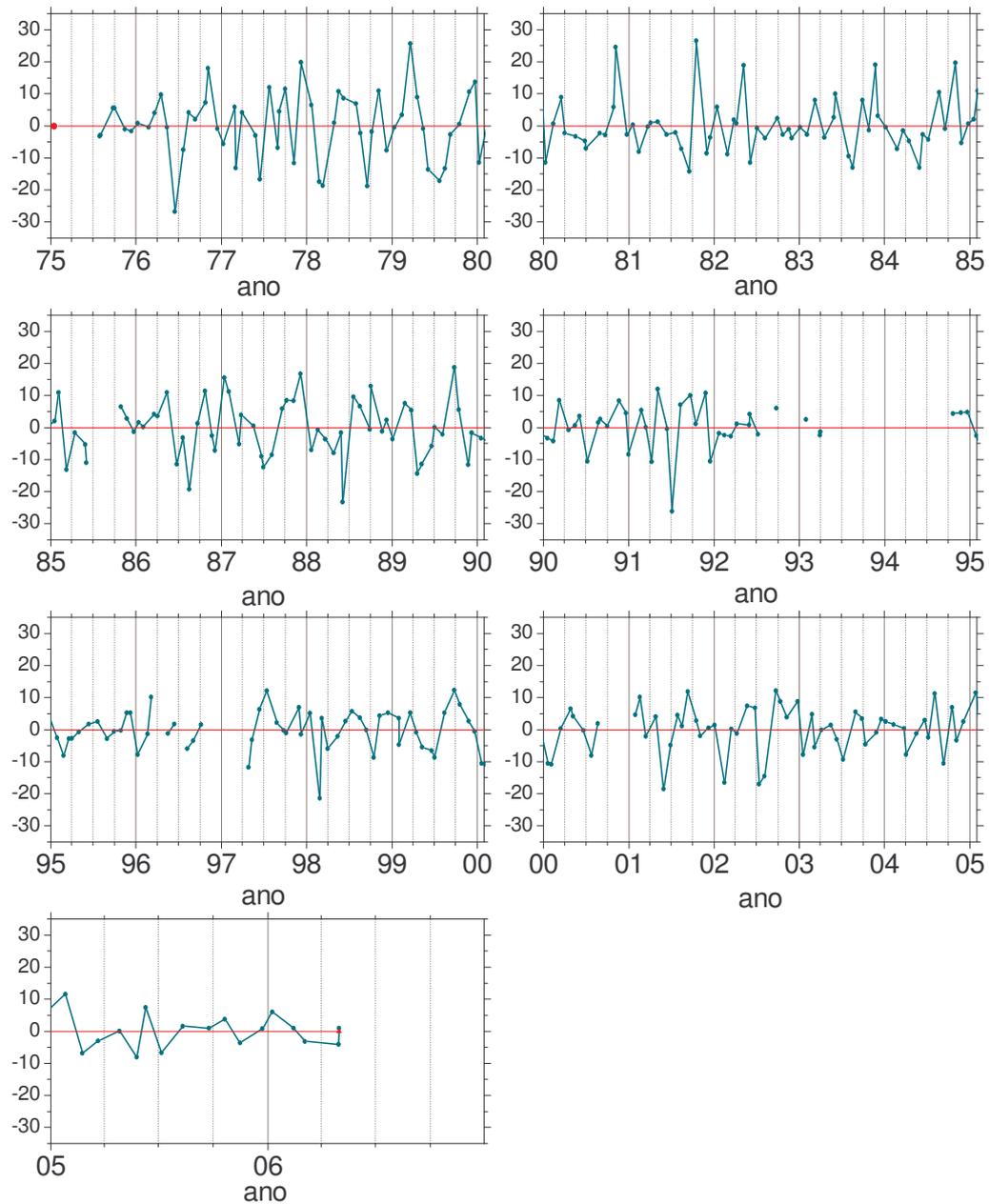
Fortaleza 6h00 - hm F2

Diferença entre a suavização e hmF2



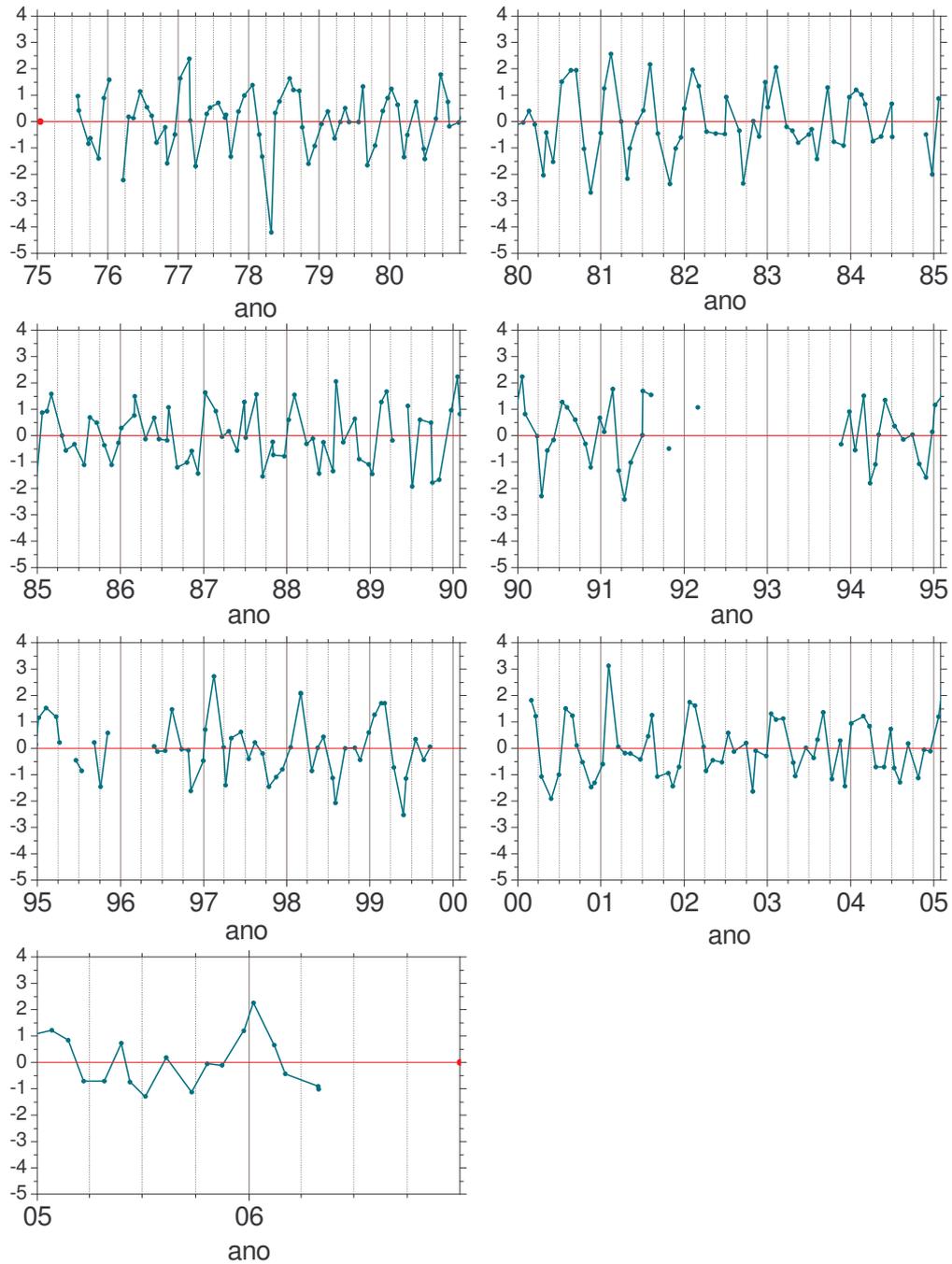
Fortaleza - 6h00 - h'F

Diferença entre a suavização e h'F

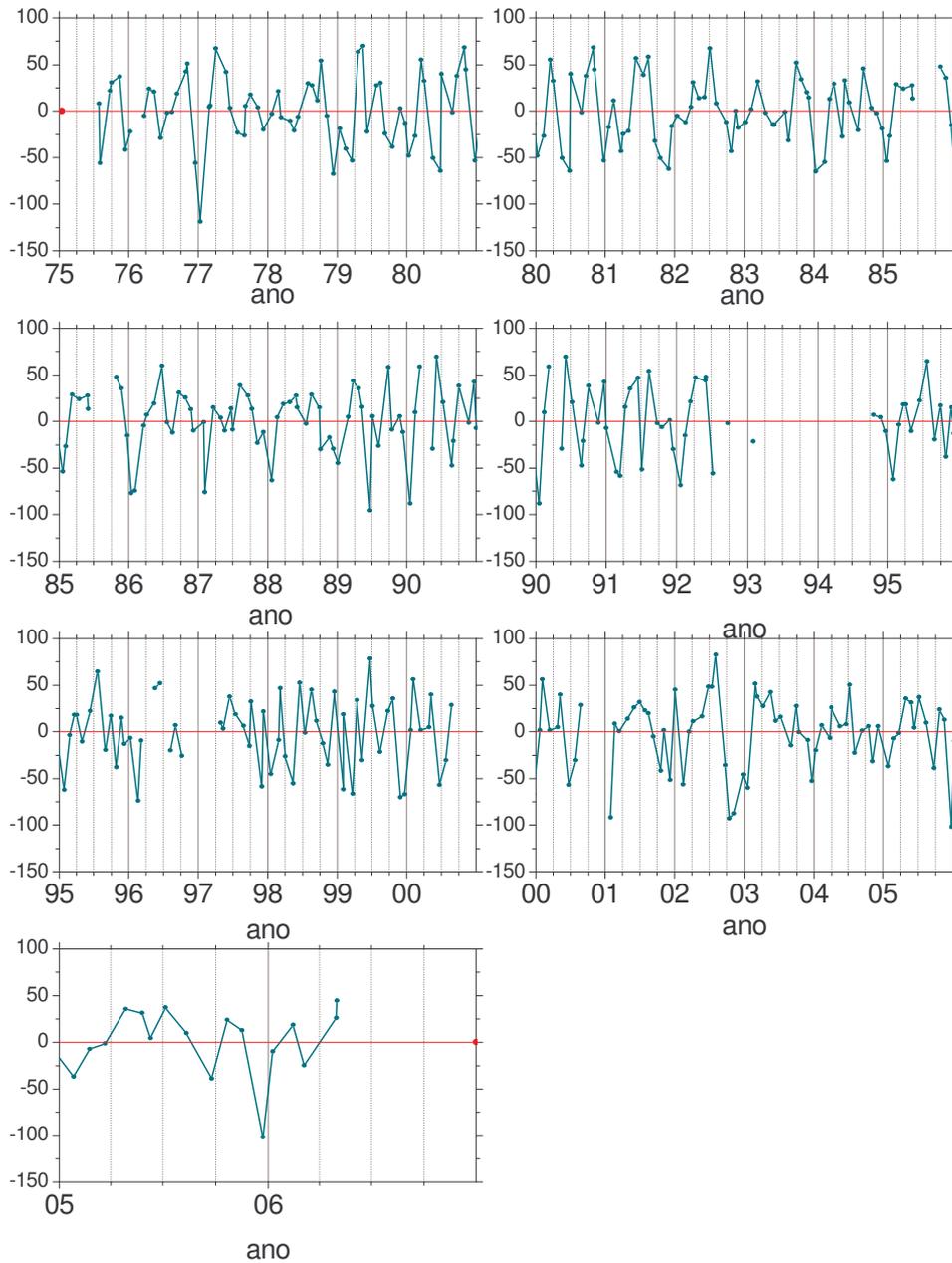


Fortaleza 12h00 - foF2

Diferença entre a suavização e foF2

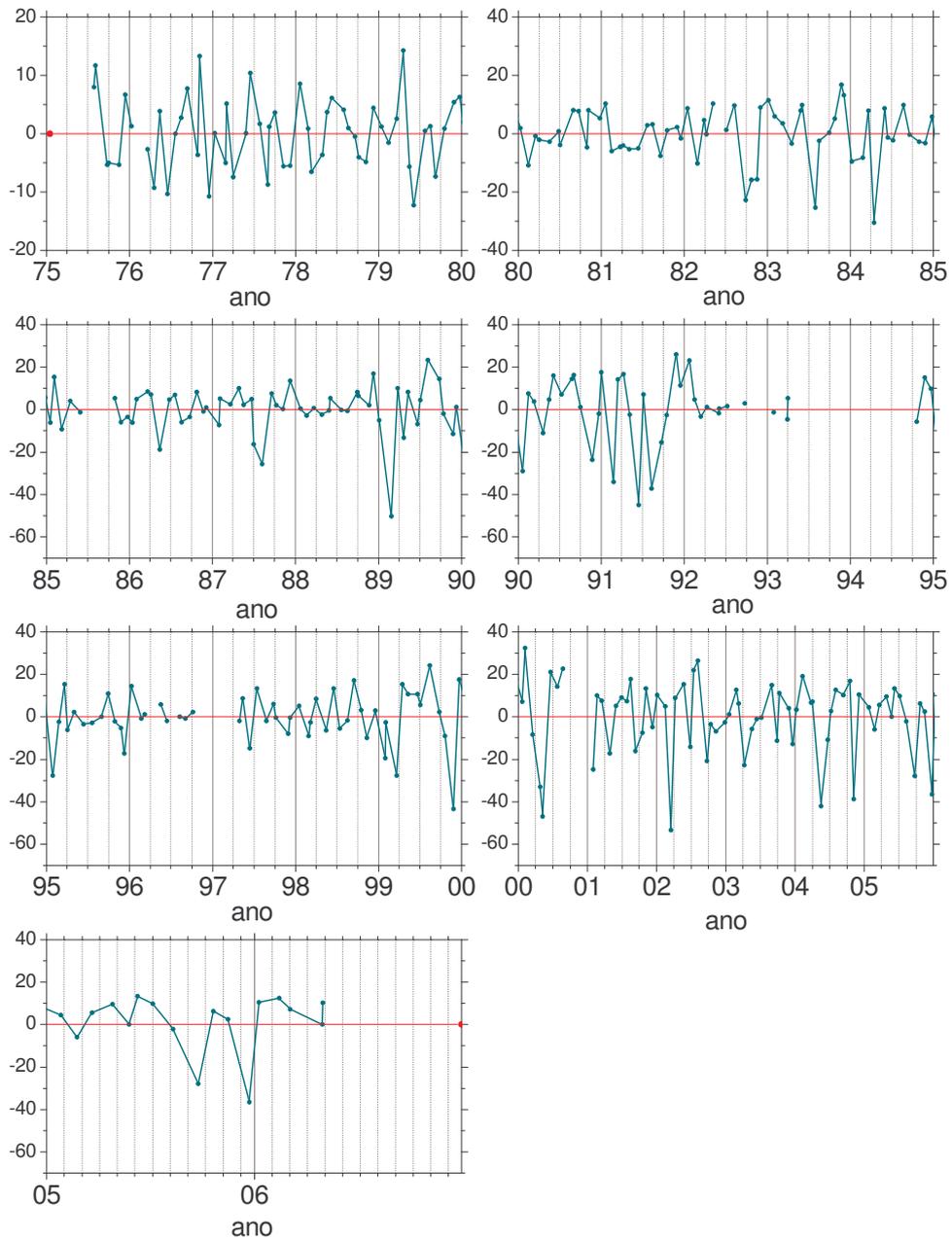


Fortaleza - 12h00 - hmF2
Diferença entre a suavização e hmF2



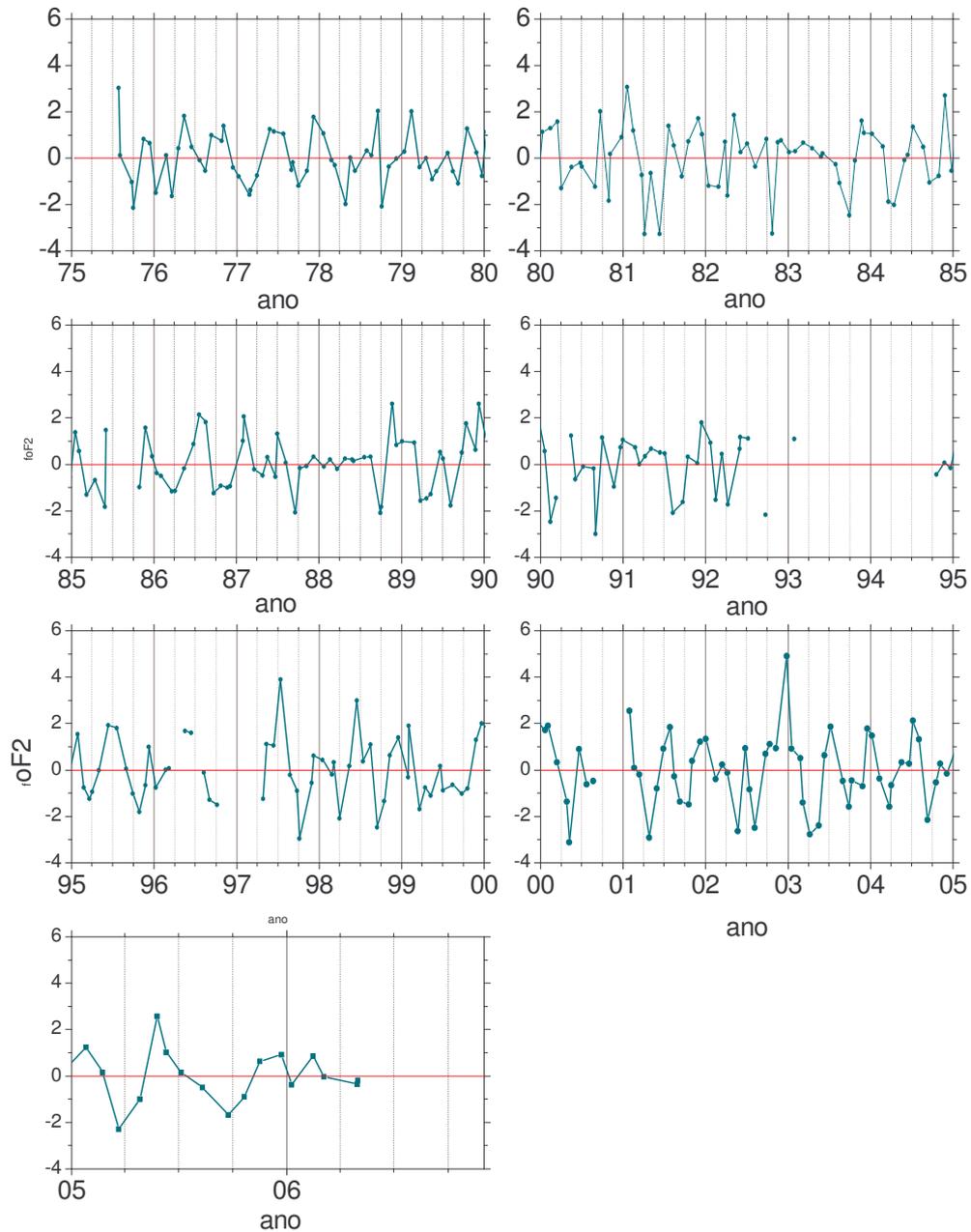
Fortaleza 12h00 - h'F

Diferença entre a suavização e h'F



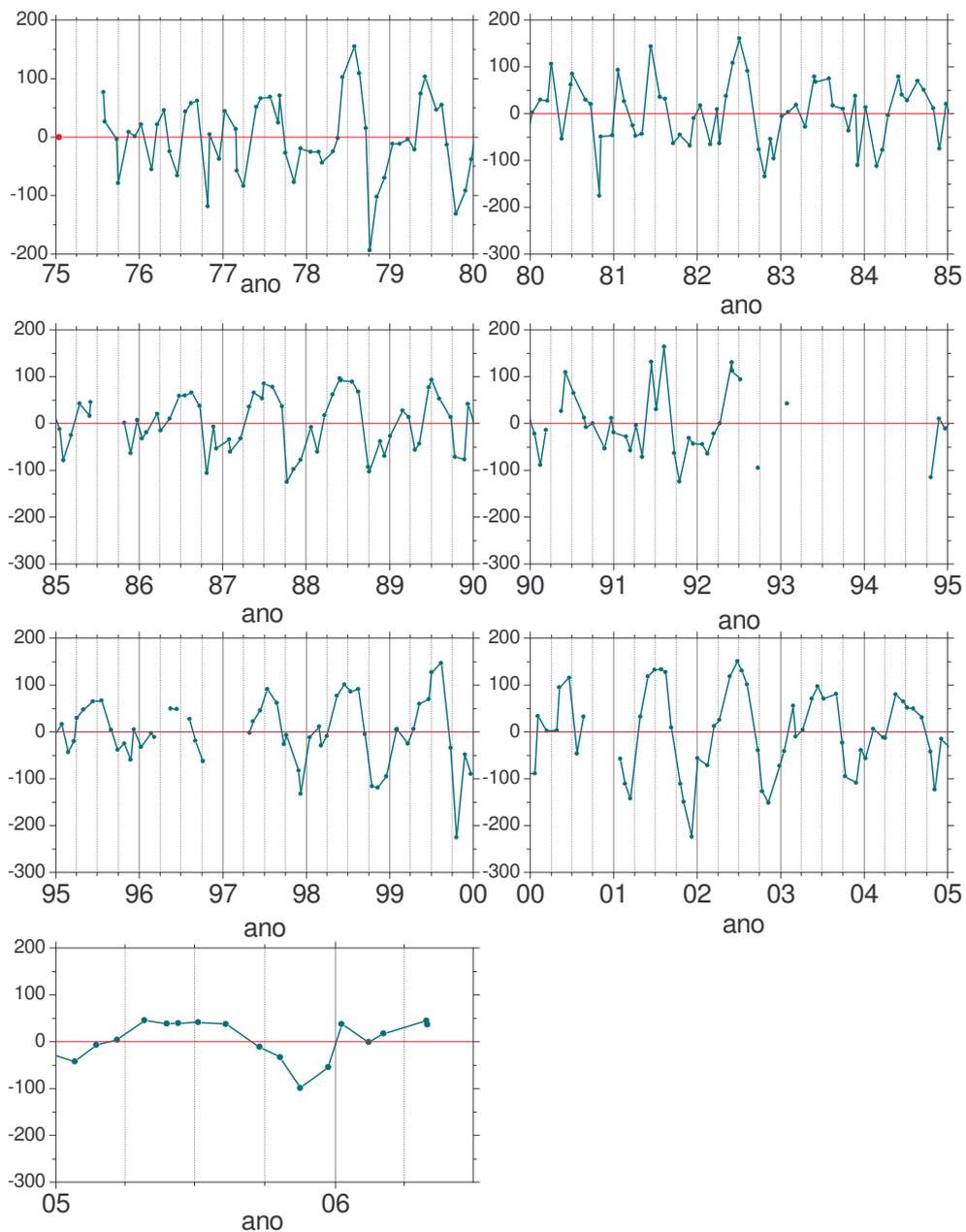
Fortaleza - 18h00 - foF2

Diferença entre a suavização e foF2



Fortaleza - 18h00 - hmF2

Diferença entre a suavização e hmF2



Fortaleza - 18h00 - h'F

Diferença entre a suavização e h'F

