



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
Julho de 2008**

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:

Vivian Moreira de Castilho Batista
Divisão de Aeronomia -DAE/CEA/INPE – MCT
Instituto nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT
São José dos Campos – SP
Christiano Garnett Marques Brun

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.

**São José dos Campos
Julho de 2008**

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS	1
ÍNDICE DE TABELAS	3
Capítulo I	4
Introdução	4
Capítulo II	5
Séries Temporais	5
Tendência	5
Ciclo de uma série	6
Sazonalidade	6
Exemplos de Séries Temporais	7
Procedimentos estatísticos de previsão de séries	7
Análise de Fourier	7
Análise de Lomb-Scargle	8
Capítulo III	10
Correção de hpF2	10
Análises de foF2 e hmF2	15
Capítulo IV	18
Resultados e Discussões	18
Capítulo V	21
Referencias Bibliográficas	21

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.1: (a) Totais mensais de passageiros em linhas aéreas internacionais nos EUA entre 1949 e 1960, (b) número anual de lincas capturados em armadilhas entre 1821 e 1934 no Canadá, (c) medições anuais de vazões do Rio Nilo em Ashwan entre 1871 e 1970, (d) consumo de gás no Reino Unido entre o primeiro trimestre de 1960 e o quarto trimestre de 1986. Fonte: EHLERS, 2003..... 7
- Figura 3.1: As diferenças entre $hpF2$ e $hmF2$, juntamente com suas médias utilizando todos os pontos (preto) e excluindo os pontos com valores negativos (laranja), para o horário das 6 LT 12
- Figura 3.2: As diferenças entre $hpF2$ e $hmF2$ para o horário das 12 LT. À esquerda as diferenças juntamente com a média nos anos de 2001 a 2006. À direita as médias para atividade solar alta, média e baixa..... 12
- Figura 3.3: Gráfico da suavização dos pontos de Atividade solar alta, baixa e média... 13
- Figura 3.4: As diferenças entre $hpF2$ e $hmF2$, juntamente com suas médias utilizando todos os pontos (preto) e excluindo os valores negativos (laranja), para o horário das 18 LT. 14
- Figura 3.5: O parâmetro $hpF2$ antes (cinza) e depois da correção (vermelho), nos horários 6, 12 e 18 LT. 14
- Figura 3.6: A série de dados (a- $foF2$ e b – $hmF2$) em preto e os valores simulados em vermelho. 16
- Figura 3.7: Parâmetro $foF2$ (a) e parâmetro $hmF2$ (b) em função dos dados resultados do modelo utilizado. 17
- Figura 3.8: Resíduo obtido da diferença dos dados e o modelo..... 17
- Figura 4.2: a) Em preto $foF2$, referente às 6, 12 e 18 LT e em vermelho a media corrida. Na parte inferior tem-se o número de manchas solares em preto, e em vermelho a média. 18
- b) Em preto $hmF2$ e $hpcorrigido$, referente às 6, 12 e 18 LT e em vermelho a media corrida. Na parte inferior tem-se o número de manchas solares em preto, e em vermelho a média..... 18
- c) Em preto $h'F$, referente às 6, 12 e 18 LT e em vermelho a media corrida. Na parte inferior tem-se o número de manchas solares em preto, e em vermelho a média. 19
- Figura 4.3: Valores de $hpF2$ corrigido juntamente com os valores de $hmF2$, as 6 LT, em vermelho mostra a nova suavização da curva. Na parte inferior as diferenças do parâmetro e a suavização..... 19

Figura 4.4: Valores de hpF2 corrigido juntamente com os valores de hmF2, as 12 LT, em vermelho mostra a nova suavização da curva. Na parte inferior as diferenças do parâmetro e a suavização..... 19

Figura 4.5: Valores de hpF2 corrigido juntamente com os valores de hmF2, as 18 LT, em vermelho mostra a nova suavização da curva. Na parte inferior as diferenças do parâmetro e a suavização..... 19

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1: A classificação dos anos de 2001 a 2006, onde foram reduzidos os valores de hpF2, e em seguida calculados a diferença entre hpF2 e hmF2.	10
Tabela 3.2: As diferenças mensais entre hpF2 e hmF2, às 6 LT, utilizadas para análise.	11
Tabela 4.1: As correlações dos parâmetros ionosféricos com o número de manchas solares da correção de hpF2, com valores até maio de 2006.....	20
Tabela 4.2: As correlações dos parâmetros ionosféricos com o número de manchas solares após a correção de hpF2, com valores até junho de 2007.	20

Capítulo I

Introdução

Este trabalho dá continuidade ao estudo que se iniciou no primeiro ano do projeto(2006-2007), em que se analisou o comportamento dos parâmetros ionosféricos juntamente com o número de manchas solares, fazendo uma comparação com a atividade solar. Os parâmetros analisados (f_oF_2 , $h'F$, hmF_2 e hpF_2) apresentaram variação em fase com a variação de 11 anos do ciclo solar. O parâmetro f_oF_2 foi o que melhor se correlacionou com o número de manchas solares, isso porque o mesmo é proporcional à raiz quadrada da densidade eletrônica que, por sua vez, depende da radiação solar, cuja intensidade é proporcional ao número de manchas solares. Dos três horários analisados (6,12,18 LT), a melhor correlação foi observada nos horários das 6 e das 12 horas, isso em razão das constantes de tempo dos efeitos fotoquímicos e dinâmicos para o balanço final de densidade eletrônica nos distintos horários.

Ao analisar os dados, o primeiro empecilho encontrado foi ter dois parâmetros diferentes para mensurar a altura real do pico de densidade eletrônica da ionosfera: o parâmetro hmF_2 que de fato é a altura real do pico obtido a partir da inversão do ionograma de altura virtual para real, utilizando cálculo diferencial e integral, e o parâmetro hpF_2 que é uma estimativa da altura real, obtido a partir de uma aproximação parabólica para o perfil de altura real. Através da observação de gráficos dos dois parâmetros e pelo estudo de Batista et al. (1991) constatou-se que hpF_2 nos horários analisados é superior a hmF_2 , sendo esta diferença não constante, podendo variar com a hora local, com a estação do ano e, possivelmente, com o fluxo de atividade solar. Diante disto foi realizado uma correção no parâmetro que estimava a altura real do pico (hpF_2), pois a análise é para um longo tempo, não podendo utilizar dois parâmetros obtidos de técnicas diferentes.

Como o objetivo deste trabalho é achar as tendências dos parâmetros a um longo termo, foram realizadas também algumas análises a fim de encontrar alguma peculiaridade.

Capítulo II

Séries Temporais

Uma série temporal pode ser definida como um conjunto de observações dispostas seqüencialmente no tempo sobre uma variável de interesse, e não necessariamente igualmente espaçadas.

As séries temporais geralmente são analisadas a partir de seus principais movimentos que podem ser descritos como: tendência, ciclo, sazonalidade e variações aleatórias. Neste trabalho estamos analisando o seu ciclo.

Existem vários tipos de séries temporais. Podemos dizer que uma série é contínua quando as observações são feitas continuamente no tempo, definindo o conjunto $T = \{t : t_1 < t < t_2\}$, sendo denotada por $\{X(t) : t \in T\}$; ou discreta, quando as observações são feitas em tempos específicos, geralmente igualmente espaçados, definindo o conjunto $T = \{t_1, \dots, t_n\}$ a série temporal será denotada por $\{X_t : t \in T\}$.

Segundo EHLERS (2003), uma das características mais importantes desse tipo de dados é que as observações “vizinhas” são dependentes e, analisar e modelar essas dependências são um dos objetivos principais deste trabalho. Algumas observações são particulares a este tipo de dado. É preciso levar em conta a ordem temporal das observações, os fatores complicadores, como presença de tendências e variação sazonal ou cíclica, podem ser difíceis de estimar ou remover e a seleção de modelos pode ser bastante complicada, e as ferramentas podem ser de difícil interpretação. É mais difícil de lidar com observações perdidas e dados discrepantes devido à natureza seqüencial.

Tendência

A tendência indica o comportamento a um longo prazo, a tendência indica a velocidade na qual uma série cresce ou decresce. São processamentos que permanecem *constantes* sobre um certo nível todo o tempo, com variações de período a período devido a causas aleatórias, de maneira que a variação de um período ao outro é atribuída a uma tendência mais uma variação aleatória.

Uma série pode exibir tendências de crescimento ou decrescimento com vários padrões possíveis. Como:

Crescimento Linear: Quando uma série cresce uma constante k durante um intervalo t de tempo.

Crescimento exponencial: Quando num intervalo t de tempo a série cresce um fator M .

Crescimento amortecido: Quando uma série tem um aumento esperado de $x\%$ sobre o intervalo t anterior. Ou seja, se o aumento esperado for de S no primeiro intervalo de tempo, no segundo intervalo será de $S * x\%$ e assim por diante.

Ciclo de uma série

Os ciclos são caracterizados pelas oscilações de subida ou queda existentes numa série, de forma repetida, ao longo do eixo da tendência.

Sazonalidade

São processos que *variam ciclicamente* no tempo, ou seja, são oscilações de quedas ou subida que sempre acontecem em um determinado período do ano. Esse padrão provavelmente se repetirá durante vários anos. A esse comportamento chamamos de sazonalidade. A diferença essencial de um ciclo e uma sazonalidade é que a componente sazonal possui movimentos facilmente previsíveis, ocorrendo em intervalos regulares e a cíclica os movimentos tendem a ser irregulares.

Existem dois tipos de sazonalidades:

Aditiva: em que a série apresenta flutuações sazonais mais ou menos constantes, não importando o nível global da série.

Multiplicativa: em que o tamanho das flutuações sazonais varia dependendo do nível global da série.

Exemplos de Séries Temporais

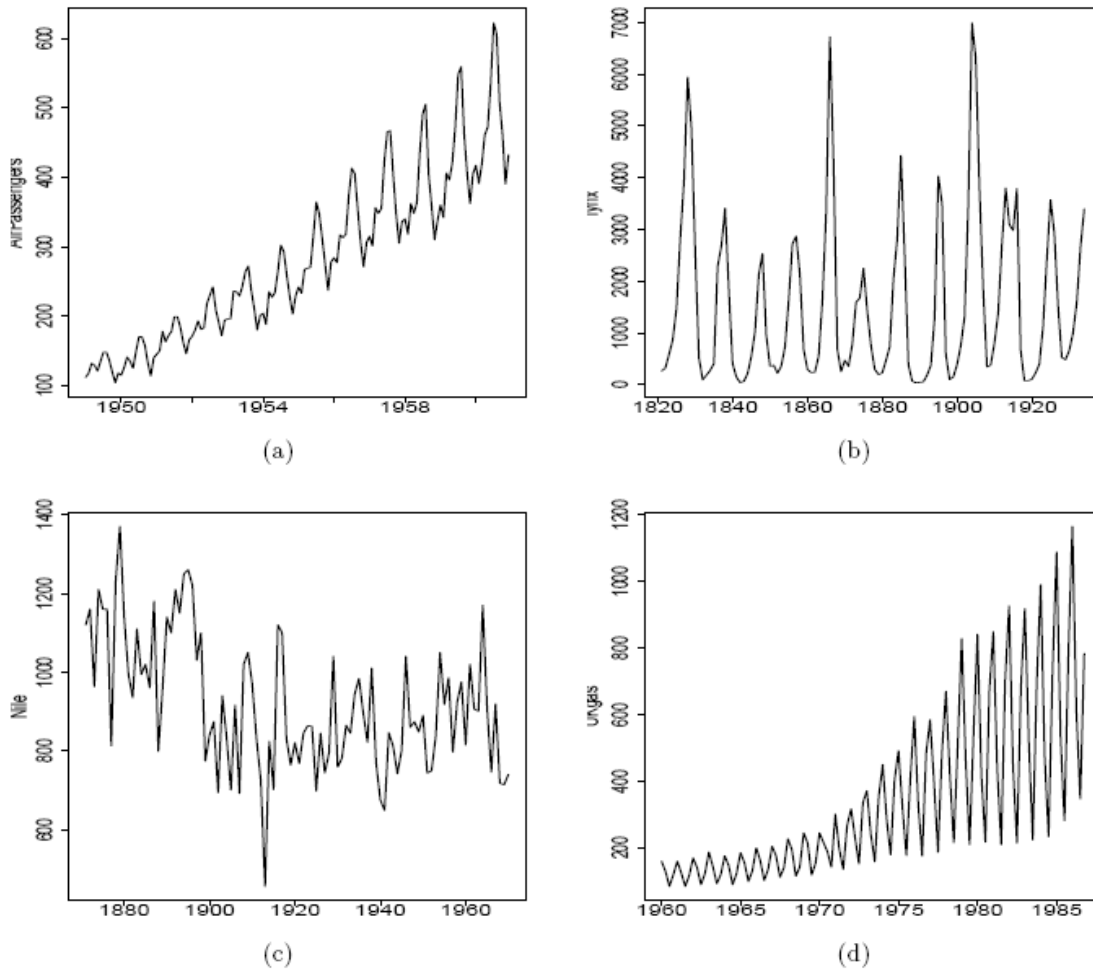


Figura 1.1: (a) Totais mensais de passageiros em linhas aéreas internacionais nos EUA entre 1949 e 1960, (b) número anual de lincas capturados em armadilhas entre 1821 e 1934 no Canadá, (c) medições anuais de vazões do Rio Nilo em Ashwan entre 1871 e 1970, (d) consumo de gás no Reino Unido entre o primeiro trimestre de 1960 e o quarto trimestre de 1986. Fonte: EHLERS, 2003.

Procedimentos estatísticos de previsão de séries

Análise de Fourier

A ferramenta mais conhecida de análise de séries temporais é a transformada de Fourier. É a forma mais tradicional para tratamento de sinais e séries temporais. Esta técnica foi criada por Jean Baptiste Joseph Fourier e publicada em 1822 no seu trabalho intitulado *Thèorie Analytique de la Chaleur*.

A transformada de Fourier é a representação de funções como uma superposição de senos e co-senos, em que uma função é transladada desde o domínio do tempo em uma função no domínio da frequência.

A teoria da transformada de Fourier assume que o sinal é contínuo com uma extensão infinita, para o qual a transformada de funções ordinárias é desejada, entretanto, em situações comuns os sinais registrados são descontínuos de duração finita, sendo sua análise feita com a utilização da transformada de Fourier discreta através do algoritmo conhecido como transformada rápida de Fourier.

Análise de Lomb-Scargle

Há situações em que dados igualmente espaçados não podem ser obtidos, como por exemplo, os valores dos parâmetros analisados (h'F, foF2, e hmF2) que dependem não só do tempo, mas de muitos outros fatores como equipamentos para mensurar os valores, entre outros passíveis a erros e falhas. Um método que tem sido bastante utilizado para o cálculo do espectro é a análise do periodograma de Lomb-Scargle, que tem como base os trabalhos de Lomb (1976) e Scargle (1982).

De acordo com Scargle (1982), a estimativa da energia espectral obtida a partir de um periodograma modificado para tratar com amostras não igualmente espaçadas, tem a mesma distribuição exponencial como no caso para amostras igualmente espaçadas. A definição do periodograma como uma função da frequência, ω , para uma série temporal $X(t_i)$, onde $i=1, 2, \dots, N0$, é a seguinte:

$$P_x(\omega) = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\left[\sum_{j=1}^n x(t_j) \cos \omega(t_j - \tau) \right]^2}{\sum_{j=1}^n \cos^2 \omega(t_j - \tau)} + \frac{\left[\sum_{j=1}^n x(t_j) \text{sen} \omega(t_j - \tau) \right]^2}{\sum_{j=1}^n \text{sen}^2 \omega(t_j - \tau)} \right\}$$

Enquanto a transformada de Fourier pondera os dados com base nos intervalos de tempo dos pontos, o método de Lomb-Scargle pondera os mesmos com base nos pontos,

estimando as componentes de seno e co-seno apenas para os instantes em que os dados tenham sido amostrados.

Utilizando o método Lomb-Scargle obtém-se o espectro de potência, os maiores picos (maiores valores) são os harmônicos mais relevantes. Para uma possível reconstrução de curva, somente os picos altos devem ser utilizados, basicamente os que estão acima da linha de referência, ou seja, o nível de significância.

Capítulo III

Correção de hpF2

Para se iniciar a correção de hpF2, utilizamos os seis anos reduzidos com valores de hmF2 (2001 a 2006). Esses anos foram classificados de acordo com a atividade solar, em atividade máxima, média e baixa. Depois de classificados, o parâmetro hpF2 foi reduzido manualmente para esses mesmos anos e a diferença entre hpF2 e hmF2 foi calculada, como mostram as tabelas 3.1 e 3.2. As diferenças não poderiam ser negativas, pois partimos do pressuposto que hpF2 nos horários analisados fosse superior a hmF2, porém devido ao equipamento e a pouca ionização nos horários das 6 e 18 horas tivemos alguns poucos pontos negativos que foram ignorados posteriormente.

As diferenças entre hpF2 e hmF2 foram analisadas a cada mês (ver tabela 3.2), a fim de encontrar semelhanças causadas pelas variações sazonais, e se caso isso ocorresse encontrar fatores de correção mensais. Trabalhou-se com as médias das atividades solar alta, média e baixa. Em alguns casos foram feitas suavizações para facilitar as análises.

Data	Horário	hmF2	foF2	hpF2	Diferença hpF2 – hmF2
18/2/2001	12:00	396,7	10,31	484,7	88
15/3/2001	12:00	401,9	12,65	481,1	79,2
27/4/2001	12:00	390	13,6	450,7	60,7
31/5/2001	12:00	382,5	12,85	449	66,5
28/6/2001	12:00	376,6	10,45	490,1	113,5
28/7/2001	12:00	381,4	10,95	436,5	55,1
16/8/2001	12:00	382,1	11,95	457,9	75,8
10/9/2001	12:00	412,8	12,5	513,3	100,5
18/10/2001	12:00	450,7	13,3	525,4	74,7
Até dados de 2006.					

Tabela 3.1: A classificação dos anos de 2001 a 2006, onde foram reduzidos os valores de hpF2, e em seguida calculados a diferença entre hpF2 e hmF2.

6h00	2001	2002	2003	2004	2005	2006
mês 1	-----	8,90	-----	9,30	3,40	23,30
mês 2	18,90	2,60	16,90	30,20	27,10	-45,40
mês 3	27,10	28,60	9,80	10,50	11,90	15,60
mês 4	6,80	-----	5,90	33,20	22,90	10,60
mês 5	27,60	21,40	11,30	37,80	7,40	24,60
mês 6	6,80	16,90	22,30	15,60	29,10	-----
mês 7	13,90	-31,40	21,40	10,10	25,00	-----
mês 8	13,90	7,20	18,50	21,10	13,10	-----
mês 9	9,50	-----	23,90	9,30	13,80	-----
mês 10	21,70	-----	2,70	24,50	17,80	-----
mês 11	11,80	-----	34,30	28,10	34,70	-----
mês 12	3,30	-----	34,50	38,60	32,30	-----

Tabela 3.2: As diferenças mensais entre hpF2 e hmF2, às 6 LT, utilizadas para análise.

O horário de 6 LT foi o que apresentou as menores diferenças entre hpF2 e hmF2, ou seja, as diferenças ficaram entre 0 e 40 km (isso quando se consideram somente os pontos positivos). Ocorreram dois pontos negativos, um em 2002 e outro em 2006 (hpF2 menor que hmF2), provavelmente devido à baixa ionização e à sensibilidade do equipamento. Na figura 3.1, percebe-se que a média das diferenças (curva em preto) teve duas quedas por causa dos dois pontos negativos. Lembrando que a diferença entre esses parâmetros nos horários analisados segundo Batista (1991) é positiva, e foram obtidas diferenças negativas devido uma falha na redução causada pelo equipamento. Se estes pontos forem ignorados, a média fica mais alta, como se observa na linha laranja, tornando-se menos variável e mais bem comportada. O resultado nos permite concluir que, neste horário, as diferenças foram quase constantes, sem nenhuma relação ou característica específica e direta com a atividade solar, ou com as variações sazonais. Através do ponto médio das médias com e sem os pontos negativos chegamos a um fator para todo o período.

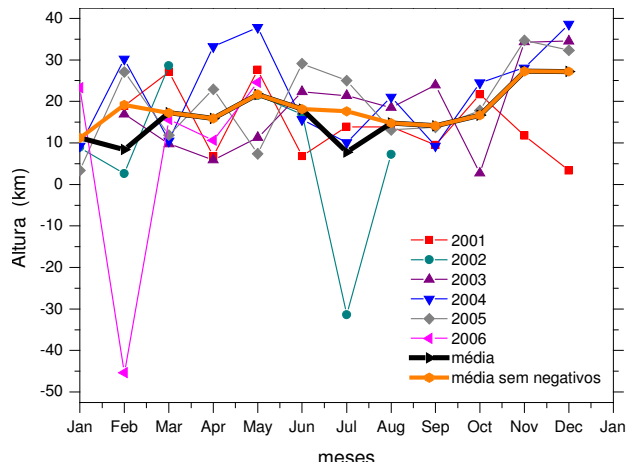


Figura 3.1: Diferenças entre hpF2 e hmF2, juntamente com suas médias utilizando todos os pontos (preto) e excluindo os pontos com valores negativos (laranja), para o horário das 6 LT

Para o horário das 12 LT, a diferença entre os dois parâmetros é alta chegando até a 160 km de altura, caracterizando-se como o horário que apresentou as maiores diferenças. Essas diferenças se apresentaram mais acentuadas nos meses de janeiro a março e nos meses de setembro a dezembro. Pôde-se observar que neste horário houve alguma relação com a atividade solar (ver figura 3.2), porém não tão evidente. Devido a concordância com a atividade solar, não utilizamos a média dos pontos como fator, mas a média das classificações (atividade alta, média e baixa). Mas ao aplicar esses fatores observou-se que após a correção o parâmetro hpF2 corrigido ficou muito baixo em relação ao hmF2. O que foi necessário fazer uma suavização nos pontos para melhorar esse fator (ver figura 3.3), e ainda fazer a redução dos dados disponíveis de 2007, e através da análise do fluxo solar foi observado que não estamos ainda no mínimo solar, motivo pelo qual os dados de hmF2 se apresentaram um pouco mais altos.

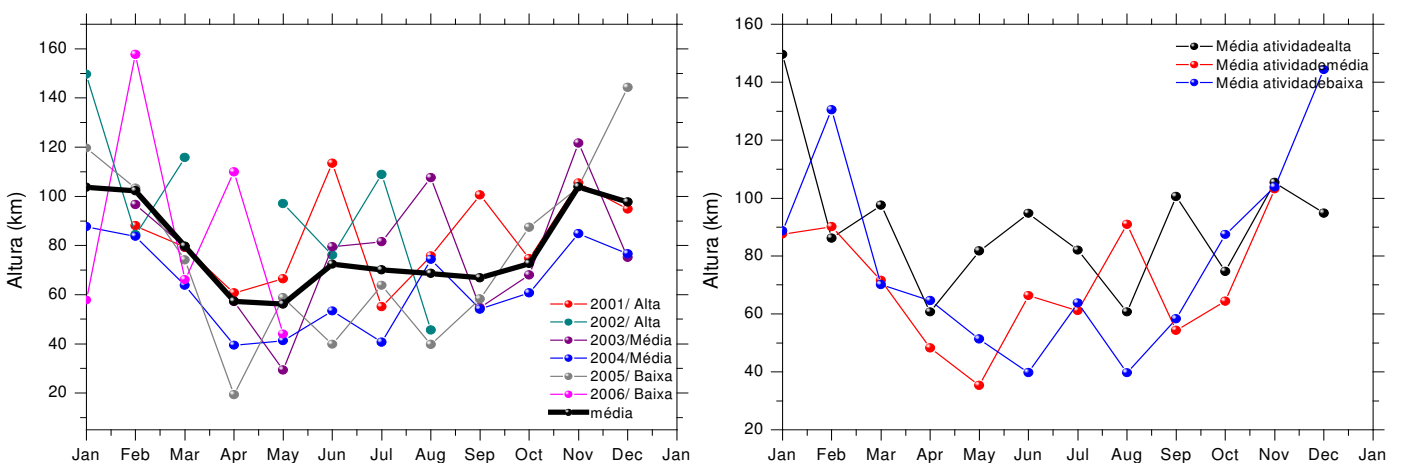


Figura 3.2: Diferenças entre hpF2 e hmF2 para o horário das 12 LT. À esquerda as diferenças juntamente com a média nos anos de 2001 a 2006. À direita as médias para atividade solar alta, média e baixa.

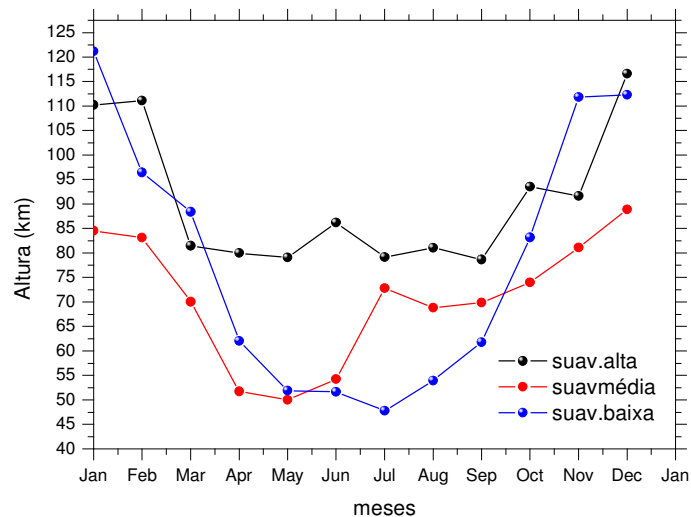


Figura 3.3: Gráfico da suavização dos pontos de atividade solar alta, baixa e média.

O horário das 18 LT teve uma variação de aproximadamente 80 km, pouco mais que o dobro do observado às 6 LT e a metade da variação das 12 LT. As menores diferenças se concentraram nos meses de maio a agosto, isso é mais visível nos anos de 2001 e 2002. Assim como para o horário das 12 LT, as maiores diferenças foram observadas no início e no final de cada ano (ver Figura 3.4).

Em geral os anos de 2005 e 2006 (atividade baixa) mostraram as menores diferenças, e os anos de 2001 e 2002 (atividade alta) mostraram as maiores diferenças, ou seja, existe neste horário uma dependência com a atividade solar, porém não tão evidente nos gráficos analisados (ver figura 3.4).

Ocorreram dois pontos negativos um no mês de junho de 2003 e outro em julho de 2004, no entanto a média dos valores não se altera muito ao ignorar esses pontos, como mostra a figura 3.4. Os meses de maio a agosto possuem diferenças tão pequenas que puderam ser ignoradas, ou seja, foi considerado para esses um fator de correção igual a zero, sem necessidade de aplicar nenhuma correção. Para os outros meses foi utilizado um fator de correção para cada mês, este fator foi igual à média dos valores.

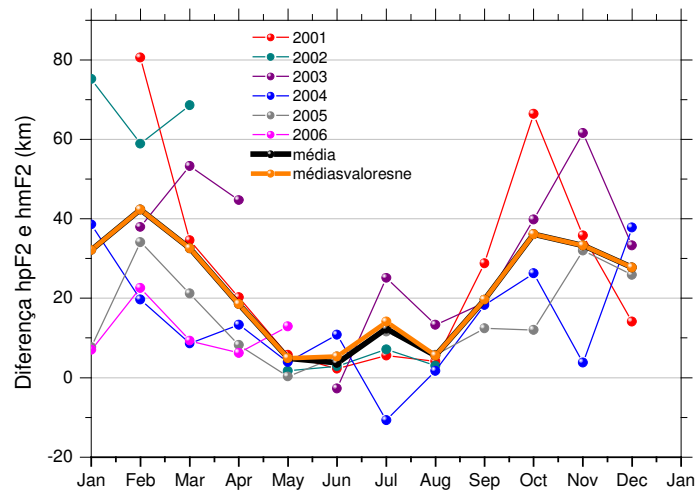


Figura 3.4: Diferenças entre hpF2 e hmF2, juntamente com suas médias utilizando todos os pontos (preto) e excluindo os valores negativos (laranja), para o horário das 18 LT.

Após a correção foi possível verificar o comportamento dos parâmetros hmF2 e hpF2 na figura 3.5, onde mostra em cinza hpF2 antes da correção, e em vermelho hpF2 corrigido juntamente com hmF2.

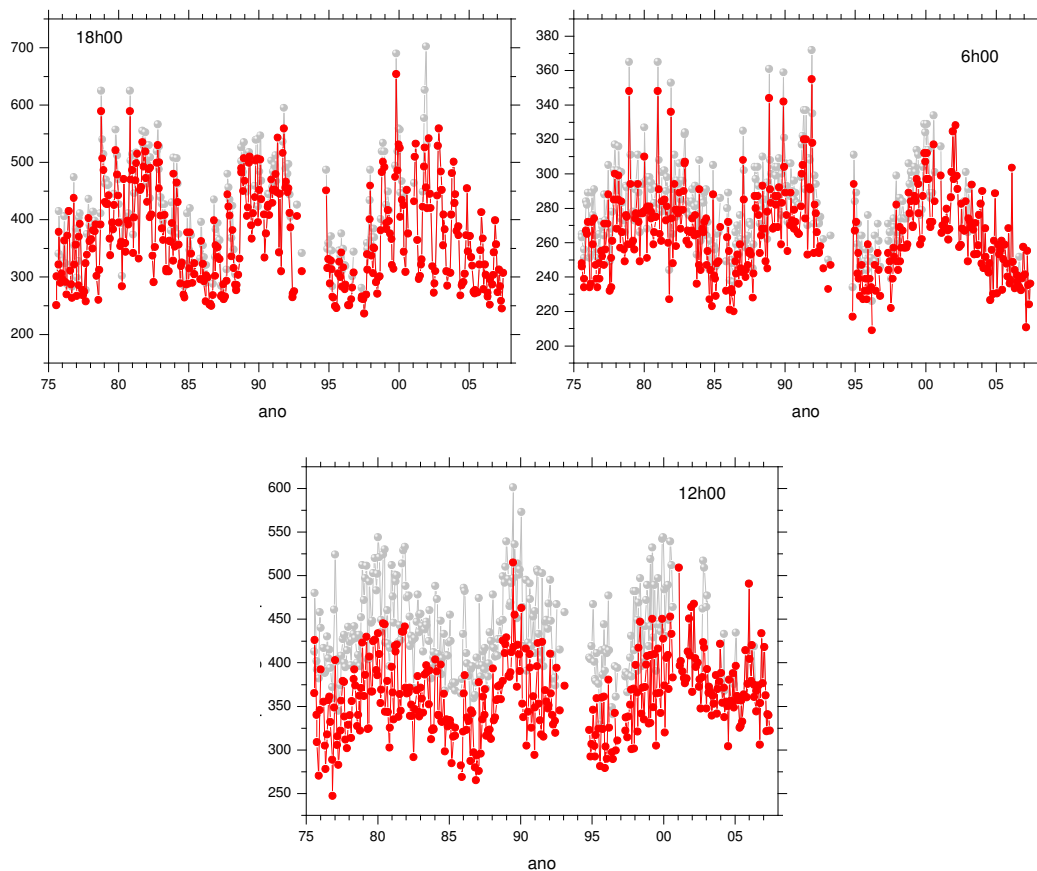


Figura 3.5: O parâmetro hpF2 antes (cinza) e depois da correção (vermelho), nos horários 6, 12 e 18 LT.

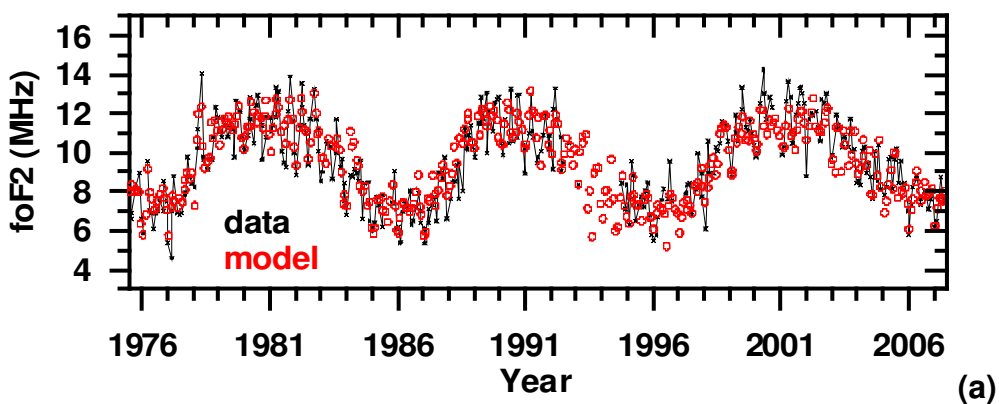
Análises de foF2 e hmF2

O objetivo de realizar análises estatísticas dos dados é separar as diferentes periodicidades que ocorrem nas séries, para ver se sobressai alguma tendência de longo prazo. Para a realização de uma análise espectral dos dados, foram procurados moduladores além dos normais. Para isso utilizamos a princípio o método de Lomb-Scargle que mostrou não ser o mais adequado, pois resulta nos moduladores normais. Então, passamos a utilizar o método de Fourier a chamada Transformada Rápida de Fourier.

Esta parte do trabalho está sendo realizada com a colaboração do Observatório de Arecibo. Foi desenvolvido um modelo e feitas adaptações a partir de métodos de modelagem de dados de radar e de GPS, utilizando os princípios de Fourier.

O modelo utilizado descreve as variáveis hmF2 e foF2 para o horário das 12 horas local em função do fluxo F10.7 e do índice Kp da hora local até o Kp -9h anterior, isso porque embora o Kp das 12 horas indique um dia muito calmo, este mesmo dia pode sofrer alterações ou variações pelos valores anteriores, pois as alterações que ocorrem devido ao índice não são imediatas.

As figuras 3.6a e 3.6b mostram a série total de dados em preto e os respectivos valores simulados através do modelo em vermelhos para os registros de foF2 e hmF2, respectivamente.



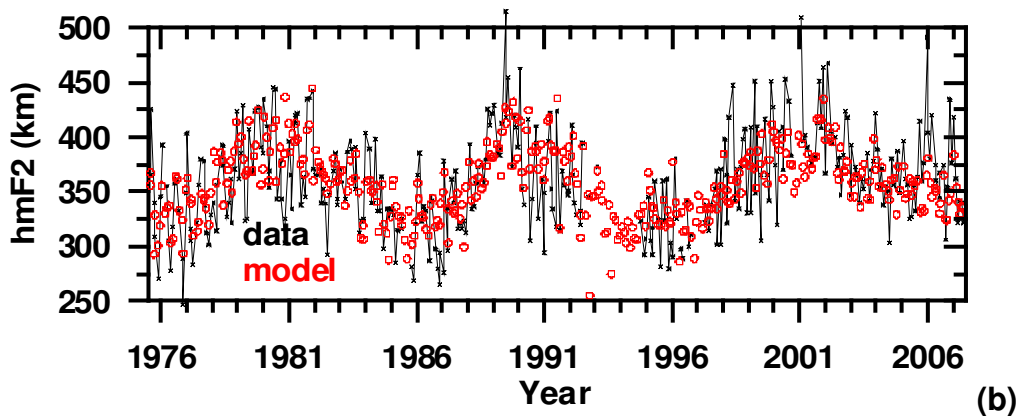
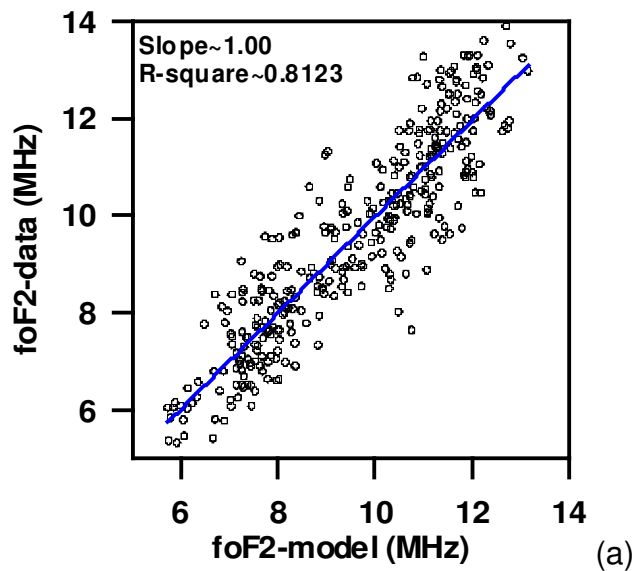


Figura 3.6: A série de dados (a- foF2 e b – hmF2) em preto e os valores simulados em vermelho.

A figura 3.7 mostra os mesmos valores apresentados na figura 3.6, mas desta vez como diagrama de dispersão entre o modelo e os dados. É possível observar que a declividade (coeficientes de regressão para cada variável, incluindo a intersecção) da regressão linear entre os dados e o modelo é aproximadamente 1, o que sugere que o modelo representa muito bem as condições simuladas.



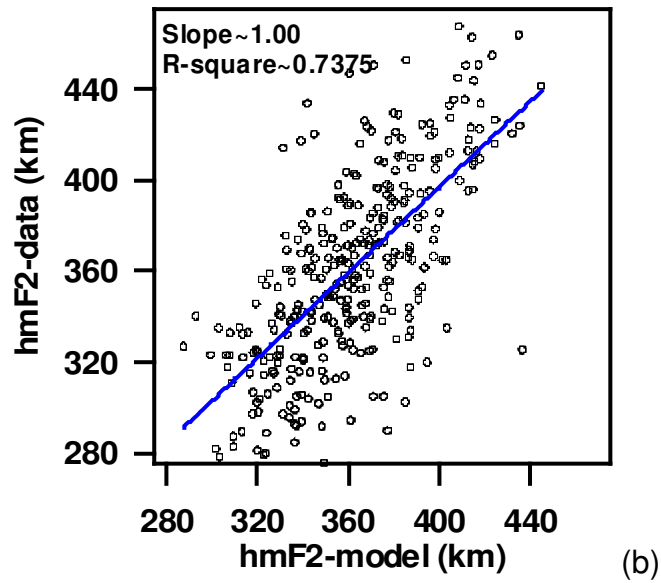


Figura 3.7: Parâmetro foF2 (a) e parâmetro hmF2 (b) em função dos dados resultados do modelo utilizado.

Por fim as figuras 3.8a e 3.8b mostram o resíduo obtido da diferença dos dados e o modelo. Basicamente houve um aumento da frequência do foF2 e da altitude do hmF2. Estas variações foram de $0,021 \text{ MHz}\cdot\text{ano}^{-1}$ e $0,544 \text{ km}\cdot\text{ano}^{-1}$.

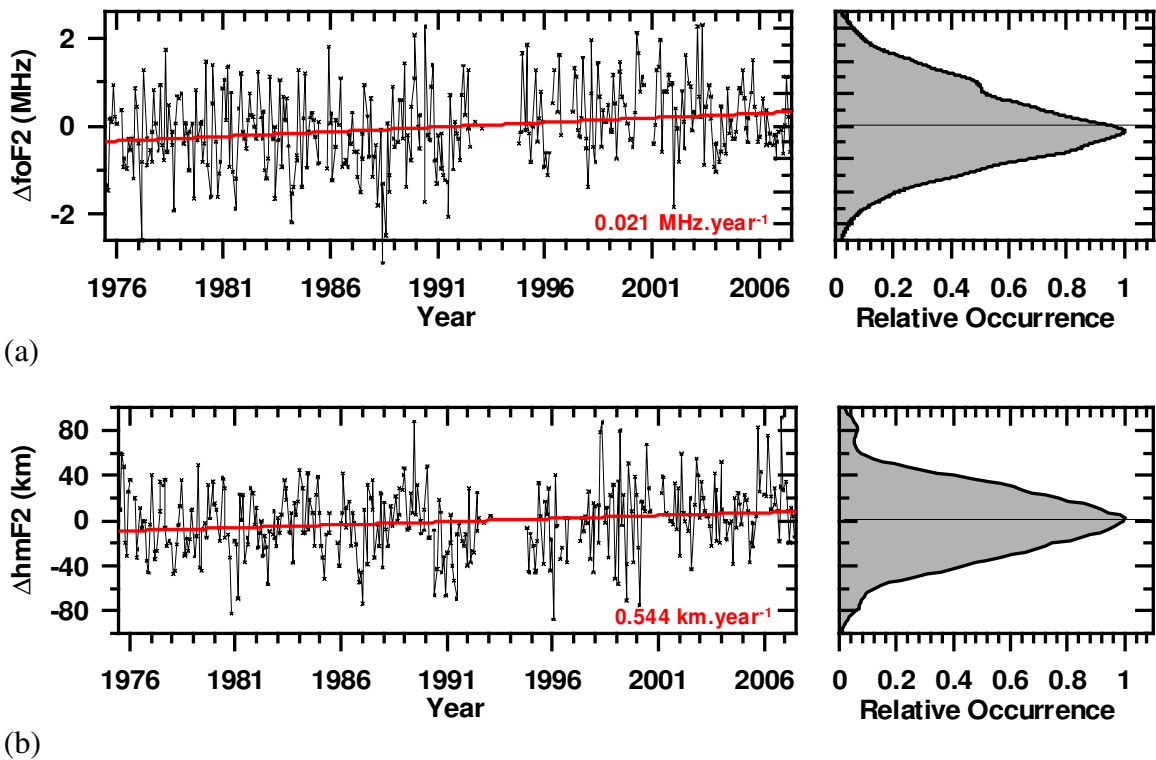


Figura 3.8: Resíduo obtido da diferença dos dados e o modelo.

Capítulo IV

Resultados e Discussões

A correção de hpF2 principalmente nos horários das 6 e 18 horas (LT), pôs fim às diferenças de alturas que existiam, melhorando a correlação com a atividade solar como mostra a figura 4.1-b. Após realizar esta correção foi necessário fazer a redução dos dados disponíveis para 2007, melhorando a amostragem, como mostram as figuras 4.2 e 4.4, isto se deu devido ao pico mínimo solar ainda não ser obtido e aparentava que os valores de hpF2 corrigidos estavam inferiores aos de hmF2, o que sabemos não ser verdadeiro. Na figura 4.3 ainda aparenta que a partir de 2002, período em que foi reduzido hmF2, é superior aos anos anteriores (valores de hpF2 corrigido), as 12h00 é mais sensível a radiação solar que por sua vez é mais intensa e o mínimo solar ainda não ocorreu nesta figura essas observações ficam evidenciadas.

A correlação dos parâmetros após a correção de hpF2 também foi afetada, notavelmente h'F e foF2 melhoraram suas correlações com o número de manchas solares em todos os horários, isso devido principalmente ao aumento de dados. Porém hmF2 e hpF2 corrigido mostrou um aumento na correlação somente nos horários das 6 e das 18 horas. Às 12 horas houve uma pequena queda no seu valor, como mostram as tabelas 4.1 e 4.2.

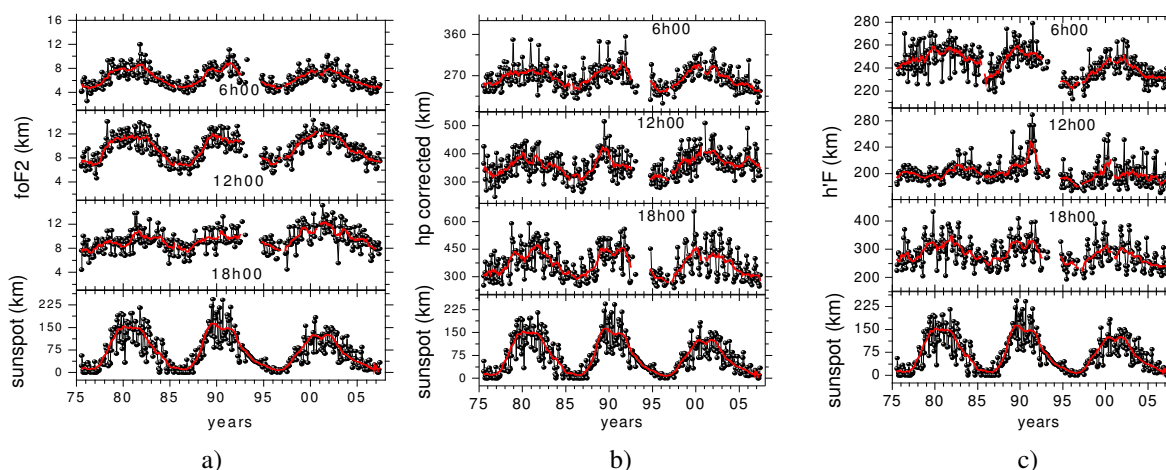


Figura 4.1: a) Em preto foF2, referente às 6, 12 e 18 LT e em vermelho a média corrida. Na parte inferior tem-se o número de manchas solares em preto, e em vermelho a média.

b) Em preto hmF2 e hpcorrigido, referente às 6, 12 e 18 LT e em vermelho a média corrida. Na parte inferior tem-se o número de manchas solares em preto, e em vermelho a média.

c) Em preto h'F, referente às 6, 12 e 18 LT e em vermelho a média corrida. Na parte inferior tem-se o número de manchas solares em preto, e em vermelho a média.

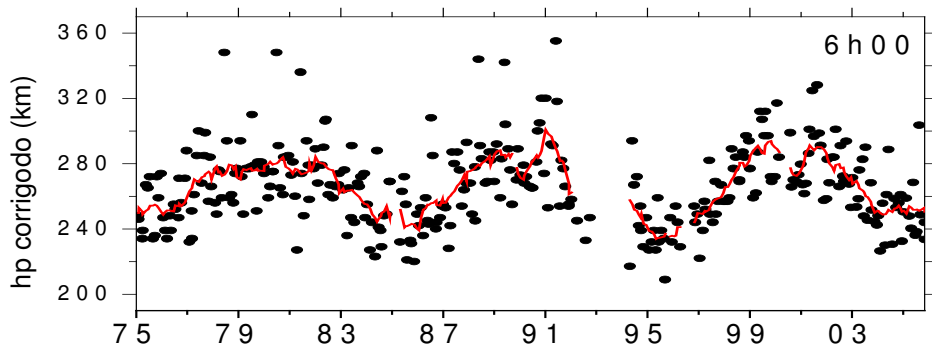


Figura 4.2: Valores de hpF2 corrigidos juntamente com os valores de hmF2, as 6 LT, e sua média corrida em vermelho.

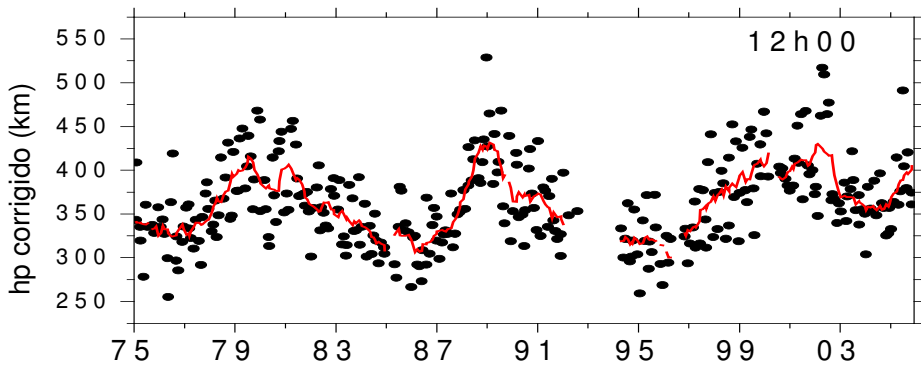


Figura 4.3: Valores de hpF2 corrigidos juntamente com os valores de hmF2, as 12 LT, e sua média corrida em vermelho.

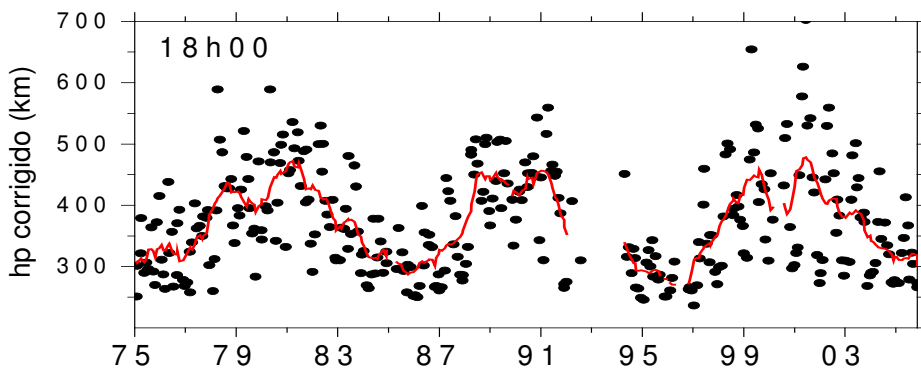


Figura 4.4: Valores de hpF2 corrigidos juntamente com os valores de hmF2, as 18 LT, e sua média corrida em vermelho.

Parâmetros	06:00	Intervalo de 95%	12:00	Intervalo de 95%	18:00	Intervalo de 95%
h'F	0,5771	[0,5009; 0,6444]	0,3335	[0,2343 ; 0,4259]	0,5276	[0,4456 ; 0,6008]
foF2	0,7224	[0,6667 ; 0,7701]	0,7369	[0,6833 ; 0,7825]	0,3301	[0,2306 ; 0,4227]
Hp corr. e hmF	0,5771	[0,5009 ; 0,6444]	0,5757	[0,4989 ; 0,6436]	0,5543	[0,4749 ; 0,6246]

Tabela 4.1: As correlações dos parâmetros ionosféricos com o número de manchas solares da correção de hpF2, com valores até maio de 2006.

Parâmetros	06:00	Intervalo de 95%	12:00	Intervalo de 95%	18:00	Intervalo de 95%
h'F	0,5902	[0,5171 ; 0,6547]	0,3508	[0,2546 ; 0,4401]	0,5424	[0,4637 ; 0,6126]
foF2	0,7298	[0,6764 ; 0,7756]	0,7449	[0,6938 ; 0,78,85]	0,3506	[0,2544 ; 0,4399]
Hp corr. e hmF	0,574	[0,4988 ; 0,6407]	0,5366	[0,4567 ; 0,6078]	0,6035	[0,5318 ; 0,6666]

Tabela 4.2: As correlações dos parâmetros ionosféricos com o número de manchas solares após a correção de hpF2, com valores até junho de 2007.

Segundo Rishbeth (1999), a contração térmica sofrida pela atmosfera em virtude do resfriamento provocaria um “abaixamento” da camada F ionosférica de 15-20 km. As estimativas feitas por modelagem mostram que a taxa de queda anual da altura do pico da camada F2 (hmF2) seria da ordem de 0,2 a 0,3 km/ano. Porém, nos dados analisados de hmF2 as 12 horas, mostra o contrário como pode ser observado pela figura 3.8b, o parâmetro hmF2 em vez de “abaixar” obteve um leve acréscimo com os anos, possivelmente foi causado pela presença da anomalia magnética.

Capítulo V

Referencias Bibliográficas

Batista, I.S., Paula E.R., Abdu M.A. e Kantor I.J., Comparative study of ionogram F2 peak height from different techniques, 1991;

Brasseur, G., Hichman, M.H., Stratospheric response to trace gas perturbations: Changes in ozone and temperature distribution, Science, 240, 637-640, (1988);

Jenkies M. G., Watts D. G., Spectral Analysis and its applications, 1976.

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

Moretin P. A., Toloi C. M. C., Previsão de Séries Temporais, 2ª Edição, São Paulo, Editora Atual, 1987.

Rishbeth, H., - Chances and changes: The detection of long-term trends in Ionosphere, EOS Transactions AGU, 80, 49, 590-594, 1999;

Rishbeth, H., A greenhouse effect in the ionosphere? Planet. Space Sci., 38, 945-948, 1990;

Roble, R. G., Dickinson, R. E., How will changes in carbon dioxide and methane modify the mean structure of the mesosphere and thermosphere? Geophys. Res. Lett., 16, 1441-1444

Wener;L., Ribeiro, J. L. D., Previsão de demanda: uma aplicação dos Modelos de Box-Jenkies na área de assistência técnica de computadores pessoais, Universidade Federal de São Carlos.