



## Resultados Preliminares de Estudo do Comportamento da Camada F Ionosférica sob o Equador Magnético a partir de Dados de Digissonda.

Cleomar P. Silva<sup>(1,2)</sup>, Luzia L. Lock<sup>(1,2)</sup>, Inez S. Batista<sup>(3)</sup>, Clezio M. Denardini<sup>(3)</sup>, Nelson J. Schuch<sup>(1)</sup>, Henrique C. Aveiro<sup>(1,2)</sup>

<sup>(1)</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – Santa Maria, RS, Brazil;

<sup>(2)</sup> Universidade Federal de Santa Maria – Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – Santa Maria, RS, Brazil;

<sup>(3)</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Divisão de Aeronomia – São José dos Campos, SP, Brazil.

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

The pre-reversal enhancement is a phenomenon of the evening equatorial ionosphere that has been pointed as decisive factor in the formation of the plasma bubbles of the F region. This enhancement can be observed through the data analysis of several equipments, among them: radars and digisondes. A digisonde 256 of INPE is installed and collecting data in São Luís (2.33° S, 44.2° W, dip: -0.5°). In the present work we have used the peak height of the F2 layer (hmF2) and the virtual height of the F layer (h'F) from some selected days in 2003 to study of speed of the layer F ascent in the equatorial zone during the pre-reversal period. The peak heights of the F2 layer obtained from the data analysis are compared with the same parameter obtained from simulations of electron density profiles. For the simulations we have used the International Reference Ionosphere model - IRI. The speed of vertical drift is calculated from the data collected by the digisonde. The data set selected for this analysis covers some days from the periods around summer solstice and around autumn equinox in 2003. According the level of magnetic activity, the days of data acquisitions were classified between calm and disturbed. The results are presented and discussed in terms of the season and in terms of magnetic disturbance level.

### Introdução

A ionosfera é a porção ionizada da Atmosfera Terrestre que vai de, aproximadamente, 70 km até cerca de 1000 km de altura. Uma das características da ionosfera é a sua capacidade de interação com a atmosfera neutra, formando um sistema acoplado de energia eletromecânica de enorme complexidade (Hargreaves, 1992; Kivelson e Russel, 1995). Pode-se dizer que a eletrodinâmica da ionosfera só começou a ser estudada no século passado quando foi desenvolvida, quantitativamente, a teoria do dínamo (Baker e Martyn, 1953). Atualmente, já há um grande conjunto de informações a respeito deste assunto, contudo, ainda restam algumas questões a serem resolvidas e/ou aprimoradas. Entre elas, citamos o fenômeno de

formação de bolhas ionosféricas (Abdu, 1993). Neste contexto, a amplitude do pico de pré-reversão, caracterizado pela subida do plasma que ocorre ao entardecer (Abdu et al., 2004), tem sido apontada como fator determinante na formação de bolhas de plasma. Este pico pode ser observado através da análise de dados de diversos equipamentos, entre eles: radares e digisondas.

Neste trabalho apresentamos alguns resultados da comparação da amplitude do pico de pré-reversão entre períodos magneticamente calmos e perturbados observado em dados coletados pela digissonda instalada em São Luís do Maranhão (2,33° S; 44,2° O; dip: -0,5°), que se encontra sob o equador magnético. Para este estudo foram selecionados alguns dias dos solstícios e equinócios do ano de 2003. Os resultados obtidos também foram comparados com resultados de simulações do modelo *International Reference Ionosphere* - IRI 2000-2005.

### Método de Análise de Dados

O sistema digissonda instalado em São Luís é do modelo 256. Ele é constituído de uma antena transmissora, quatro antenas receptoras tipo loop-cruzado, um computador para controle da transmissão-recepção e outro para armazenamento e transmissão dos dados (Reinisch et al., 1989). As sondagens de densidade eletrônica são feitas em intervalos de 15 minutos. Durante cada uma delas, é emitida uma seqüência de pulsos eletromagnéticos de onda senoidal, com frequência variável entre 0,5 e 30 MHz. As ondas, que são refletidas em diferentes alturas e de acordo com a densidade eletrônica, são captadas pelas antenas receptoras. O sinal captado sofre um pré-processamento digital e em seguida é arquivado. Os dados obtidos com este equipamento permitem a inferência de perfis de densidade eletrônica da ionosfera, os ionogramas. O sistema da digissonda possui também um programa interpretador automático de ionogramas, denominado SAO-X. Contudo, nossa experiência tem mostrado que é necessário que um operador faça uma revisão da interpretação automática para assegurar que os dados utilizados não contenham quaisquer erros provenientes de uma eventual má interpretação do programa.

A partir dos ionogramas, vários parâmetros das diferentes camadas ionosféricas podem ser deduzidos. Dentre eles citamos: a altura real do pico da camada F2 (hmF2), obtida a partir do modelo NHPC (Huang and Reinisch, 1996), e a altura virtual da base da camada F

(h'F), obtida diretamente do ionograma. Neste trabalho serão utilizados os parâmetros: hmF2, o qual é utilizado para comparação do comportamento da camada F2 entre as estações do ano, de acordo com o nível de atividade magnética, e com os resultados previstos pelo modelo IRI; e o parâmetro h'F, o qual é utilizado no cálculo de sua derivada temporal ( $\Delta h'F / \Delta t$ ), a qual pode, sob determinadas circunstâncias, ser representativo da deriva vertical da camada F da ionosfera.

A escolha dos dias a serem analisados foi baseada em vários critérios, dentre eles: a disponibilidade de dados de digissonda durante períodos simultâneos de operação do radar de espalhamento coerente em 50 MHz (RESCO), também instalado em São Luís. Este critério visa o desenvolvimento de futuros trabalhos de comparações entre dados dos dois equipamentos. Entre os dados disponíveis foram escolhidos dias em torno do solstício de verão e equinócio de outono de 2003. Isto foi feito porque a maior ocorrência de bolhas de plasma no setor brasileiro ocorre em torno dos solstícios de verão, enquanto a maior incidência de bolhas no setor peruano é distribuída em torno dos equinócios (ver, por exemplo, Batista, 1985). Os dias selecionados foram classificados

entre calmos e perturbados, com base no índice de atividade magnética relacionado com a corrente anelar  $Kp$ . Os dias de sondagens que apresentaram, em qualquer horário do dia, um índice  $Kp$  maior que 3+ foram classificados como dias perturbados, todos os demais foram considerados calmos. A classificação dos dados deste estudo, de acordo com os critérios expostos, é apresentada na tabela 1.

Tabela 1 – Classificação dos dias de 2003 selecionados para análise, de acordo com a atividade magnética e com as estações do ano.

Condição Magnética	Meses	Dias
Calma	Novembro	19
	Dezembro	16, 17, 18, 19, 23, 26
	Fevereiro	24, 25
	Março	24, 25
Perturbada	Janeiro	23, 24
	Fevereiro	19, 20

Para todos os dias com dados de digissonda analisados,

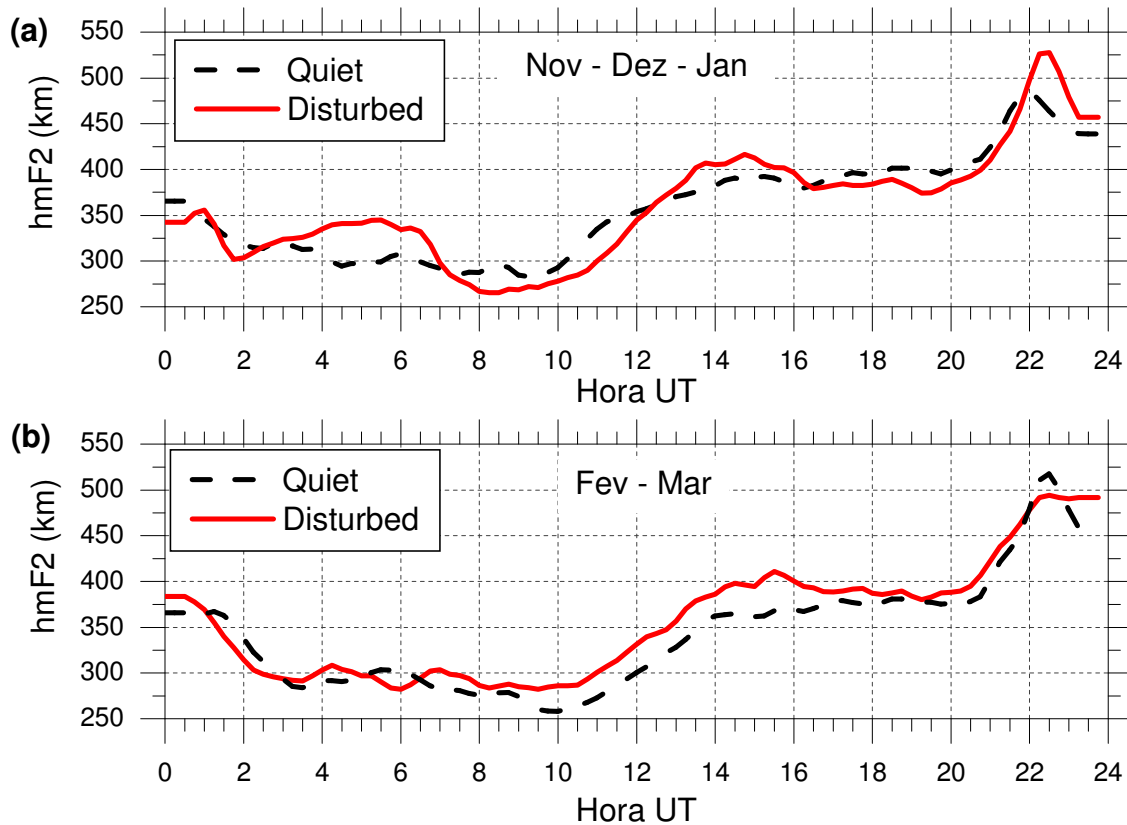


Figura 1 - Variação horária da altura real do pico da camada F2 para os meses de (a) novembro, dezembro e janeiro de 2003 e (b) fevereiro e março de 2003 sob condições calma (linha tracejada preta) e perturbada (linha cheia vermelha) obtidos pela análise dos dados de digissonda.

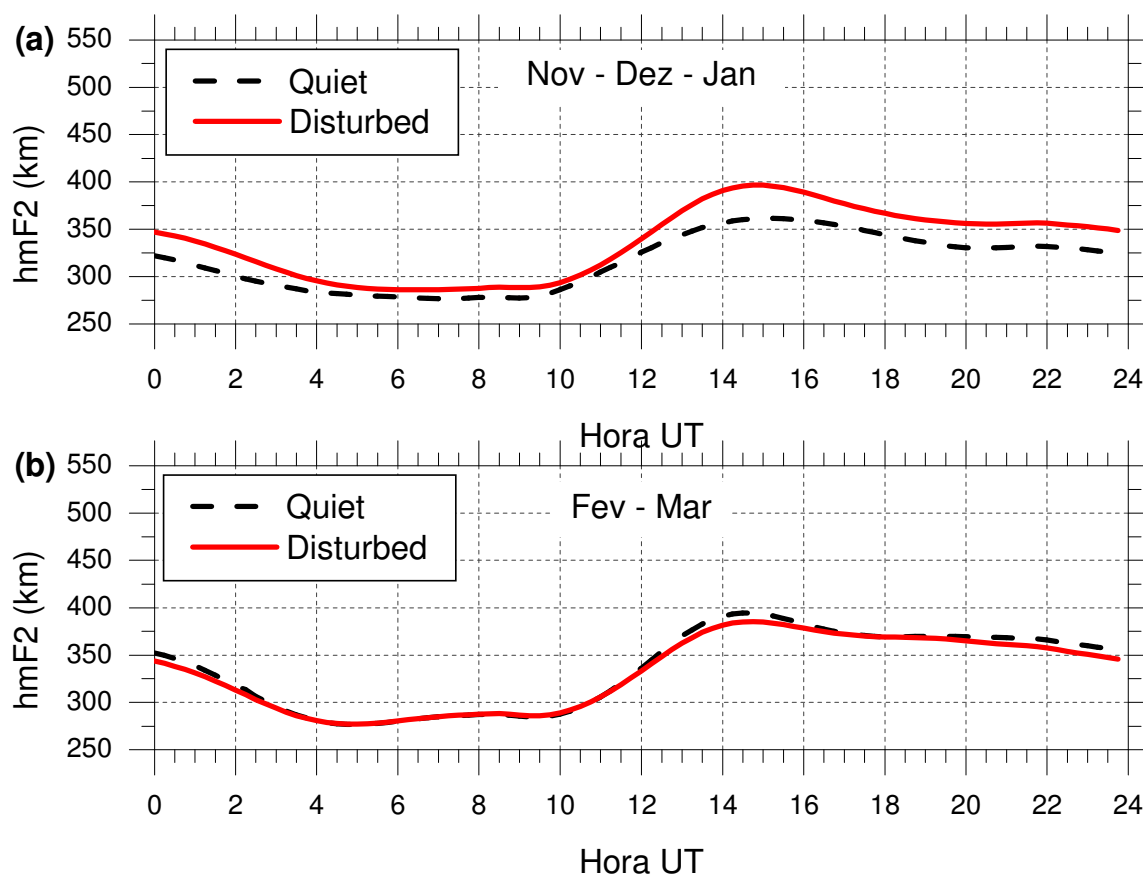


Figura 2 - Variação horária da altura real do pico da camada F2 (hmF2) para os meses de (a) novembro, dezembro e janeiro de 2003 e (b) fevereiro e março de 2003 sob condições calma (linha tracejada preta) e perturbada (linha cheia vermelha) previstos pelo modelo IRI.

foram realizadas simulações de perfis de densidade eletrônica com o modelo IRI, versão 2000-2005, disponível *on line* (Bilitza, 2001; Bilitza, 2005). O parâmetro obtido para fazer comparações foi a altura real do pico da camada F2 (hmF2).

Já as velocidades de deriva vertical ( $\Delta h'F / \Delta t$ ), calculadas a partir dos dados da digissonda, foram obtidas pela seguinte relação (Abdu et al., 1981 e Bittencourt e Abdu, 1981):

$$V_z = \frac{\Delta h'F}{\Delta t} \quad (1)$$

onde  $\Delta h'F$  é a variação da altura virtual da camada F e  $\Delta t$  é o intervalo de tempo decorrido entre duas sondagens sucessivas. É importante ressaltar que a deriva assim calculada só é representativa da deriva eletromagnética vertical do plasma ionosférico, nos horários próximos ao por do sol, quando a camada F se encontra em altitudes nas quais os efeitos de recombinação não são importantes.

### Resultados Obtidos e Discussão

Os gráficos da figura 1 mostram a variação horária da altura real do pico da camada F2 para os períodos de solstício e equinócio sob condições calma e perturbada obtidos pela análise dos dados da digissonda. Para obtenção das variações horárias da altura real da camada F2 foi tomada a média aritmética simples entre as amostras de dias consecutivos correspondentes ao mesmo horário. Os dias utilizados podem ser encontrados na tabela 1.

Para efeito de comparação, os gráficos da figura 2 apresentam as variações horárias da altura real da camada F2 previstas pelo modelo ionosférico IRI. O processo de obtenção utilizado foi semelhante ao empregado para os dados da digissonda, ou seja, tomou-se a média aritmética simples entre as amostras de dias consecutivos correspondentes ao mesmo horário.

As variações da altura real da camada F2 obtidas pela digissonda e as previstas pelo modelo ionosférico IRI apresentam sensíveis diferenças entre os horários 18-23 horas UT. Estes resultados estão de acordo com

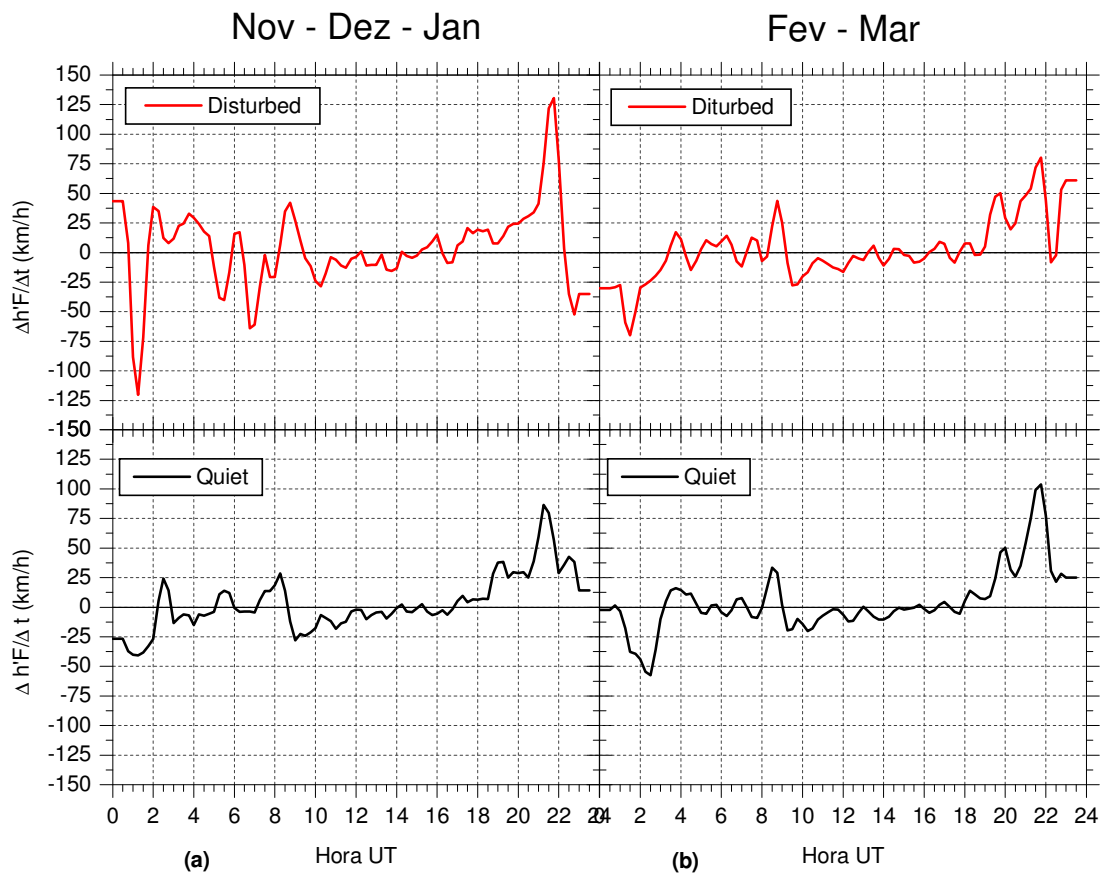


Figura 3 - Variação horária da velocidade de deriva vertical ( $\Delta h'F / \Delta t$ ) obtida a partir dos dados de digissonda analisados para os períodos de (a) novembro, dezembro e janeiro e (b) fevereiro e março sob condições calma (linha preta) e perturbada (linha vermelha).

observações anteriores feitas na região brasileira (por exemplo Abdu et al., 2004; Batista e Abdu, 2004). Nesse horário pode-se verificar a presença do pico de pré-reversão nos dados da digissonda (figura 1). Mas o mesmo não está presente na previsão feita pelo modelo IRI (figura 2). Nos demais períodos do dia o modelo IRI apresenta uma previsão que se aproxima da condição natural encontrada na ionosfera e observada nos dados da digissonda.

Os gráficos da figura 3 mostram a variação horária da velocidade de deriva vertical ( $\Delta h'F / \Delta t$ ) obtida a partir dos dados da digissonda analisados para os períodos de solstício e equinócio sob condições calma e perturbada.

Observando-se a variação horária da velocidade de deriva ( $\Delta h'F / \Delta t$ ) pode-se verificar que as maiores velocidades de subida da camada F se encontram entre 20-22 horas UT, aumento este, que é conhecido como pico de pré-reversão da deriva vertical. Conforme já mencionado anteriormente, somente em torno destes horários a deriva vertical pode ser calculada como a variação temporal da altura da camada.

**Conclusões**

Neste trabalho foram apresentados os resultados preliminares dos estudos da amplitude do pico de pré-reversão entre períodos magneticamente calmos e perturbados dos solstícios e equinócios do ano de 2003, observado em dados de digissonda sob o equador magnético.

De modo geral, o modelo ionosférico IRI não consegue prever a subida da camada F nos horários após o por do sol, observada em dados de digissonda nas localidades situadas sob o equador magnético. Porém, para os demais períodos do dia a previsão apresenta um nível de aproximação satisfatório.

**Agradecimentos**

C. P. S. e H. C. A. agradecem ao CNPq pelo financiamento da suas pesquisas através de bolsas de iniciação científica vinculadas aos processos ns. 104427/2004-3 e 107616/2003-3.

**Referências Bibliográficas**

- Abdu, M. A., Batista, I. S., Bittencourt, J. A.**, 1981, Some characteristics of spread F at magnetic equatorial station Fortaleza: *Journal of Geophysical Research*, Vol. 86, n.A8, p6838-6842.
- Abdu, M. A., Batista, I. S., Reinisch, B. W., Carrasco, A. J.**, 2004, Equatorial F-layer heights, evening prereversal electric field, and night E-layer density in the American sector: IRI validation with observations: *Advances in Space Research*, Vol. 34, p1953-1965.
- Abdu, M. A.**, 1993. Equatorial spread F and ionosphere - thermosphere system: A review, *Geophysical Research Letters*, 2, 193-209.
- Batista, I. S.**, 1985, Dinamo da região F equatorial: Assimetrias sazonais e longitudinais no setor americano, INPE, São José dos Campos, (INPE-3760(-TDL/206).
- Batista, I. S., Abdu, M. A.**, 2004, Ionospheric variability at Brazilian low and equatorial latitudes: comparison between observations and the IRI model, *Advances in Space Research*, Vol. 34, 1894-1900.
- Baker, W. G., Martyn, D. F.**, 1953, Electric currents in the ionosphere, I. The conductivity. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Vol. A246, n. 913, p. 281- 294.
- Bilitza, D.** International Reference Ionospheric Model - IRI. Disponível em: [http://nssdc.gsfc.nasa.gov/space/model/models/iri\\_n.html](http://nssdc.gsfc.nasa.gov/space/model/models/iri_n.html)> Acesso em: Jan. 2005.
- Bittencourt, J. A., Abdu, M. A.**, 1981, Theoretical comparison between apparent and real vertical ionization drift velocities in the equatorial F region: *Journal of Geophysical Research*, Vol. 86, n.A4, p2451-2454.
- Hargreaves, J. k.**, 1992, *The Solar-terrestrial Environment*: Cambridge University Press.
- Huang, X., Reinisch, B. W.**, 1996, Vertical electron density profiles from the digisonde network. *Advances in Space Research*, Vol. 18, n. 6, p.121-129.
- Kivelson, M. G., Russell, C. T.**, 1995, *Introduction to space physics*: Cambridge University Press.
- Reinisch, W. B., Bibl, K., Kitrosser, D. F., Sales, G. S., Tang, J. S., Zhang, Z., Bullett, T. W., Ralls, J. A.**, 1989, The Digisonde 256 ionospheric sounder: *Wits Handbook*, Vol. 2, p350-380.