




1. Publicação nº INPE-2610-PRE/252	2. Versão	3. Data Dez., 1982	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem DGA	Programa ELIS		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) IONOSFERA TEMPESTADES MAGNÉTICAS REGIÃO F EQUATORIAL			
7. C.D.U.: 523.4-853			
8. Título  EFEITOS DAS TEMPESTADES MAGNÉTICAS NA REGIÃO F DA IONOSFERA EQUATORIAL NO BRASIL		INPE-2610-PRE/252	10. Páginas: 23
9. Autoria Eurico Rodrigues de Paula M.A. Abdu I.J. Kantor  			11. Última página: 14
Assinatura responsável			12. Revisada por   J.A. Bittencourt
			13. Autorizada por   Nelson de Jesus Parada Diretor
14. Resumo/Notas  <i>Foi analisada a densidade eletrônica de pico da camada F (f<sub>o</sub>F<sub>2</sub>) e a altura (h<sub>p</sub>F<sub>2</sub>), reduzidas de ionogramas de Fortaleza (4°S, 38°O, latitude "dip" 1,8°S), durante um certo número de tempestades magnéticas moderadas e severas que ocorreram em 1978. Foram observadas as seguintes características da resposta da densidade eletrônica: (1) durante a fase principal de uma tempestade magnética moderada, ou geralmente durante as flutuações no campo magnético H, f<sub>o</sub>F<sub>2</sub> apresenta um acréscimo em relação a seu valor em tempo magneticamente calmo; (2) as fases de recuperação das tempestades moderadas são geralmente caracterizadas por um decréscimo na densidade eletrônica. Entretanto, o início desta fase negativa aparece um pouco retardado comparado com o comportamento na estação de sondagem ionosférica de Cachoeira Paulista, a qual encontra-se em baixas latitudes; (3) durante tempestades muito severas, a resposta negativa na densidade eletrônica é observada mesmo durante a fase principal das tempestades e a resposta fica indefinida durante a fase de recuperação destas tempestades; (4) nenhuma característica é bem definida na altura da camada F, exceto em raras ocasiões quando ela mostra variações inversas com relação às mudanças na densidade eletrônica.</i>			
15. Observações Este trabalho foi parcialmente subvencionado pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT), através do Contrato FINEP 537/CT. Trabalho apresentado na 34ª Reunião Anual da SBPC.			

### AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todas as pessoas do INPE que contribuíram direta ou indiretamente para a execução deste trabalho.

Expressamos especial gratidão às redutoras de dados Lúcia de Almeida Terra, Maria Goreti dos Santos e Márcia Rocha da Silva.



### ABSTRACT

An analysis was carried out of the F-layer peak electron density ( $f_0F_2$ ) and the height ( $h_pF_2$ ) reduced from ionograms over Fortaleza ( $4^{\circ}S$ ,  $38^{\circ}W$ , dip. lat.  $1.8^{\circ}S$ ) during a number of moderate and severe magnetic storms during the year of 1978. The deduced features of the electron density response are: 1) during the main phase of a moderate magnetic storm, or generally during the fluctuations in the magnetic field  $H$ ,  $f_0F_2$  increases with respect to the quiet time; 2) the recovery phases of moderate storms are generally characterized by a decrease in the electron density. However, the onset of this negative phase appears to be delayed somewhat compared to the behavior over the low latitude station of Cachoeira Paulista; 3) during very severe storms, the negative response in the electron density is observed even during the main phase of the storms, with not defined response present during the recovery phase of these storms; 4) no well-defined characteristics in the F-layer height is identified, except in rare occasions when it shows inverse variations with electron density changes.



## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS .....	<i>vii</i>
1 - Introdução .....	1
2 - Resultados .....	1
3 - Discussão e Conclusões .....	7
4 - Referências Bibliográficas .....	13



## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1 - $\Delta f_0F_2$ , $\Delta hpF_2$ e a variação Dst para uns poucos dias magneticamente calmos de junho de 1978 em Fortaleza .....	3
2 - $\Delta f_0F_2$ , $\Delta hpF_2$ e Dst para a tempestade magnética moderada de 3 a 7 de janeiro de 1978 em Fortaleza .....	4
3 - $\Delta f_0F_2$ , $\Delta hpF_2$ e Dst para a tempestade magnética moderada de 30 de abril a 5 de maio de 1978 em Fortaleza .....	5
4 - $\Delta f_0F_2$ , $\Delta hpF_2$ e Dst para a tempestade magnética moderada de 3 a 8 de julho de 1978 em Fortaleza .....	6
5a - $\Delta f_0F_2$ , $\Delta hpF_2$ e Dst para a tempestade magnética severa que se iniciou em 27 de agosto de 1978 em Fortaleza .....	8
5b - Continuação das curvas em 5a até 5 de setembro de 1978 em Fortaleza .....	9
6 - $\Delta f_0F_2$ , $\Delta hpF_2$ e Dst para a tempestade magnética fraca de 19 a 22 de junho de 1978 em Fortaleza .....	10





## 1. INTRODUÇÃO

A resposta da região ionosférica F equatorial às tempestades magnéticas não é bem conhecida, ao contrário da resposta da região F em médias latitudes (Mendillo, 1973; Evans, 1973; Davies, 1974; Jones, 1973). Em baixas latitudes, a característica da resposta ionosférica é fortemente influenciada pela anomalia da ionização equatorial ou efeito-fonte (Rajaram, 1977; Tanaka, 1981). É importante distinguir entre os efeitos produzidos pela resposta do efeito-fonte às tempestades magnéticas e os efeitos que surgem por causa de distúrbios no ar neutro que se propagam dos pólos em direção ao equador, causados pela deposição de energia em altas latitudes durante tempestades (Rishbeth, 1974, Rishbeth, 1975).

Neste trabalho foi realizada uma análise de cerca de 20 tempestades magnéticas, cujos efeitos na ionosfera foram registrados pela ionossonda localizada na estação equatorial magnética de Fortaleza (4°S, 38°O, latitude "dip" 1,8°S), como uma tentativa para determinar características importantes de tais efeitos. Os parâmetros utilizados foram a frequência do pico  $f_0F_2$  da camada  $F_2$  e a altura desta camada, representada por  $h_pF_2$ . As tempestades magnéticas analisadas ocorreram em 1978. Foi considerada tempestade severa quando Dst atingiu valores maiores (em módulo) que  $-200\gamma$ , moderada com Dst maior que  $-50\gamma$  e menor que  $-200\gamma$  e fraca com Dst menor que  $-50\gamma$ .

## 2. RESULTADOS

Valores de  $f_0F_2$  e  $h_pF_2$  de 15 em 15 minutos, em dias magneticamente calmos, imediatamente precedendo e seguindo o intervalo das tempestades, foram usados para calcular valores médios  $\overline{f_0F_2(t)}$  e  $\overline{h_pF_2(t)}$  representativos de tempo calmo. A seguir, tais valores médios foram usados para determinar os desvios de  $f_0F_2$  e  $h_pF_2$  como uma função da hora local, a saber,  $\Delta f_0F_2(t) = f_0F_2(t) - \overline{f_0F_2(t)}$ , durante períodos de tempestades magnéticas, os quais representam casos típicos de comportamento ionosférico.

Para se ter uma idéia do grau de variação da região F em tempos relativamente calmos, apresentam-se na Figura 1  $\Delta f_0F_2$ ,  $\Delta hpF_2$  e as variações Dst para uns poucos dias calmos, de modo que o grau de variações em  $f_0F_2$  e  $hpF_2$  devido aos distúrbios magnéticos, a ser apresentado a seguir, possa ser visto em comparação com este comportamento em períodos magneticamente calmos.

A Figura 2 apresenta  $\Delta f_0F_2$ ,  $\Delta hpF_2$  e Dst para 3 a 7 de janeiro de 1978 (verão no hemisfério Sul), durante uma tempestade magnética moderada que se iniciou no dia 3. Observa-se que  $\Delta f_0F_2$  apresentou um desvio positivo com relação às condições calmas, durante a fase principal da tempestade. Tal desvio perdurou, com valores decrescentes, até o dia 7, talvez devido à reincidência de uma tempestade no dia 5. Observa-se que o desvio positivo durante a fase principal foi precedido por um desvio negativo de curta duração entre aproximadamente 15 e 18 horas locais.

Na Figura 3 estão apresentados  $\Delta f_0F_2$ ,  $\Delta hpF_2$  e Dst de 30 de abril de 1978 a 5 de maio de 1978 (inverno no hemisfério Sul), para a tempestade moderada que se iniciou em 30 de abril. Nota-se que desvios positivos em  $f_0F_2$  predominaram nos dois primeiros dias, enquanto desvios negativos são observados de 4 a 8 de maio. Os aumentos em Dst em 3 e 4 de maio não produziram desvios positivos, provavelmente porque os efeitos negativos devidos aos aumentos anteriores em Dst predominaram em tais dias.

Na Figura 4 estão apresentados  $\Delta f_0F_2$ ,  $\Delta hpF_2$  e Dst de 3 a 8 de julho de 1978 (inverno no Hemisfério Sul). A tempestade iniciou-se em 3 de julho e atingiu intensidade moderada. Observa-se que não ocorreu desvio positivo durante a fase principal da tempestade, porém não há dados de 20 horas de 4 de julho até 5 horas de 5 de julho, período este logo após a fase principal. Entretanto, desvios negativos predominaram durante a fase de recuperação nos dias 5 e 6 de julho. De 7 a 8 de julho as variações em Dst foram de pequena intensidade e não há efeito claro em  $f_0F_2$ . Em 29 de junho de 1978 ocorreu uma tempestade de cerca de  $-100\gamma$

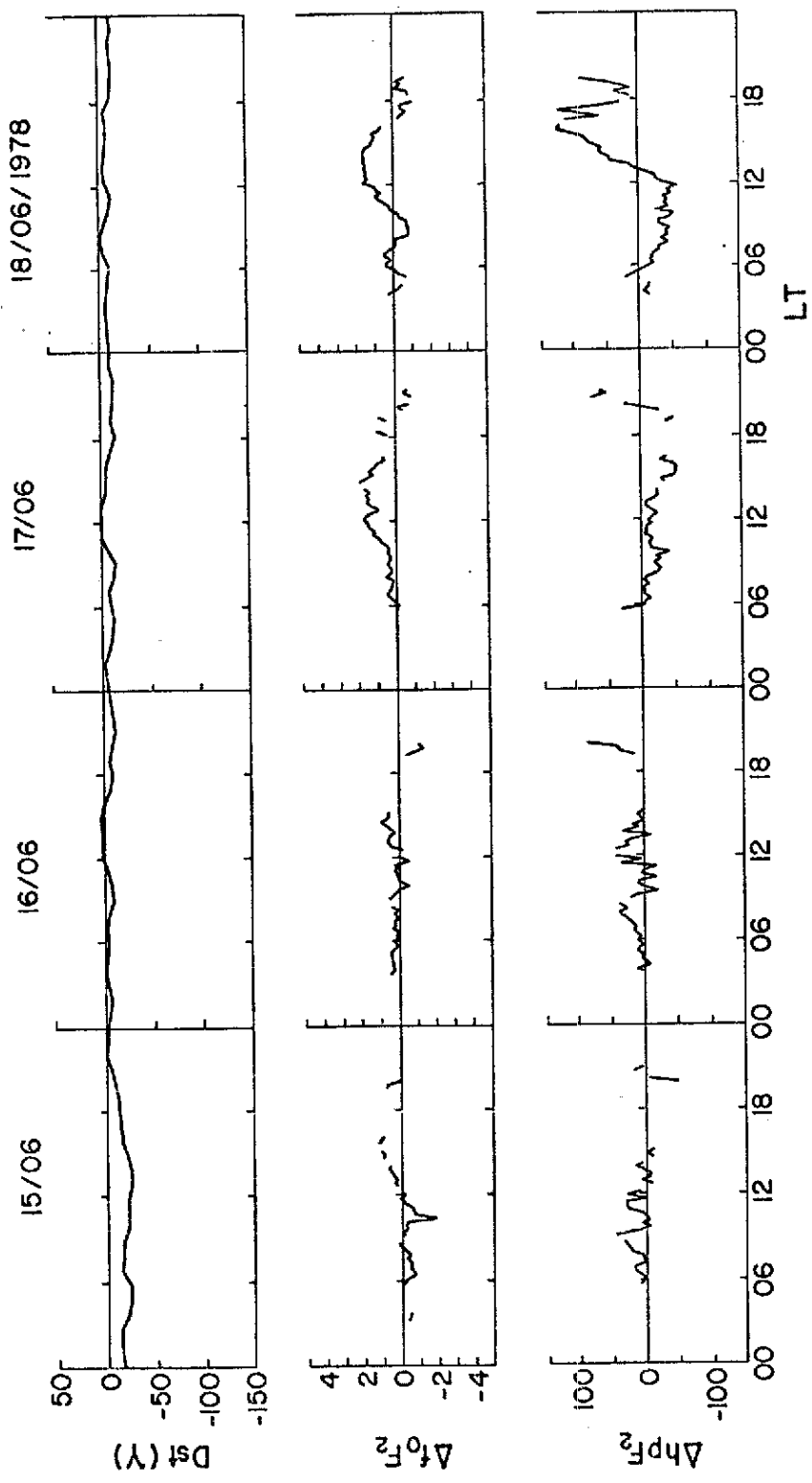


Fig. 1 -  $\Delta f_0F_2$ ,  $\Delta hpF_2$  e a variação Dst para uns poucos dias magneticamente calmos de junho de 1978 em Fortaleza.

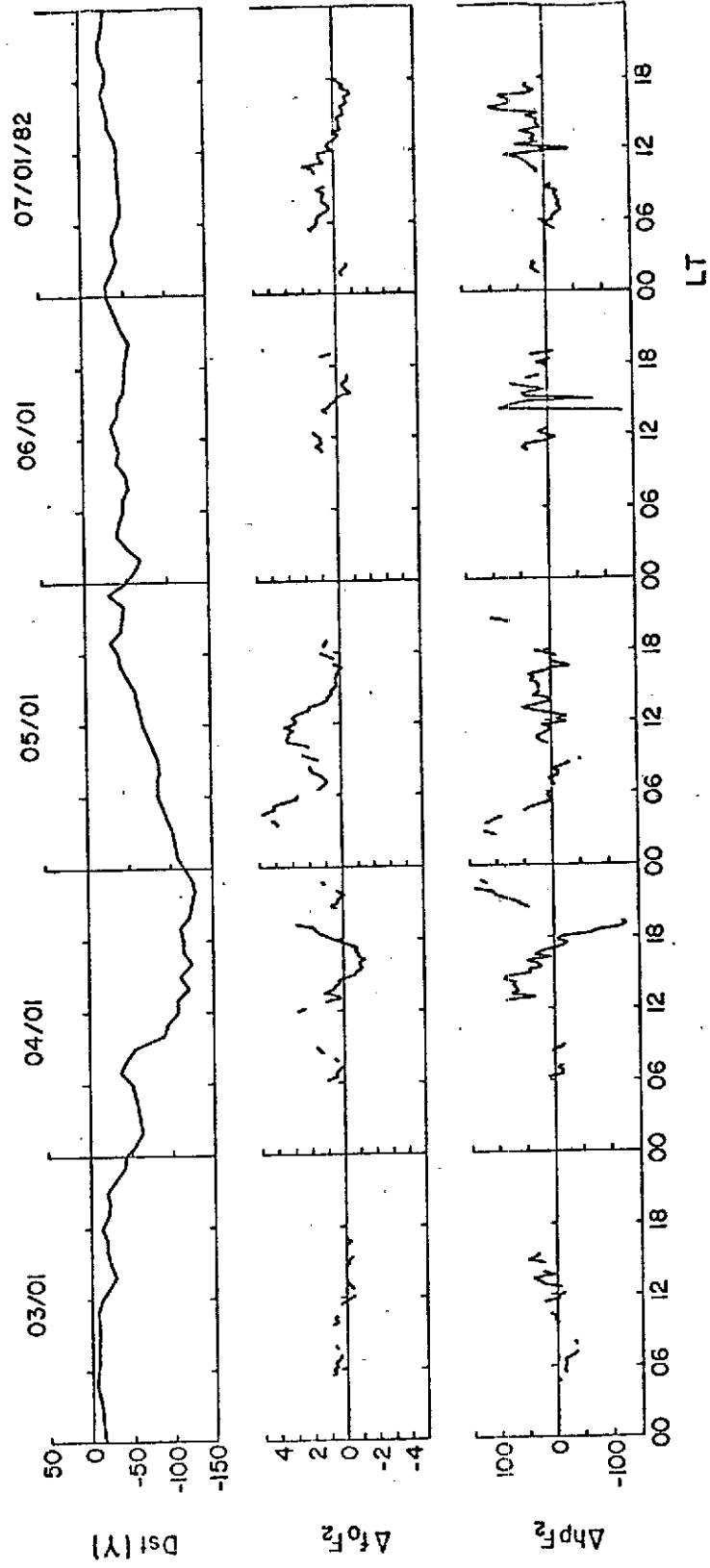


Fig. 2 -  $\Delta f_0 F_2$ ,  $\Delta hp F_2$  e Dst para a tempestade magnética moderada de 3 a 7 de janeiro de 1978 em Fortaleza.

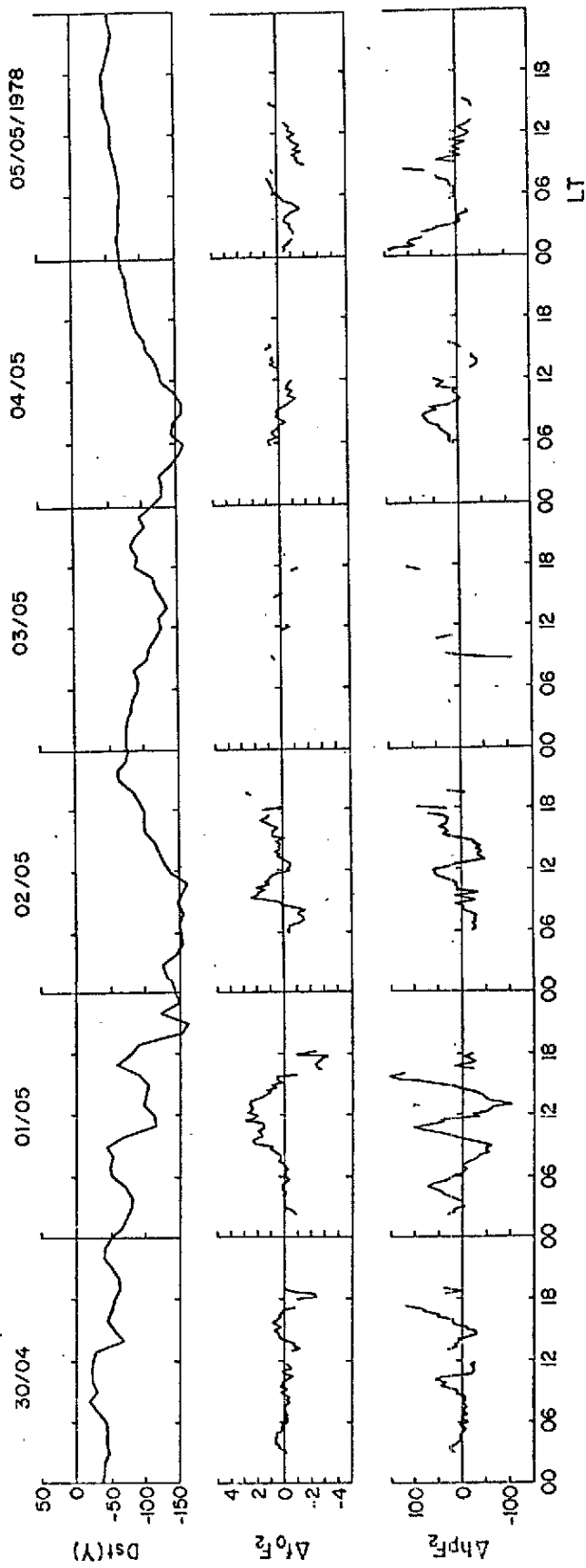


Fig. 3 -  $\Delta f_0F_2$ ,  $\Delta hpF_2$  e Dst para a tempestade magnética moderada de 30 de abril a 5 de maio de 1978 em Fortaleza.

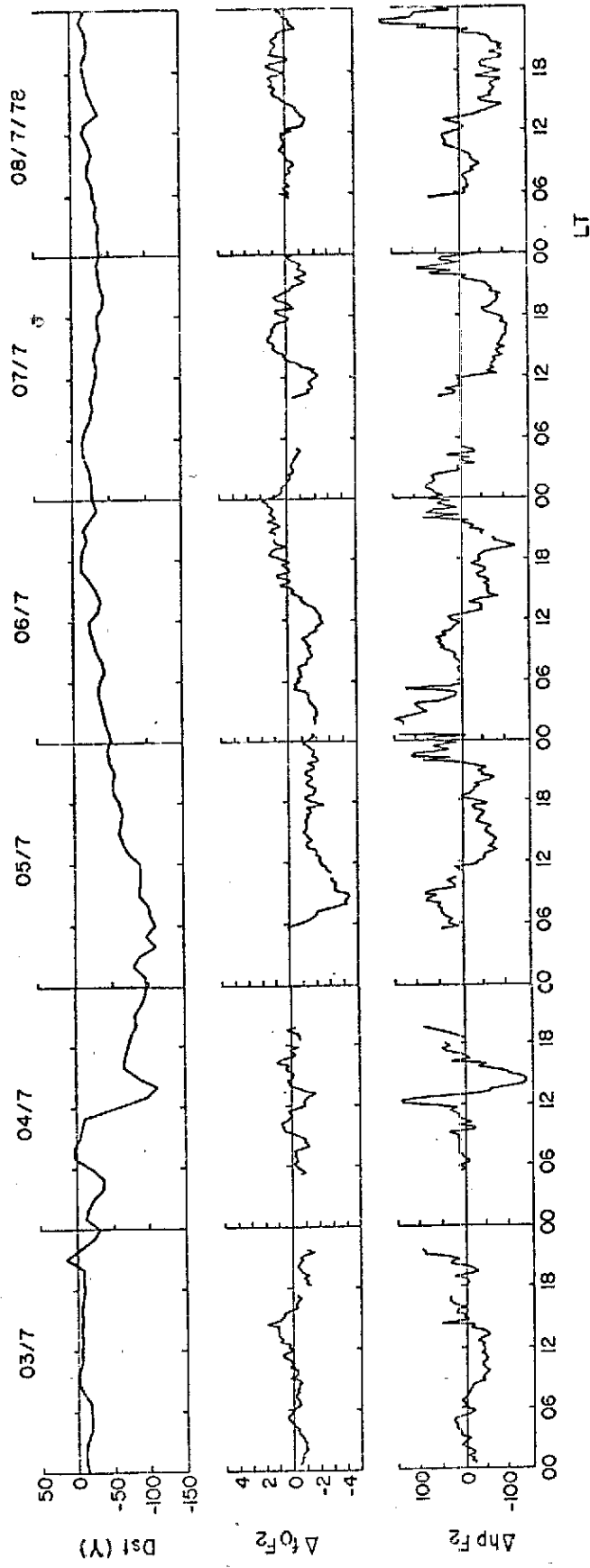


Fig. 4 -  $\Delta f_0 F_2$ ,  $\Delta h_p F_2$  e Dst para a tempestade magnética moderada de 3 a 8 de julho de 1978 em Fortaleza.

de intensidade, cuja recuperação ocorreu em 2 de julho; porém esta tempestade não apresentou uma fase negativa cujos efeitos predominassem sobre os efeitos positivos (que não ocorreram) durante a fase principal da tempestade apresentada na Figura 4. Ocorreram oscilações sistemáticas em  $h_p F_2$  na Figura 4, de 5 a 8 de julho, quando tal parâmetro apresentou desvios negativos, os quais indicam abaixamento da camada, entre aproximadamente 12 a 22 horas locais.

Um fato surpreendente é que em duas tempestades severas, em que a intensidade foi maior (em módulo) que  $-200\gamma$ , o efeito ionosférico não é bem definido. Um exemplo é a tempestade severa que se iniciou em 27 de agosto e se estendeu a 5 de setembro. A Figura 5a apresenta  $\Delta f_0 F_2$ ,  $\Delta h_p F_2$  e Dst de 27 a 31 de agosto e a Figura 5b apresenta mesmos parâmetro de 1 a 5 de setembro. Observa-se que efeito negativo não apareceu na fase de recuperação, surgindo um desvio negativo apenas durante poucas horas na fase principal da tempestade. Um efeito predominantemente positivo é observado mais tarde, de 31 de agosto a 5 de setembro. Observa-se também nas Figuras 5a e 5b que a camada F elevou-se sistematicamente a partir das 18 horas até aproximadamente a 00 hora.

Na figura 6 está apresentada a tempestade magnética fraca que se iniciou em 19 de julho, após um período de calma de 15 a 18 de junho, e se estende até 22 de junho. Observa-se que a resposta ionosférica é caracterizada apenas por desvios positivos em  $f_0 F_2$ .

### 3. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Pela análise do comportamento ionosférico durante as tempestades magnéticas que ocorreram em 1978 podemos obter as seguintes conclusões:

- 1) Durante a fase principal das tempestades de intensidade moderada a variação  $\Delta f_0 F_2$  mostra, principalmente, desvios positivos das condições calmas. Um desvio negativo de curta duração parece preceder esta fase positiva.



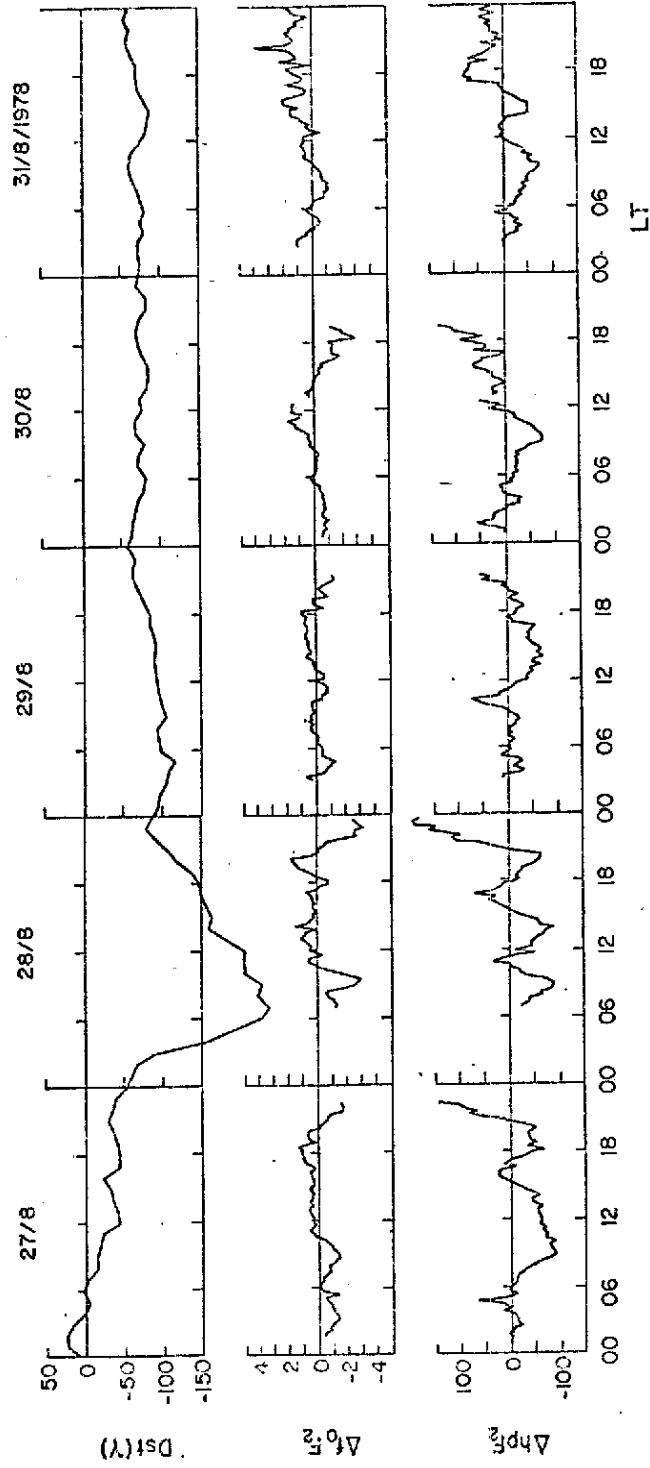


Fig. 5a -  $\Delta f_0 F_2$ ,  $\Delta hp F_2$  e Dst para a tempestade magnética severa que se iniciou em 27 de agosto de 1978 em Fortaleza.

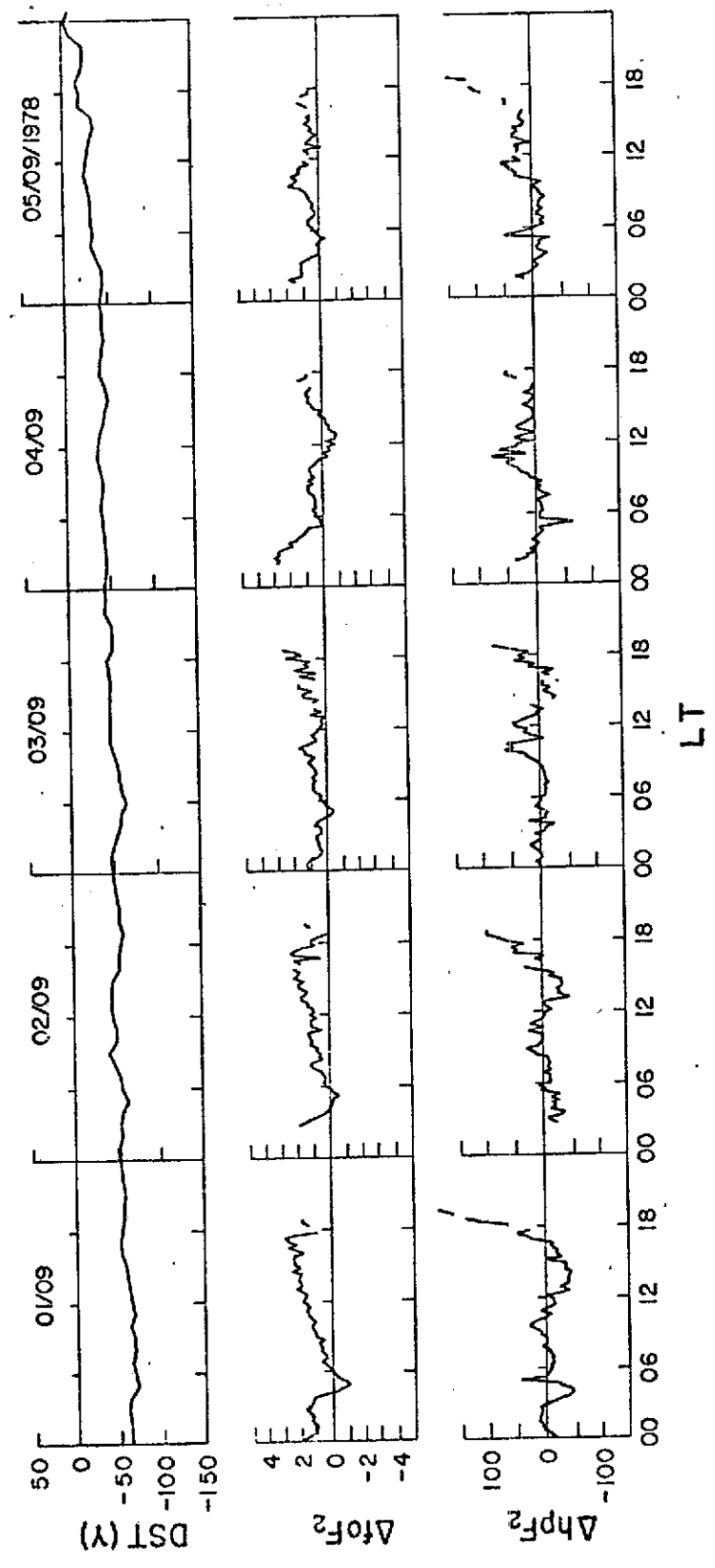


Fig. 5b - Continuação das curvas em 5a até 5 de setembro de 1978 em Fortaleza.

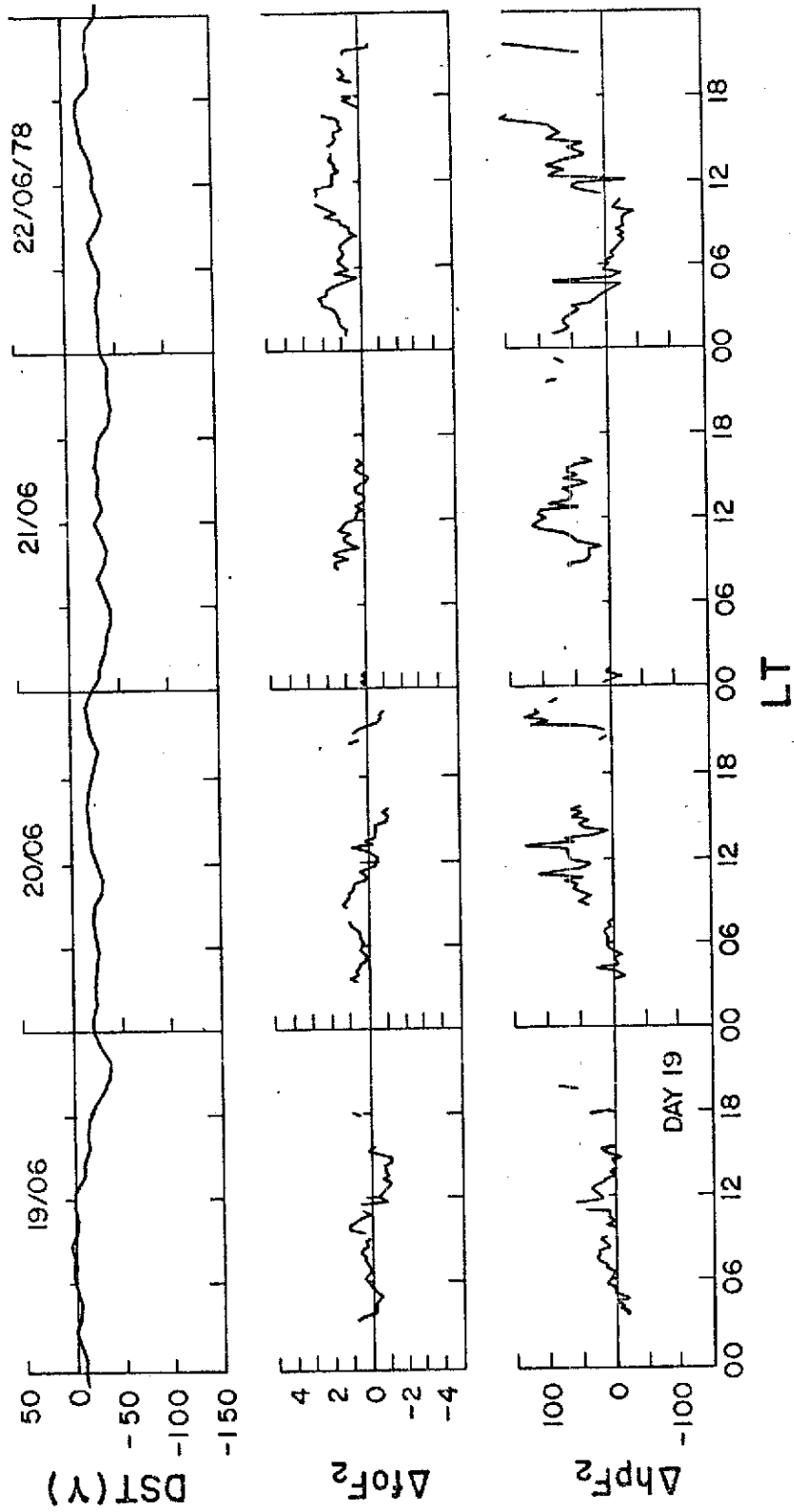


Fig. 6 -  $\Delta f_0F_2$ ,  $\Delta hpF_2$  e Dst para a tempestade magnética fraca de 19 a 22 de junho de 1978 em Fortaleza.

2) A fase de recuperação da tempestade é caracterizada principalmente por desvios negativos em  $f_0F_2$ , ou decréscimos na densidade eletrônica. Entretanto, esta fase negativa da resposta ionosférica às tempestades é relativamente mais frequente nos meses de inverno no Hemisfério Sul, ou seja, de maio a agosto, do que durante os outros meses.

3) Quando a atividade magnética é menor que moderada e é precedida por período de calma, a resposta ionosférica é caracterizada apenas por desvios positivos em  $f_0F_2$ .

4) Quando tempestades sucessivas ocorrem, a saber, ocorrência de uma segunda tempestade durante ou imediatamente seguindo a fase principal de uma tempestade prévia, a fase positiva esperada da segunda tempestade é inibida e o efeito devido à primeira tempestade domina a resposta ionosférica.

5) Durante tempestade severa que tem intensidade maior (em módulo) que  $-200\gamma$ , a resposta ionosférica não é bem definida durante a fase principal da tempestade. Efeito predominantemente positivo devido à tempestade é observado mais tarde, quando distúrbios Dst continuam mesmo depois da fase principal. Nas duas tempestades severas que foram analisadas, o efeito negativo da tempestade não foi observado durante a fase de recuperação.

Em latitudes médias observa-se, em geral, um efeito positivo durante a fase principal da tempestade, seguido por um efeito negativo durante a fase de recuperação. Acredita-se que esta fase positiva é devida a um vento termosférico que sopra dos pólos em direção ao equador, o qual é originado pelo gradiente de pressão termosférica que surge durante a fase inicial da tempestade. Este vento termosférico eleva a camada F para regiões onde a taxa de perda eletrônica é menor e, conseqüentemente, há um acréscimo na ionização (Jones and Rishbeth, 1971). Há uma maior concordância entre os pesquisadores para a explicação da fase negativa durante a fase de recuperação da tempestade. A maior parte dos trabalhos sugere que esta fase negativa é causada por mudanças

na composição termosférica (Prölss, 1980); a saber um decréscimo na razão  $|O|/|N_2|$  ocasionado pela chegada de uma frente de distúrbios a qual propaga-se em direção ao equador.

Na região equatorial, o desenvolvimento da anomalia equatorial fica inibido durante tempestades magnéticas devido ao enfraquecimento do campo elétrico equatorial (Woodman, 1970; Blanc and Richmond, 1980) ou devido aos ventos termosféricos que sopram em direção ao equador (Burge et al., 1973). Devido a tal inibição do efeito fonte, um efeito positivo na ionização da região F é observado durante tempestades. Também é sugerido por Papagiannis et al. (1971) que a ionização da plasmasfera pode descer para a ionosfera durante tempestades.

Acredita-se que o efeito negativo na região equatorial durante a fase de recuperação é devido ao decréscimo na razão  $|O|/|N_2|$  do ar termosférico, trazida dos pólos pela circulação termosférica, que se origina durante tempestades.

Foi observado por Turunen (1980) durante tempestades magnéticas bem severas um rápido decréscimo anômalo na frequência crítica da camada F ( $f_0F_2$ ) sobre a estação equatorial de Huancayo (12,0°S; 75,3°O) entre 10 e 14 horas local. Tal pesquisador sugere que o campo elétrico do sistema de corrente de Birkeland na zona auroral estende-se ao equador e temporariamente intensifica a anomalia equatorial na região F.

Seria de grande valia a medida de campos elétricos, ventos e velocidade de deriva de plasma, conteúdo eletrônico total e conteúdo plasmasférico na região ionosférica equatorial de Fortaleza, bem como em baixas latitudes, para se obter resultados mais conclusivos sobre o comportamento da região equatorial durante tempestades magnéticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLANC, M.; RICHMOND, A.D. The ionospheric disturbance dinamo. *Journal of Geophysical Research*, 85(4):1669-1686, Apr. 1980.
- BURGE, J.D.; ECCLES, D.; KING, J.W.; RUSTER, R. The effects of thermospheric winds on the ionosphere at low and middle latitudes during magnetic disturbances. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 35(4):617-623, 1973.
- DAVIES, K. Studies of ionospheric storms using a single model. *Journal of Geophysical Research*, 79(4):605-613, Feb. 1974.
- EVANS, J.V. The causes of storm-time increases of the F-layer at mid-latitudes. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 35(4):594-616, 1973.
- JONES, K.L.; RISHBETH, H. The origin of the storm increase of mid-latitude F-layer concentration. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 33(3):391-401, Mar. 1971.
- JONES, K.L. Wind, electric field and composition perturbations of the mid-latitude F-region during magnetic storms. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 35(8):1515-1527, Aug. 1973.
- MENDILLO, M. A study of the relationship between geomagnetic storms and ionospheric disturbances at mid-latitudes. *Planetary Space Science*, 21(3):349-358, Mar. 1973.
- PAPAGIANNIS, M.D.; MENDILLO, M.; KLOBUCHAR, J.A. Simultaneous stormtime increases of the ionospheric total electron content and the geomagnetic field in the dusk sector. *Planetary Space Science*, 19(5):503-511, 1971.
- PRÖLSS, G.W. Magnetic storm associated perturbations of the upper atmosphere: recent results obtained by satellite-borne gas analyzers. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 18(1):183-202, Feb. 1980.

- RAJARAM, G. Structure of the equatorial F-region topside and bottomside. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 39(9/10):1125-1144, Sep./Oct. 1977.
- RISHBETH, H. Thermospheric wind and the F-region: a review. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 34(1):1-47, 1974.
- RISHBETH, H. F-region storm and thermospheric circulations. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 37(6/7):1055-1064, Jun./Jul. 1975.
- TANAKA, T. Severe ionospheric disturbances caused by the sudden response of evening subequatorial ionospheres to geomagnetic storms. *Journal of Geophysical Research*, 86(13):11.335-11.349, Dec. 1981.
- TURUNEN, T. Examples of the influence of strong magnetic storms on the equatorial F-layer. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 42:323-330, Apr. 1980.
- WOODMAN, R.F. Vertical drift velocities and east-west electric fields at the magnetic equator. *Journal of Geophysical Research*, 75(31): 6249-6259, Nov. 1970.