

ESTUDO ESTATÍSTICO DA OCORRÊNCIA DO “SPREAD-F” ATRAVÉS DOS DADOS COLETADOS POR IONOSSONDA DIGITAL

Rosália Gomes Francisco¹, Fábio Becker Guedes²

¹ Aluna (Mestrado em Física e Astronomia), Universidade do Vale do Paraíba, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova, São José dos Campos, SP, 12244-000, email: rosa.gf10@yahoo.com.br

² Orientador, Avenida Shishima Hifumi, 2911, São José dos Campos, SP, 12244-000

Palavras-chave: Ionosfera, Spread-F, Ionossonda.

Área do Conhecimento: I - Ciências Exatas e da Terra.

Resumo - Este trabalho tem como objetivo estudar a ocorrência do fenômeno ionosférico conhecido como “Spread-F” (ESF), a partir de 2002 em São José dos Campos (SP) e Palmas (TO). Consideramos três tipos de classificação do ESF, amplitude ou *range*, frequência e misto. Os dados utilizados são obtidos através de monitoramentos ionosféricos realizados por duas ionossondas digitais. A análise desses dados é feita considerando-se os dias e horários de ocorrência de cada um dos 3 tipos de espalhamento entre 2002 e 2006 para as duas estações. Em cima destes resultados análises estatísticas são realizadas. Em geral, observa-se que, independentemente das condições geomagnéticas, os meses de verão apresentam o maior percentual de ocorrência de ESF tipo *range*. A análise de dados mostrou uma alta porcentagem de ocorrência de ESF tipo frequência em São José dos Campos em quase todos os meses do ano.

Introdução

O fenômeno no qual irregularidades no plasma ionosférico produzem espalhamento nos sinais obtidos através de rádio-sondagem é conhecido como “Spread-F” (ESF) ou, simplesmente, espalhamento. Este é um fenômeno que ocorre à noite, e normalmente o seu começo alcança um máximo em intensidade durante horas antes da meia-noite, seguindo para uma fase de decadência que pode chegar até o amanhecer. Geralmente a localização de ESF é limitada a baixas latitudes em torno do equador magnético (KELLEY; 1989).

A importância tecnológica de um estudo estatístico da ocorrência do ESF reside no fato que o espalhamento pode produzir interferências danosas em rádio comunicações e transmissão de dados, que utilizam a ionosfera como agente refletor ou como meio de propagação.

Para realizar este estudo foram analisados os sinais obtidos por ionossondas digitais. Um exemplo típico de sinal de saída deste equipamento, o ionograma, é mostrado na figura 1, onde pode-se observar a altura virtual da onda refletida pela ionosfera em função da sua frequência, que varia entre 1,5 e 20 MHz.

O estudo é feito com medições obtidas a partir de 2002 em São José dos Campos-SP (SJC) (23.2°S, 45.9°W; Dip Latitude 17,6°S) e Palmas-TO (PAL) (10.3°S, 48.3°W; Dip Latitude 5,5°S). A importância de se utilizar essas duas estações reside no fato de que o espalhamento inicia-se no equador geomagnético e se propaga para baixas e médias latitudes (ABDU; 1993), dependendo das condições fornecidas pelo clima espacial. A figura

2 mostra os dois sítios de observação, onde observa-se que PAL é uma estação muito próxima do equador geomagnético e SJC encontra-se na região de baixas latitudes.

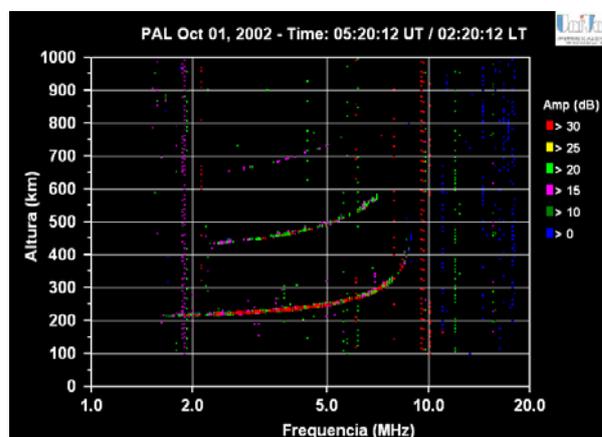


Figura 1 - Exemplo típico de ionograma (sem ESF) do dia 1º de outubro de 2002 às 05:20:12 UT (hora universal) em Palmas. A curva que está acima de 400 km é a segunda reflexão do sinal (ionograma) abaixo.

No setor abrangido por este estudo é natural a ocorrência de ESF do tipo R no verão durante períodos calmos, enquanto que no inverno esse fenômeno dificilmente ocorre. A situação é invertida quando se está em períodos geomagneticamente perturbados. Assim, nessas condições a ocorrência de ESF (R) é inibida no verão e estimulada no inverno (BECKER-GUEDES et al.; 2004).

Neste trabalho estudamos a ocorrência do ESF tanto em dias calmos como em dias geomagneticamente perturbados utilizando três tipos de classificação do espalhamento. Este pode

ser em: amplitude ou *range* (R), em frequência (F) ou misto (M).



Figura 2 - Localização geográfica da ionossonda digital na região de S.J.Campos e Palmas.

O fenômeno ESF do tipo R é relacionado com irregularidades ionosféricas de larga escala e manifesta-se no ionograma através de um espalhamento do sinal no sentido vertical, ao longo da altura de emissão (figura 3). Este é o tipo mais estudado por estar relacionado com grandes depleções no plasma ionosférico (e.g., ABDU; 2001).

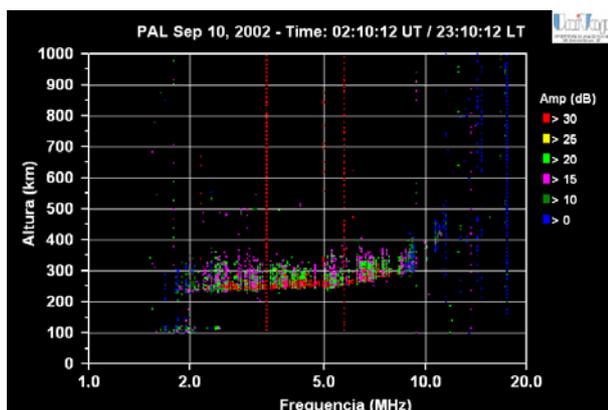


Figura 3 - Representação do espalhamento (ESF) do tipo amplitude (R) em Palmas (PAL) no dia 10 de setembro de 2002 às 02:10:12 UT (hora universal).

O ESF tipo F surge como um espalhamento em altas frequências no ionograma (figura 4) e está relacionado com irregularidades ionosféricas de pequena escala.

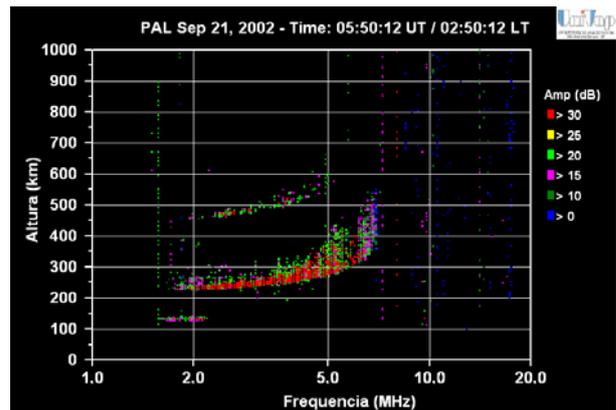


Figura 4 - Representação do espalhamento (ESF) do tipo frequência (F) em Palmas (PAL) no dia 21 de setembro de 2002 às 05:50:12 UT (hora universal).

Em muitos casos, o espalhamento F surge imediatamente após um período em que foi observado ESF do tipo R, com poucos minutos de ocorrência ao mesmo tempo. Já em outras situações fica muito difícil separar as manifestações em apenas R ou F, quando, então, chamamos o fenômeno de espalhamento misto (M), figura 5.

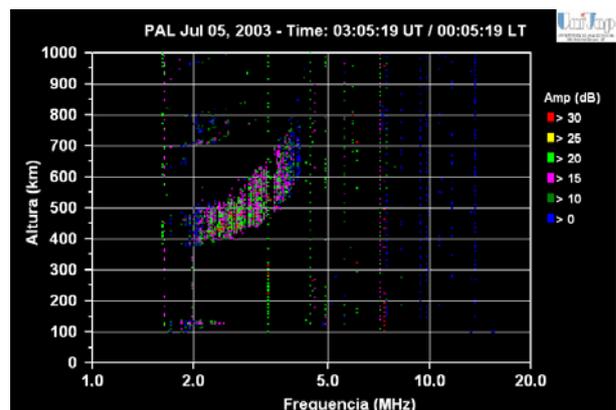


Figura 5 - Representação do espalhamento (ESF) do tipo misto (M) em Palmas (PAL) no dia 05 de julho de 2003 às 03:05:19 UT (hora universal).

Neste trabalho, obteve-se o período de ocorrência do ESF, tomando-se o cuidado para classificar os dias e horários de ocorrência de cada um dos 3 tipos de espalhamento independentemente, dando a atenção também para os ESFs do tipo F e M.

Materiais e Métodos

O método empregado neste estudo consiste na utilização dos dados dos monitoramentos ionosféricos de PAL e SJC para classificação e catalogação dos dias e horários de ocorrência de cada um dos 3 tipos de espalhamentos.

Um exemplo típico dessa primeira etapa de classificação está mostrado na figura 6. Nesta

figura são apresentados os três tipos de Spread F para o mês de ocorrência dezembro de 2006 em SJC. A parte negativa no gráfico que representa a hora universal refere-se ao período noturno das 22:00 UT até 24:00 UT, e a parte positiva refere-se a hora universal de 00:00 UT até 21:00 UT.

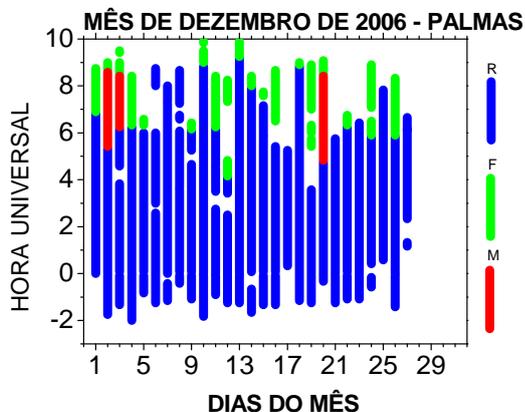


Figura 6 – Estatística mensal de ocorrência do Spread-F para o mês de dezembro de 2006 em Palmas em função do horário de ocorrência e do tipo de espalhamento (as horas negativas significam horários antes do início do dia universal representado no eixo horizontal).

Cada tipo de Spread-F foi analisado e classificado como fraco médio e forte, dependendo da intensidade. Esta classificação não é apresentada aqui. Este mesmo procedimento foi feito para todos os meses desde 2002, para as duas estações. Em seguida, iniciou-se o processo de avaliação estatística das ocorrências.

Resultados

A tabela 1 mostra o resultado estatístico para a ocorrência dos 3 tipos de ESF no ano de 2006 em PAL. O mesmo é mostrado para SJC na tabela 2. O número entre parênteses logo após a indicação do mês representa o número de dias avaliados. As porcentagens de ESF tipo R e F foram obtidas somando-se a ocorrência de cada tipo no mês mais a ocorrência do tipo M. Na última coluna está indicado o percentual de ocorrência apenas do espalhamento misto.

A figura 7 mostra os resultados da tabela 1 em forma de curvas onde pode se observar a variação percentual de ocorrência, em função do mês do ano, para cada tipo de espalhamento.

Em uma primeira análise, observa-se que os meses de verão apresentam maior ocorrência de espalhamento tipo R em PAL, enquanto que o ESF tipo F apresenta queda neste período. Além disso, o percentual de ocorrência de espalhamento tipo F é sempre menor que o do tipo R ao longo de todo o ano.

Tabela 1. Resultado estatístico da ocorrência dos espalhamentos em amplitude (R), frequência (F) e misto (M) em Palmas no ano de 2006.

PALMAS			
2006	ESPALHAMENTO (%)		
MÊS	R	F	M
JAN. (15)	100	47	33
FEV. (00)	-	-	-
MAR. (00)	-	-	-
ABR. (02)	10	100	100
MAI. (14)	86	79	71
JUN. (15)	80	80	60
JUL. (16)	94	75	62
AGO. (15)	87	67	60
SET. (04)	75	75	50
OUT. (13)	100	85	38
NOV. (11)	100	63	9
DEZ. (27)	100	48	11

Tabela 2. Resultado estatístico da ocorrência dos espalhamentos em amplitude (R), frequência (F) e misto (M) em S. J. Campos no ano de 2006.

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS			
2006	ESPALHAMENTO (%)		
MÊS	R	F	M
JAN. (18)	89	89	56
FEV. (16)	100	81	75
MAR. (27)	89	96	74
ABR. (16)	81	81	56
MAI. (14)	57	100	50
JUN. (20)	75	85	60
JUL. (17)	47	59	6
AGO. (20)	80	80	65
SET. (08)	100	100	100
OUT. (12)	100	92	83
NOV. (10)	70	90	1
DEZ. (26)	77	96	73

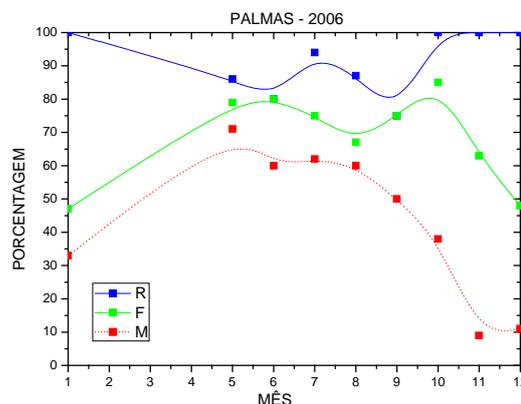


Figura 7 – Estatística mensal de ocorrência de cada tipo de espalhamento em Palmas de acordo com a tabela 1.

A figura 8 mostra os resultados da tabela 2 para SJC da mesma forma que a figura 7 mostrou para PAL. Uma análise da figura 8 mostra que a

variabilidade de ocorrência de espalhamentos do tipo R, podendo chegar a menos de 50% no inverno. Além disso, entre março e agosto, e em novembro e dezembro, o ESF tipo F aparece mais vezes que o do tipo R, fenômeno que nunca ocorreu em PAL durante este ano (figura 7).

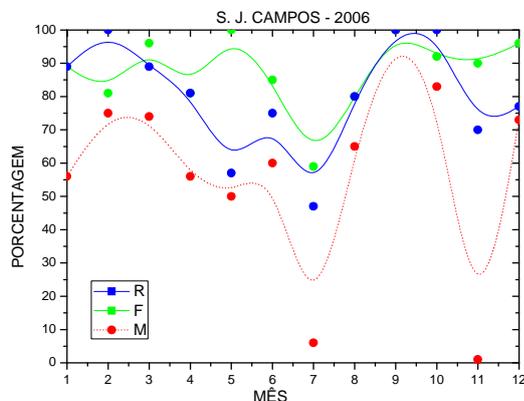


Figura 8 – Estatística mensal de ocorrência de cada tipo de espalhamento em S. J. Campos de acordo com a tabela 2.

A alta variabilidade de ocorrência percentual de espalhamento em SJC também é evidenciada pela frequência das oscilações na curva do ESF tipo M na figura 8, que é muito maior do que a variabilidade observada em PAL.

Em janeiro e dezembro de 2006 aparecem a maior diferença percentual de ocorrência de espalhamentos do tipo R e F em Palmas, sendo o dobro a ocorrência de ESF tipo R. Já em SJC a maior diferença está no mês de maio, quando o espalhamento tipo R tem quase metade do percentual de ocorrências que apresenta do ESF tipo F.

Conclusão

Os resultados apresentados para o ano de 2006 mostram que existem mais meses com grande ocorrência de ESF tipo R na estação de Palmas. Isso confirma a relação do ESF tipo R com irregularidades de plasmas de grande escala que começam no equador magnético, como era de se esperar. O interessante é que em São José dos Campos fica evidente o grande percentual de ocorrência de espalhamento tipo F durante quase todos os meses do ano, com uma média superior à do percentual de espalhamento tipo R. Considerando que em baixas latitudes espera-se que o ESF tipo F se manifeste após a ocorrência de irregularidades de grande escala vindas do equador associadas com ESF tipo R, pode-se concluir que outros mecanismos estão atuando

para gerar espalhamentos tipo F em baixas latitudes.

Resultados similares estão sendo encontrados nos outros anos, e outras análises, como a estatística do horário de aparecimento dos espalhamentos, também estão sendo realizadas.

Referências

- ABDU, M.A.: *Equatorial Spread F and ionosphere – thermosphere system: A review*. Trends in Geophys.Res.,2 (1993).
- ABDU, M.A, *Outstanding problems in the equatorial ionosphere - thermosphere electrodynamic relevant to spread F*, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 63 869-884 (2001).
- BECKER-GUEDES, F.; SAHAI,Y.; FAGUNDES, P.R.; LIMA, W.L.C.; PILLAT, V.G.; ABALDE, J.R.; BITTENCOURT, J.A.; *Geomagnetic Storm and Equatorial Spread-F*. Annales Geophysicae 22:3231-3239 (2004).
- KELLEY, M.C., *The Earth's Ionosphere: Plasma Physics and electrodynamic*, Vol.43, p.113-182 (1989).