

VARIAÇÃO SAZONAL DA CAMADA-E ESPORÁDICA NA REGIÃO EQUATORIAL E DE BAIXA LATITUDE NO SETOR BRASILEIRO

Artur Cristiano Arantes Filho¹, Yogeshwar Sahai²

¹ Bolsista, CNPq, Universidade do Vale do Paraíba/IP&D, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova, São José dos Campos, SP, 12244-000, e-mail: artur_arantes@hotmail.com

² Orientador, Universidade do Vale do Paraíba/IP&D, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova, São José dos Campos, SP, 12244-000, e-mail: sahai@univap.br

Resumo - Este trabalho tem a finalidade de estudar a ocorrência e a variação sazonal da camada-E esporádica ("sporadic-E (Es)") observado em Palmas (PAL, 10,2°S, 48,2°O), perto do equador magnético, e São José dos Campos (SJC, 23,2°S, 45,9°O), localizada na região de anomalia equatorial ionosférica. Os dados referentes à Es são adquiridos a partir de ionossondas digitais em operação rotineira em PAL e SJC. Os períodos investigados são de solstício de inverno (Julho 2003), equinócio de primavera (Outubro 2003), solstício de verão (Janeiro 2004) e equinócio de outono (Abril 2004). Nesse estudo foram utilizados apenas dados de dias geomagneticamente calmos ("quiet days"), no intervalo de tempo com início às 18 horas e término às 6 horas do dia seguinte, em LT ("local time"). Pode-se mencionar que as ocorrências de Es foram muito baixas durante o dia. A variação sazonal estudada indica máxima presença simultânea de Es em PAL e SJC durante o solstício de inverno.

Palavras-chave: Camada-E esporádica, Esporádica em baixas latitudes, Ionossonda Digital, Es
Área do Conhecimento: I - Ciências Exatas e da Terra

Introdução

Em 1902, Oliver Heaviside sugeriu a existência de uma camada contida na alta atmosfera onde nela existiam cargas elétricas livres que causavam reflexão das ondas de rádio partidas da terra, em 1926 essa camada recebeu o nome de Ionosfera, termo sugerido por R.A. Watson-Watt. Essa é uma região da atmosfera terrestre formada pela interação dos átomos e moléculas neutras existentes com as fontes ionizantes solares e cósmicas resultando em um plasma com aproximadamente 1% de parte ionizada, que é chamado de plasma ionosférico.

A Ionosfera mostrada na Figura 1 é um constituinte minoritário da atmosfera terrestre, sua massa é desprezível se comparada com a massa da atmosfera não ionizada, ela está localizada na parte superior da atmosfera terrestre (mesosfera e termosfera), entre 70 km e 1000 km.

A formação da Ionosfera é devida basicamente pela ação das fontes ionizantes solares, essas fontes consistem de radiação solar na faixa do espectro do extremo ultravioleta (EUV) e raios X, que são absorvidas pelos átomos e moléculas existentes na parte onde se localiza a ionosfera.

Os fotoelétrons, gerado pelo processo de fotoionização, possuem energia suficiente para separar-se do átomo neutro, tornando-o um íon e assim é gerado o par fotoelétron/íon. O fotoelétron perde energia, e em subsequente equilíbrio térmico, compõe junto com o íon livre, o plasma ionosférico, que consiste da mistura de cargas negativas (elétrons) e cargas positivas (íons).

Na Ionosfera a densidade de elétrons livres é variável de acordo com os diversos componentes químicos presentes, isso resulta na existência de diferentes camadas ou regiões contidas na ionosfera. Essas camadas são divididas em: camada-D, localizada entre 70 e 90 km de altitude; camada-E, localizada entre 90 e 150 km de altitude; camada-F1, localizada entre 150 e 200

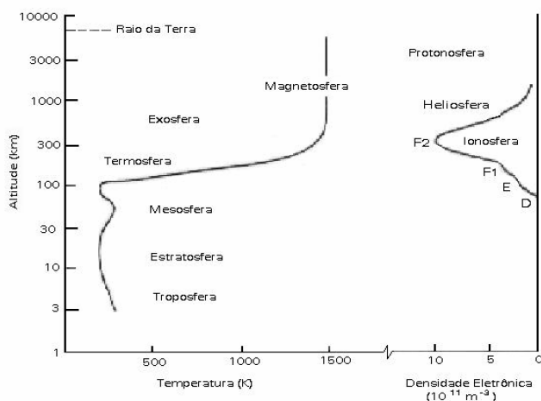


Fig.1- Regiões da atmosfera terrestre com os nomes convencionais descrevendo as camadas. O perfil de temperatura foi fornecido pela "US Standard Atmosphere" e o perfil da densidade eletrônica é uma média para as condições diurnas e médias latitudes.

km de altitude; camada-F2, localizada entre 200 e 1000 km de altitude, essa divisão pode ser observada na Figura 1. Pode-se mencionar que durante a noite só existe a camada-F2.

A camada-E possui a característica de se formar durante o dia e se mantém ao longo dele, mas durante a noite a camada-E acaba se dissipando e desaparecendo.

Inserido na camada-E surge um realce com uma maior ionização, o fenômeno ocorre esporadicamente entre as alturas de 90 e 120 km com a característica de ser muito estreito, aproximadamente 0,6 a 2 km de largura e pode ser observado em todas as latitudes. Os íons preliminares são metálicos (Fe, Mg), os átomos neutros do metal são criados durante a ablação, e sua ionização subsequente através da fotoionização e da troca de carga, resultando em íons metálicos ("long-lived").

Esse fenômeno chamado de camada-E esporádica ("sporadic-E (Es)") aparece em forma de manchas desiguais com uma ionização excepcionalmente alta (densas) na ionosfera, esse evento exerce uma forte influência na propagação de radio comunicação em diversas frequências. A sua ocorrência é um fator complexo, por ser altamente irregular, instável e de difícil previsão. Essa dificuldade na compreensão da Es faz com que estudos sejam voltados para esse tema, com o intuito de analisá-la.

Materiais e Métodos

Os dados utilizados nesse artigo foram extraídos de ionossondas, que é um instrumento utilizado para estudos referentes à camada ionizada (ionosfera). A ionossonda é um radar, e seu funcionamento basicamente está relacionado com a emissão de ondas eletromagnéticas na faixa de radio frequência de 1MHz a 20MHz.

A onda eletromagnética só se propaga no meio ionizado quando sua frequência é maior que a frequência do plasma ionosférico.

O pulso eletromagnético partido da ionossonda vai se propagar no meio ionizado até encontrar uma região da ionosfera com uma frequência de plasma maior ou igual a sua, quando isso ocorrer há a reflexão desse pulso eletromagnético.

Assim, com a varredura feita em frequências de pulsos eletromagnéticos e com o conhecimento do intervalo de tempo de espera para a reflexão desses, é possível recolher informações referentes ao perfil vertical da densidade eletrônica da ionosfera e a altitude entre a superfície onde se encontra a ionossonda e a região de reflexão.

Essas informações são transmitidas e interpretadas no programa UDIDA (Univap Digital Ionosonde Data Analysis) na forma de gráficos, denominados ionogramas.

A partir desses ionogramas, a Es é identificada observando a hora, dia e mês de suas ocorrências (ver Figura 2).

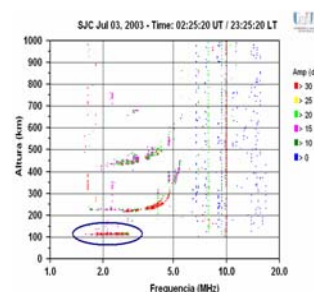


Fig.2 - Ionograma correspondente a São José dos Campos em 3 de Julho de 2003 às 2:25 UT ("universal time") e 23:25 LT ("local time"). O eixo x do gráfico é dado pela frequência de reflexão e o eixo y pela altura virtual correspondente a cada camada da ionosfera. A camada-E esporádica (Es) é identificada pela elipse em AZUL.

Resultados

O estudo desse trabalho tomou como base a identificação da Es nos meses de Julho 2003, Outubro 2003, Janeiro 2004 e Abril 2004 em São José dos Campos (SJC, 23,2°S, 45,9°O), localizada na região de anomalia equatorial ionosférica, e Palmas (PAL, 10,2°S, 48,2°O), próximo ao equador magnético. Os dados obtidos da ocorrência de esporádica passaram por uma apuração, eliminando os dias em que existiram falhas de funcionamento da ionossonda.

O intervalo de tempo utilizado na identificação da Es foi de 12 horas dado em LT ("local time"), com início às 18 horas e término às 6 horas do dia seguinte, que corresponde à faixa de 18 e 30 horas na Figura 3 e 4. O intervalo entre 6 e 18 horas (durante o dia) não foi utilizado, pois as ocorrências de Es foram muito baixas nesse período.

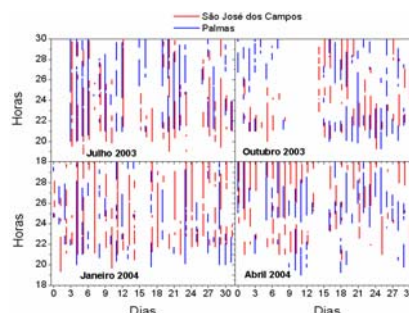


Fig.3 - Exibição da ocorrência da esporádica em função dos dias, no intervalo de tempo com início às 18 horas e término às 6 horas do dia seguinte (correspondendo à faixa de 18 e 30 horas), nos respectivos meses de Julho 2003, Outubro 2003, Janeiro 2004 e Abril 2004.

A partir dos resultados obtidos, foi feita uma seleção, com o objetivo de indicar a Es apenas nos dias de atividade geomagnética calma de cada mês (“quiet days”), excluindo qualquer possibilidade de interferência. A escolha desses dias foi feita com base nos estudos fornecidos pela International Service of Geomagnetic Índices [1]. Com isso a Figura 4 apresenta a Es apenas em seus respectivos dias de atividade geomagnética calma.

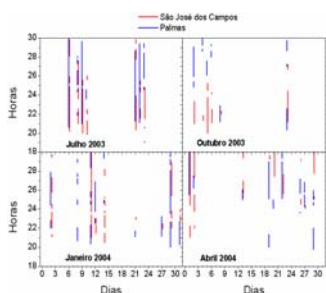


Fig.4 - Exibição da ocorrência da esporádica em função dos dias com atividade geomagnética calma (quiet days), no intervalo de tempo com início às 18 horas e termino às 6 horas do dia seguinte (correspondendo à faixa de 18 e 30 horas), nos respectivos meses de Julho 2003, Outubro 2003, Janeiro 2004 e Abril 2004.

A Figura 5 apresenta em porcentagem a ocorrência da Es em São José dos Campos e Palmas no período de atividade geomagnética calma e com investigações realizadas entre 18 e 6 horas do dia seguinte LT (“local time”) nos meses de Julho 2003, Outubro 2003, Janeiro 2004 e Abril 2004.

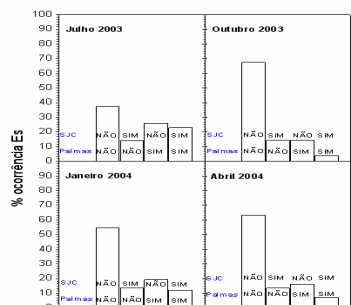


Fig.5 - Porcentagem de ocorrência de Es em São José dos Campos e Palmas, no período de atividade geomagnética calma, com investigações realizadas entre 18 e 6 horas do dia seguinte em LT, nos meses de Julho 2003, Outubro 2003, Janeiro 2004 e Abril 2004.

Para uma melhor visualização dos resultados a Tabela 1 interpreta os dados da Figura 5.

	Julho 2003	Outubro 2003	Janeiro 2004	Abril 2004
Sem ocorrência de Es	37,31%	67,47%	54,77%	63,19%
Ocorrência de Es apenas em São José dos Campos	13,89%	14,24%	13,8%	13,5%
Ocorrência de Es apenas em Palmas	26%	14,47%	19,27%	16,13%
Ocorrência de Es simultaneamente em São José dos Campos e Palmas	22,8%	3,82%	12,16%	7,18%

Tabela 1 - Porcentagem de ocorrência de Es em São José dos Campos e Palmas, no período de atividade geomagnética calma, com investigações realizadas entre 18 horas e 6 horas do dia seguinte em LT, nos meses de Julho 2003, Outubro 2003, Janeiro 2004 e Abril 2004.

Discussão

A partir das anotações da Figura 4 é possível visualizar no mês de solstício de inverno (Julho 2003) uma maior ocorrência da Es na região de Palmas – Tocantins, em comparação a região de São José dos Campos – São Paulo. Esse mesmo fato se repete no solstício de verão (Janeiro 2004). Nos equinócios de primavera e outono (Outubro 2003, Abril 2004 respectivamente) as ocorrências de Es nessas localidades se mantêm próximas, não havendo uma proeminência considerável entre elas (regiões).

Nesses meses analisados também é possível observar que, a ocorrência de Es na região de São José dos Campos é mantida praticamente constante, já na região de Palmas, as maiores incidências de Es surgem nos períodos de solstícios, com destaque em Julho 2003 onde aponta o seu maior percentual de ocorrência. Esses resultados podem ser visualizados com clareza na Tabela 1.

Já na Figura 5 é possível notar a maior aparição conjunta (simultânea) de Es no solstício de inverno (Julho 2003).

Assim, por observação comparativa entre as tabelas nota-se que a maior ocorrência de Es dá-se no solstício de inverno e inversamente, a menor ocorrência apresenta-se no equinócio de primavera.

É evidente o comparativo entre os solstícios e os equinócios por visualização comparativa entre as figuras 4 e 5 apresentadas. Notando-se uma maior presença de Es nos solstícios.

As proximidades nos resultados apresentados nesse trabalho podem ser ressaltadas e comparadas com o artigo referente ao ano de 1958, “The Occurrence of Sporadic E during the IGY” por Leighton, H. I. Onde as ocorrências da Es no território brasileiro na região de Palmas e São José dos Campos surgem com valores em torno de 20% nos solstícios e 10% nos

equinócios, ambos durante a noite, esse evento pode ser observado nas Figuras 6 e 7 extraídas do artigo citado acima. Com base nessas Figuras (6 e 7) é possível uma comparação e observação, nas proximidades de valores das ocorrências de Es, com a Figura 5 e Tabela 1.

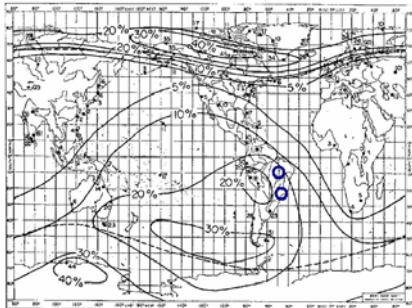


Fig.6 - A figura mostra em porcentagem do tempo noturno (18 horas às 6 horas – Hora Local) a ocorrência da camada Es nos solstícios de Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro no ano de 1958. FONTE: Artigo – LEIGHTON, H. I. (et al) "The Occurrence of Sporadic E during the IGY" Livro – SMITH JR, E. K. and MATSUSHITA, S. "International Series of Monographs on Electromagnetic Waves" [3] pág.169. As regiões estudadas são identificadas pelos círculos em AZUL

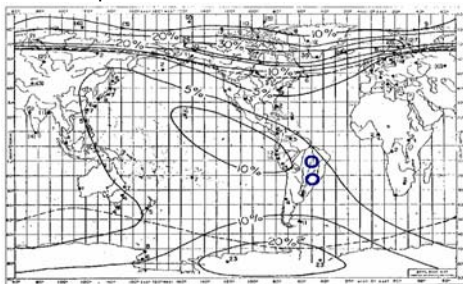


Fig.7 - A figura mostra em porcentagem do tempo noturno (18 horas às 6 horas – Hora Local) a ocorrência da camada Es nos equinócios de Março, Abril, Setembro e Outubro no ano de 1958. FONTE: Artigo – LEIGHTON, H. I. (et al) "The Occurrence of Sporadic E during the IGY" Livro – SMITH JR, E. K. and MATSUSHITA, S. "International Series of Monographs on Electromagnetic Waves" [3] pág.168. As regiões estudadas são identificadas pelos círculos em AZUL

Esse fato aponta que não houve mudanças consideráveis na Es durante esses anos passados, e torna a enfatizar os resultados da Tabela 1.

Conclusão

O trabalho apresentou informações referentes ao surgimento da camada-E esporádica nas localidades de Palmas (PAL, 10,2°S, 48,2°O) próximo ao equador magnético, e São José dos Campos (SJC, 23,2°S, 45,9°O) localizada na região de anomalia equatorial ionosférica. Assim, estudos foram realizados com o intuito de buscar uma melhor compreensão desse surgimento. Com base em visualizações feitas em ionogramas e análises desses dados é possível expor que há uma maior aparição conjunta (simultânea em São José dos Campos e Palmas) de Es no solstício de

inverno, a menor aparição conjunta de Es ocorre no equinócio de primavera.

Maiores surgimentos de Es perto do equador magnético nos períodos de solstícios. Na região de anomalia equatorial é possível notar uma constância nas aparições de Es. Foi possível notar também uma grande presença da esporádica no mês de Julho 2003, já a menor presença é notada no mês de Outubro 2003.

O solstício apresenta uma maior presença de Es em comparação ao Equinócio, resultados esses comparados com artigo "The Occurrence of Sporadic E during the IGY" de 1958, mostrando uma proximidade considerável dos resultados.

A partir desses fatos é possível perceber que a aparição de Es aparenta estar mais ligada aos períodos de solstícios.

Referências

- International Service of Geomagnetism Indices, Internet site address: <http://isgi.cetp.ipsl.fr/> acessado em 15/03/2007
- RISHBETH, Henry and GARRIOT, Owen K. "Introduction to Ionospheric Physics". Academic Press LTD, 1969.
- SMITH JR., Ernest K. and MATSUSHITA, Sadami "International Series of Monographs on Electromagnetic Waves". The Macmillan Company 1962.
- MITRA, S.K. "The Upper Atmosphere". The Asiatic Society Monograph Series Vol. V.
- SILVA, A.V.R. "Nossa estrela: o Sol". São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.
- HAWK, Michael. "Mid-Latitude Sporadic-E—A Review" - Novembro 12, 2001
- JAYACHANDRAN, P. T. [et al]. "Sequential sporadic-E layers at low latitudes in the Indian sector": 24 August 1998 - Ann. Geophysicae 17, 519 525 (1999).
- PETRUKHIN, V.F. [et. al] "Variations of yearly mean values of effective heights for the ionospheric sporadic E-layer" - Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS. 664033 Irkutsk-33, p/b 4026.
- [9] SCHUNK, Robert W. and NAGY, Andrew F. "Ionospheres - Physics, Plasma Physics, and Chemistry". Cambridge Atmospheric and Space Science Series - 2000