

COMPARAÇÃO DO MODELO IRI-79 PARA A BAIXA IONOSFERA COM DADOS DE REFLETIVIDADE DE LF/VLF

MARIA SUELI DA SILVEIRA MACEDO MOURA e
JOSÉ RONALDO CANTUSIO ABRAHÃO

*Centro Técnico Aeroespacial
Instituto de Atividades Espaciais
12.225 - São José dos Campos, SP, Brasil*

Reflectivity data of the lower ionosphere in the region of the South Atlantic Geomagnetic Anomaly were collected by an oblique ionosonde of Low/Very Low Frequency, between August 1980 and July 1981. Reflection heights and coefficients of the lower ionosphere were obtained by processing the data according to the methods described by Lewis et al., 1973. Average reflection heights and coefficients were calculated for each month of the period. Reflection heights and coefficients corresponding to the IRI-79 model, for each month of the period, were calculated by applying full wave calculations to the model. A comparison between the reflection heights and coefficients obtained through the model shows that the IRI-79 model can well represent the lower ionosphere in the region of the South Atlantic Geomagnetic Anomaly, from middle local autumn to middle local winter (from May to July) but it is not so good to represent the lower ionosphere for the period between August to April.

INTRODUÇÃO

Informações sobre a ionosfera na região da Anomalia Geomagnética do Atlântico Sul (SAGA), até o presente, são bastante escassas. Em particular, estudos experimentais de perfis de densidade de elétrons na Camada D, na região da Anomalia são bastante escassos devido às dificuldades de se obter medidas na baixa ionosfera.

Existem alguns trabalhos publicados sobre a precipitação de partículas em baixas latitudes (Paulikas, 1975) e sobre efeitos aeronômicos da Anomalia (Gledhill, 1976). Outros estudos foram feitos sobre a influência da Anomalia na ionosfera (Mendonça, 1965; Mendes et al., 1970; Martin et al., 1973; Abdu et al., 1973; Gough, 1975; Abdu & Batista, 1977). Entretanto até agora não se chegou a uma conclusão sobre o perfil de densidade de elétrons da baixa ionosfera nesta região.

Este trabalho descreve estudos da baixa ionosfera utilizando dados de refletividade de LF/VLF obtidos durante o período de agosto de 1980 a julho de 1981, com uma Ionosonda oblíqua, e a comparação dos dados obtidos desses estudos com os dados obtidos do Modelo IRI (International Reference Ionosphere), versão 1979.

TÉCNICA EXPERIMENTAL

A técnica aqui utilizada, foi desenvolvida pelo AF-CRL (Air Force Cambridge Research Laboratories), da Força Aérea Americana em 1960 (Lewis, 1960; Lewis et al., 1965; 1973). Consiste na transmissão em 37 kHz de pulsos de muito curta duração (54 μ s), com um período entre pulsos de 1263 μ s, através de uma antena vertical de 130 m de altura e a recepção desses pulsos a uma certa distância do transmissor. No período em que os dados aqui utilizados foram coletados o transmissor estava localizado no Município de Paula Freitas, Pr (26° 12,5' S, 50° 59,0' W) e o receptor em Gaspar, SC (26° 54,8' S, 48° 56,0' W) e a distância entre eles era de 218 km. Desde que a duração do pulso seja muito menor que o período entre pulsos, temos no receptor a onda terrestre e a onda ionosférica perfeitamente separadas no tempo.

As formas de onda recebidas são submetidas à análise harmônica (Fourier) onde amplitudes e fases são calculadas entre 15 e 60 kHz. Alturas e coeficientes de reflexão da ionosfera são calculados utilizando-se as fases e amplitudes obtidas e as expressões (B1), (B3) e (C1) descritas por Lewis et al. (1973) nos apêndices 2 e 3 desse trabalho.

ANÁLISE DOS DADOS

As formas de onda recebidas entre agosto de 1980 e julho de 1981, próximo à meia noite local (0315 UT) foram usadas para esse estudo, uma vez que nesse horário a ionosfera acha-se completamente estabilizada após os efeitos do pôr do Sol.

Todos os dados disponíveis para cada mês, com excessão de dias em que houve "dupla reflexão" (presença de mais de um eco proveniente de alturas próximas) foram utilizados nos cálculos de alturas e coeficientes de reflexão médios.

As Figs. 1 e 2 mostram valores médios de alturas e coeficientes de reflexão com o desvio padrão associado, para agosto de 1980, janeiro e maio de 1981, em função da frequência. Os outros meses apresentam comportamento semelhante, razão pela qual não são mostrados.

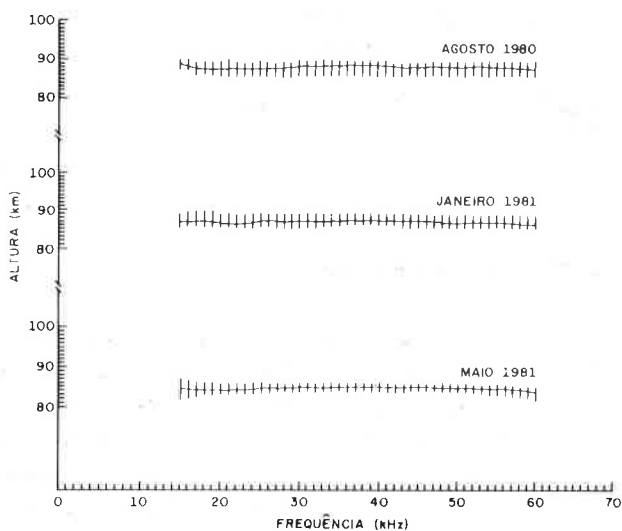


Figura 1 - Valores médios de alturas de reflexão com o desvio padrão associado ($\sigma = 1$) para agosto de 1980, janeiro e maio de 1981.

Estas médias mensais mostram que as alturas de reflexão entre agosto de 1980 e março de 1981 situou-se entre 88 e 89 km, com excessão de novembro e dezembro de 1980, onde foram entre 87 e 88 km; abril de 1981 teve alturas um pouco maiores do que os outros meses e de maio a julho, um pouco menores, entre 86 e 87 km.

Quanto aos coeficientes de reflexão, entre agosto de 1980 e abril de 1981 foram entre 0,5 e 0,7; de maio a julho de 1981 foram ligeiramente maiores, entre 0,6 e 0,8.

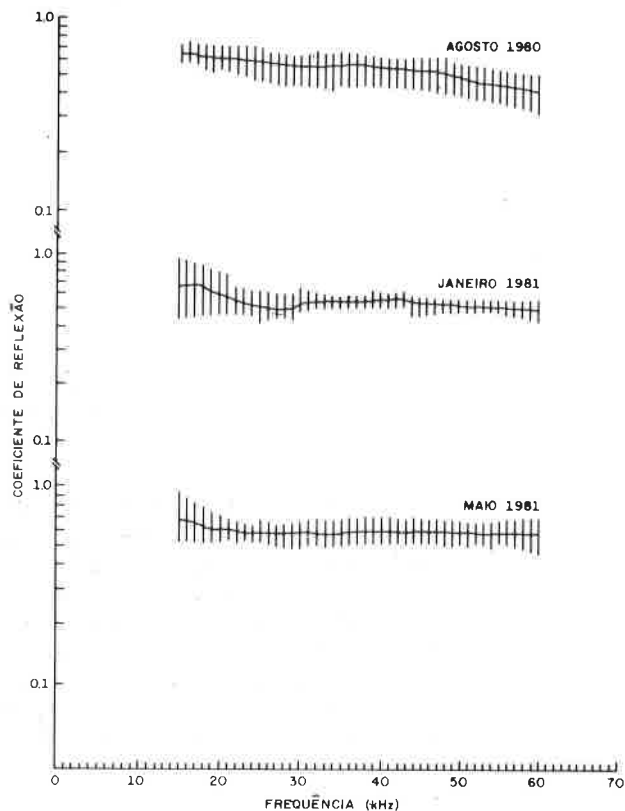


Figura 2 - Valores médios dos coeficientes de reflexão com o desvio padrão associado ($\sigma = 1$) para agosto de 1980, janeiro e maio de 1981.

COMPARAÇÃO DO MODELO IRI-79 COM OS DADOS

Modelos de densidade de elétrons para a baixa ionosfera podem ser determinados a partir de dados de refletividade de LF/VLF, usando a solução completa da equação de onda (full wave) e técnicas computacionais iterativas (Sechrist, 1974; Kossey et al., 1983). Valores médios de alturas e coeficientes de reflexão são comparados com valores teóricos obtidos do modelo. O modelo é ajustado até se chegar a uma boa concordância entre as alturas e coeficientes de reflexão experimentais e teóricos. Diz-se então que esse modelo representa bem a baixa ionosfera.

O modelo aqui utilizado para comparação com os dados é o IRI-79, o qual é dependente da hora, do ângulo zenital do Sol e da atividade solar, e sua formulação é descrita por Bilitza (1981).

Utilizando-se "full wave" para o modelo IRI-79 da baixa ionosfera e considerando-se colisões eletrons-

partículas neutras - frequência de colisão efetiva dada por Wait & Spies (1964) na forma $\nu = 1,82 \times 10^{11} \exp(-0,15 h) \text{ s}^{-1}$, alturas e coeficientes de reflexão correspondentes ao modelo foram calculadas.

Uma comparação das alturas do modelo IRI-79 com as alturas de reflexão dos dados, mês a mês, mostra uma boa concordância para os meses de maio, junho e julho de 1981 (erros quadráticos médios $\leq 0,8 \text{ km}$) e diferenças para o período de agosto de 1980 a abril de 1981 (erros quadráticos médios $\geq 1,5 \text{ km}$). Na Fig. 3 vê-se exemplos dessa comparação para os meses de dezembro de 1980 e julho de 1981.

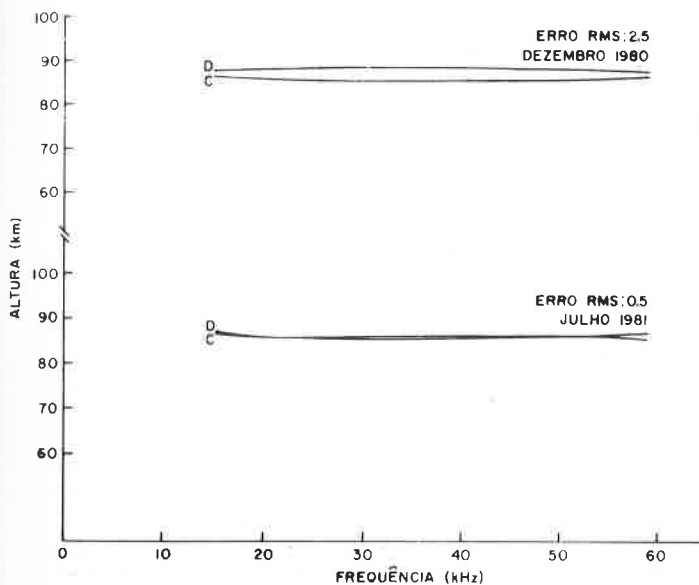


Figura 3 - Curvas de alturas x frequência obtidas dos dados (curvas "D") e as correspondentes obtidas do modelo IRI-79 (curvas "C"), para dezembro de 1980 e julho de 1981. A diferença entre as curvas calculadas e experimentais é mostrada em termos de erros quadráticos médios (RMS) para cada mês.

A comparação do modelo IRI-79 com os dados quanto aos coeficientes de reflexão mostra erros quadráticos médios $\leq 2,0 \text{ dB}$, como pode ser visto na Fig. 4, para os meses de dezembro de 1980 e julho de 1981.

Como a dispersão em torno da média para alturas e coeficientes de reflexão, para $\sigma = 1$, é um pouco maior que 1 km (para alturas) e 2 dB (para coeficientes de reflexão), consideramos neste trabalho que o modelo representa bem a ionosfera se, na comparação dele com os dados obtemos erros quadráticos médios $\leq 1 \text{ km}$ para alturas e $\leq 2 \text{ dB}$ para coeficientes de reflexão.

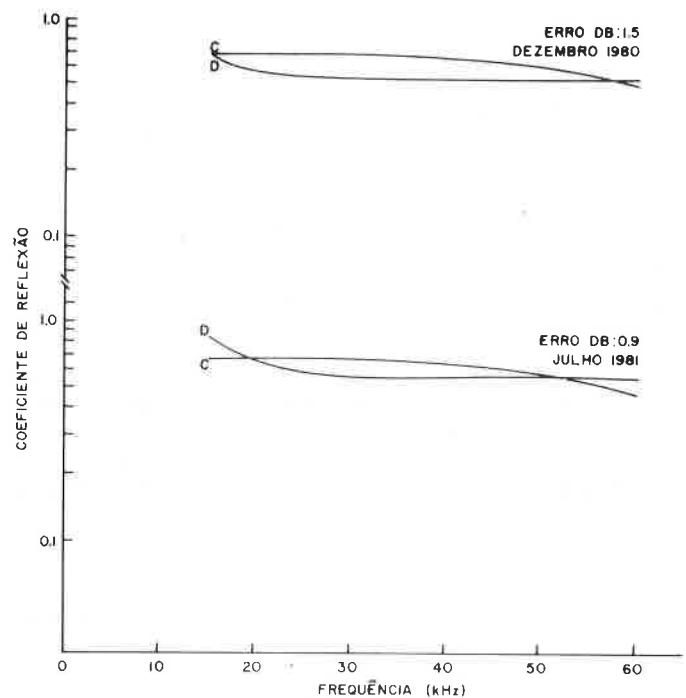


Figura 4 - Curvas de coeficientes de reflexão x frequência obtidas dos dados (curvas "D") e as correspondentes obtidas do modelo IRI-79 (curvas "C"), para dezembro de 1980 e julho de 1981. A diferença entre as curvas calculadas e experimentais é mostrada em termos de erros quadráticos médios (dB) para cada mês.

CONCLUSÕES

Devido ao relativamente curto período analisado, as conclusões a que chegamos aqui devem ser consideradas como preliminares.

Apesar da variabilidade das alturas e coeficientes de reflexão da ionosfera ter-se mostrado pequena, mês a mês, no período analisado, há uma pequena tendência da baixa ionosfera para menores alturas de reflexão e maiores coeficientes de reflexão entre o meio do outono e o meio do inverno (maio a julho de 1981).

A comparação das alturas obtidas do modelo IRI-79 com as obtidas dos nossos dados de refletividade mostram diferenças maiores que as estipuladas para a aceitação de um modelo como representativo da ionosfera (erros quadráticos médios $\geq 1,5 \text{ km}$) para o período entre agosto de 1980 e abril de 1981. Entre maio e julho de 1981 os erros quadráticos médios apresentados ($\leq 0,8 \text{ km}$) estão abaixo do máximo estipulado para a aceitação do modelo como representativo da ionosfera.

Quanto ao coeficiente de reflexão, as diferenças

entre o modelo e os dados estão dentro do limite máximo permitido para a aceitação do modelo ($\leq 2,0$ dB).

Pode-se então concluir que, levando em conta o critério adotado quanto aos valores máximos de erros quadráticos médios toleráveis na validação de um modelo, o modelo IRI-79 representa bem a ionosfera da região da Anomalia no período de maio a julho de 1981 e não a representa tão bem entre agosto de 1980 a abril de 1981.

Em vista desses resultados, dois problemas devem ser levados em conta:

a) de acordo com Rawer (1979) o modelo IRI-79 para a

região D é considerado ainda um ponto fraco e os valores numéricos usados no seu cálculo foram tomados só de medidas feitas em latitudes médias;

b) a baixa resolução em altura obtida ao se usar dados de refletividade de VLF para deduzir modelos de densidade de elétrons da baixa ionosfera (Sechrist, 1974).

Assim, algumas medidas de densidade noturna de elétrons a bordo de foguetes devem ser feitas para se chegar a uma conclusão definitiva se o modelo IRI-79 pode ser adotado como representativo da ionosfera na região da Anomalia, para todos os meses do ano ou somente para o período entre o meio do outono e o meio do inverno (maio a julho).

REFERÊNCIAS

- ABDU, M.A., ANANTHAKRISHNAN, S., COUTINHO, E.F., KRISHNAN, B.A. & REIS, E.M. da - 1973 - Azimutal drift and precipitation of electrons into the South Atlantic Geomagnetic Anomaly during an SC Magnetic Storm. *J. Geophys. Res.*, **78** : 5830-5836.
- ABDU, M.A. & BATISTA, I.S. - 1976 - Sporadic E-layer phenomena in the Brazilian Geomagnetic Anomaly: evidence for a regular particle ionization source. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **39** : 723-731.
- BILITZA, D. - 1981 - Report UAG 82, World Data Center for Solar and Terrestrial Physics, 7-10.
- GLEDHILL, J.A. - 1976 - Aeronomic effects of the South Atlantic Geomagnetic Anomaly. *Rev. Geophys. Space Phys.*, **14** : 173-187.
- GOUGH, M.P. - 1975 - Particle precipitation in the South Atlantic anomaly deduced from VLF propagation path measurements. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **37** : 1379-1383.
- KOSSEY, P.A., TURTLE, J.P., PAGLIARULLO, R.P., KLEMETTI, W.L. & RASMUSSEN, J.E. - 1983 - VLF reflection properties of the normal and disturbed polar ionosphere in northern Greenland. *Radio Sci.*, **18** : 907-916.
- LEWIS, E.A. - 1960 - Radiation from idealized shock excitation currents in a straight conductor rising from a perfect Earth at an arbitrary angle. *Electromagnetic Wave Propagation*, Academic Press, New York, 335 pp.
- LEWIS, E.A., RASMUSSEN, J.E. & STAHMANN, J.R. - 1965 - Waveforms and relative phase stability of transients radiated from a helicopter supported antenna wire. *I.E.E.E. Trans. Antennas Propagation*, **13** : 257-261.
- LEWIS, E.A., RASMUSSEN, J.E. & KOSSEY, P.A. - 1973 - Measurements of ionospheric reflectivity from 6 to 35 kHz. *J. Geophys. Res.*, **78** : 3903-3911.
- MARTIN, I.M., RAI, D.B., da COSTA, J.M., PALMEIRA, R. & TRIVEDI, N.B. - 1973 - Enhanced electron precipitation in Brazilian Magnetic Anomaly in association with sudden commencement. *Nature*, **240** : 84-86.
- MENDES, A.M., ANANTHAKRISHNAN, S. & BARROS, M.H.P. - 1970 - Phase and amplitude changes of VLF signals associated with PCA events, with reference to the South Atlantic Geomagnetic Anomaly. *Ann. Geophys.*, **26** : 483-492.
- MENDONÇA, F. - 1965 - Ionospheric electron content measurements in regions of low magnetic dip and through the Brazilian Geomagnetic Anomaly. *Space Research*, **5** : 687-701.
- PAULIKAS, G.A. - 1975 - Precipitation of particles at low and middle latitudes. *Rev. Geophys. Space Phys.*, **13** : 709-734.
- RAWER, K. - 1981 - Introduction to IRI-79. Report UAG 82, World Data Center for Solar and Terrestrial Physics, 1-6.
- SECHRIST, C.F. - 1974 - Comparisons of techniques for measurement of D-region electron densities. *Radio Sci.*, **9** : 137-149.
- WAIT, J.R. & SPIES, K.P. - 1964 - Characteristics of the Earth - Ionosphere waveguide for VLF radio waves. *Nat. Bur Stand. U.S. Tech. Note 300*: 2-5.