

1. Publicação nº <i>INPE-2817-PRE/372</i>	2. Versão	3. Data <i>Julho, 1983</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DGA</i>	Programa <i>IONOSFERA</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>MODELO INTERNACIONAL DE IONOSFERA PERFIS DE DENSIDADE ELETRÔNICA</i>			
7. C.D.U.: <i>523.4-853</i>			
8. Título <i>UM ESTUDO SOBRE A APLICABILIDADE DO MODELO INTERNACIONAL DE IONOSFERA IRI 79 PARA OBTENÇÃO DE PERFIS DE DENSIDADE ELETRÔNICA EM CACHOEIRA PAULISTA</i>		10. Páginas: <i>14</i>	
		11. Última página: <i>13</i>	
9. Autoria <i>E.R. de Paula A.C.R. de Souza I.J. Kantor S.L.G. Dutra</i>		12. Revisada por  <i>M.A. Abdu</i>	
Assinatura responsável  <i>E.R. de Paula</i>		13. Autorizada por  <i>Nelson de Jesus Parada</i> Diretor Geral	
14. Resumo/Notas  <i>O modelo de ionosfera IRI 79 ("International Reference Ionosphere"), o qual foi implantado no computador B6800 do INPE, permite obter perfis médios da densidade eletrônica da ionosfera. Com a finalidade de verificar a validade da utilização de tal modelo em nossas regiões, foi realizado um estudo comparativo de perfis do IRI 79 com perfis obtidos a partir de ionogramas em Cachoeira Paulista (23°S, 45°O). Observou-se uma concordância muito boa entre os perfis preditos (IRI 79) e observados para todos os meses e as horas analisadas, exceto em pequenos intervalos de altura e nas partes inferiores dos perfis de Cachoeira Paulista, quando houve discrepâncias. São analisadas brevemente as consequências do uso do modelo IRI em estudos de propagação.</i>			
15. Observações  <i>Este trabalho está sendo submetido a Revista Ciência e Cultura.</i>			

UM ESTUDO SOBRE A APLICABILIDADE DO MODELO INTERNACIONAL DE IONOSFERA  
IRI 79 PARA OBTENÇÃO DE PERFIS DE DENSIDADE ELETRÔNICA  
EM CACHOEIRA PAULISTA

E.R. de Paula; A.C.R. de Souza<sup>1</sup>; I.J. Kantor e S.L.G. Dutra

Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE  
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CPNq  
CP 515 - 12200 - São José dos Campos, SP, Brasil

ABSTRACT

The International Reference Ionosphere model, IRI 79, was implemented for the B6800 computer of INPE, allowing to obtain average profiles of the ionospheric electron density. In order to verify the validity of the utilization of the IRI 79 model in the Brazilian region, a comparison was made between IRI 79 profiles and profiles from ionograms obtained in Cachoeira Paulista (23°S, 45°W). Very good agreement was observed between profiles predicted (IRI 79) and observed for all the analyzed months and hours, except in small height intervals and in the lower parts of the Cachoeira Paulista profiles, where disagreement was observed. The implications of the use of the IRI model in propagation studies is briefly analyzed.

---

<sup>1</sup> *Endereço atual: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, CTA, São José dos Campos, SP.*

## RESUMO

O modelo de ionosfera IRI 79 ("International Reference Ionosphere"), o qual foi implantado no computador B6800 do INPE, permite obter perfis médios da densidade eletrônica da ionosfera. Com a finalidade de verificar a validade da utilização de tal modelo em nossas regiões, foi realizado um estudo comparativo de perfis do IRI 79 com perfis obtidos a partir de ionogramas em Cachoeira Paulista (23<sup>o</sup>S, 45<sup>o</sup>O). Observou-se uma concordância muito boa entre os perfis preditos (IRI 79) e observados para todos os meses e as horas analisadas, exceto em pequenos intervalos de altura e nas partes inferiores dos perfis de Cachoeira Paulista, quando houve discrepâncias. São analisadas brevemente as consequências do uso do modelo IRI em estudos de propagação.

### 1. INTRODUÇÃO

A ionosfera é a parte da atmosfera terrestre constituída de íons e elétrons e se estende desde aproximadamente 60 km até vários raios terrestres de altura. A ionosfera é importante em telecomunicações, pois reflete sinais eletromagnéticos na faixa de alta frequência (2 a 30 MHz), o que permite radiocomunicação entre pontos remotos na terra. Em frequências mais altas ela modifica as características dos sinais. A ionosfera varia com as estações do ano, com as horas do dia, com o ciclo solar e também com as erupções solares, as quais podem ocasionar perturbações ionosféricas súbitas e tempestades magnéticas. Portanto, ao se modelar a ionosfera procura-se obter um comportamento médio que represente as variações globais.

A finalidade deste trabalho é realizar uma comparação entre os perfis médios da densidade eletrônica obtidos pelo modelo IRI 79 e aqueles observados em Cachoeira Paulista. Para isto, utilizou-se o modelo de ionosfera IRI 79, implantado no computador B6800 do INPE por Souza (7), e o programa de computador desenvolvido por Giese (2), que determina perfis  $N(h)$  da ionosfera a partir de ionogramas.

Para se realizar este estudo comparativo, foram escolhidas as horas locais 14:00 e 00:00, que representam respectivamente condições diurnas (densidade máxima) e noturnas, bem como os meses de março (equinócio), junho (inverno), setembro (equinócio) e dezembro (verão) de 1978.

Para obter os perfis  $N(h)$  a partir de ionogramas é necessário que estes tenham clara definição dos traços ordinário e extraordinário e não apresentem interferências de outros sinais eletromagnéticos. Portanto, foi feita uma seleção criteriosa entre os ionogramas, sendo obtidos 14 perfis à 00:00 hora para março, 24 perfis à 00:00 hora e 5 perfis às 14:00 horas para junho, 12 perfis à 00:00 hora para setembro e 9 perfis à 00:00 hora para dezembro. A partir destes perfis obtiveram-se os perfis médios para os meses citados.

## 2. IONOSFERA INTERNACIONAL DE REFERÊNCIA IRI-79

Este modelo de ionosfera foi desenvolvido por um comitê internacional, Rawer et al (6), e tem a finalidade de fornecer perfis médios da densidade eletrônica, temperatura iônica e eletrônica e composição dos íons positivos, em função da altura na ionosfera.

Os coeficientes  $f_0F_2$  e  $M(3000)F_2$ , ITU(3) e ITU(4), do CCIR ("Comité Consultatif International des Radio Communications"), são utilizados pelo modelo IRI 79. Estes coeficientes foram obtidos de sondagens em incidência vertical da ionosfera, em um grande número de estações terrestres e são utilizados para se determinar o pico da densidade do plasma e sua altura em todo o globo terrestre.

Os dados de entrada para o programa IRI 79 são a latitude e longitude geográficas do local onde se quer obter os perfis, a atividade solar ( $R_{12}$ ), o mês, a hora local, o ângulo zenital solar, a altura inicial e final do perfil e o passo em altura. Os limites inferiores de altura para a determinação dos perfis são 80 km à noite e 65 km de dia, e o limite superior é 1000 km.

O modelo IRI 79 pode ser utilizado para testar teorias, em projetos de experimentos e outras aplicações, sendo, portanto, de grande importância comparar seus perfis com perfis observados.

### 3. DETERMINAÇÃO DOS PERFIS $N(h)$ MÉDIOS A PARTIR DE IONOGRAMAS

Os ionogramas de Cachoeira Paulista são obtidos por sondagem vertical da ionosfera. Esta sondagem é realizada pela ionossonda, a qual consiste basicamente em um radar de pulsos, que mede o tempo gasto pelo pulso para chegar ao ponto de reflexão na ionosfera e retornar ao transmissor. A frequência da ionossonda de Cachoeira Paulista varia de 1 a 20 MHz.

Os ionogramas são gráficos fotográficos onde se lê a frequência no eixo horizontal e a altura de grupo ou altura virtual no

eixo vertical. Para se conhecer a altura real de reflexão, em função da frequência, é necessário inverter a integral:

$$h'(f) = \int_0^{h_r} \mu'(f,h)dh,$$

onde:

$h'$  = altura virtual;

$h_r$  = altura real;

$\mu'$  = índice de refração de grupo.

O processo usado para se fazer esta inversão, ou seja, para se obter o perfil  $N(h)$  a partir de ionogramas, foi desenvolvido por Paul (5).

Existem 2 regiões ionosféricas onde há grandes dificuldades para obtenção do perfil real. Uma é a região abaixo da frequência mínima do ionograma. Nesta região é feita uma extrapolação para se obter um trecho entre o último ponto lido no ionograma e uma altura  $h_0$  denominada base da ionosfera. A outra região, denominada região do vale, apresenta um decréscimo de densidade eletrônica com o aumento da altura, a qual ocorre entre as regiões E e F. Não se obtêm medidas desta região utilizando ionossonda, pois o sinal é refletido pelas camadas inferiores, as quais apresentam maior densidade eletrônica. Também uma extrapolação é feita pelo programa de computador para esta região.

Portanto, ao utilizar perfis  $N(h)$  deve-se levar em consideração que os resultados obtidos abaixo de aproximadamente 90 km de altura e na região do vale entre as camadas E e F podem apresentar erros consideráveis.

A resolução de leitura dos ionogramas foi da ordem  $\pm 1,0$  km em  $h'$  (altura virtual) e  $\pm 0,001$  em  $\log f$ , onde  $f$  é a frequência em MHz.

#### 4. COMPARAÇÃO ENTRE PERFIS $N(h)$ DO MODELO IRI 79 E OBSERVADOS EM CACHOEIRA PAULISTA

Sendo os perfis do modelo IRI 79 médios mensais, para se efetuar o estudo comparativo foi necessário determinar os perfis reais  $N(h)$  médios mensais de Cachoeira Paulista para as horas escolhidas. Estes perfis médios foram obtidos para alturas fixadas utilizando um processo de interpolação e extrapolação descrito por Forsythe et al (1).

Os perfis observados e os do modelo IRI 79 para março, junho, setembro e dezembro de 1978 estão apresentados respectivamente nas Figs. 1, 2, 3 e 4. Deve-se notar que foram obtidos perfis para as 14 horas somente no mês de junho.

---

#### Fig. 1

---

Observa-se na Fig. 1 uma boa concordância entre os perfis a partir de 200 km de altura e, abaixo desta altura, ocorreu uma maior discrepância.

Fig. 2

Na Fig. 2 nota-se que houve boa concordância entre os perfis  $N(h)$  para 14 horas, exceto na região abaixo de 90 km de altura, região esta em que os resultados dos perfis não são confiáveis, conforme discutido na Seção 3. Para 00:00 hora não foi observada uma concordância muito boa entre os perfis  $N(h)$  entre aproximadamente 170 a 240 km de altura, ocorrendo uma maior discrepância, porém menor que uma ordem de grandeza, em torno de 200 km de altura. Entretanto, para alturas acima de 240 km, as densidades eletrônicas do modelo IRI 79 e observadas possuem valores bem próximos, sendo boa a concordância entre os perfis próximos à altura do pico de densidade do modelo IRI 79.

Fig. 3

Na Fig. 3 observa-se concordância boa entre os perfis acima de 220 km. Porém, de maneira semelhante ao comportamento dos perfis para o mês de março, houve discrepância razoável na parte inferior do perfil de Cachoeira Paulista, ou seja, entre 190 e 220 km de altura.

Fig. 4

Na Fig. 4 observa-se que ocorreram discrepâncias não significativas entre o perfil observado e o do modelo IRI 79 entre 210 e 270 km de altura; porém acima de 270 km a concordância entre os perfis foi muito boa.

Deve-se notar que a ionossonda de Cachoeira Paulista não é sensível a densidades eletrônicas menores que aproximadamente  $1,24 \times 10^4$  elétrons/cm<sup>3</sup>. Por este motivo não foi possível efetuar comparações de perfis observados com os perfis do modelo IRI 79 abaixo de 190 km em março e setembro, 170 km em junho e 210 km em dezembro. No modelo IRI foram incorporados dados de radar de espalhamento incoerente e dados de foguetes para obtenção dos perfis em alturas inferiores àquelas em que a ionossonda não é mais sensível.

É importante considerar que as incertezas nas leituras do traço ordinário na altura virtual mínima do ionograma podem causar consideráveis erros nos perfis observados, pois é feita uma extrapolação entre este último ponto lido em  $f_{\min}$  e a base  $h_0$  da camada, a qual é também extrapolada.

## 5. CONCLUSÕES

Notou-se uma boa concordância entre os perfis  $N(h)$  do IRI 79 e os perfis observados em Cachoeira Paulista, exceto em certos intervalos de altura. Portanto, o modelo IRI 79 pode ser utilizado para estudos de comportamentos globais da ionosfera em regiões próximas a Cachoeira Paulista.

O modelo IRI 79 pode também ser utilizado com certa cautela em estudos de propagação de ondas eletromagnéticas, porém com certas restrições na região do vale, onde há uma incerteza razoável, e em alturas inferiores a 80 km, cuja região possui menor número de sondagens.

Os modelos globais de ionosfera são empiricamente determinados a partir de um grande número de sondagens obtidas principalmente no hemisfério norte. No território brasileiro o número de sondagens ionosféricas é pequeno, e portanto é importante uma verificação de como o modelo de ionosfera a descreve nesta região.

#### REFERÊNCIAS

- (1) Forsythe, G.E., Macolm, M.A. e Moler, C.B., 1977. Computer methods for mathematical computations, Engewood Cheffs, N.J.. Prentice Hall.
- (2) Giese, A.C., 1979. INPE-1522-TDL/011.
- (3) International Telecommunication Union (ITU), 1967. C.C.I.R. Atlas of ionospheric characteristics, Report 340.
- (4) International Telecommunication Union (ITU), 1974. C.C.I.R. Atlas of ionospheric characteristics, Report 340-2.
- (5) Paul, A.K., 1967. Radio Science, 2:10, p. 1127.
- (6) Rawer, K., Ramakrishnan, S. e Bilitza, D., 1978. International reference ionosphere 1978.
- (7) Souza, A.C.R. de, 1982. INPE-2372-NTI/162.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores desejam agradecer a todas as pessoas que contribuíram direta e indiretamente para a execução deste trabalho.

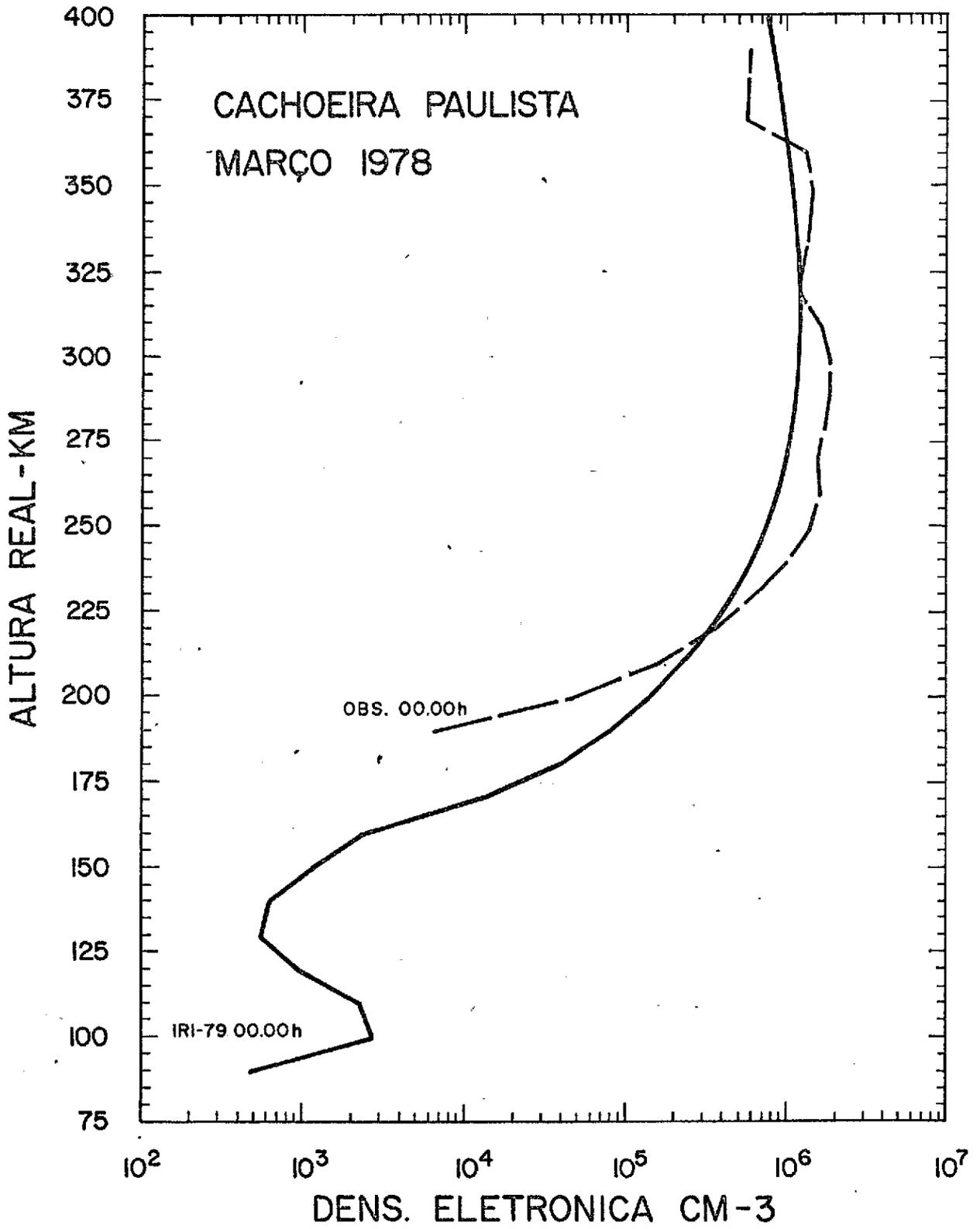


Fig. 1

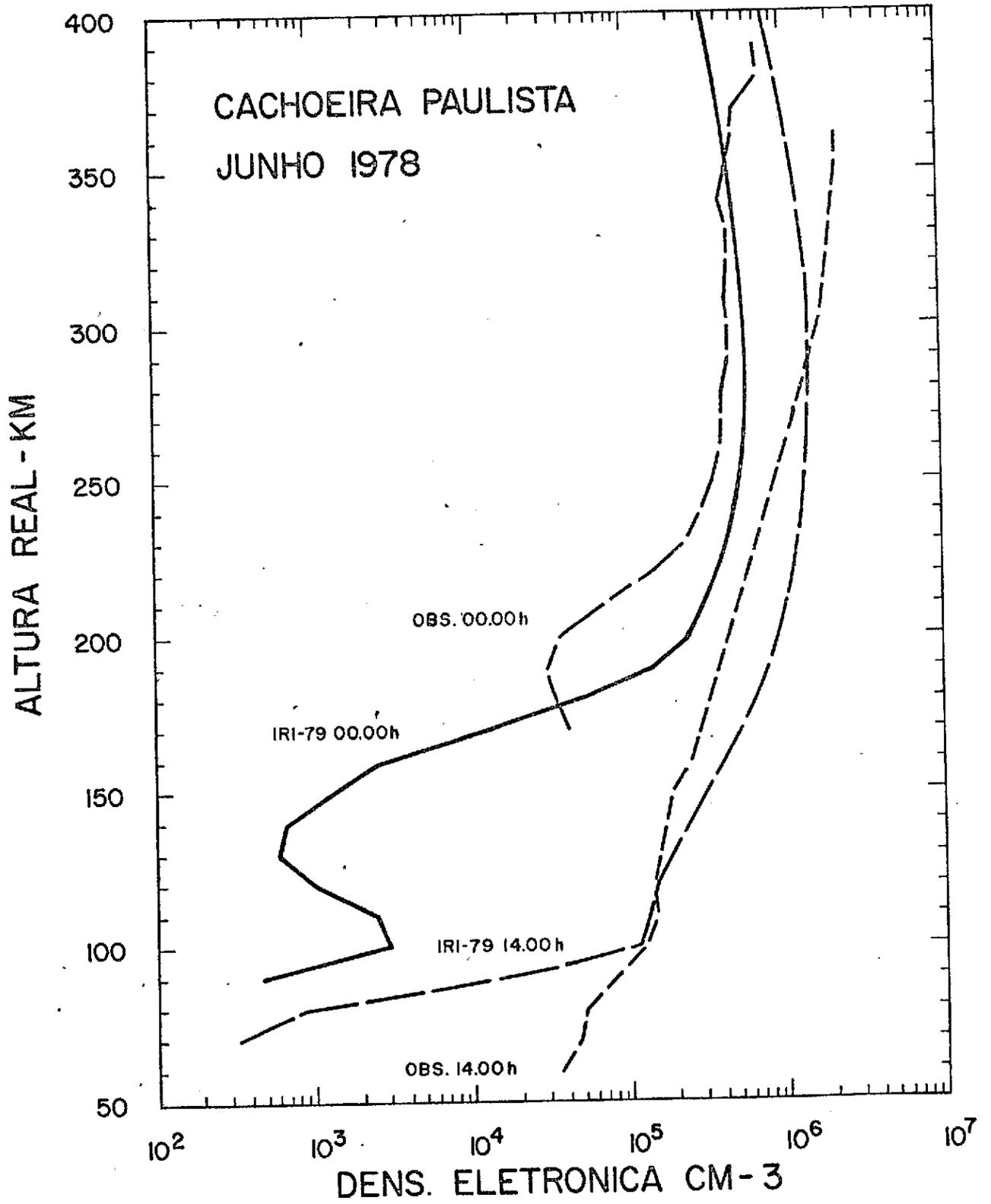


Fig. 2

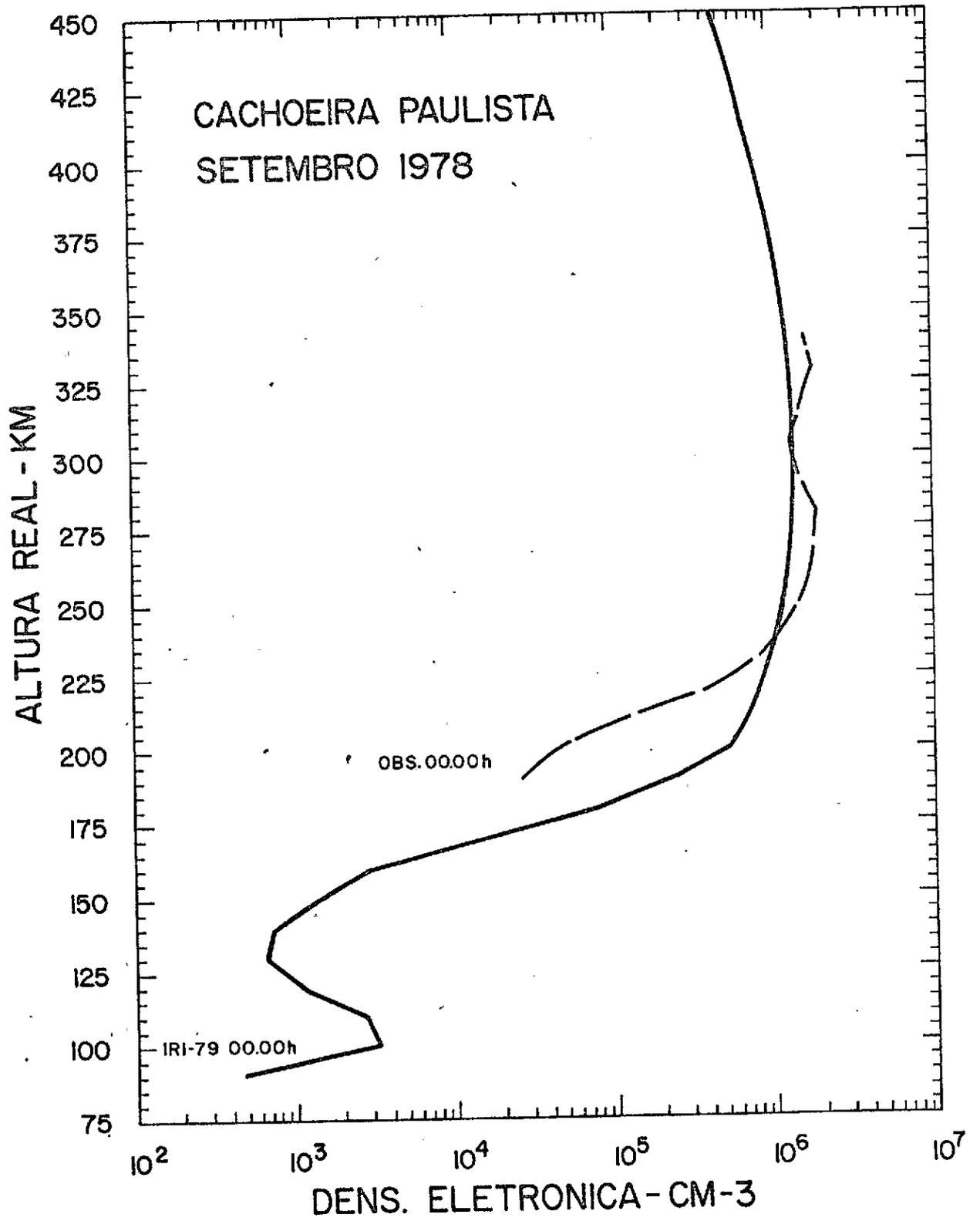


Fig. 3

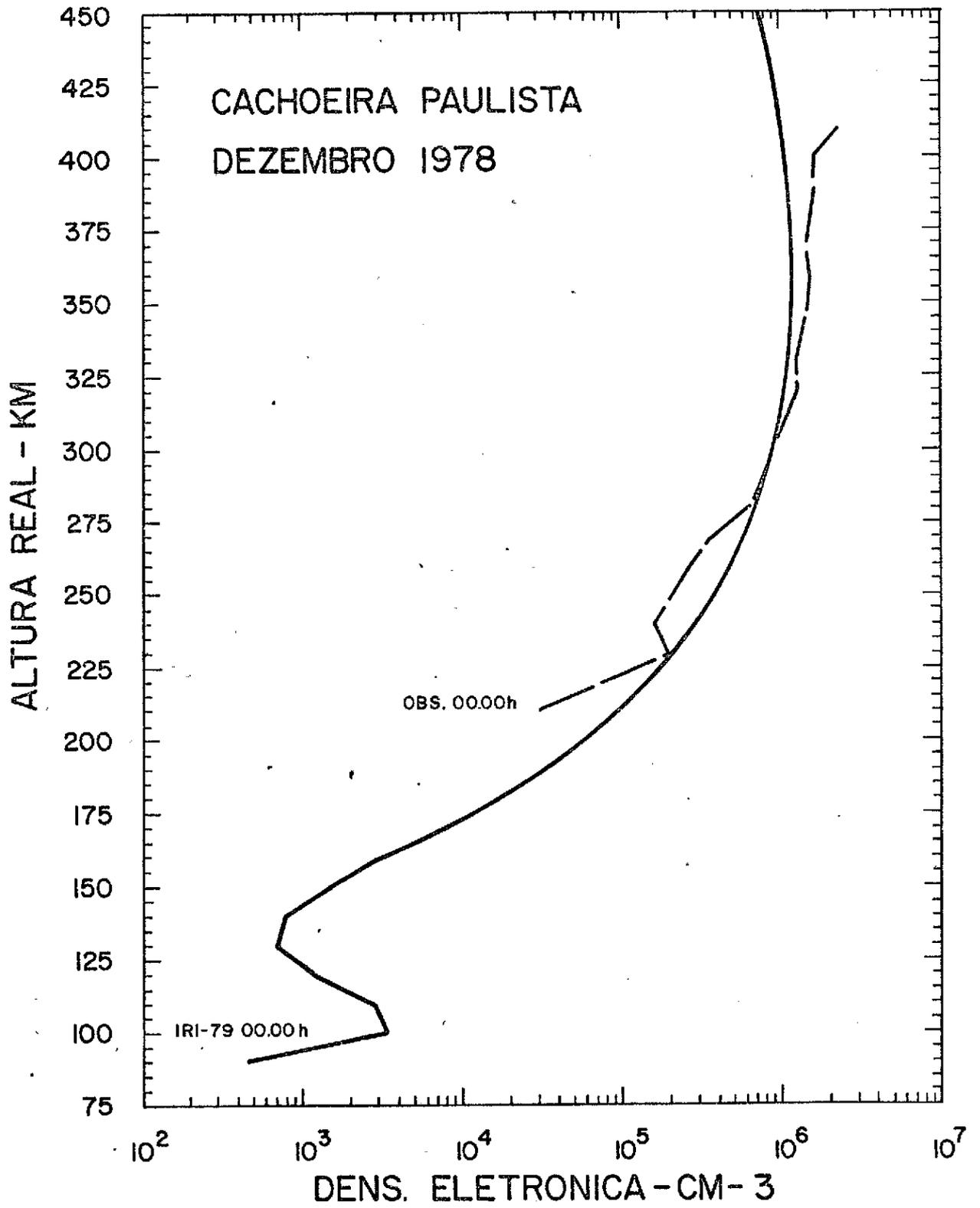


Fig. 4