

| | | | |
|---|-------------------------------|---|--|
| 1. Classificação <i>INPE-COM. 4/RPE</i> CDU: 523.4-853:533.9 | | 2. Período <i>Julho 1981</i> | 4. Distribuição interna <input type="checkbox"/> externa <input checked="" type="checkbox"/> |
| 3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor) <i>IONOSFERA</i> <i>BOLHAS</i> <i>LUMINESCÊNCIA</i> | | | |
| 5. Relatório nº <i>INPE-2172-RPE/388</i> | 6. Data <i>Julho, 1981</i> | 7. Revisado por <i>Bittencourt</i> <i>J. A. Bittencourt</i> | |
| 8. Título e Sub-Título <i>SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA INSTABILIDADE</i> <i>RAYLEIGH-TAYLOR NO PLASMA</i> <i>IONOSFÉRICO EQUATORIAL</i> | | 9. Autorizado por <i>Parada</i> <i>Nelson de Jesus Parada</i> <i>Diretor</i> | |
| 10. Setor <i>DGA/DII</i> | Código <i>30.312</i> | 11. Nº de cópias <i>10</i> | |
| 12. Autoria <i>Y. Nakamura</i> <i>J.H.A. Sobral</i> <i>M.A. Abdu</i> | | 14. Nº de páginas <i>27</i> | |
| 13. Assinatura Responsável <i>[Assinatura]</i> | | 15. Preço | |
| 16. Sumário/Notas <i>Com o propósito de estudar as irregularidades ionosféricas na vizinhança do equador magnético, fez-se uma simulação numérica da geração e evolução da bolha de plasma ionosférico, baseada na instabilidade Rayleigh-Taylor colisional, para dois fluidos, para região do equador magnético. Em seguida, considerou-se que a zona de rarefação de ions e elétrons (bolha) se estendesse ao longo das linhas de força do campo magnético terrestre, desde sua altura máxima que situa-se no equador magnético, até sua altura mínima, tomada arbitrariamente de 150 km, a qual se encontra em baixas latitudes. Considerando-se a alteração sofrida pelo perfil de densidade eletrônica em presença de bolha, calculou-se a intensidade de luminescência do oxigênio atômico, no comprimento de onda 6300 Å, para várias latitudes situadas dentro da faixa de varredura do fotômetro. Os resultados dos cálculos de luminescência mostram que, à medida que a bolha atinge maiores alturas, a perturbação que ela causa na intensidade acima citada propaga-se de norte para sul de maneira coerente com resultados de luminescência observados em Caçoeira Paulista (12° S geom.).</i> | | | |
| 17. Observações <i>Trabalho subvencionado através do convênio FINEP CT 537. Apresentado na 33ª Reunião Anual da SEPC, Salvador (BA), 1981.</i> | | | |

ÍNDICE

| | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| ABSTRACT | <i>iv</i> |
| LISTA DE FIGURAS | <i>v</i> |
| 1. <u>INTRODUÇÃO</u> | 1 |
| 2. <u>RESULTADOS EXPERIMENTAIS</u> | 2 |
| 3. <u>INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO</u> | 8 |
| 4. <u>CONCLUSÕES</u> | 21 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 23 |

ABSTRACT

The objective of this work is to study ionospheric irregularities near the magnetic equator. A numerical simulation is done for the generation and evolution of the ionospheric bubble based on the theory of the collisional Rayleigh-Taylor instability for two fluids, for the magnetic equatorial region. The regions of depletion in density have been assumed to be aligned with the Earth's magnetic field and extending from higher altitudes at the equatorial region down to the arbitrary height of 150 km. Assuming the electronic density profile perturbed by the bubble, the $[OI]$ 6300 Å intensity was calculated for various latitudes arbitrarily taken within the photometer scanning range. The calculated airglow results show that, as the bubble moves upward, the disturbance in the airglow intensity propagate from north to south, in agreement with experimental results observed over Cachoeira Paulista

LISTA DE FIGURAS

| | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| 1 - Luminescência noturna [OI] 6300 Å em varredura N-S (a) e L-O (b) | 3 |
| 2 - Análise estatística das posições dos vales em função do tempo | 4 |
| 3 - Análise estatística das amplitudes de perturbação em função do ângulo zenital | 6 |
| 4 - Estatística de ocorrência e da não ocorrência da propagação das perturbações de norte para sul, observadas com fotômetro de varredura em Cachoeira Paulista | 7 |
| 5 - Contornos de n/n_0 constante da simulação da instabilidade Rayleigh-Taylor para $t = 500$ s | 9 |
| 6 - Contornos de n/n_0 constante da simulação da instabilidade Rayleigh-Taylor para $t = 1150$ s | 10 |
| 7 - Contornos de n/n_0 constante da simulação da instabilidade Rayleigh-Taylor para $t = 1450$ s | 11 |
| 8 - Perfis de densidade eletrônica n/n_0 no eixo de simetria da bolha em função da altura da simulação da instabilidade Rayleigh-Taylor | 12 |
| 9 - Diagrama de cálculo da intensidade [OI] 6300 Å para vários ângulos zenitais α | 13 |
| 10 - Densidade eletrônica do pico da camada F (h_m^F) em função da latitude magnética | 15 |
| 11 - Altura do pico da camada F (h_m^F) em função da latitude magnética | 16 |
| 12 - Intensidade de luminescência [OI] 6300 Å no ângulo de visada do fotômetro em função do ângulo zenital e da altura da bolha | 19 |

1. INTRODUÇÃO

Os dados experimentais de fotômetros e ionossonda, aqui discutidas, foram obtidos em Cachoeira Paulista (coordenadas geográficas: $22^{\circ} 41'S$, $45^{\circ} 00'o$; geomagnéticas: $11^{\circ} 57'S$, $22^{\circ} 32'L$).

Os dois fotômetros instalados em Cachoeira Paulista medem a emissão de oxigênio atômico em 6300 \AA . Um dos fotômetros faz a varredura do céu no plano magnético meridional na faixa angular de 75° norte a 75° sul em relação ao zênite, enquanto o outro, varre de leste a oeste, na mesma faixa angular. Essas observações tem por objetivo o estudo da dinâmica da ionosfera nesta região e a sua relação com as atividades eletrodinâmicas da ionosfera equatorial, pois Cachoeira Paulista tem sua ionosfera ligada à região de apenas 600 km de altura no equador geomagnético, através das linhas de campo magnético.

As observações de luminescência tem mostrado com frequência, após o pôr do Sol e geralmente antes de meia noite, irregularidades na sua intensidade propagando-se de norte a sul e de oeste para leste. O objetivo principal deste trabalho é a interpretação dessas observações.

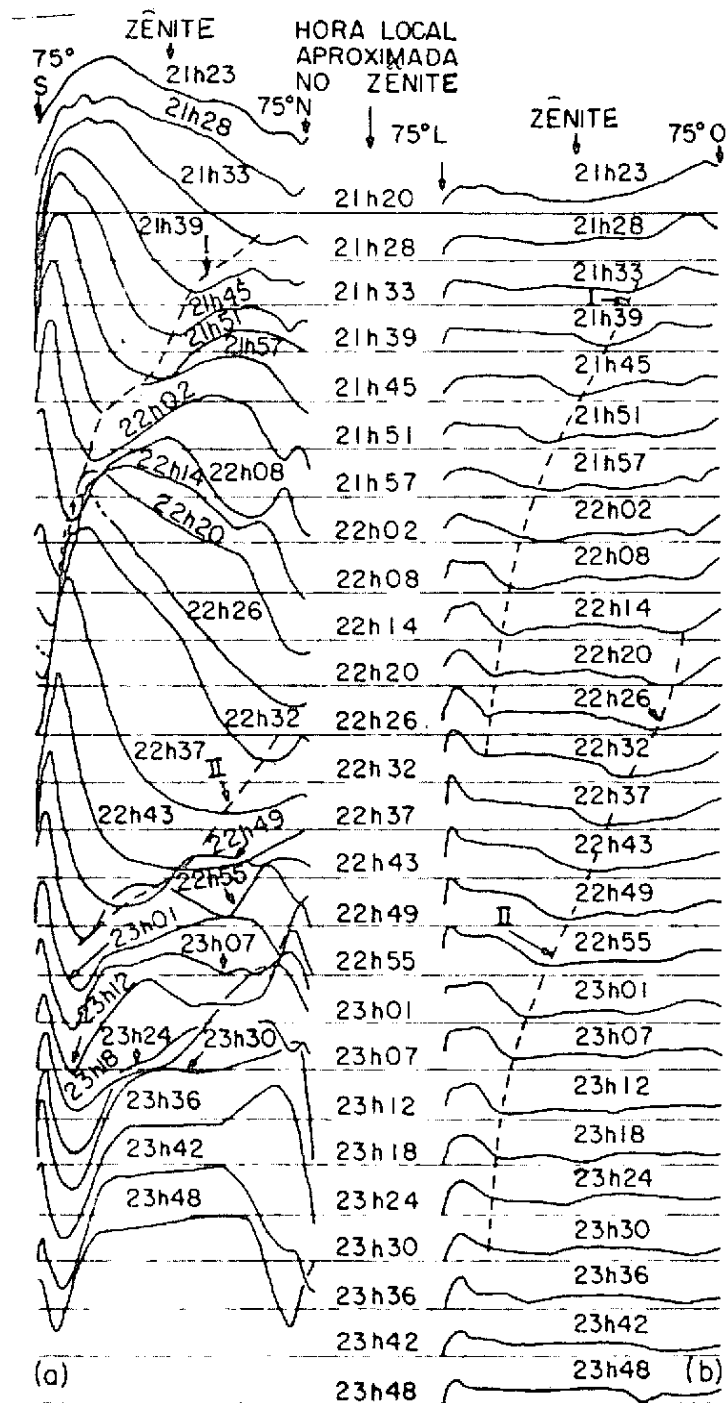
O presente trabalho é uma extensão dos estudos desse fenômeno, feitas anteriormente por Sobral et alii (1980a, 1980b, 1981). Os resultados sugerem que as propagações das perturbações detectadas com fotômetro são causadas por bolhas de plasma ionosférico, alinhadas com o campo magnético, deslocando-se para cima e para leste; bolhas estas, geradas pela instabilidade Rayleigh-Taylor na região do equador magnético e que se estendem para baixas latitudes magnéticas. Trabalhos recentes relativos a bolhas de plasma ionosférico, na região equatorial, podem ser encontrados, por exemplos, em Woodman e La Hoz (1976), Ossakow et alii (1979), Dyson e Benson (1978), Burke et alii (1980), Tsunoda (1980) e Fejer e Kelley (1980).

2. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A Figura 1 mostra um exemplo típico da propagação da perturbação (vale) na luminescência $[OI] 6300 \text{ \AA}$ de norte para sul e de oeste para leste. No plano meridional e no plano leste-oeste, observa-se uma perturbação iniciando-se por volta de 21 h 30 m e terminando aproximadamente às 22 h 30 m. Analogamente, uma outra perturbação, em ambos os planos, iniciando-se por volta de 22 h 30 m e terminando em torno de 23 h 30 m.

Nessa figura observa-se que os vales são mais extensos na direção meridional que na direção leste-oeste, indicando que as irregularidades são mais extensas ao longo da linha de campo magnético que na direção leste-oeste.

Uma análise estatística da velocidade de propagação da perturbação ao norte e ao sul do ponto de observação foi feita e os resultados são mostrados na Figura 2. Nesta figura, os pontos indicam posições dos vales em função do tempo de 18 casos de ocorrências de propagação nas perturbações. O tempo igual a zero foi feito para a posição da perturbação no zênite. Em seguida, calculou-se uma média das distâncias no intervalo de cada 200 s, que são indicados pelos pontos (x). Para o traçamento da curva, fez-se o ajustamento pelo método de mínimos quadrados para um polinômio de segunda ordem dos pontos (x). A curva assim traçada mostra uma velocidade de propagação da perturbação maior ao norte que ao sul do ponto de observação. Deste gráfico resulta, aproximadamente, uma velocidade de 390 m/s ao norte e 250 m/s ao sul do ponto de observação.



23/01/1980 - Cachoeira Paulista

Fig. 1 - Luminescência noturna [OI] 6300 Å em varredura N-S (a) e L-0 (b).

- Cada perfil tem sua linha de base (intensidade [OI] 6300 Å igual a zero) e ambos são identificados pela respectiva hora local.

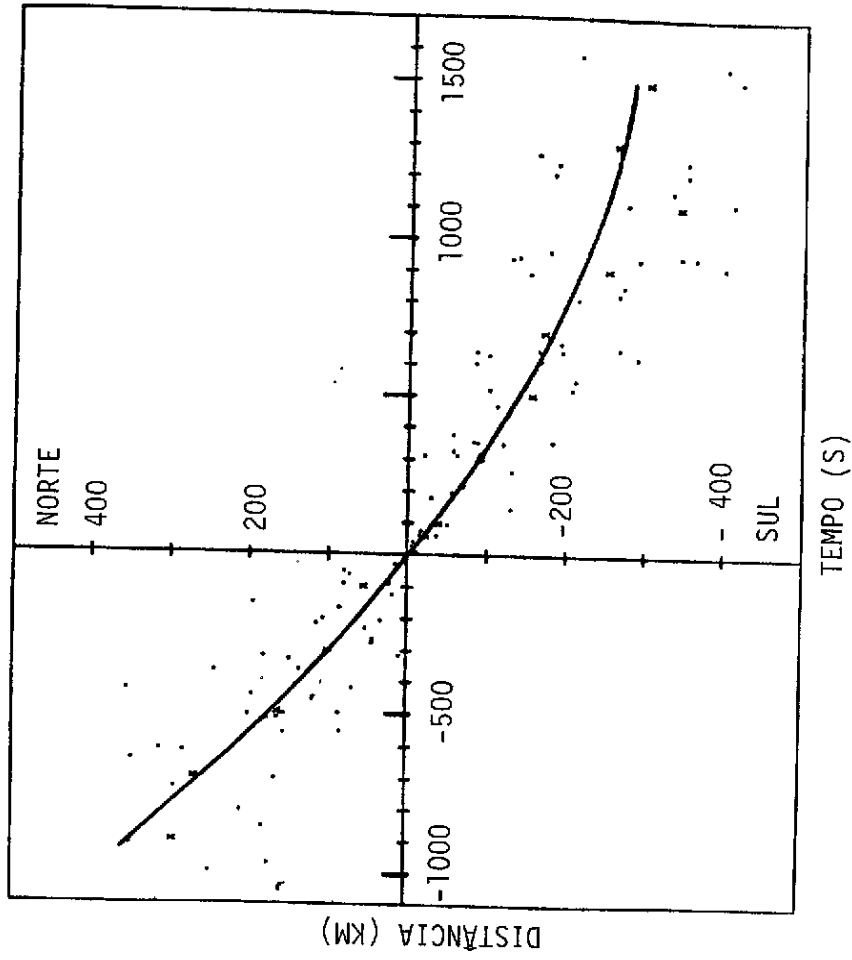


Fig. 2 - Análise estatística das posições dos vales em função do tempo.

Dos 18 casos de propagação de perturbações acima, foram selecionados 11 casos que apresentavam propagações ao norte e ao sul do ponto de observação. A Tabela 1 mostra as velocidades obtidas ao norte e ao sul de Cachoeira Paulista, das propagações de perturbações de norte para sul. As velocidades foram determinadas utilizando-se ajustamento de pontos para uma reta, pelo método de mínimos quadrados considerando a altura da propagação de 300 km. A velocidade média ao norte resultou em 304 m/s ($\sigma = 159$ m/s) e ao sul, 246 m/s ($\sigma = 105$ m/s).

TABELA 1

VELOCIDADES DE PROPAGAÇÃO DAS PERTURBAÇÕES AO NORTE (V_N)
E AO SUL (V_S) DE CACHOEIRA PAULISTA

| | V_N (m/s) | V_S (m/s) |
|------------------|-------------|-------------|
| 1 | 368 | 339 |
| 2 | 388 | 250 |
| 3 | 174 | 501 |
| 4 | 379 | 222 |
| 5 | 177 | 121 |
| 6 | 271 | 278 |
| 7 | 336 | 142 |
| 8 | 443 | 187 |
| 9 | 606 | 244 |
| 10 | 180 | 245 |
| 11 | 31 | 180 |
| VELOCIDADE MÉDIA | 304 | 246 |

Fez-se também uma análise dos perfis de intensidade de luminescência de 14 noites que apresentavam propagações de perturbações para verificar a variação da amplitude de perturbação com a latitude. Para isso, dividiu-se o intervalo de ângulo zenital de 60°N a 60°S , de 15 em 15° . Para cada ângulo zenital assim dividido, calculou-se o desvio quadrático médio relativo e o resultado é mostrado na Figura 3. A reta foi traçada utilizando-se do ajustamento dos pontos para uma reta pelo método de mínimos quadrados.

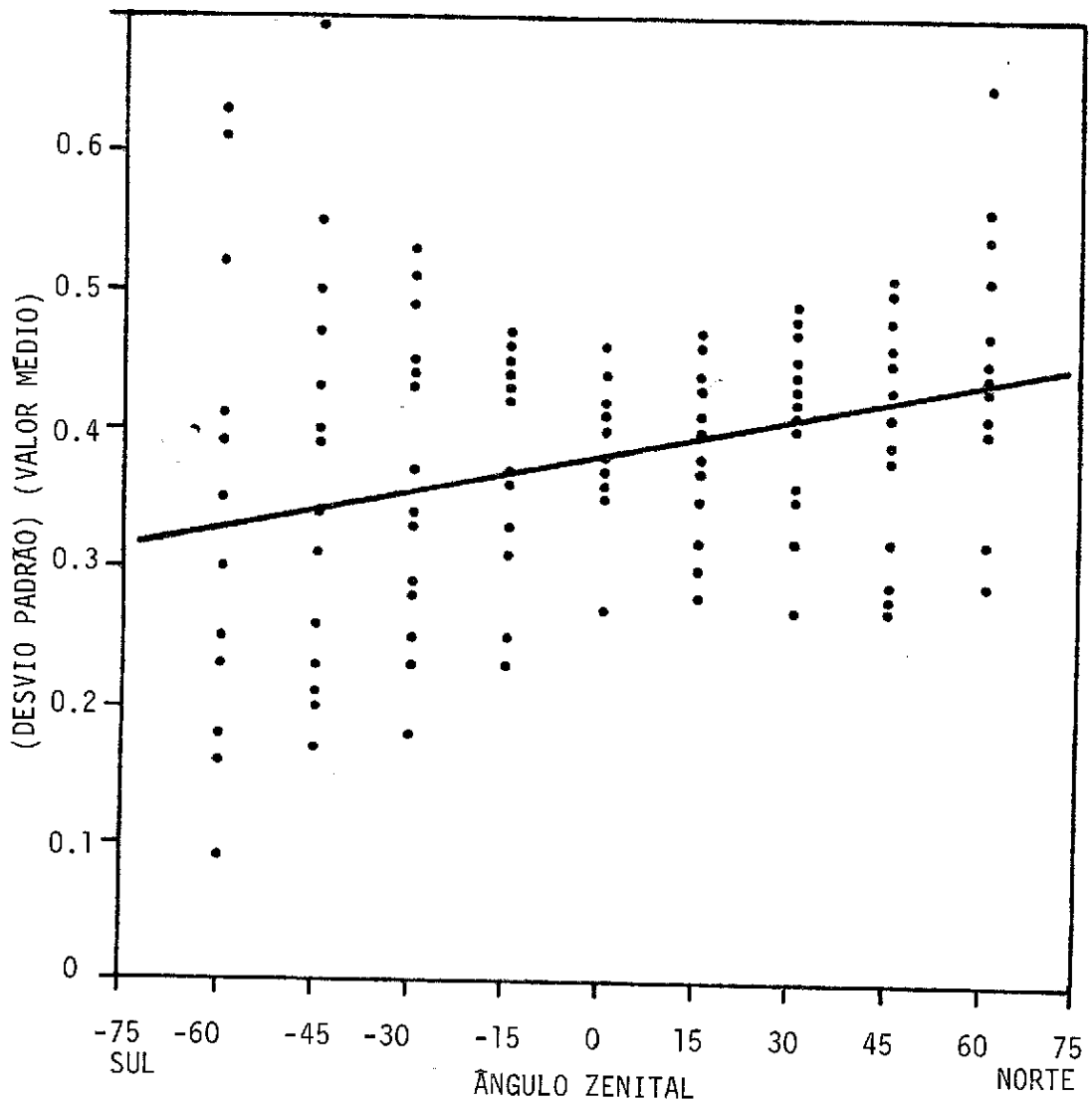


Fig. 3 - Análise estatística das amplitudes de perturbação em função do ângulo zenital.

A Figura 4 mostra a estatística da ocorrência e não-ocorrência das perturbações na luminescência durante o ano de 1978 (Sobral et alii 1980 b). Observa-se que as ocorrências são maiores na primavera e verão, com máximas nos meses de março e outubro, e mínima no inverno. Estas ocorrências e não-ocorrências nas perturbações estão correlacionadas com as ocorrências e as não-ocorrências de espalhamento F do tipo altura, observadas com ionossonda em Cachoeira Paulista, em 100% (Sobral et alii, 1980b).

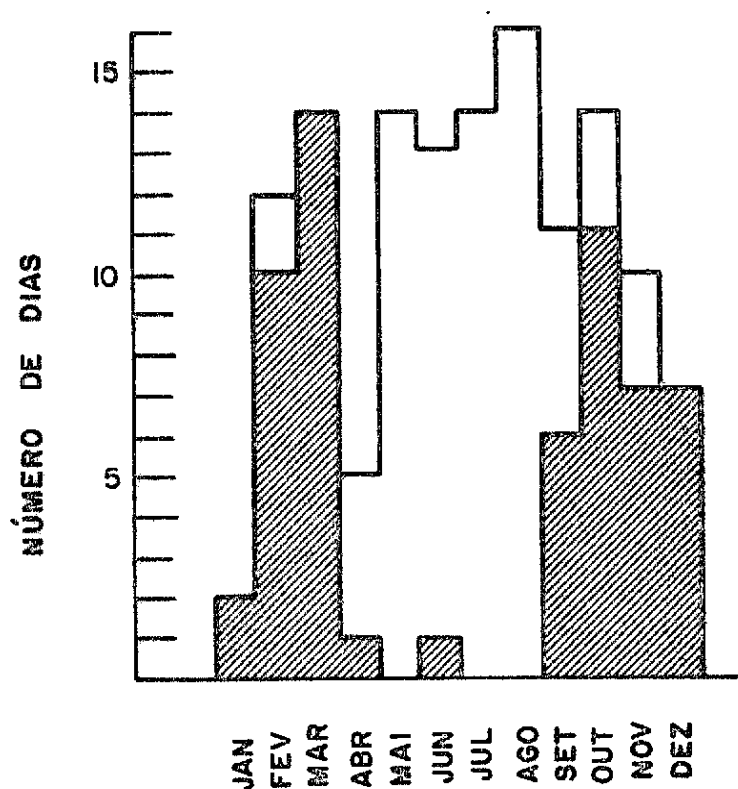


Fig. 4 - Estatística da ocorrência e da não-ocorrência de propagação das perturbações de norte para sul, observados com fotômetros de varredura em Cachoeira Paulista.

- A parte hachuriada corresponde à ocorrência e a parte em branco à não-ocorrência, no período de Janeiro de 1978 a Março de 1980.

FONTE: Sobral et alii, 1980b, p. 981.

3. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO

Para a interpretação dos resultados observados fez-se, inicialmente, uma simulação da instabilidade Rayleigh-Taylor colisional semelhante à realizada por Ossakow et alii (1979) para a geração da bolha.

Esta simulação difere da de Ossakow (caso ESF-3) nos perfis da atmosfera neutra.

Para o cálculo das densidades da atmosfera neutra foi utilizado o modelo de Jacchia (1977) com a temperatura exosférica de 1200°K , para representar as condições noturnas de verão de 1978 em Fortaleza.

As Figuras 5, 6 e 7 mostram a evolução da bolha em função do tempo, para 500s, 1150s e 1450s, respectivamente. A Figura 8 mostra o perfil de rarefação no eixo de simetria da bolha para os tempos acima.

Em seguida, utilizou-se o perfil de rarefação da bolha para o tempo igual a 1450s e considerou-se a bolha estendendo-se ao longo da linha de campo magnético de um dipolo desde a região equatorial até uma altura de 150 km (Figura 9). A Tabela 2 mostra as alturas da bolha em função do ângulo zenital e da altura da bolha no equador.

Existem várias evidências experimentais de que as bolhas são alongadas em grande extensão ao longo da linha de campo magnético. Dyson e Benson (1978), utilizando ionogramas obtidos com satélites ALOUETTE-II e ISIS-I, inferiram bolhas alinhadas ao longo do campo magnético, em grande extensão, na ionosfera equatorial, interpretando traços anômalos da propagação de alta frequência na bolha de plasma. Weber et alii (1978) fizeram medidas de luminescência em 6300 \AA com avião e observaram diminuição na intensidade, na direção norte-sul, alinhada com o campo magnético numa extensão superior a 1200 km, o que os autores atribuíram a zonas de rarefação de plasma, alinhadas ao longo do

campo magnético. Tsunoda (1980), utilizando medidas de varredura com radar de espalhamento incoerente em Kwjalein, observou bolhas de plasma com cerca de 90% de rarefação estendendo-se por 10° de latitude ao longo da linha de campo magnético.

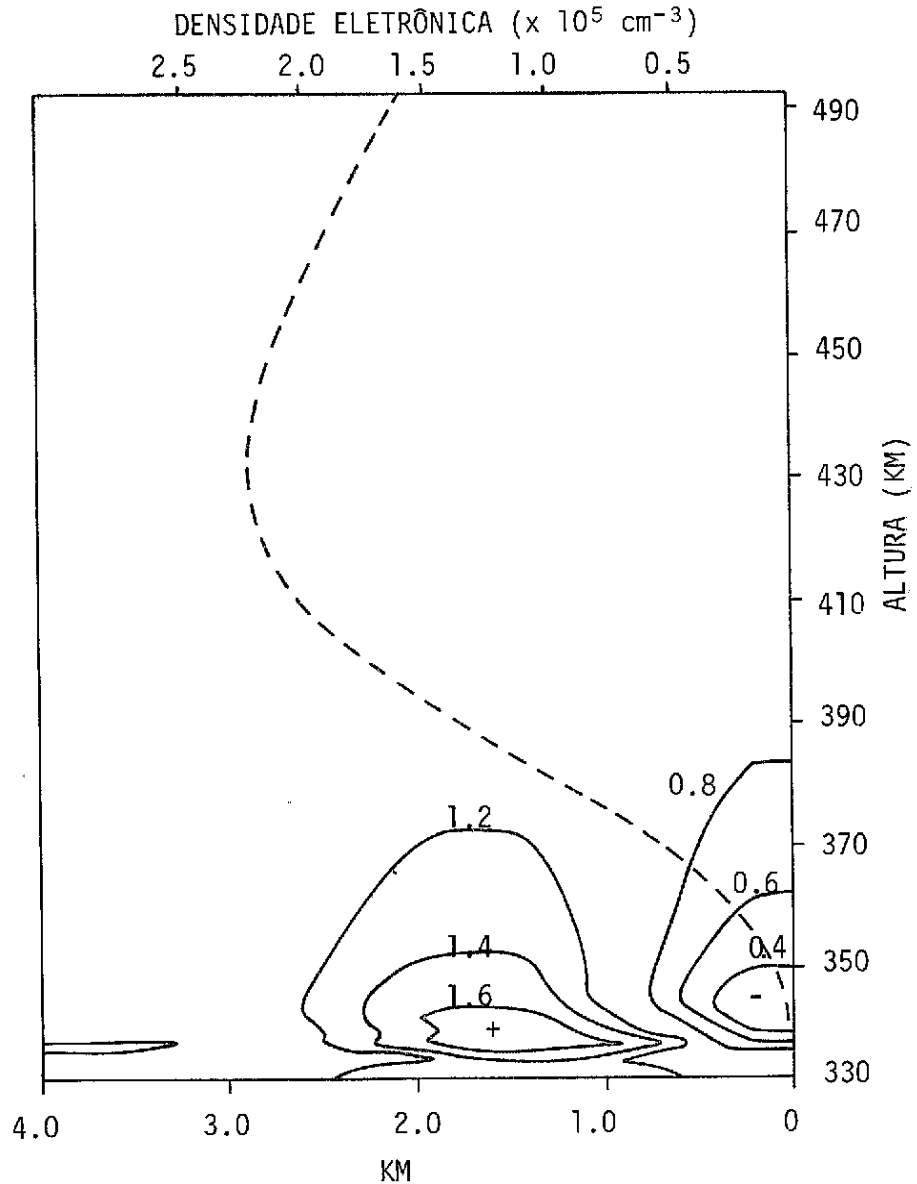


Fig. 5 - Contornos de n/n_0 constante da simulação da instabilidade de Rayleigh-Taylor para $t = 500\text{s}$.

- Os contornos com sinal menos indicam regiões de rarefação e os contornos com sinal mais, regiões de acúmulo de cargas. A linha tracejada mostra o perfil de densidade eletrônica.

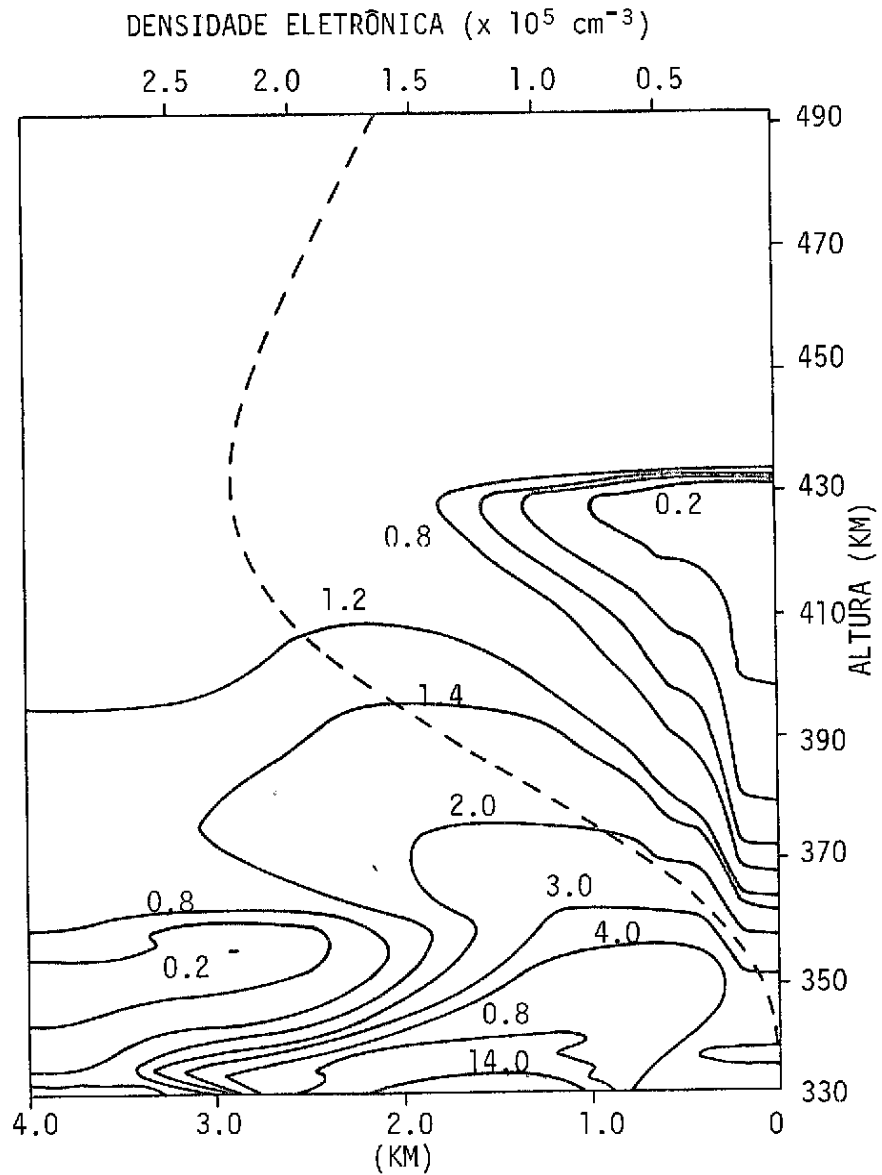


Fig. 6 - Contornos de n/n_0 constantes da simulação da instabilidade de Rayleigh-Taylor para $t = 1150s$.

- Os contornos com sinal menos indicam regiões de rarefação e os contornos com sinal mais, regiões de acúmulo de cargas. A linha tracejada mostra o perfil de densidade eletrônica.

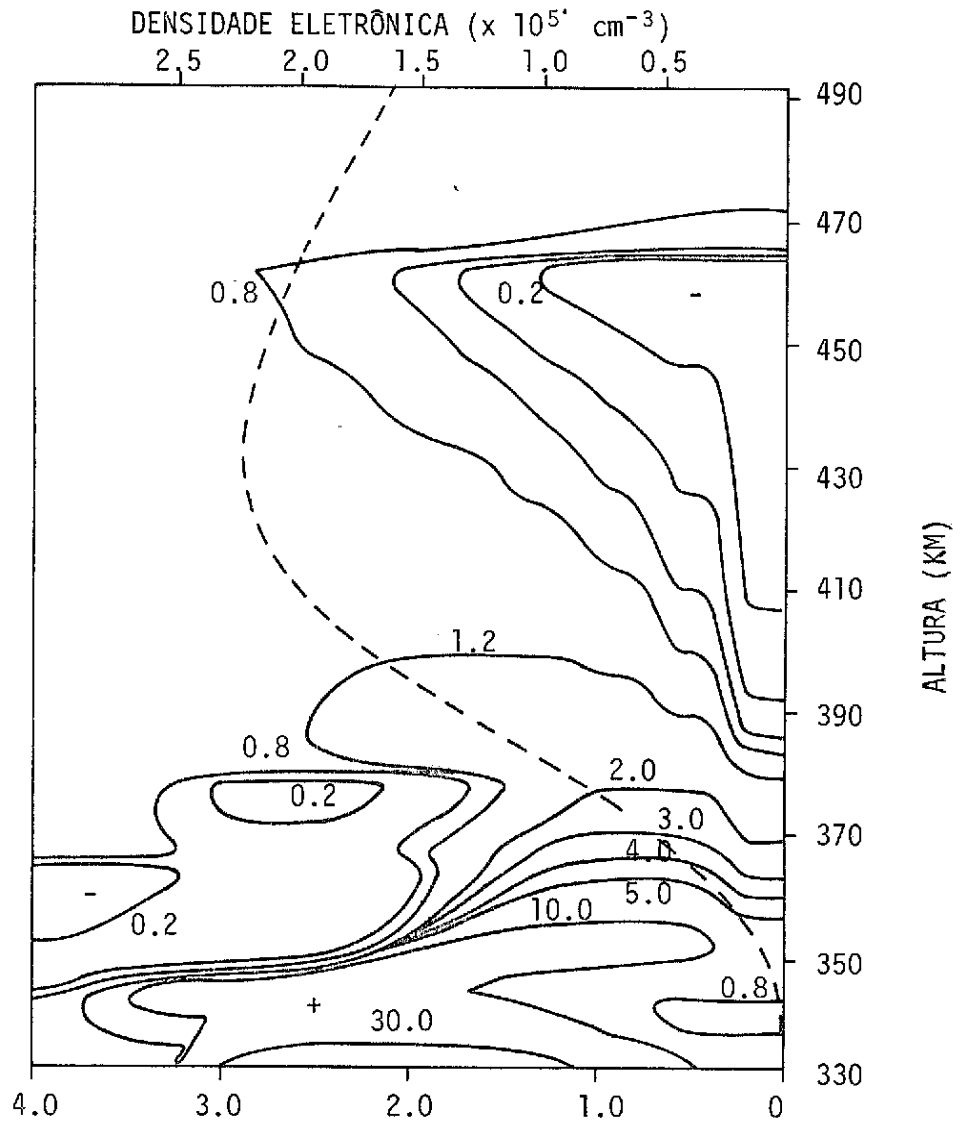


Fig. 7 - Contorno de n/n_0 constante da simulação da instabilidade Rayleigh-Taylor para $t = 1450s$.

- Os contornos com sinal menos indicam regiões de rarefação e os contornos com sinal mais, regiões de acúmulo de cargas. A linha tracejada mostra o perfil de densidade eletrônica.

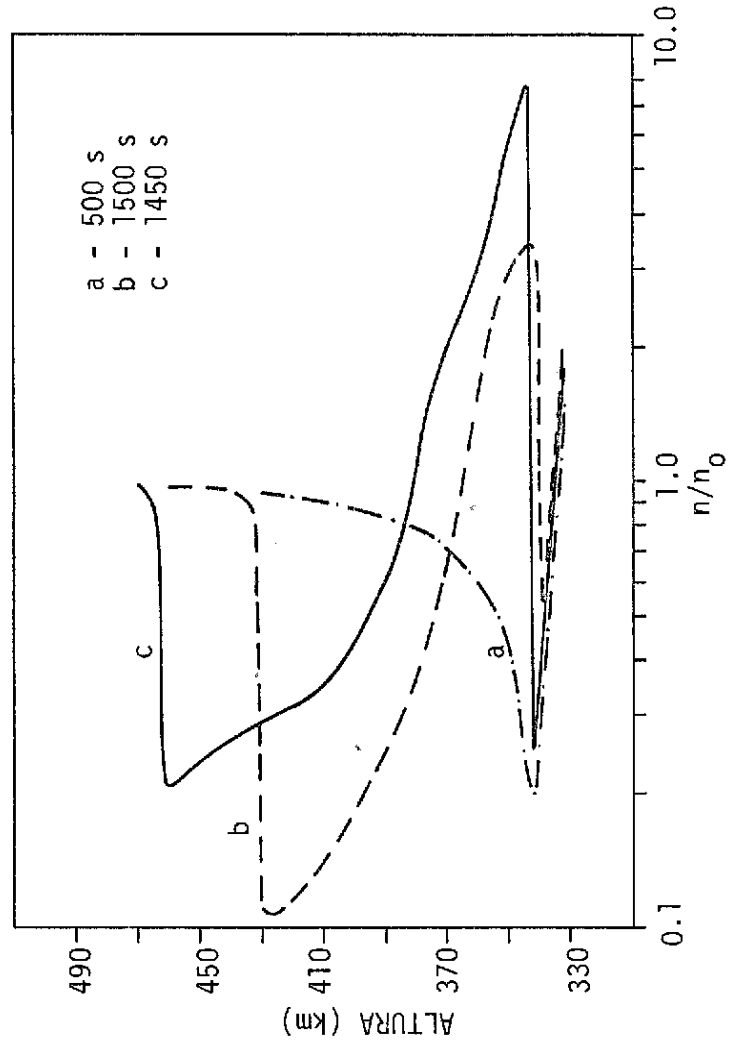


Fig. 8 - Perfis de densidade eletrônica n/n_0 no eixo de simetria da bolha em função da altura desimulação da instabilidade Rayleigh-Taylor.

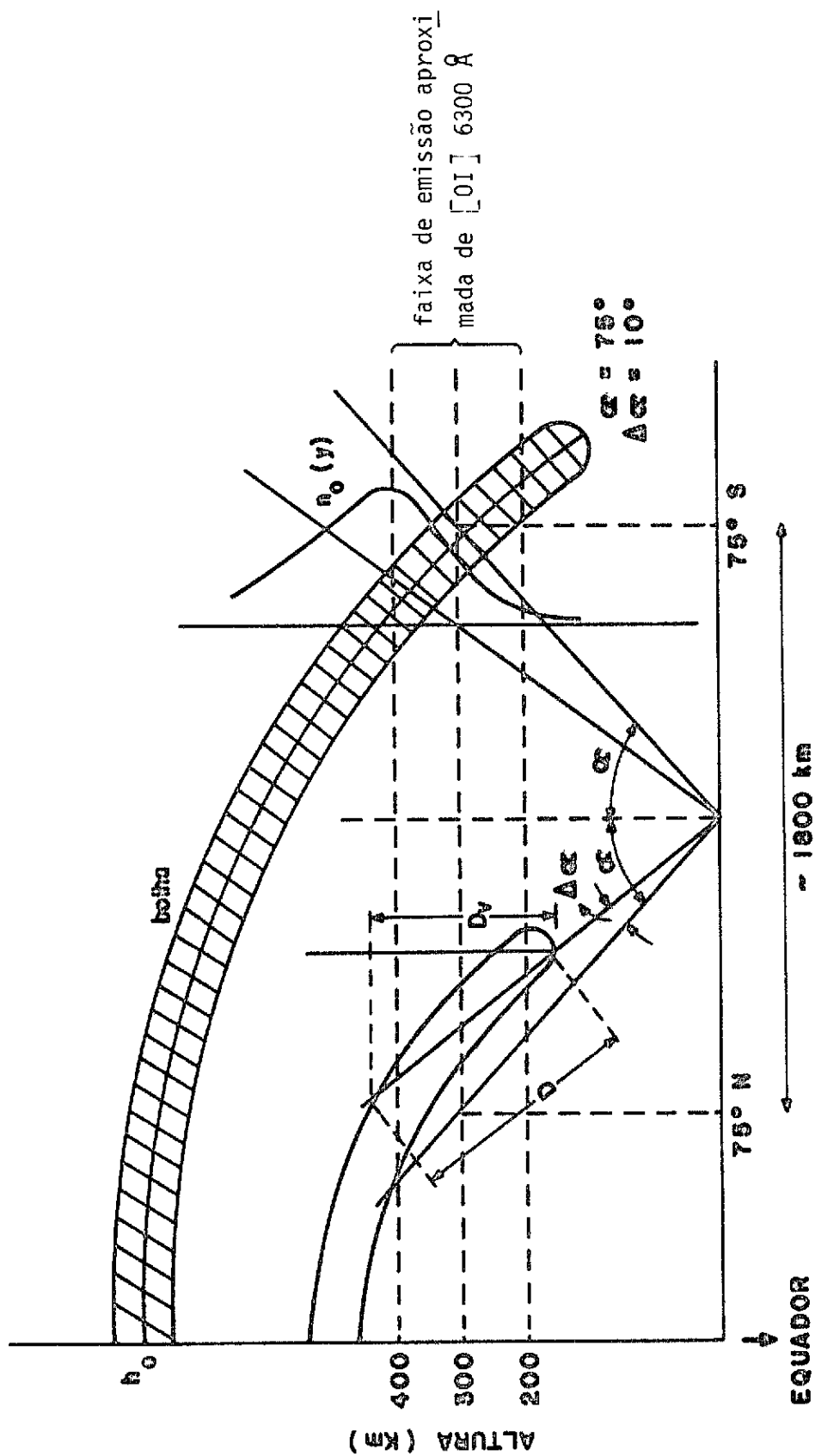


Fig. 9 - Diagrama do cálculo da intensidade $[OI] 6300 \text{ \AA}$ para vários ângulos zenitais α .

- h_0 indica altura da bolha no equador, $n_0(y)$ é o perfil de densidade eletrônica.

A seguir, será descrito o método de cálculo da intensidade de de luminescência no campo de varredura de fotômetro, no plano meridional. Para o cálculo da intensidade, as regiões de acúmulo na densidade não foram consideradas pelas seguintes razões: a) os acúmulos na simulação numérica não devem representar acúmulos reais, pois, as regiões de acúmulo estão limitadas pelo contorno da simulação, enquanto no caso real não existe essa limitação; b) a simulação é feita em duas dimensões e, portanto, não se leva em consideração e difusão ao longo da linha de campo magnético e c) as observações experimentais com radar, satélite, ou medidas de luminescência, não tem mostrado até o momento acúmulo de densidade geradas na formação das bolhas de plasma ionosférico.

Quanto ao perfil de densidade eletrônica, utilizou-se a função de Chapman com a densidade do pico da camada F e a sua altura variando com latitude, segundo as curvas apresentadas nas Figuras 10 e 11, respectivamente. Tomaram-se as densidades e as alturas conforme as Figuras 10 e 11 para incluir o efeito da anomalia equatorial ou de Appleton. Esse modelo foi adotado com base nos trabalhos de Lyon e Thomas (1963) e Hanson e Moffett (1966). Na Figura 10 tomou-se por base a densidade do pico da camada F em Cachoeira Paulista (dados de ionossonda), tendo o valor $1.8 \times 10^6 \text{ cm}^{-3}$, que é um valor típico encontrado nos meses de verão, em torno de 20 horas. Para a altura do pico da camada F foi considerado 350 km em Cachoeira Paulista. Este valor corresponde a uma altura média encontrada para o mês de março de 1978, em torno de 20 horas, em Cachoeira Paulista. A escala de altura utilizada na função de Chapman foi $H = 55 \text{ km}$ abaixo do pico da camada F, e $H = 65 \text{ km}$, acima do pico.

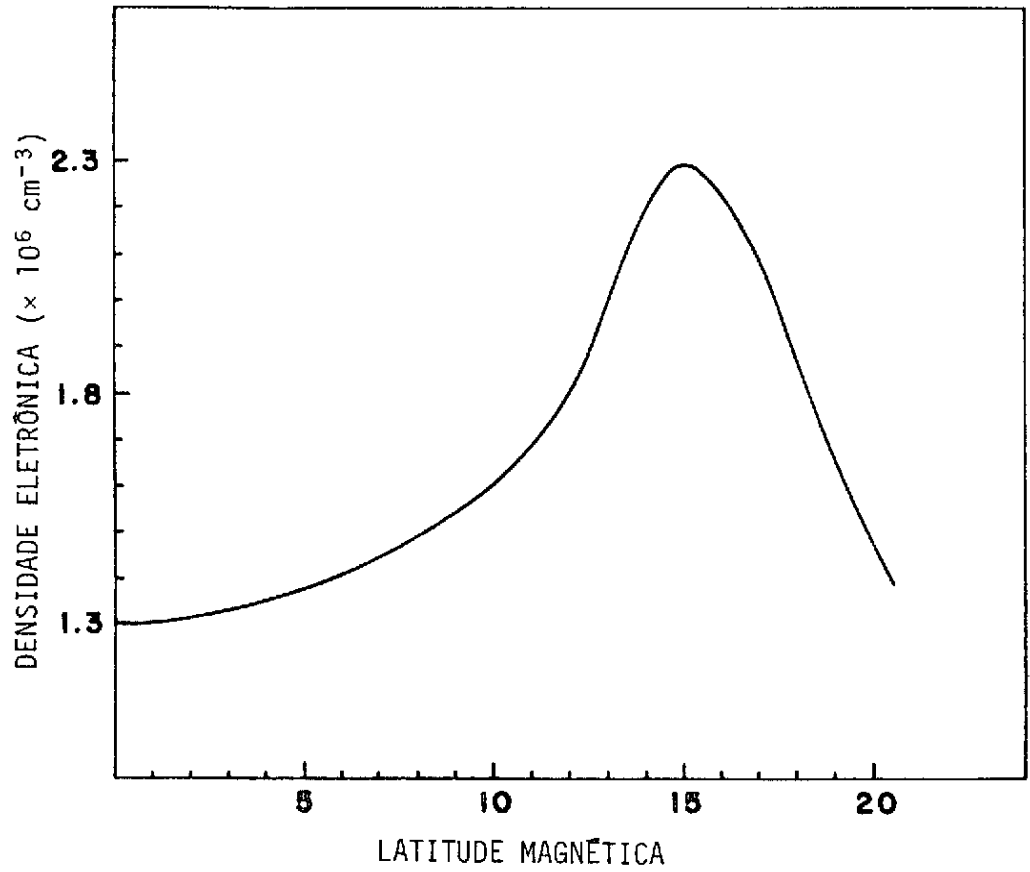


Fig. 10 - Densidade eletrônica do pico da camada $F(n_m^F)$ em função de latitude magnética

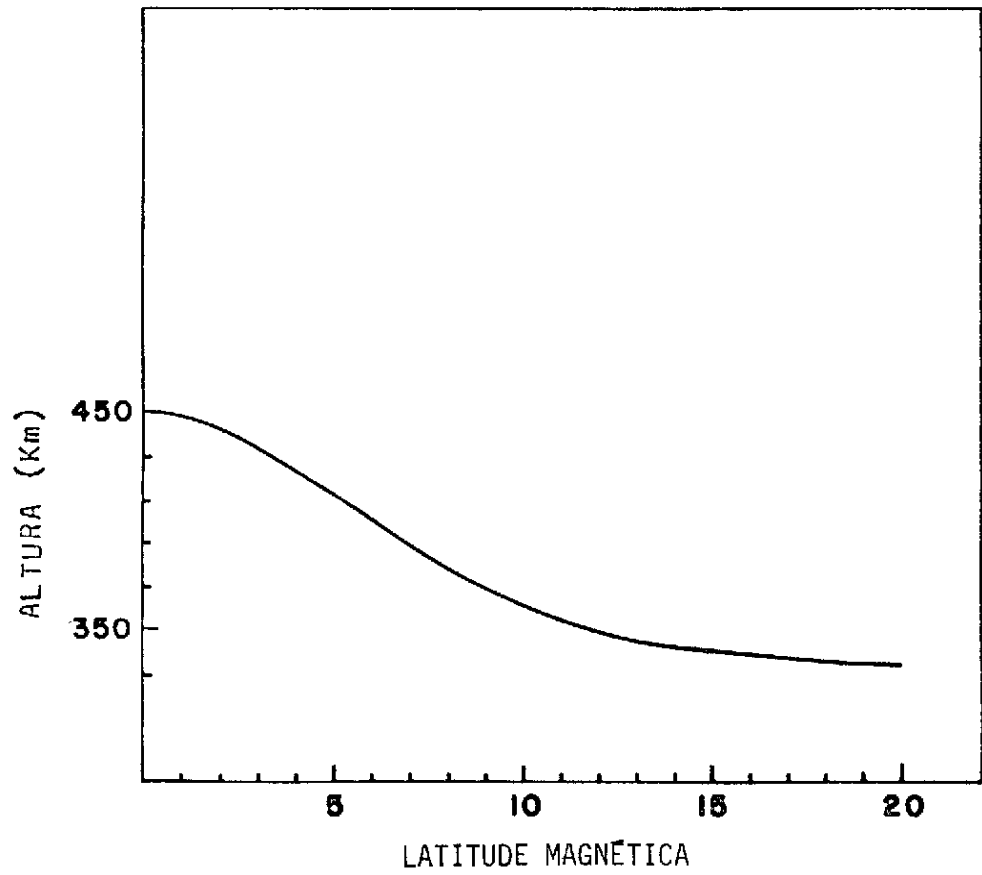


Fig. 11 - Altura do pico da camada $F(h_m^F)$ em função da latitude magnética.

Calcularam-se, então, esses perfis de densidade eletrônica perturbados pela presença da bolha. Em seguida, calculou-se a intensidade de luminescência $[OI]$ 6300 Å no campo de varredura do fotômetro, na direção de visada, para cada intervalo de 10^0 de ângulo zenital, com as seguintes considerações:

- a) Os perfis não perturbados de densidade eletrônica e da atmosfera neutra foram considerados constantes para cada ângulo de visada.
- b) Como a espessura da bolha "vista" pelo fotômetro varia com a latitude, foi inicialmente calculada a espessura da bolha para cada ângulo de visada (distância D na Figura 9). Em seguida, fez-se a projeção da espessura D na direção vertical (distância D_v). Em seguida, calculou-se o perfil de rarefação para a distância D_v , por meio de interpolação.
- c) Com o perfil de rarefação obtido acima, calculou-se o perfil vertical de densidade eletrônica perturbado pela bolha e fez-se a integração da intensidade, dada por

$$I(6300) = \sec(\alpha) \int_{h_1}^{h_2} \frac{A(6300)}{A+Q[N_2]} R\beta_1 [O_2] [n] F dh \quad (1)$$

onde:

α : ângulo zenital;

$[x]$: indica a concentração do elemento x;

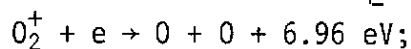
n : densidade eletrônica;

A(6300): Coeficiente de Einstein para emissão espontânea;

$A = A(6300) + A(6300) + A(6394)$

Q: taxa de desativação devido a colisões com N_2 ;

R: número médio de átomo $O[{}^1D]$, produzidos pela reação:



$F = [O^+] / [n]$;

$h_1 = 150 \text{ km}$ e $h_2 = 600 \text{ km}$

A Equação 1, sem o fator $\sec(\alpha)$, fornece a intensidade na direção vertical (Sobral, 1973). As constantes acima utilizadas podem ser encontradas em Sobral (1973).

A Figura 12 mostra a intensidade da linha 6300 Å na linha visada do fotômetro para vários ângulos zenitais e para várias alturas da bolha. O parâmetro h_0 , indicado na Figura 12, corresponde à altura do centro da bolha no equador magnético. Os cálculos foram feitos com h_0 a 450, 550, 650 e 750 km. Considerando-se que a velocidade de subida da bolha no equador seja de 120 m/s obtida na simulação, as alturas h_0 acima correspondem aos tempos $t = 0, 14, 28$ e 42 minutos respectivamente. A Figura 12 mostra que a medida que a bolha sobe de 450 a 750 km, a perturbação na intensidade (vale) se propaga de norte para sul.

Quando a bolha sobe de 450 a 550 km, em 14 minutos no equador, o seu deslocamento no mesmo período de tempo de norte para sul, na altura de 300 km é de 270 km (veja Tabela 2), resultando, para o vale, numa velocidade de 320 m/s ao norte do ponto de observação. Analogamente, quando a bolha sobe de 650 a 750 km, a extensão percorrida pelo vale é de 210 km, o que resulta numa velocidade de 250 m/s ao sul do ponto de observação, caso se tomem os mesmos 14 minutos. Estas velocidades se acham em boa concordância com as velocidades horizontais de fase, observadas nas medidas em varredura de intensidade de [OI] 6300 Å, que foi de (304 ± 159) m/s ao norte de Cachoeira Paulista e (246 ± 105) m/s, ao sul.

Na Figura 12, observa-se também que a amplitude de perturbação decresce com latitude, o que concorda com a análise estatística dos dados, apresentada na Figura 3. Esse decréscimo na amplitude da perturbação com a latitude foi obtido apenas pela consideração geométrica da bolha; entretanto podem existir outros fatores físicos, como a diminuição na rarefação e variação na espessura da bolha com a latitude.

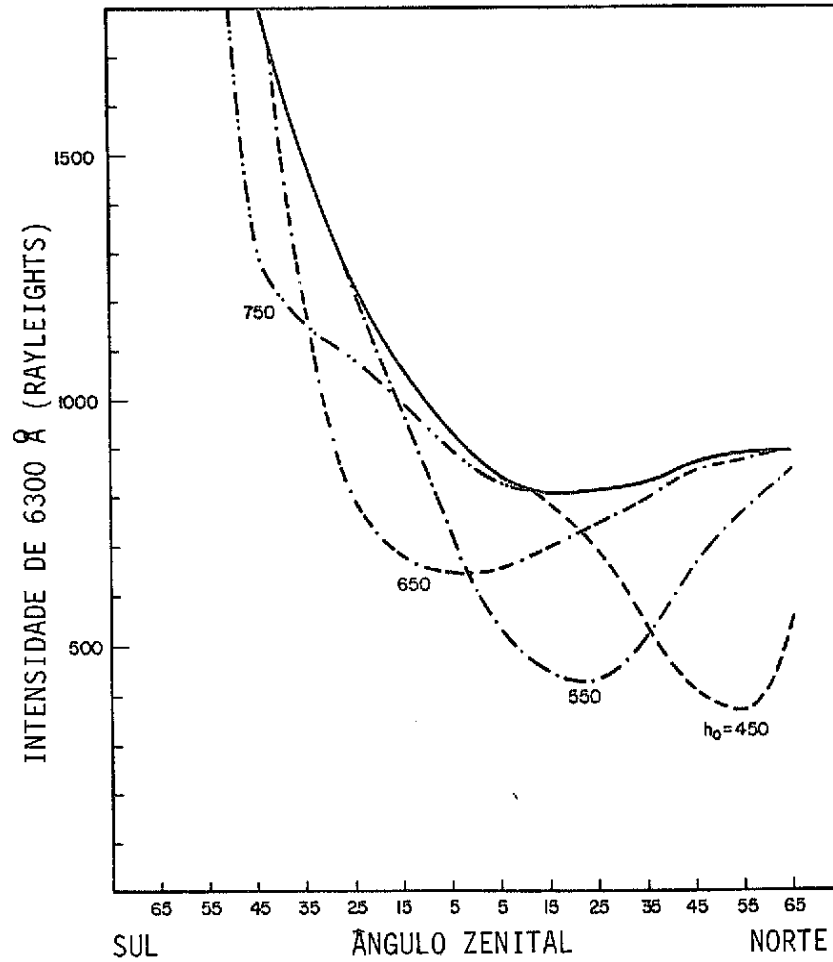


Fig. 12 - Intensidade de luminescência [OI] 6300 Å no ângulo de visada do fotômetro em função do ângulo zenital e da altura da bolha.
- h_0 corresponde à altura da bolha no equador.

TABELA 2

ALTURA DA BOLHA EM FUNÇÃO DA LATITUDE MAGNÉTICA OU ÂNGULO ZENITAL

| ÂNGULO ZENITAL | 75 | 65 | 55 | 45 | 35 | 25 | 15 | 5° | 5° | 15 | 25 | 35 | 45 | 55 | 65 | 75 |
|--------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| LATITUDE MAGNÉTICA | 4.29 | 6.94 | 8.47 | 9.48 | 10.21 | 10.80 | 11.31 | 11.77 | 12.23 | 12.69 | 13.20 | 13.79 | 14.52 | 15.53 | 17.06 | 19.71 |
| D. P. O (km) | 897 | 588 | 410 | 293 | 207 | 139 | 80 | 26 | 26 | 50 | 139 | 207 | 293 | 410 | 588 | 897 |
| h_0 | 300 | 262 | 202 | 155 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 350 | 312 | 251 | 204 | 167 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 400 | 362 | 301 | 253 | 216 | 187 | 162 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 450 | 411 | 350 | 301 | 265 | 235 | 210 | 187 | 166 | - | - | - | - | - | - | - |
| | 500 | 461 | 399 | 350 | 313 | 283 | 258 | 235 | 213 | 191 | 168 | - | - | - | - | - |
| | 550 | 511 | 448 | 399 | 362 | 332 | 306 | 283 | 261 | 239 | 216 | 189 | 157 | - | - | - |
| | 600 | 560 | 498 | 448 | 411 | 380 | 355 | 331 | 309 | 287 | 263 | 236 | 204 | 161 | - | - |
| | 625 | 585 | 522 | 473 | 435 | 405 | 379 | 355 | 333 | 311 | 287 | 260 | 227 | 185 | - | - |
| | 650 | 610 | 547 | 497 | 459 | 429 | 403 | 379 | 357 | 335 | 311 | 287 | 251 | 208 | - | - |
| | 700 | 660 | 596 | 545 | 508 | 477 | 451 | 428 | 405 | 382 | 358 | 331 | 298 | 255 | 193 | - |
| | 750 | 710 | 645 | 595 | 556 | 526 | 499 | 476 | 453 | 430 | 406 | 378 | 345 | 302 | 239 | - |
| | 800 | 759 | 695 | 644 | 605 | 574 | 548 | 524 | 501 | 378 | 454 | 426 | 392 | 349 | 286 | 183 |
| | 850 | 609 | 744 | 693 | 654 | 622 | 596 | 572 | 549 | 526 | 501 | 473 | 440 | 396 | 332 | 228 |
| | 900 | 859 | 793 | 742 | 702 | 671 | 644 | 620 | 597 | 574 | 549 | 521 | 487 | 442 | 379 | 274 |

- h_0 indica a altura em km da bolha no equador.

- D.P.O significa a distância em relação de observação em horizontal a 300 km de altura.

A variação sazonal das ocorrências de perturbações na luminescência e de espalhamento F, detectadas em Cachoeira Paulista, é análoga à variação sazonal de espalhamento F equatorial e de cintilações nos sinais de satélite, detectadas na região equatorial. Este fato é mais uma evidência de que as propagações das perturbações na luminescência são manifestações de bolhas de plasma equatorial.

O deslocamento das irregularidades de oeste para leste com velocidade da ordem de 150 m/s (Sobral et alii, 1980b) concorda com as observações das bolhas feitas com radar em Jimarica por Woodman e La Hoz (1976), observações de satélite por McClure et alii (1977) e observações de cintilações (Basu e Kelley, 1979). Esse deslocamento é devido ao movimento da ionosfera para leste, durante a noite, devido ao campo elétrico vertical produzido pelo efeito dínamo (Heelis et alii 1974).

4. CONCLUSÕES

Assim, considerando-se as evidências experimentais e téóricas acima, sugere-se que as irregularidades detectadas por fotômetro e por ionossonda sejam causadas por bolhas alinhadas ao longo do campo magnético deslocando-se para cima e para leste com relação a superfície, bolhas estas geradas pela instabilidade Rayleigh-Taylor na região equatorial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASU, S.; KELLEY, M.C. A review of recent observations of equatorial scintillations and their relationship to current theories of F region irregularity generation. *Radio Science*, 14(3):471-485, May/June 1979.
- BURKE, W.J.; DONATELLI, D.E.; SAGALYN, R.C. The longitudinal distribution of equatorial spread F plasma bubbles in the topside ionosphere. *Journal of Geophysical Research*, 85(A.3):1335-1340, Mar. 1980.
- DYSON, P.L.; BENSON, R.F. Topside sounder observations of equatorial bubbles. *Geophysical Research Letters*, 5(9):795-798, Sept. 1978.
- FEJER, B.G.; KELLEY, M.C. Ionospheric irregularities. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 80(2):401-454, May 1980.
- HANSON, W.B.; MOFFETT, R.J. Ionization transport effects in the equatorial F region. *Journal of Geophysical Research*, 71(23): 5559-5572, Dec. 1966.
- HEELLIS, R.A.; KENDALL, P.C.; MOFFET, R.J.; WINDLE, D.W.; RISHBETH, H. Electrical coupling of the E and F regions and its effect on F regions drifts and winds. *Planetary Space Science*, 22(s.f.):743-756, 1974.
- JACCHIA, L.G. *Thermospheric temperature density and composition: new models*. Cambridge, MA, Smithsonian Astrophysical Observatory, 1977. (Special Report 375).
- LYON, A.J.; THOMAS, L. The F2-region equatorial anomaly in the African, American and East Asian sectors during sunspot maximum. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 25(s.f.):373-386, 1963.

- McCLURE, J.P.; HANSON, W.B.; HOFFMAN, J.F. Plasma bubbles and irregularities in the equatorial ionosphere. *Journal of Geophysical Research*, 82(19):2650-2656, July 1977.
- OSSAKOW, S.L.; ZALESK, S.T.; McDONALD, B.E.; CHATURVEDI, P.K. Nonlinear equatorial spread F: dependence on altitude of the peak and bottomside background electron density gradient scale length. *Journal of Geophysical Research*, 84(A.1):17-29, Jan. 1979.
- SOBRAL, J.H.A. *Airglow and incoherent scatter studies of the dynamics of the nighttime ionosphere at Arecibo*. PhD Thesis in Electrical Engineering. Ithaca, Cornell University, 1973.
- SOBRAL, J.H.A.; ABDU, M.A.; BATISTA, I.S. Airglow studies on the ionosphere dynamics over low latitude in Brazil. *Annales of Geophysique*, 36(2):199-204, 1980a.
- SOBRAL, J.H.A.; ABDU, M.A.; ZAMLUTTI, C.J.; BATISTA, I.S. Association between plasma bubble irregularities and airglow disturbances over Brazilian low latitude. *Geophysical Research Letters*, 7(11):980-982, Nov. 1980b.
- TSUNODA, R.T. Magnetic-field-aligned characteristics of plasma bubbles in the nighttime equatorial ionosphere. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 42(8):743-752, Aug, 1980.
- . Wave disturbances in the low latitude ionosphere and equatorial ionospheric plasma depletions. *Journal of Geophysical Research*, 86(A3):1374-1378, Mar. 1981.
- WEBER, R.J.; BUCHAU, J.; MOORE, J.G. Airborne studies of equatorial F-layer ionospheric irregularities. *Journal of Geophysical Research*, 85(A9):4631-4641, Sept. 1980.
- WOODMAN, R.F.; LA HOZ, C. Radar observations of F region equatorial irregularities. *Journal of Geophysical Research*, 81(31):5447-5466, Nov. 1976.