

1. Publicação nº INPE-2487-PRE/171	2. Versão	3. Data Julho, 1982	5. Distribuição ☐ Interna ☒ Externa ☐ Restrita
4. Origem DGA		Programa IONOSFERA	
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) PROPAGACÃO DE ONDAS IONOSFERA OZÔNIO			
7. C.D.U.: 523.4-853			
8. Título A INFLUÊNCIA DA CAMADA ATMOSFÉRICA DE OZÔNIO NA FORMAÇÃO DA CAMADA D DA IONOSFERA AO AMANHECER		10. Páginas: 20	
		11. Última página: 11	
9. Autoria Renê A. Medrano -B Liliana R. Piazza M.A. Abdu		12. Revisada por Ivan Jelinek Kantor	
Assinatura responsável <i>Renê A. Medrano B.</i>		13. Autorizada por Nelson de Jesus Parada Diretor	
14. Resumo/Notas Os dados de fase de sinais em VLF de 13,6 KHz, transmitidos de Golfo Nuevo, Argentina (43°S, 65°O), e registrados em Atibaia, SP (23°S, 46°O), são analisados juntamente com os dados de ozônio atmosférico, medidos pelos espectrofotômetros Dobson em Cachoeira Paulista, SP (22°S, 45°O), e Natal, RN (4°S, 36°O). Estuda-se uma possível influência da camada atmosférica de ozônio na formação, ao amanhecer, da camada D da ionosfera. A análise compreende dados desde 1977 até 1980. É observada uma razoável correlação entre as flutuações do conteúdo total de ozônio, sobre Cachoeira Paulista, e as horas de transição de fase VLF ao amanhecer. Este resultado representa uma evidência experimental de que a radiação ultravioleta solar (em determinados comprimentos de onda), que é absorvida na camada de ozônio, é a principal responsável pela formação da camada D nesta horas. Nota-se, também, que estas correlações ocorrem, em geral, com atraso de um dia nas flutuações em VLF, em relação às do ozônio, na primeira metade do ano, e adiantadas na segunda metade. Este último resultado indica um comportamento anualmente recorrente no transporte horizontal do ozônio atmosférico. Não são encontradas correlações semelhantes entre as flutuações dos dados de ozônio de Natal e os de VLF.			
15. Observações Este trabalho foi parcialmente subvencionado pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT), através do contrato FINEP 537/CT. Trabalho apresentado na 34ª Reunião Anual da SBPC.			

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Dr. Y. Sahai por ter permitido o acesso aos dados de ozônio ainda não-publicados.

ABSTRACT

Phase data of 13,6 Khz VLF signal, transmitted from Golfo Nuevo, Argentina ($43^{\circ}\text{S}, 65^{\circ}\text{W}$), and recorded in Atibaia, SP ($23^{\circ}\text{S}, 46^{\circ}\text{W}$), together with atmospheric ozone measurements from Dobson spectrophotometers located in Cachoeira Paulista, SP ($22^{\circ}\text{S}, 45^{\circ}\text{W}$) and Natal, RN ($4^{\circ}\text{S}, 36^{\circ}\text{W}$) are analyzed. A possible influence of the atmospheric ozone layer on the sunrise of the ionospheric D layer is studied. The analysis covers data from 1977 to 1980. A reasonably good correlation between fluctuation in the total ozone content over Cachoeira Paulista and the sunrise phase transition of the VLF signal is found. This represents an experimental evidence that the solar ultraviolet radiation (in specific wavelengths), which is absorbed in the ozone layer, is the main responsible for the D layer at these times. Also, these correlations seem to occur, in general, with one-day delay in the VLF fluctuation, as compared to those in the ozone, during the first half of the year, and advanced in the second half. This last result suggests an annually recurrent behavior in the horizontal transport of the atmospheric ozone. Similar correlations between fluctuation of the Natal ozone data and VLF data are not found.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	<i>vi</i>
1. <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2. <u>ANÁLISE DE DADOS</u>	2
3. <u>INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO</u>	9
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	11

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1 - Variação do instante do amanhecer (em U.T.) na altura de reflexão dos sinais de VLF, transmitidos de Golfo Nuevo, para os meses de agosto de 1977 e janeiro de 1978	3
2 - Séries temporais de conteúdo de ozônio, observado em Cachoeira Paulista, e flutuações ao amanhecer, (referidos a um nível médio), correspondentes a a) ago. 1977 e b) jan. 1978	4
3 - Defasamentos de correlação de eventos semelhantes entre os dados mensais de ozônio e os do instante do amanhecer	7
4 - Número de ocorrências de defasagem de eventos semelhantes entre os observados nos dados de ozônio e os observados ao amanhecer, para 1977, 1978 e 1979	8

1. INTRODUÇÃO

Mudanças na ionização ao amanhecer (nascer do sol), na parte baixa da ionosfera, já foram estudadas diretamente por intermédio de medidas feitas através de instrumentos colocados em foguetes e, também, através de estudos de propagação de ondas de rádio (VLF até VHF) na ionosfera. Assim, baseados nos perfis de densidade eletrônica, medidos pouco antes do amanhecer local, Bowhill e Smith (1966) chegaram à conclusão de que a parte da radiação ultravioleta (UV) solar, responsável pelo início da produção eletrônica na parte superior da camada D, correspondia à banda de Hartley, a qual é fortemente absorvida pela camada de ozônio. Hultqvist (1966), considerando a maior parte dos dados disponíveis na época, inclusive resultados de PCA ("Polar Cap Absorption"), chegou a conclusões similares.

Através de medidas simultâneas em instantes próximos ao nascer do sol, tanto da amplitude de VLF como da densidade eletrônica (a bordo de foguetes), Sechrist (1968) determinou o comprimento de onda da radiação UV, mencionada anteriormente, e também chegou à conclusão que a variação do instante em que se inicia a absorção dos sinais de VLF podia ser devida a mudanças na composição iônica negativa, em regiões próximas à altura de reflexão. Tanto a determinação da altura da blindagem causada pela camada de ozônio, como a determinação do comprimento de onda da radiação UV foram publicados por Schaal e Ananthakrishnan (1970), que utilizaram resultados de propagação VLF, a longa distância. Entretanto, até agora não foi publicada uma evidência experimental, direta, da relação existente entre as mudanças na densidade eletrônica, da parte baixa da ionosfera, e o conteúdo de ozônio atmosférico.

No presente trabalho foram analisados os dados de propagação de sinais de VLF e os de ozônio atmosférico, visando esclarecer se de fato existe alguma influência da camada de ozônio na formação da camada D ionosférica. Os resultados obtidos da análise, de três anos de dados, indicam uma certa correspondência entre as flutuações do conteúdo

do de ozônio e as correspondentes ao instante do início da transição da fase, de sinais de VLF, ao nascer do sol.

2. ANÁLISE DOS DADOS

Os dados utilizados nesta análise correspondem ao registro de fase dos sinais de VLF, em 13,5 KHz, transmitidos em Golfo Nuevo, Argentina (43°S , 65°O), e recebidos em Atibaia, SP (23°S , 46°O), e as medidas de conteúdo de ozônio obtidas através dos espectrofotômetros Dobson instalados em Cachoeira Paulista, SP (22°S , 45°O), e em Natal, RN (4°S , 36°O).

A análise dos dados de VLF consiste na determinação do instante em que se inicia a transição de fase do sinal de VLF, o qual é causado pelo aumento da densidade eletrônica, na altura de reflexão, que, por sua vez, é devido ao nascer do sol no local. Assim, o início da transição da fase, do sinal de VLF, aqui é identificado como o amanhecer local. A Figura 1 mostra a variação do instante do nascer do sol, durante os meses de agosto de 1977 e janeiro de 1978, segundo dados inferidos do registro de fase dos sinais de VLF. O comportamento temporal dos dados de ambos os meses mostra inclinações diferentes, as quais correspondem à variação anual na hora do amanhecer devido ao ângulo de $23,5^{\circ}$ entre os planos equatorial e da eclíptica. O que é de maior importância, nesta figura, é a estrutura fina em forma de flutuações de ambas as séries temporais. Objetivando-se uma comparação com os dados de ozônio, os quais não apresentam uma apreciável variação anual, os dados do instante do amanhecer foram submetidos a um ajuste de mínimos quadrados e o resultado subtraído dos dados originais, ficando-se assim apenas com as flutuações. Os dados, nesta nova forma, foram analisados em conjunto com os do conteúdo de ozônio, a fim de identificar flutuações e/ou eventos isolados, comuns.

A Figura 2 (a e b) apresenta tanto os dados de ozônio, como as flutuações na hora do amanhecer, correspondentes à Figura 1. Nas partes (a) e (b) desta figura somente foram incluídos dados de ozônio de

Cachoeira Paulista, e não os de Natal, uma vez que estes não apresentam eventos que permitam uma associação apreciável. Na Figura 2(a e b), as medidas de ozônio em Cachoeira Paulista são mostradas na parte superior em círculos cheios e unidos por linha contínua. Na parte inferior são mostrados os dados do nascer do sol, submetidos ao tratamento mencionado anteriormente. Os pontos unidos por traços indicam falta de dados nestes intervalos. As séries temporais de ambos os conjuntos de dados foram deslocadas apropriadamente, a fim de salientar a correspondência de eventos de possível associação entre ambos os dados experimentais. Por exemplo, para mostrar a possível correspondência de eventos semelhantes, os dados do nascer do sol na Figura 2a foram atrasados em 1 dia em relação aos do ozônio (aqui chamado de defasamento negativo), ao passo que, na Figura 2b, os dados do amanhecer foram adiantados em 2 dias (defasamento positivo). Nestes exemplos, pode-se notar comportamentos semelhantes nos últimos 20 dias nos dados de agosto-1977, e nos últimos 12 dias nos dados de janeiro-1978.

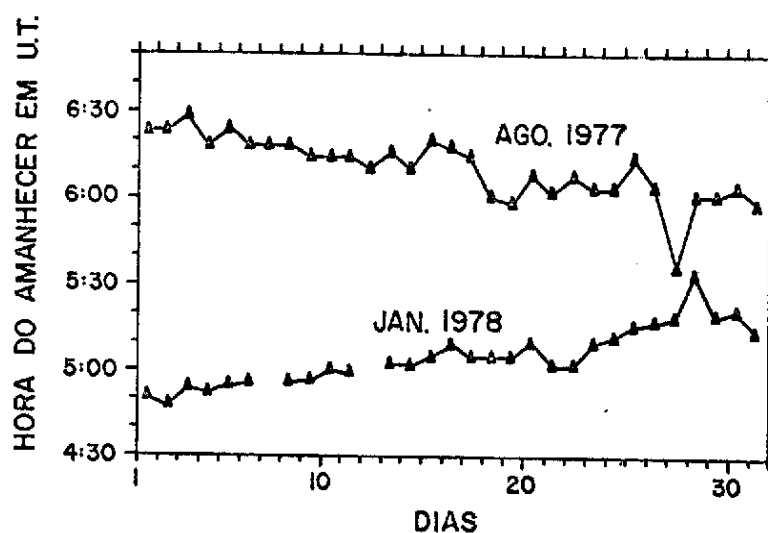


Fig. 1 - Variação do instante do amanhecer (em U.T.) na altura de reflexão dos sinais de VLF, transmitidos de Golfo Nuevo, para os meses de agosto de 1977 e janeiro 1978.

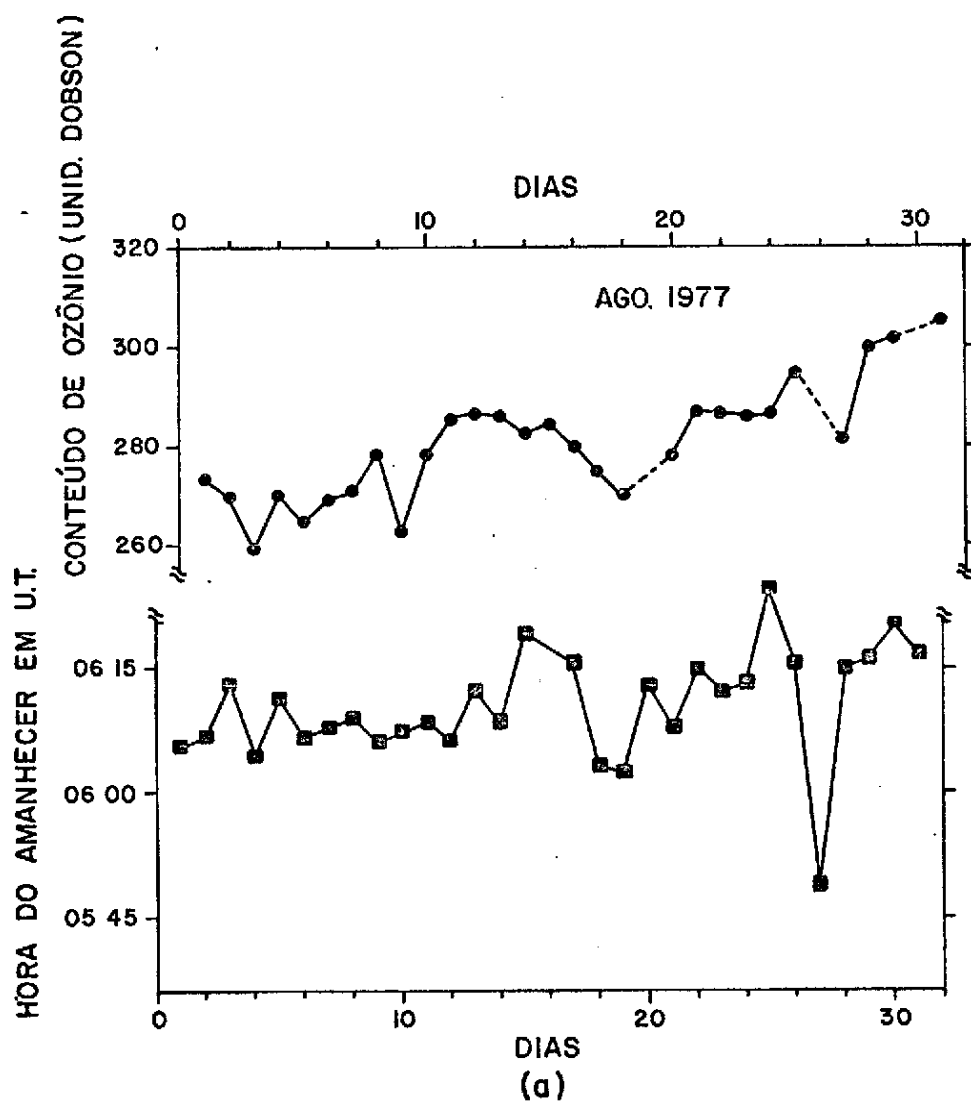


Fig. 2 - Séries temporais de conteúdo de ozônio, observado em Cachoeira Paulista, e flutuações ao amanhecer (referidos a um nível médio), correspondentes a (a) ago. 1977 e (b) jan. 1978.

Os deslocamentos entre os dados, para ambas as figuras, foram efetuados para facilitar a identificação de eventos semelhantes.

(continua)

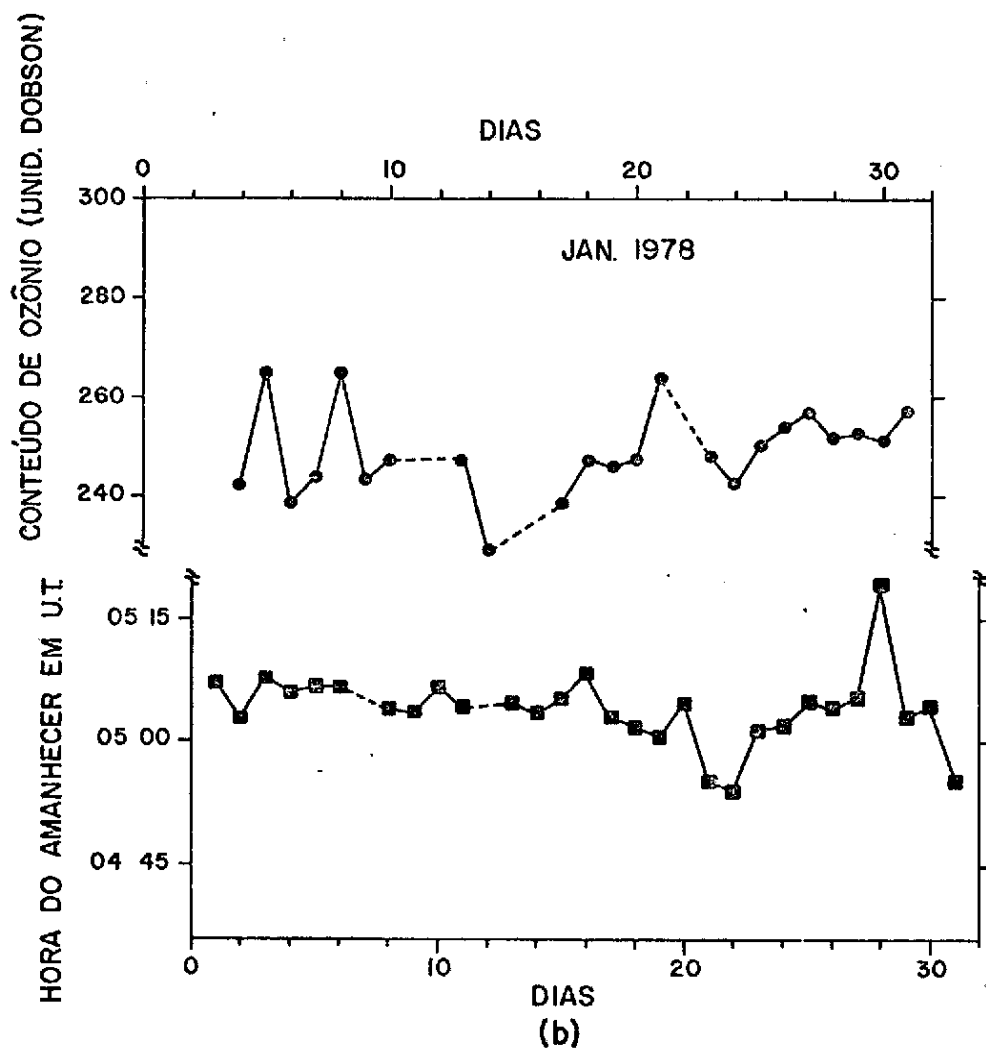


Fig. 2 - Conclusão

A Figura 3 mostra os dias de defasamento necessários para que as flutuações, ou eventos isolados, identificáveis nos dados do amanhecer, correspondam aos similares nos dados de conteúdo total de ozônio, para cada mês do ano. Nesta figura, a defasagem de correlação positiva (em dias) significa que as flutuações, e/ou eventos isolados, acontecem primeiro no conteúdo de ozônio e depois no instante do nascer do sol. A falta de pontos de correlação em alguns meses significa que não foi encontrada nenhuma correlação perceptível, mormente devido à falta de dados de um ou de outro. Estes resultados são interessantes porque os pontos de defasagem positiva prevalecem no primeiro semestre dos anos 1977 e 1978, e os de defasagem negativa, no segundo semestre destes mesmos anos. Contudo, este mesmo comportamento não é observado em 1979, quando as correlações encontradas foram poucas, embora exista ligeira indicação de um comportamento oposto.

A Figura 4 apresenta o número de vezes que foi observado cada defasagem de correlação nos dados correspondentes aos três anos. Nesta estatística, os pontos isolados correspondem a prováveis correlações não-indicados na Figura 3. Nota-se, nesta distribuição, que a tendência de ocorrer uma correlação, entre os eventos observados no conteúdo de ozônio e os do instante do amanhecer, é levemente maior quando os dados do nascer do sol estão atrasados em relação aos do ozônio. Entretanto, o mais importante destes resultados, segundo os dados aqui apresentados, é que parece existir uma correlação entre os eventos observados no conteúdo total de ozônio, na região de Cachoeira Paulista, e os do início da formação da parte baixa da ionosfera na região de Golfo Nuevo.

Analisaram-se também dados de ozônio do Dobson, instalado em Natal (4°S , 36°O) e submetidos ao mesmo tipo de comparação, com os dados de VLF. Entretanto, não foi possível identificar eventos semelhantes entre estes dados e os do início da mudança de fase nos sinais de VLF ao amanhecer. Deve-se mencionar, no entanto, que os dados analisados em conjunto correspondem somente a 1979, devido à falta de dados de ozônio antes de 1979 e a falta de dados de VLF em 1980. Contudo, es

ta falta de correlação reforça a idéia de que a correspondência de eventos entre os dados de ozônio e os de VLF é apenas regional, como seria esperado.

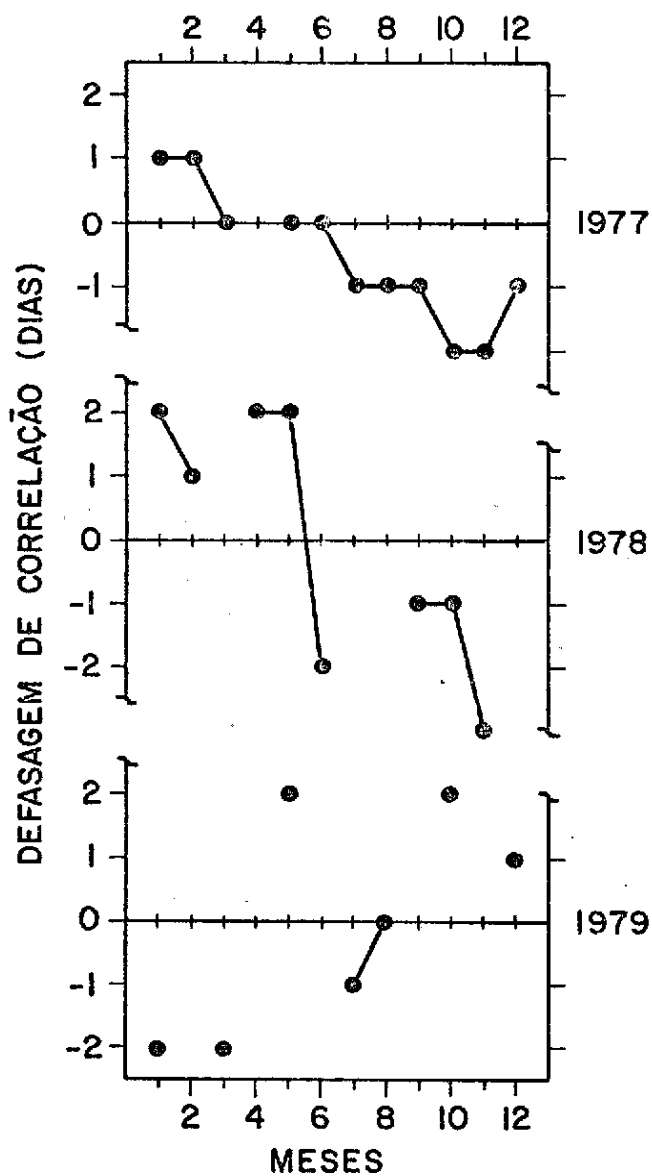


Fig. 3 - Defasamentos de correlação de eventos semelhantes entre os dados mensais de ozônio e os do instante do amanhecer.

Nota-se que esta defasagem parece ser positiva nos primeiros semestres de 1977 e 1978, e negativa nos segundos semestres destes anos.

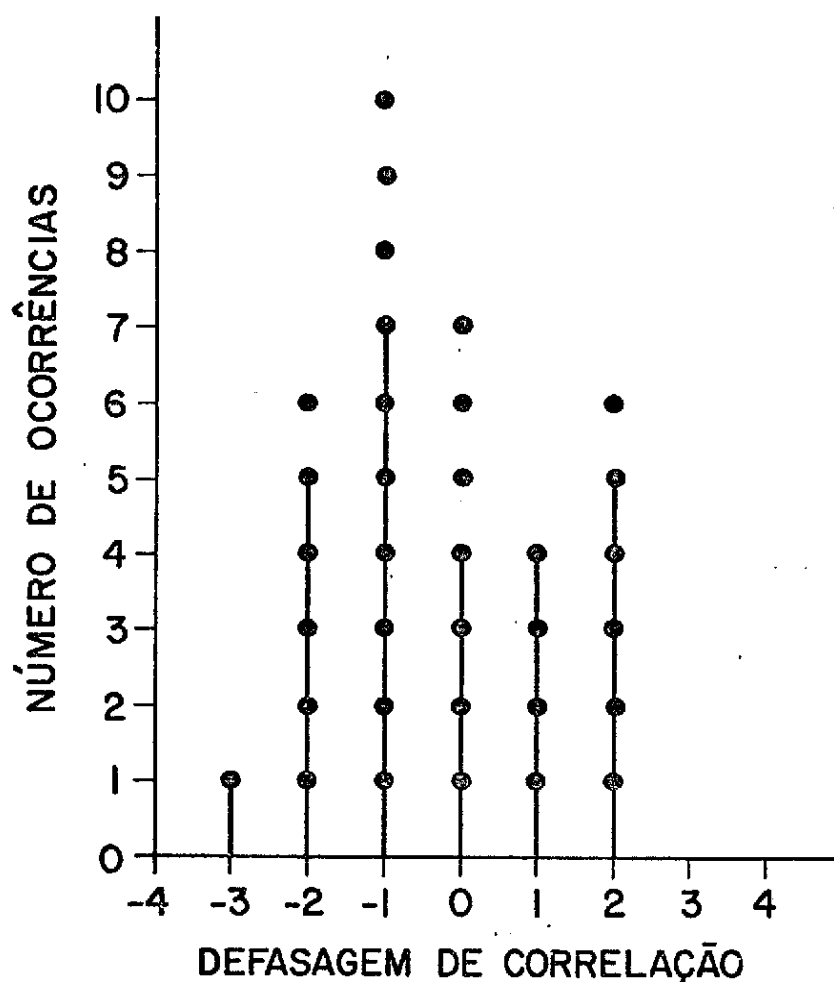


Fig. 4 - Número de ocorrências de defasagem de eventos semelhantes entre os observados nos dados de ozônio e os do instante do amanhecer, para 1977, 1978 e 1979.

Os pontos isolados são possíveis correlações não-indicadas na Figura 3.

3. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO

A interpretação dos resultados da análise pode ser classificada em duas partes. A primeira baseia-se na existência de uma correlação entre o conteúdo de ozônio e a hora do nascer do sol na parte baixa da ionosfera, embora a amostragem de dados seja apenas de 3 anos; a segunda está relacionada com a defasagem de eventos entre os dados de ozônio e os de VLF, o que implica um transporte regional do ozônio. Em seguida, ambos os resultados serão examinados em maior detalhe.

A relação existente entre os eventos observados no conteúdo de ozônio e os do instante em que se inicia a mudança de fase nos sinais de VLF, ocasionado pelo nascer do sol, é muito importante, uma vez que representa uma evidência direta de que a camada de ozônio desempenha um papel de relevância na formação da camada D da ionosfera, nas horas do amanhecer. Sabe-se que o início da mudança de fase, nos sinais de VLF, representa o início da produção de elétrons nas alturas de reflexão destes sinais na ionosfera. Portanto, pode-se afirmar que os comprimentos de onda da radiação responsável pela produção de elétrons no local devem se encontrar na faixa da radiação UV, uma vez que a camada de ozônio é a principal responsável pela absorção dos UV na atmosfera. Por este raciocínio conclui-se que os elétrons produzidos são o resultado da foto-separação de íons negativos, ou da foto-ionização de constituintes atmosféricos de baixo potencial de ionização. Quanto à foto-separação de íons negativos, existe o problema de que na altura de reflexão dos sinais de VLF (que comumente acredita-se estar entre os 85 e 90 km) a abundância deste tipo de íons é extremamente baixa (Turco and Sechrist, 1972). Portanto, esta alternativa não explica as observações experimentais, a não ser que a altura de reflexão seja bem mais baixa, o que também se encontra em desacordo com os resultados de observações experimentais. De qualquer maneira, este é um assunto que precisa de atenção tanto do ponto de vista teórico como experimental.

Um outro aspecto interessante, revelado pela análise, é o relativo à defasagem de eventos observados no conteúdo de ozônio e na hora do nascer do sol. Esta defasagem pode ser um indício do transporte de ozônio, provavelmente, na direção oeste na primeira metade do ano e, talvez, na direção oposta na segunda metade do ano (isto considerando a posição geográfica relativa entre o transmissor em Golfo Nuevo e a estação de ozônio em Cachoeira Paulista). Contudo é necessário um maior volume de dados, além de outras medidas experimentais para discernir este ponto, uma vez que não tem sido reportado este tipo de transporte na literatura científica relevante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOWHILL, S.A.; SMITH, L.G. Rocket observations of the lowest ionosphere at sunrise and sunset. *Space Res.* 6:511-521, 1966.
- HULTQVIST, B. Negative ions in the lowest ionosphere with special reference to experimental evidence from upper atmosphere research. *Ann. Geophys.* 22:235-246, 1966.
- SCHAAL, R.E.; Ananthakrishnan, S. Ozone screening heights deduced from sunrise effects at very low frequencies. *J. Atmos. Terr. Phys.* 32: 1831-1834, 1970.
- SECHRIST, Jr., C.F. Interpretation of pre-sunrise electron densities and negatives ions in the D region. *J. Atmos. Terr. Phys.*, 30:371-389, 1968.
- TURCO, R.P.; SECHRIST, Jr., C.F. An investigation of the ionospheric D region at sunrise, 3, Time variations of negative-ion and electron densities. *Radio Sci.*, 7(8):725-737, 1972.