

# DINÂMICA CAÓTICA DE ONDAS DE ALFVÉN NO MEIO SOLAR

F. A. Borotto-Chaves

Tese de Doutorado em Geofísica Espacial, orientada pelos Drs. Abraham C.-Long Chian e Walter D. Gonzalez-Alarcon, aprovada em 10 de março de 2000.

Este trabalho tem por objetivo estudar a dinâmica caótica das ondas de Alfvén no vento solar. Este estudo é realizado em duas partes. Na primeira, motivado pelas observações simultâneas de ondas de Langmuir e ondas eletromagnéticas de baixa frequência em buracos magnéticos no vento solar, propomos uma teoria baseada no processo de interação não-linear que envolve três ondas. Usamos o método de Poincaré para caracterizar a intermitência Pomeau-Manneville e mostrar dois exemplos de crise interior produzidos pela colisão de órbitas periódicas instáveis com o atrator caótico. Na segunda parte, a dinâmica caótica das ondas de Alfvén é modelada, num sistema dissipativo na presença de uma fonte periódica externa, através da Equação Schrödinger Não-linear Derivativa (DNLS). Resolvendo a DNLS numericamente no limite de baixa dimensão, auxiliado novamente pelo método de Poincaré, identificamos dois tipos de intermitência: intermitência Pomeau-Manneville e intermitência induzida pela crise interior. Identificamos uma região complexa associada à coexistência de vários atratores. Esta região apresenta vários exemplos de crise de contorno, devido a tangência homoclínica. Discutimos a aplicação de caos Alfvênico para a interpretação das observações de turbulência Alfvênica no vento solar.

**CHAOTIC DYNAMICS OF ALFVÉN WAVES IN THE SOLAR WIND**-The objective of this work is to study the chaotic dynamics of Alfvén waves in the solar wind. This study is carried out in two parts. Firstly, motivated by the simultaneous observation of Langmuir waves and electromagnetic waves of low frequency in magnetic holes in the solar wind, we propose a theory based on the nonlinear interaction process involving three waves. We use the Poincaré method to characterize the Pomeau-Manneville intermittency and show two examples of interior crises produced by the collision of unstable periodic orbits with a chaotic attractor. Secondly, the chaotic dynamic of Alfvén waves is modeled in a dissipative system in the presence of an external periodic source, using the Derivative Nonlinear Schrödinger Equation (DNLS). By solving the DNLS numerically in the low-dimension limit, assisted again by the Poincaré method, we identify two types of intermittency: Pomeau-Manneville intermittency and interior crisis-induced intermittency. In addition, we have found a very complex region associated with the coexistence of various attractors. This region presents a number of boundary crises arising from a homoclinic tangency. We discuss the application of Alfvén chaos for the interpretation of the observations of Alfvénic turbulence in the solar wind.

---

## COMPARAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DO OZÔNIO EM ALTAS E BAIXAS LATITUDES

Cláudio Angel Rigoberto Casiccia Salgado

Tese de Doutorado em Geofísica Espacial, orientada pelo Dr. Volker Walter J. Heinrich Kirchhoff, aprovada em 03 de julho de 2000.

A diminuição da camada de ozônio é um fato que preocupa à comunidade científica dedicada ao estudo dos fenômenos atmosféricos. Existe uma diminuição global numa taxa variável de acordo com a latitude, e outros fatores mas em geral estima-se que o ozônio está diminuindo numa taxa de 4 a 5% por década. Além da diminuição global existe uma dramática redução do ozônio estratosférico durante cada primavera na região Antártica, chamado “buraco de ozônio Antártico”. Durante este fenômeno, o ozônio em certas alturas é destruído quase totalmente. O ozônio cumpre com a importante missão de filtrar os raios solares de energia na faixa ultravioleta-B, os mais danosos para os organismos vivos. Desde o ano geofísico internacional (IGY, 1956-1957), muitos instrumentos têm sido instalados para monitorar a coluna total de ozônio, a maioria deles concentrados no

**COMPARISON BETWEEN OZONE VERTICAL DISTRIBUTIONS AT LOW AND AT HIGH LATITUDES** - The ozone depletion phenomenon is a common concern of the scientific community which studies atmospheric physics and chemistry. A global ozone decreasing trend is observed at a rate that varies with latitude and other factors, but is generally around 4 to 5% per decade. In addition to the global negative trend there is a dramatic ozone decrease that occurs in Antarctica, known as the “Atmospheric Ozone Hole”. During these episodes, the ozone concentration at certain heights is almost completely destroyed. Ozone is an important constituent that filters UV-B radiation, harmful for living organisms. Since the International Geophysical Year (IGY, 1956-1957) a large number of instruments were installed in order to monitor the ozone column, but most of

hemisfério norte. Neste trabalho é apresentado um estudo da evolução no tempo da distribuição do ozônio com a altura com sondagens feitas em Natal, RN (Lat. 5,42 S; Long. 35,6 W) de 1978 até 1999. A variação sazonal é determinada com os dados da integral total do ozônio e também é avaliada a influência de diferentes camadas. A análise de tendência dos dados determina um aumento médio na troposfera da ordem de 10% por década e na estratosfera uma diminuição de 8% por década. Dados de campanhas de sondagens feitas em Punta Arenas e na Estação Brasileira Comandante Ferraz são comparados. Trajetórias isentrópicas do tipo "backward" para diferentes alturas são calculadas para identificar a procedência das massas de ar pobres em ozônio que determinam diminuições na coluna de ozônio em Punta Arenas. Os resultados mostram que massas de ar pobres em ozônio são transportadas desde a região Antártica para latitudes menores, por exemplo, a de Punta Arenas, no Chile o que foi anteriormente comprovado por observações com o Brewer e com sondagens.

*these are in the Northern Hemisphere. In this work, an update of the Natal (5.42S; 35.6 W) ozone sonde data is presented, spanning a period between 1978 and 1999. The seasonal variation is obtained, including the ozone integrated data, and the influence of different layers is investigated. The investigation of an ozone trend for these data shows an average tropospheric increasing trend of about 10% per decade, and in the stratosphere, a decreasing trend of nearly 8% per decade, which are values that are larger than figures cited in the literature. Data obtained in special campaigns in Punta Arenas and the Antarctic station Comandante Ferraz are compared. Backward isentropic trajectories for different heights are calculated to understand the origin of the poor ozone air masses that pass over Punta Arenas, during episodes of the ozone hole. This exercise shows that air masses from Antarctica are in fact transported to lower latitudes, including Punta Arenas, Chile, which had been demonstrated earlier from observations of the Brewer spectrophotometer and ozone soundings.*

## ESTUDO DA FORMA DE ONDA DE CAMPO ELÉTRICO DE RELÂMPAGO

Fernando Júnio de Miranda

Dissertação de Mestrado em Geofísica Espacial, orientada pelo Dr. Osmar Pinto Jr. e Dr Marcelo M. F. Saba, aprovada em 29 de fevereiro de 2000.

Neste trabalho são analisadas formas de onda de campo elétrico da radiação eletromagnética gerada por relâmpagos ocorridos na cidade de São José dos Campos e vizinhança. Para a aquisição das formas de onda de campo elétrico foi utilizado um aparato composto por uma antena ligada a uma eletrônica, a qual processa o sinal proveniente da antena e o envia a uma placa digitalizadora com uma taxa de aquisição de 37ms, instalada em um microcomputador. O objetivo deste trabalho foi, a partir das formas de onda, determinar o tempo entre descargas de retorno sucessivas, o tempo entre as descargas K, a duração das variações preliminares, bem como observar formas de onda de relâmpagos no céu e formas de ondas atípicas. Não foi encontrada uma dependência do intervalo de tempo entre descargas de retorno com as ordens das descargas de retorno. O tempo médio entre as descargas de retorno é de 69ms. Também não foi encontrada uma dependência do tempo entre as descargas K com as ordens das descargas de retorno entre as quais as descargas K ocorrem. O tempo médio entre as descargas K é de 18,5ms. As variações preliminares estudadas têm uma duração média de 118ms. Nenhuma das formas de onda de campo elétrico dos relâmpagos no céu se adequou ao padrão proposto no passado, porém, elas se diferem bem das formas de onda de campo elétrico dos relâmpagos nuvem-solo, de forma que, pode-se identificar um relâmpago como sendo nuvem-solo ou no céu através da sua forma de onda de campo elétrico sem que haja a sua identificação visual. Formas de ondas atípicas de campo elétrico também foram observadas.

**STUDY OF THE ELECTRIC FIELD WAVEFORM OF LIGHTNING** - *In this work electric field waveforms of the electromagnetic radiation generated by lightning which occurred in and around the city of São José dos Campos are analyzed. The acquisition of the electric field waveforms was done by an apparatus which was composed by an antenna connected to an electronics, which processes the signal provided by the antenna and send it to a digitizer board with an acquisition rate of 37ms, installed in a microcomputer. The goal of this work was to determine the time between return strokes, the time between K discharges, the duration of the preliminary variations, as well as to observe electric field waveforms of cloud lightning and unusual waveforms. It was not found any dependence of the time between return strokes on the orders of the return strokes. The mean time between the return strokes was 69ms. In addition, it was not found any dependence of the time between K discharges on the orders of the return strokes in which they occur between. The mean time between K discharges was 18.5ms. The preliminary variations analyzed have a mean time duration of 118ms. None of the electric field waveforms of the cloud lightning fit to the standard proposed in the past. They are very different from the cloud to ground lightning electric field waveforms, so that we can identify a lightning as cloud to ground or cloud lightning without visual identification. Unusual electric field wave forms were observed too.*

## ESTUDO EXPERIMENTAL DE DISTORÇÕES GERADAS POR LINHAS FÉRREAS ELETRIFICADAS EM SONDAGENS MAGNETOTELÚRICAS

Marcelo Banik de Pádua

Dissertação de Mestrado em Geofísica Espacial, orientada pelo Dr. Ícaro Vitorello e Dr. Antonio Lopes Padilha, aprovada em 29 de fevereiro de 2000.

Foram realizadas sondagens magnetotelúricas (MT) em perfis ortogonais à Estrada de Ferro Campos do Jordão (EFCJ) na faixa de períodos de 20 a 6000 s. Os perfis situam-se nos estados de São Paulo e Minas Gerais, em duas regiões de condutividade contrastantes: a Bacia de Taubaté, região sedimentar, e a Serra da Mantiqueira, região cristalina. A EFCJ opera com corrente elétrica DC produzindo um ruído eletromagnético (EM) intenso, mas apenas no período diurno, sendo desativada à noite. Objetiva-se com este trabalho caracterizar o ruído EM produzido pela EFCJ e verificar seu efeito sobre os parâmetros MT. Com este intuito, os dados diurnos e noturnos foram analisados separadamente, enfatizando assim os efeitos da presença ou ausência do ruído. Para a estimação do tensor de impedância (Z), foram utilizadas diversas técnicas disponíveis à comunidade científica e, dos resultados obtidos, foi calculada a resistividade aparente e fase. Fez-se a comparação entre os métodos procurando estabelecer a melhor abordagem para a obtenção de parâmetros MT confiáveis. Verificou-se, como esperado, que a presença do ruído torna as curvas de resistividade aparente e fase mais irregulares e com barras de erros maiores. No entanto, para os métodos que obtiveram resultados satisfatórios, nota-se que os valores obtidos entre os períodos com e sem ruídos são praticamente os mesmos. Conclui-se que, para estes métodos e na faixa de frequência trabalhada, os dados podem ser analisados como um todo, sem que com isto o período contaminado com o ruído venha a mascarar o resultado, e com a vantagem de obter-se um resultado estatístico melhor, por aumentar a série temporal analisada.

***DISTURBANCES ON MAGNETOTELLURIC DATA DUE TO ELECTRIFIED RAILWAYS*** - Magnetotelluric soundings (MT) were carried out on profiles orthogonal to the Campos do Jordão Railway (EFCJ) in the period range of 20 to 6000 s. The profiles were located at São Paulo and Minas Gerais States, on two adjacent regions with contrasting conductivity: the conductive sedimentary region of Taubaté Basin and the resistive crystalline region of Serra da Mantiqueira. The EFCJ operates with DC current that produces an intense electromagnetic (EM) noise, but only during diurnal periods, being turned off at night. The objective of this study is to characterize the EM noise made by the EFCJ and to verify its effects on MT parameters. Thus, the diurnal and nocturnal data were analyzed separately, and then compared in order to observe the effects of the noise. Some techniques presently available to the scientific community were used to estimate the impedance tensor (Z) and then the apparent resistivity and phase were calculated. The comparison between methods was used to establish the best way to obtain trustworthy MT parameters. As expected, the noise produced more irregular plots of apparent resistivity and phase and greater error bars. Nevertheless, for the methods that produced reliable results, the values obtained on the periods with and without the noise are practically the same. Then, for these methods, and in the studied frequency band, all data could be used in the analyses, because the contaminated periods did not produce screening effects, with the advantage of providing a better statistical result with the increase in the analysed time series.

---

## ESTUDOS DA EVOLUÇÃO TEMPORAL/ESPACIAL DAS DERIVAS DAS DEPLEÇÕES DO PLASMA IONOSFÉRICO POR IMAGENS DIGITAIS DA AEROLUMINESCÊNCIA OI 630 NM NOTURNA

Daniela Cristina Santana

Dissertação de Mestrado em Geofísica Espacial, orientada pelos Drs. José Humberto Sobral e Hisao Takahashi, aprovada em 25 de fevereiro de 2000.

O objetivo deste estudo é calcular as velocidades de derivas zonais e os gradientes das bolhas ionosféricas que ocorreram em Cachoeira Paulista (22,5° S, 45° O, dip 30° S) para o período de outubro de 1998 a outubro de 1999. Para isto, utilizou-se a técnica ótica da aeroluminescência OI 630 nm. O OI 630 nm é uma luz vermelha proveniente do oxigênio

***STUDY ON TEMPORAL AND SPATIAL EVOLUTION OF IONOSPHERIC PLASMA DEPLETIONS ZONAL DRIFT BY NIGHTGLOW OI 630 NM DIGITAL IMAGES*** - This study focuses on the measurements and analysis of the zonal drifts and gradients of the large-scale ionospheric plasma depletions, or bubbles, over the Brazilian

atômico da termosfera a uma altura de ~250 km cuja intensidade é diretamente proporcional a densidade eletrônica (concentração de elétrons). Como as bolhas ionosféricas são regiões em que a densidade eletrônica diminui acentuadamente, a intensidade da aeroluminescência OI 630 nm também diminui nestas regiões. Desta maneira, observando a intensidade da aeroluminescência OI 630 nm é possível verificar a ocorrência das bolhas ionosféricas. A intensidade da aeroluminescência OI 630 nm pode ser obtida em imagens monocromáticas digitais. Um aplicativo computacional, na linguagem computacional IDL 5.0, foi desenvolvido para processar as imagens digitais. Os resultados deste estudo são os primeiros resultados para um banco de dados único com a maior quantidade de imagens digitais da aeroluminescência OI 630 nm obtidas para a região brasileira, por um instrumento denominado imageador CCD all-sky operando em Cachoeira Paulista desde outubro de 1998. As velocidades de derivas zonais das bolhas ionosféricas estão relacionadas com a ação de um campo elétrico ionosférico vertical apontando para a Terra cuja geração está relacionada com o sistema de dínamo da região F. As conclusões gerais deste estudo foram as seguintes: 1. Todas as velocidades de derivas zonais foram na direção de oeste para leste; 2. As velocidades de derivas zonais tendem claramente a serem mais altas antes da meia-noite do que depois da meia-noite; 3. As velocidades de derivas zonais tendem a diminuir com o passar da hora local; 4. Os gradientes das velocidades de derivas zonais projetados no plano equatorial claramente tendem a diminuir com a altura, ou seja, decresceram de valor no sentido de norte para sul; 5. As bolhas ionosféricas foram detectadas até a altura máxima de ~1275 km no plano equatorial magnético. Estas conclusões, assim como outras conclusões mais específicas, são aqui discutidas.

*region, through digital images of the nocturnal airglow, as observed from INPE's low latitude station Cachoeira Paulista (22.5° S, 45° W, dip 30° S) during the period of October 1998 to October 1999. A software was fully developed in this study in order to process the nocturnal airglow digital images of the OI 630 nm nocturnal airglow, or nightglow. The OI 630 nm nightglow is a faint red light that stems from the F-region atomic oxygen, and its intensity is directly proportional to the ambient electron concentration of the ionosphere. Since the ionospheric bubbles are regions of sharply depleted electron concentration, the OI 630 nm nightglow decreases too in these regions. So, through the observation of the OI 630 nm emission intensity, it is possible to detect the ionospheric bubbles. In fact, such events can be readily seen in the OI 630 nm signatures. The OI 630 nm nightglow could be obtained in the form of digital images. The results of this study are the first extensive set of OI 630 nm data obtained by a digital all-sky imager at Cachoeira Paulista. The zonal drifts of the ionospheric bubbles are directly related with vertical (downwards) electric fields whose generation is related to the region F dynamo system. The zonal drifts and gradients of the bubbles are analyzed in detail in this study. The general conclusions of this study are: 1. All the zonal drifts observed were in west to east direction; 2. The zonal drifts present a clear tendency to be higher before midnight than after midnight; 3. The zonal drifts tend to decrease with the local time; 4. The height gradient of the zonal drifts, as obtained from a projection from the emission layer around Cachoeira Paulista into the equatorial plane, shows a clear tendency to decrease with height; 5. The ionospheric bubbles were detected up to a maximum altitude of ~1275 km in the magnetic equatorial plane. These conclusions, as well as other specific conclusions, are discussed here.*

## **ESTUDO DAS DERIVAS DAS IRREGULARIDADES DO PLASMA IONOSFÉRICO NA REGIÃO BRASILEIRA**

**Pedrina Morais Terra dos Santos**

Dissertação de Mestrado em Geofísica Espacial, orientada pelo Dr. José Humberto Sobral, aprovada em 31 maio de 2000.

Esta dissertação apresenta um estudo detalhado do comportamento das velocidades de derivas zonais das bolhas ionosféricas detectadas em Cachoeira Paulista (22° 48' S, 45° 00' O, dip 30° S) nos meses de outubro à março entre 1980-1994. Tal estudo baseia-se em 172 noites de ocorrência das bolhas ionosféricas sobre aquela região, registradas por observações fotométricas de varreduras zonais da aeroluminescência do OI 630 nm. As magnitudes das velocidades zonais obtidas para essas bolhas são analisadas em função da atividade solar, da atividade geomagnética e da sazonalidade. De um modo geral, constata-se que tais velocidades decrescem com a hora local e com a atividade

**STUDY OF THE IONOSPHERIC PLASMA IRREGULARITY DRIFTS IN THE BRAZILIAN REGION** - A detailed study of the zonal drift velocities of the ionospheric bubbles is carried out using experimental airglow data registered at Cachoeira Paulista (22.5° S, 45° W, dip 30° S) during the period of October to March, between 1980-1994. This study is based upon 172 nights of zonal scanning photometer measurements of OI 630 nm airglow. The zonal velocity magnitudes of the ionospheric bubbles are investigated taking into account the seasonal, solar and geomagnetic effects. In general, it is verified that the zonal velocities of the bubbles decrease

geomagnética (medida pelo índice Kp), ao passo que aumentam com o Fluxo Solar F10,7cm. Análises detalhadas em função da atividade geomagnética demonstram que há menor variação das velocidades nas noites quietas; verifica-se também que as noites quietas (perturbadas) apresentam maiores velocidades médias durante a atividade solar máxima (mínima). Nas análises mensais com relação à atividade solar, observa-se que as velocidades tendem a decrescer com a hora local, de forma mais acentuada no período de atividade solar mínima; observa-se também que as velocidades médias são mais elevadas durante o período de atividade solar máxima. Com relação à sazonalidade nota-se que as bolhas ionosféricas ocorrem de forma mais (menos) intensa durante os meses de janeiro (dezembro). Comparando-se os dados fotométricos com ionogramas registrados em Cachoeira Paulista no período estudado, verifica-se que a ocorrência das bolhas ionosféricas está intimamente relacionada com a ocorrência do fenômeno Range Spread F. Através da investigação das bolhas ionosféricas de longa duração, observou-se que suas incidências são mais acentuadas durante o período de atividade solar mínima.

*with local time and geomagnetic activity, and also that these velocities increase with solar flux F10.7 cm. A detailed analysis of these ionospheric bubble velocities, as a function of geomagnetic activity, shows that the velocity variations expressed as  $V_{final} - V_{inicial}$  are less during quiet nights than during disturbed nights; it is also noted that the mean velocities present the highest (lowest) values during quiet (disturbed) nights of solar maximum (minimum). Analysis of the monthly variations shows that the velocities tend to decrease faster with local time during solar minimum than during solar maximum. The ionospheric bubbles occur more (less) frequently during January (December). It is also observed that the highest mean velocities occur during solar maximum. Comparison between photometric and ionosonde data shows that the occurrence of ionospheric bubbles is closely related to that of the Range Spread F phenomenon. The cases of ionospheric bubbles of long duration are more frequently observed during solar minimum than solar maximum.*

---

## OBSERVAÇÃO DA TEMPERATURA DA ALTA ATMOSFERA ATRAVÉS DE AEROLUMINESCÊNCIA

**Cristiano Max Wrasse**

Dissertação de Mestrado em Geofísica Espacial, orientada pelo Dr. Hisao Takahashi, aprovada em 28 de fevereiro de 2000.

O Laboratório de Luminescência Atmosférica, LUME, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, desenvolveu um fotômetro portátil com filtro de interferência inclinável para medir a aeroluminescência terrestre da hidroxila, banda OH(8,3). Um programa de computador foi desenvolvido para controlar o funcionamento do equipamento e realizar a aquisição e redução dos dados. Realizou-se o processo de calibração espectral e de sensibilidade absoluta no laboratório LUME/INPE para definir o filtro de interferência utilizado e as linhas de emissões da OH(8,3) medidas. Após estas etapas, realizou-se as observações da aeroluminescência atmosférica no laboratório LUME do Centro Espacial de Cachoeira Paulista - INPE, onde foram obtidas a intensidade média de emissão de 358 Rayleigh e a temperatura rotacional média de 210 Kelvin da banda OH(8,3). A partir dos resultados das observações feitas durante os meses de agosto a novembro de 1999, determinaram-se as temperaturas rotacionais da OH(8,3) utilizando vários coeficientes de Einstein existentes na literatura. A temperatura da OH(8,3) determinada utilizando os coeficientes obtidos por Langhoff et al. (1986) mostrou a melhor concordância com a temperatura da OH(6,2) obtida com os coeficientes de Mies (1974).

**AIRGLOW OBSERVATIONS OF THE HYDROXIL'S ROTATIONAL TEMPERATURE AT THE TERRESTRIAL MESOSPHERIC REGION** - *The Atmospheric Airglow Laboratory, LUME, of National Institute for Space Research, INPE, developed a portable photometer with a tilting filter to measure the OH(8.3) band airglow. A computer program was developed to control the photometer operation and to accomplish the acquisition and reduction of the data. Photometer sensitivity and spectral calibrations were carried out in order to determine the OH(8.3) line intensities. After these steps, the airglow observations were carried out at the LUME airglow observatory at the Space Center of Cachoeira Paulista - INPE. With the results obtained during the months of August to November in 1999, the estimations of the rotational temperatures of OH(8.3) were carried out. An averaged OH(8.3) band intensity during the period was 358 Rayleigh, and the rotational temperature was 210 Kelvin. It is found that the OH(8.3) temperature obtained with the transition coefficient of Langhoff et al. (1986) has better agreement with the OH(6.2) temperature obtained using Mies' (1974) transition probability.*

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**

**PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS  
GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA**

**PPPG/UFBA**

**Mestrado e Doutorado**

**Geofísica Aplicada Geofísica Pura e  
Ambiental**

**Rua Barão de Geremoabo, s/n  
CEP 40170-290 - Salvador . BA  
Tel.: (071) 237-0407**