



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**INPE-10551-TDI/939**

**A IMPORTÂNCIA DO “DIA QUIETO” NA ABSORÇÃO IONOSFÉRICA DA  
CAMADA D DA IONOSFERA E SUA APLICAÇÃO PARA OS DADOS DE  
RIÔMETROS DA ESTAÇÃO ANTÁRTICA COMANDANTE FERRAZ**

Christiano Garnett Marques Brum

Dissertação de Mestrado do curso de Pós-Graduação em Geofísica Espacial, orientada pelo Dr. Renné Adalid Medrano-Balboa, aprovada em 31 de maio de 1999.

INPE  
São José dos Campos  
2004

551.510.535 (1-923.4)

BRUM, C. G. M.

A importância do “dia quieto” na absorção ionosférica da camada D da ionosfera e sua aplicação para os dados de riômetros da Estação Comandante Ferraz / C. G. M. Brum. – São José dos Campos: INPE, 1999. 109p. – (INPE-10551-TDI/939).

1.Ruído Cósmico. 2.Riômetros. 3.Efeitos da atividade solar. 4.Baixa ionosfera. 5.Raios cósmicos galáticos.  
I.Título.

Aprovado pela Banca Examinadora em cumprimento a requisito exigido para a obtenção do Título de Mestre em Geofísica Espacial.

Dr. Hisao Takahashi

  
Presidente

Dr. René Adalid Medrano-Balboa

  
Orientador

Dr<sup>a</sup> Inez Staciarini Batista

  
Membro da Banca

Dr. Nalin Babulal Trivedi

  
Membro da Banca

Dr. Gilvan Luiz Borba

  
Membro da Banca  
Convidado

Candidato: Christiano Garnett Marques Brum



“Que importância tem saber se a Terra é uma esfera, um cilindro, um disco ou uma superfície côncava? Importa saber é como devo conduzir-me em relação a mim mesmo, aos meus semelhantes e a Deus ”

**[São Basílio, século IV a.C]**



***Dedico este trabalho aos meus pais e avós.***



## **AGRADECIMENTOS**

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - **INPE** pelo apoio e, a Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (**CAPES**), por acreditar em mim e em meu trabalho, através da bolsa de estudo a mim concedida.

Agradeço ao meu orientador Dr. René A. Medrano-Balboa por todo incentivo e apoio prestado na realização deste trabalho.

Ao **PROANTAR**/Marinha do Brasil e **CNPq**, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelos apoios logísticos e financeiros para os trabalhos desenvolvidos na Estação Antártica Comandante Ferraz.

Agradeço aos amigos José Henrique, Abel e Dra. Neusa pelas consultorias científicas que tanto me foram úteis.

Ao Primeiro Grupo Base Único da EACF (Paula Costa, Felipe, Luís Aurélio, Almani, Eudes, Emoacy, Farias, França, Zezão e Cacá) que me acompanhou por nove meses na aquisição de dados para este trabalho no ano de 1996 durante o inverno antártico.

Aos amigos Fabiano da Silveira Rodrigues e Fábio Augusto Vargas dos Santos pelo apoio e ajuda na elaboração do *software* utilizado neste trabalho.



## RESUMO

O Dia Quietos (QD) é usado para o cálculo da Absorção Ionosférica do Ruído Cósmico na Camada D da ionosfera. Sua utilização é importante no estudo de eventos transientes na ionosfera (de poucas horas a alguns dias). Para este trabalho foram utilizados dados (1987 à 1997) de três Riômetros instalados na Estação Antártica Comandante Ferraz (68°S, 58°W), estando estes conectados a antenas apontadas para três direções diferentes (vertical, sul e oeste magnético). Para o estudo da variação de amplitude dos QDs do período analisado, foram escolhidos três QDs do início do mesmo período (1989), um para cada antena, os quais foram submetidos a um alisamento polinomial. A partir do alisamento polinomial destas três curvas pré-selecionadas (dia padrão), efetuou-se o cálculo da Absorção Ionosférica Relativa ( $A_I$ ), que é em essência a comparação logarítmica do dia padrão e o dia considerado calmo. Por fim criou-se o parâmetro da Absorção Ionosférica Relativa Total ( $A_T$ ), que é a integração da  $A_I$  durante um dia. Este parâmetro ( $A_T$ ) quantifica a diferença da amplitude entre os dias quietos. Através da variação do  $A_T$  durante o período estudado, constatou-se que o mesmo apresentou um comportamento oposto ao número de manchas solares (atividade solar) e semelhante à incidência de Raios Cósmicos Galácticos, registrados por Monitor de Neutrons em Thule e Climax (rigidez de corte magnética 0.00 e 2.97, respectivamente). Tal fato sugere que houve uma contribuição acima do esperado dos raios cósmicos galácticos na ionização da Camada D da ionosfera. Esta interpretação é substantiada pelos altos valores dos índices de correlação linear obtidos entre os ajustes polinomiais de  $A_T$  e dos ajustes polinomiais do número de partículas cósmicas incidentes ( $\approx 0.970$ ). Pelo deslocamento dos mínimos correspondentes aos ajustes polinomiais dos raios cósmicos e dos  $A_T$  da antena vertical, comparados com o máximo do número de manchas solares, inferiu-se a ordem cronológica entre os fenômenos estudados. Estes resultados são consistentes com a ação da atividade solar que através do campo magnético interplanetário, modula a chegada dos raios cósmicos galácticos na atmosfera terrestre, modulando por sua vez, o estado de ionização da Camada D. Concluiu-se também que não é possível determinar um QD padrão para um período extenso, uma vez os QDs dependem da atividade solar.



# THE IMPORTANCE OF “QUIET DAY” IN THE D-LEVEL IONOSPHERIC ABSORPTION OF IONOSPHERE AND YOUR APPLICATION TO BRAZILIAN ANTARCTIC STATION’S DATA

## ABSTRACT

The Quiet Day (QD) in riometer studies is used to compute the cosmic noise ionosphere absorption in the D-layer. Its use is specially important in the study of ionosphere transient events. In this work riometer data from three different directions (vertical, magnetic south and west) corresponding to the interval from 1987 to 1997 were used. The riometer-antenna systems are installed at the Brazilian Antarctic Station Comandante Ferraz (68°S, 58°W). Three QDs from the beginning of 1989 for each direction, were chosen as basis to study the amplitude variations of the QDs along the interval. A logarithmic comparison (here called “relative ionospheric absorption”) of each of these pre-selected QDs with the quiet days along the interval was performed. In order to have a parameter that quantifies the amplitude variation a Total Relative Absorption  $A_T$  index is introduced. The plot of  $A_T$  shows an anti-correlation behavior with the sunspot number (which represents the solar activity) but it also shows a good correlation with neutron monitor data of the same period from Thule and Climax Stations (0 and 2.97 magnetic rigidity, respectively). These results suggest that the contribution of the galactic cosmic rays to the ionization of the D-region is more than expected. The correlation coefficients between the polynomial best fit of  $A_T$  and the corresponding to the cosmic radiation are rather high ( $\approx 0.970$ ). From the lag time for the best fit of the cross-correlation was possible to infer a chronological order of the phenomena involved. The results obtained are consistent with what one would expect in terms of effect of the solar activity, through the interplanetary magnetic field, on the arrival of the galactic cosmic rays and, hence, on the ionization state of the D-region. It is also concluded that there is no a single QD to be used for an extended period of time due to the QD dependence on solar activity.



## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>Pág.</b>
<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO</b> .....	17
1.1 A Parte Baixa da Ionosfera.....	17
1.2 O Ruído Cósmico.....	21
1.3 A Ionosfera Antártica.....	23
1.4 Riômetros na Estação Antártica Comandante Ferraz.....	25
<b>CAPÍTULO 2 - CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DE CONJUNTOS DE DADOS ANALISADOS</b> .....	31
2.1 Dia Geomagneticamente Calmo (Quieto).....	31
2.2 Critério de Seleção de Dias Quietos.....	32
2.3 Critério de Seleção de Dados dos Riômetros.....	36
2.4 Reavaliação da Seleção de Dias Quietos.....	40
<b>CAPÍTULO 3 - CARACTERÍSTICAS E REDUÇÃO DOS DADOS DOS RIÔMETROS UTILIZADOS</b> .....	45
3.1 Características dos Dados dos Riômetros.....	45
3.2 Redução dos Dados dos Riômetros.....	46
3.2.1 Dados Analógicos.....	46
3.2.2 Dados Digitais.....	56
<b>CAPÍTULO 4 - PRINCIPAIS AGENTES IONIZANTES DA CAMADA D DA IONOSFERA DURANTE O PERÍODO ESTUDADO</b> .....	57
4.1 Principais Fontes de Ionização de Origem Solar.....	57
4.2 Variação da Incidência de Raios Cósmicos Durante o Período Estudado.....	64
<b>CAPÍTULO 5 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS EM FUNÇÃO DOS PRINCIPAIS AGENTES IONIZANTES DA CAMADA D ...</b>	71
<b>CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES</b> .....	83
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	85
<b>APÊNDICE A</b>	
Formatação dos Arquivos dos Dados Digitais dos Riômetros.....	89
<b>APÊNDICE B</b>	
Formatação dos Arquivos de Dados dos Índices Planetários “Ap” e “Kp” ...	91

<b>APÊNDICE C</b>	
Formatação dos Arquivos de Dados Gerados na Mesa Digitalizadora.....	93
<b>APÊNDICE D</b>	
Programas de Redução dos Dados Analógicos.....	95
<b>APÊNDICE E</b>	
Programas e <i>Software</i> de Redução dos Dados Digitais.....	99
<b>APÊNDICE F</b>	
Formatação dos Arquivos de dados dos <i>Flares</i> Solares e da Incidência de Raios-X .....	107
<b>APÊNDICE G</b>	
Formatação dos Arquivos de Dados dos Raios Cósmicos Galácticos.....	109

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Perfil da densidade eletrônica.....	18
Figura 1.2 – Número de elétrons produzidos em torno da Camada D da ionosfera.....	19
Figura 1.3 – Campo elétrico do ruído cósmico em função da frequência.....	22
Figura 1.4 – Perfil típico de uma semana de medidas de ruído cósmico em quatro frequências diferentes. 25, 50,75 e 110MHz.....	23
Figura 1.5 – Da esquerda para direita: Antena apontada para o sul, módulo onde estão os riômetros, antena apontada para o oeste, antena apontada para o zênite e o módulo onde se encontra o computador de aquisição de dados digitais dos riômetros.....	26
Figura 1.6 – A figura mostra a antena voltada para o sul e o módulo de “Investigação Ionosférica” da Estação Antártica Comandante Ferraz.....	26
Figura 1.7 – Registrador analógico usado para registrar o ruído cósmico.....	27
Figura 1.8 – Aspecto externo de um riômetro.....	28
Figura 1.9 - Diagrama de blocos do riômetro.....	29
Figura 2.1 – Relação entre os índices planetários Ap e Kp.....	32
Figura 2.2 – Variação dos índices planetários Ap e Kp referentes ao mês de setembro de 1995.....	34
Figura 2.3 – Variação dos índices planetários num período de um mês (agosto de 1990). Em evidência, estão os dias calmos selecionados e os dias excluídos.....	35
Figura 2.4 - Variação dos índices planetários num período de um mês (julho de 1989). Em evidência, estão os dias selecionados e os dias excluídos.....	35
Figura 2.5 – Número de dias selecionados por mês (no total de 1667) pelos índices planetário Kp, entre os anos de 1987 até 1997.....	36
Figura 2.6 – A figura mostra dois tipos de interferências muito comuns nos dados de riômetros vindo da EACF.....	37
Figura 2.7 – A figura mostra um exemplo de interpolação arbitrária, baseada no comportamento dos dias imediatamente próximos.....	38
Figura 2.8 – A figura mostra o número de dias selecionados por mês (no total de 750 dias) dos registros do riômetro conectado a antena direcionada ao zênite entre os anos de 1987 a 1997.....	39
Figura 2.9 – Número de dias selecionados por mês (no total de 355 dias) dos registros do riômetro conectado a antena direcionada para o sul magnético entre os anos de 1987 a 1997.....	39
Figura 2.10 – Número de dias selecionados por mês (no total de 580 dias) dos registros do riômetro conectado a antena direcionada para o oeste magnético entre os anos de 1987 a 1997.....	40
Figura 2.11 – Média diária dos índices planetários Ap pelo período estudado.....	41
Figura 2.12 - Número de dias selecionados por mês (no total de 261 dias) dos registros do riômetro conectado a antena direcionada verticalmente entre os anos de 1989 a 1997.....	42
Figura 2.13 - Número de dias selecionados por mês (no total de 81 dias) dos registros do riômetro conectado a antena direcionada para o sul magnético entre os anos de 1989 a 1997.....	42
Figura 2.14 - Número de dias selecionados por mês (no total de 267 dias) dos registros do riômetro conectado a antena direcionada para o oeste magnético entre os anos de 1989 a 1997.....	43
Figura 3.1 – Carta gráfica apresentando os registros do riômetro conectado a antena oeste e	

vertical para o dia 18 de julho de 1996.....	47
Figura 3.2 – Dados digitalizados para o mesmo período da FIGURA 3.1.....	47
Figura 3.3 – Esquema ilustrativo da diferença entre dia solar e dia sideral considerando o movimento de translação da Terra em torno do Sol.....	49
Figura 3.4 – Curvas de dias quietos com dados do riômetro com antena direcionada ao zênite, variando de mês em mês durante aproximadamente um ano: (a) curvas em hora universal, (b) curvas em hora sideral.....	50
Figura 3.5 – A figura mostra a curva do 22 de abril de 1989 do riômetro conectado à antena vertical (em amarelo) e seu alisamento polinomial (em vermelho).....	52
Figura 3.6 – A figura mostra a curva do 14 de fevereiro de 1992 do riômetro conectado à antena voltada para o sul (em amarelo) e seu alisamento polinomial (em azul).....	53
Figura 3.7 – A figura mostra a curva do 28 de julho de 1989 do riômetro conectado à antena voltada para o oeste (em amarelo) e seu alisamento polinomial (em preto).....	53
Figura 3.8 – Absorção ionosférica relativa do dia 06 de Maio de 1993 (linha preta), a curva padrão utilizada (linha vermelha) e o ruído cósmico do período (linha azul).....	55
Figura 3.9 – A área em azul ilustra a absorção ionosférica relativa total do dia 06 de maio de 1993.....	56
Figura 4.1 – Variação do número de manchas solares durante o período analisado. Os pontos “A” e “B” representam o máximo e o mínimo solar do período, respectivamente.....	59
Figura 4.2 – Representação esquemática da Fotosfera.....	60
Figura 4.3 – Representação de um <i>flare</i> solar tendo como padrão um modelo bem simples de configuração de campo magnético.....	61
Figura 4.4 - Ocorrências dos diferentes tipos de <i>flares</i> solares durante o período estudado, flares estes classificados quanto a área visualizada no Há (656.2nm) e a intensidade do brilho dos mesmos.....	62
Figura 4.5 – Ocorrência da emissão de raios-X divididas por classes durante o período estudado.....	64
FIGURA 4.6 – Representação esquemática das reações envolvidas na interação das partículas dos raios cósmicos com a atmosfera terrestre. As linhas segmentadas indicam que a interação irá ocorrer em um tempo futuro	
Figura 4.7 – Taxa de contagem dos monitores de neutrons nas Estações de Climax e Thule.....	67
Figura 4.7 – Taxa de contagem dos monitores de neutrons nas Estações de Climax e Thule.....	68
Figura 5.1 – Variação da absorção ionosférica total dos dados dos três riômetros instalados na EACF.....	72
Figura 5.2 – Ilustração da área de varredura da antena oeste.....	73
Figura 5.3 – Ilustração da área de varredura da antena vertical.....	74
Figura 5.4 – Variação da absorção ionosférica relativa do ruído cósmico entre os períodos de máximo e mínimo solar do período estudado para os dados dos riômetros conectados as antenas vertical e oeste.....	75
Figura 5.5 - Melhores ajustes polinomiais da absorção ionosférica relativa total (AT) dos dados dos riômetros, do número de partículas incidentes de raios cósmicos e do número de manchas solares.....	76
Figura 5.6 - Melhores ajustes polinomiais, agora com todos os máximos em fase, dos dados do riômetro conectado à antena vertical, do número de partículas incidentes de raios cósmicos e do número de manchas solares.....	81
Figura E.1 – Tela de seleção dos pontos de calibração do software RIOMETRO.EXE.....	102
Figura E.2 – A figura mostra a ação do “.” na “limpeza” dos dados digitais.....	103

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

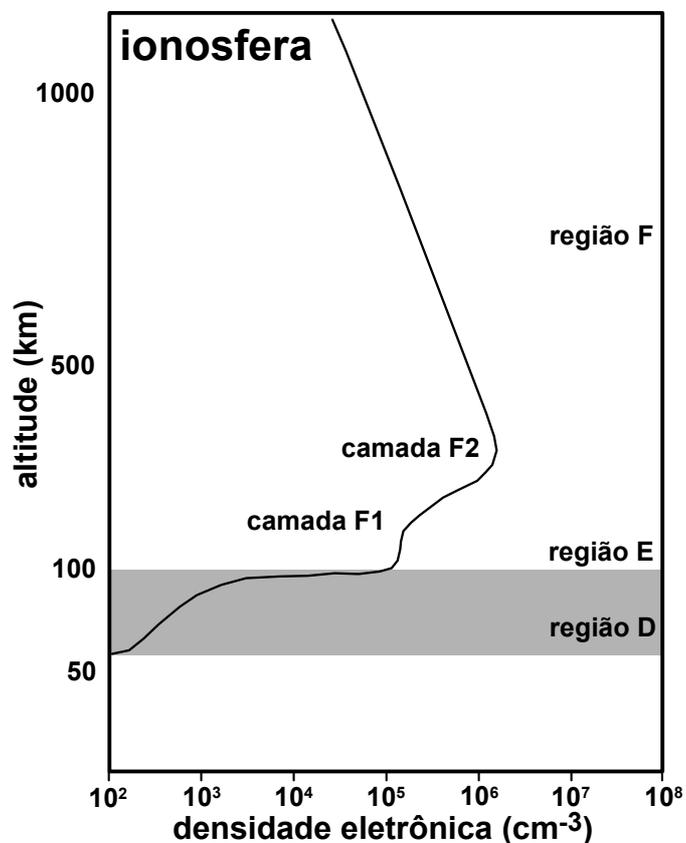
### 1.1 - A parte baixa da ionosfera

A ionosfera é definida como a região ionizada da atmosfera que contém um número significativo de elétrons livres e íons positivos. Estende-se a partir de aproximadamente 70km até cerca de 1000km não bem definidos. Na parte inferior da ionosfera (70-90km), também são encontrados íons negativos. O meio ionosférico de um modo geral, do ponto de vista de larga escala, é eletricamente neutro, requerimento básico para um gás ionizado ser classificado como plasma.

Em geral, as investigações ionosféricas têm grande importância prática na área da radiocomunicação ionosférica e transionosférica, além da sua importância científica na área de Física e Plasmas e dos efeitos da atividade solar na atmosfera terrestre.

As principais fontes de ionização da atmosfera no planeta são as radiações X e ultravioleta oriundas do sol. O grau de ionização da atmosfera aumenta com a altitude até um máximo, para depois diminuir progressivamente, dando lugar a camadas de plasma (conjunto de íons e elétrons) magnetizado, com características físico-químicas diferentes.

A ionosfera pode ser dividida em camadas caracterizadas pelo perfil da distribuição da concentração de elétrons livres ou simplesmente densidade eletrônica (FIGURA 1.1).



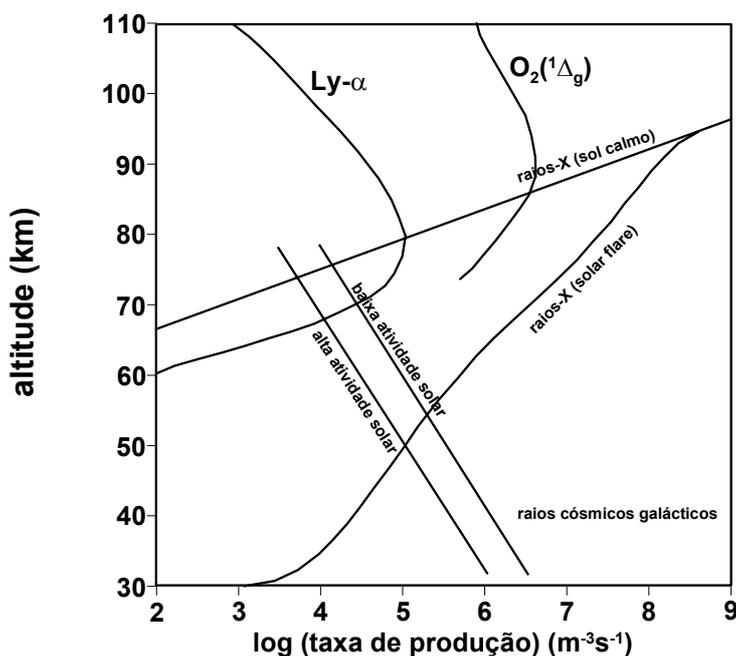
**FIGURA 1.1** – Perfil da densidade eletrônica.

FONTE: modificada de Rishbeth (1969).

Sabe-se que a Camada D da ionosfera, objeto de nossos estudos, é a região onde são freqüentes as colisões entre íons, elétrons e partículas neutras através das quais são formados íons em reações de três-corpos. Nas altitudes próximas a 80km, oxigênio e nitrogênio são ionizados pela ação dos Raios-X solares de comprimentos de onda menores que 1nm, e as moléculas de oxigênio excitadas no estado metaestável  $O_2(^1\Delta_g)$  são ionizadas por radiações de comprimento de onda em torno de 102,7nm e 111,8nm. Óxidos nítricos são relativamente ionizados pela radiação Lyman-alpha do Sol.

Os Raios C3smicos de origem gal3ctica constituem-se em uma fonte adicional de ioniza33o, especialmente nas zonas auroras na parte inferior da Camada D. As part3culas secund3rias, dos raios c3smicos, produzidas pela radia33o prim3ria s3o absorvidas ap3s passar pelas camadas menos densas da atmosfera, e seu grau de ioniza33o 3 proporcional a concentra33o de gases, fato que aumenta a estabilidade na parte inferior da Camada D (Ratcliffe, 1972).

A FIGURA 1.2 mostra a produ33o de el3trons pelas principais radia33es ionizantes pr3ximo dos m3nimos e m3ximos da atividade solar em diferentes altitudes por diferentes radia33es. A figura tamb3m mostra a produ33o de el3trons pela radia33o X durante uma intensa explos3o solar.



**FIGURA 1.2** – N3mero de el3trons produzidos em torno da Camada D da ionosfera.

FONTE: modificada de Ratcliffe (1972).

A distribuição de elétrons da Camada D da ionosfera varia com a latitude (Mechtly e Smith, 1968; Mechtly et al., 1969), com o ângulo zenital do sol (Mitra e Chakrabart, 1971) e com o ciclo solar (Mechtly et al., 1972). Com o avanço do ciclo solar, há uma mudança na intensidade das radiações envolvidas nestes processos de ionização que seguem caminhos diferentes.

A produção de elétrons devido à radiação cósmica galáctica, por exemplo, é mais fraca no máximo solar do que no mínimo, por um fator em torno de 0,5. A razão disto é que o campo magnético interplanetário é de maior intensidade durante o máximo de atividade solar, diminuindo assim o fluxo de raios cósmicos nas vizinhanças da Terra. Estas diferenças nos graus de ionização ocasionam diferentes estruturas na Camada D que variam de diferentes modos, dependendo do ciclo solar (Ratcliffe, 1972).

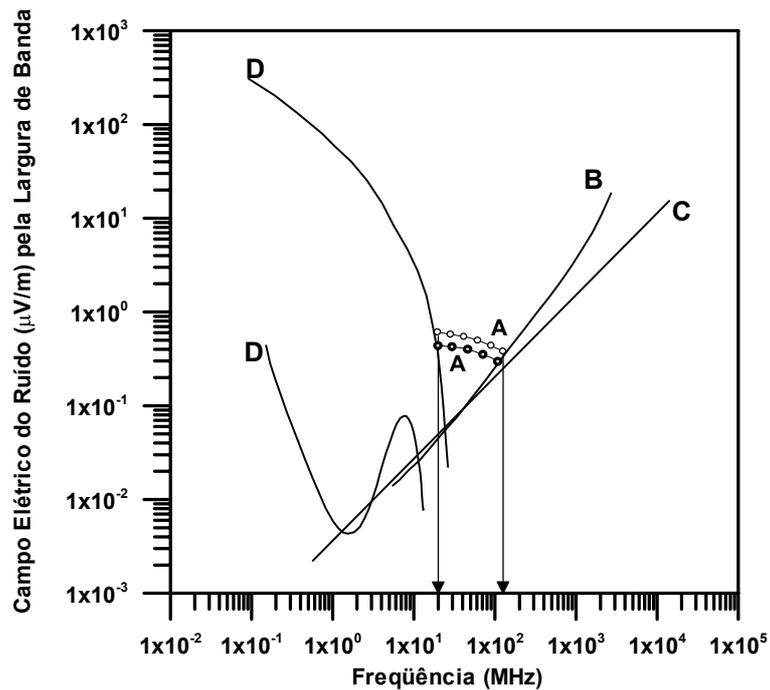
Os íons positivos que se destacam na Camada D são os  $\text{NO}^+$ ,  $\text{N}^+$ ,  $\text{O}^+$ ,  $\text{O}_2^+$  e  $\text{N}_2^+$ . A conversão do  $\text{O}_2^+$  em  $\text{NO}^+$  via troca de carga com NO e a fotoionização do NO pelo Lyman  $\alpha$  fazem com que o  $\text{NO}^+$  seja o íon majoritário na Camada D da ionosfera. Ele é portanto uma espécie precursora primária para a formação de prótons hidratados (Koop e Hermann, 1982). Portanto os esquemas cinéticos de reações dos íons nesta região incluem geralmente espécies iônicas hidratadas, com um elevado peso molecular devido a presença de vapor de água. Esta região também é caracterizada pela presença de íons negativos, especialmente a noite acima de 100km no limite entre as Camadas D e E. O processo inicia-se através da junção eletrônica de um elétron à molécula de oxigênio, formando  $\text{O}_2^-$ , ou seja, uma reação de três corpos envolvendo um catalisador M, cuja função é remover o excesso da energia cinética disponível dos reagentes:



Há também a ocorrência de íons metálicos e metais alcalinos, em baixas proporções, como o íon negativo Cl<sup>-</sup>.

## 1.2 - O ruído cósmico

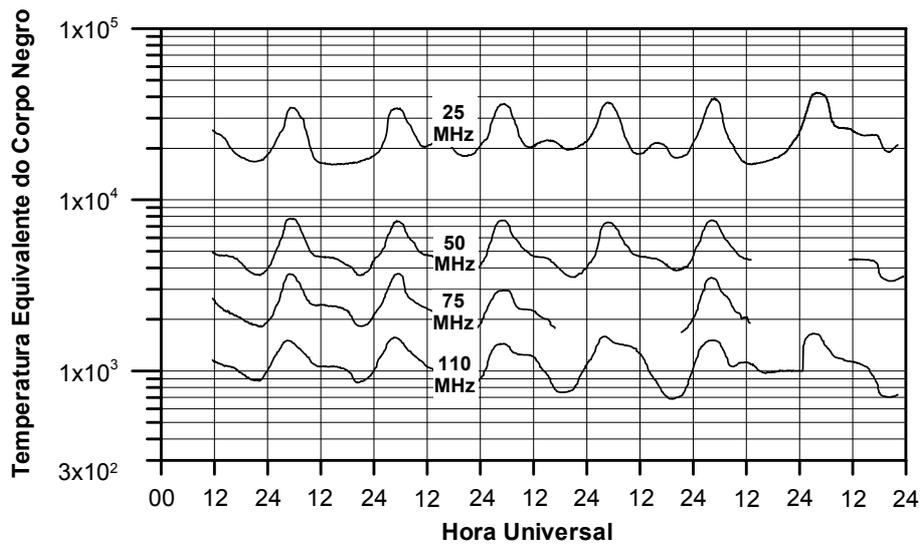
Os Riômetros (do inglês *Riometer: Radio Ionosphere Opacity METER*) são utilizados para detectar o Ruído Cósmico. Entende-se por ruído cósmico o conjunto de ondas de rádio emitidas pelas estrelas, de maneira contínua, e com um espectro de frequência que corresponde ao corpo negro. Estas ondas de rádio ao chegarem na ionosfera são absorvidas (numa proporção que é função da densidade de elétrons livres) em determinadas alturas onde a frequência de colisões, entre elétrons e moléculas neutras, seja da mesma ordem de magnitude que a frequência da onda. Portanto, com o registro da intensidade de ruído cósmico (de uma dada frequência) na superfície da Terra, pelo menos em princípio, é possível saber a densidade eletrônica na altura da absorção. A frequência do ruído cósmico que a comunidade científica convencionou usar é de 30MHz. Esta frequência é a que melhor registra o ruído cósmico, pois de aproximadamente 20 a 200 MHz, é maior a intensidade do ruído cósmico comparado com a contribuição do ruído atmosférico para frequências menores, enquanto que para as faixas superiores os fatores limitantes consistem do ruído produzido por instrumentos eletro-eletrônicos (como exemplo, os ruídos produzidos por osciladores de cristal, ou por motores elétricos e pela radiação do corpo negro da própria Terra). A FIGURA 1.3 ilustra o: - (a) valor absoluto do ruído cósmico; (b) intensidade do ruído do instrumento; (c) intensidade do ruído do corpo-negro equivalente da terra e; (d) máximos e mínimos do ruído atmosférico.



**FIGURA 1.3** – Campo elétrico do ruído cósmico em função da frequência.

FONTE: modificada de Dolukhanov (1971).

Portanto, nas frequências mais baixas, entre 20 e 200 MHz aproximadamente, o registro do ruído cósmico é melhor, uma vez que a intensidade do campo elétrico do ruído é drasticamente reduzida com o aumento da frequência (FIGURA 1.4), ou seja, quanto mais próxima do valor mínimo (20MHz) estiver a frequência usada para registro de ruído cósmico maior será a amplitude do sinal registrado, e conseqüentemente a visualização de eventos e variações será mais nítida. A frequência de colisões que propicia a absorção destas ondas de rádio fica nas alturas entre 70km e 90km, na Camada D da ionosfera.



**FIGURA 1.4** – Perfil típico de uma semana de medidas de ruído cósmico em quatro frequências diferentes. 25, 50, 75 e 110MHz .

FONTE: modificada de Dolukhanov (1971).

### 1.3 - A ionosfera Antártica

Os processos e comportamentos ionosféricos variam bastante com as latitudes geomagnéticas e geográficas. A ionosfera das latitudes auroras e geomagneticamente altas difere das latitudes médias e tropicais devido à sua conexão, quase direta, com a magnetosfera através das linhas do campo dipolar geomagnético. Este fato permite que partículas carregadas muito energéticas, as quais se movimentam helicoidalmente ao longo das linhas de campo geomagnéticas, se precipitem na atmosfera local, produzindo uma ionização adicional nas várias camadas da ionosfera. Este tipo de acoplamento do sistema ionosfera-magnetosfera, junto com outros representados por correntes elétricas, campos elétricos e ondas magnetohidrodinâmicas, depende principalmente da atividade geomagnética. Por outro lado, a ionosfera das latitudes médias e tropicais são dominadas, em seu comportamento, principalmente pela radiação eletromagnética solar e por sua interação com a

atmosfera neutra e, portanto, também pelos processos atmosféricos, freqüentemente de origem meteorológica. Nessas latitudes ocorrem diversos processos de instabilidade de plasma que dão origem a irregularidades ionosféricas, as quais afetam a propagação das ondas eletromagnéticas e, conseqüentemente, as radiocomunicações.

Os processos ionosféricos das regiões aurorais e polares influenciam fortemente as regiões ionosféricas de latitudes baixas, através de um acoplamento eletrodinâmico global. Isto ocorre, em geral, durante épocas geomagneticamente perturbadas, quando perturbações termosféricas, em forma de ondas de gravidade, propagam-se em direção ao equador (*Traveling Ionospheric Disturbances*, T.I.D) a partir de sua geração nas regiões aurorais. A origem destes eventos de grande escala, é atribuída à ocorrência de subtempestades magnéticas (*substorms*), as quais produzem precipitação de elétrons energéticos, de origem magnetosférica.

As características da ionosfera na região Antártica, especialmente as condições de radiopropagação numa extensa faixa latitudinal geomagnética, que engloba a região polar, auroral e subauroral, são pouco conhecidas em comparação com a zona polar norte (o Ártico), a qual tem sido amplamente pesquisada neste campo. Existem evidências de assimetrias importantes nos comportamentos ionosféricos das regiões aurorais e subaurorais dos dois hemisférios devido a excentricidade do dipolo geomagnético equivalente.

Devido ao fato de que a freqüência de colisões entre partículas neutras e elétrons na altura da Camada D da ionosfera é da mesma ordem que a rádio freqüência do ruído cósmico medido, a sua observação é facilitada. Portanto, o registro das variações desta absorção permite o estudo do grau de ionização atmosférica. Em determinados casos, como nos eventos de raios-X em

erupções solares, quando a radiação ionizante é bem definida, é também possível obter informações sobre a composição química da atmosfera. Portanto, as observações feitas na Antártica são importantes para: - (a) estudar os tipos de acoplamento existentes entre a magnetosfera e a ionosfera em decorrência da atividade solar e a dinâmica magnetosférica, responsável pela aceleração de partículas; (b) melhorar a compreensão dos processos ionosféricos das regiões polar e auroral e; (c) estudar, de maneira mais completa e detalhada, a influência das perturbações aurorais nos processos ionosféricos da região tropical.

#### **1.4 - Riômetros na Estação Antártica Comandante Ferraz**

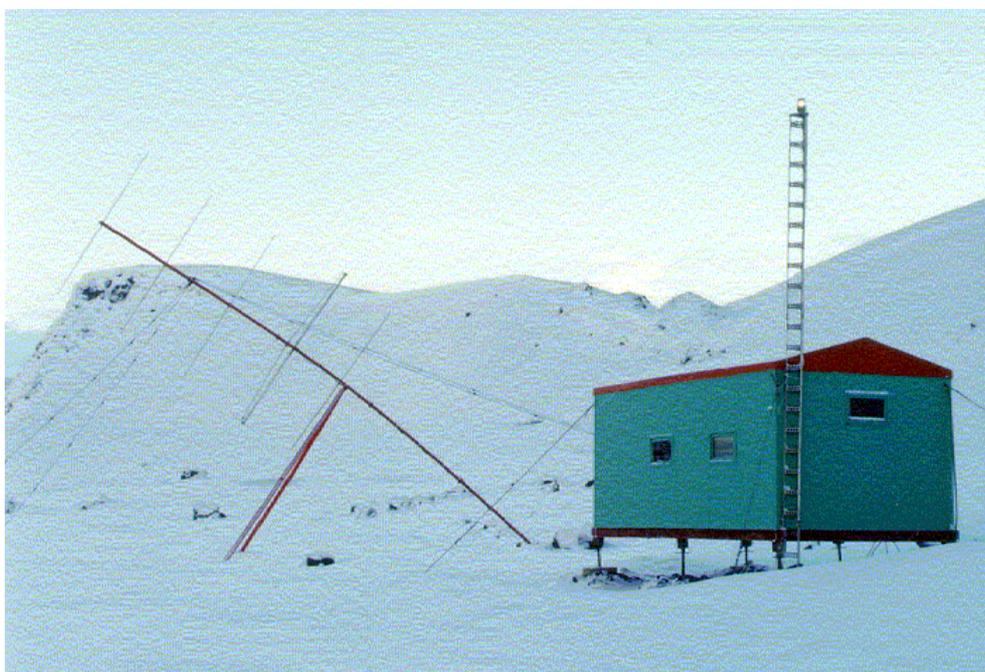
O riômetro é um meio passivo de obter-se informações a respeito do estado de ionização da ionosfera, mais especificamente na Camada D na baixa ionosfera.

Os riômetros instalados na Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), Ilha Rei George (68°S, 58°W), registram a absorção ionosférica do ruído cósmico na região sub-Antártica desde dezembro de 1987. Até então havia uma única direção de detecção (antena orientada para o zênite) tendo sido posteriormente instaladas mais 2 antenas Yagi-Uda direcionais (FIGURA 1.5 e FIGURA 1.6), estando estas apontadas para o Sul e para o Oeste magnético com um ângulo zenital de 40°, o que corresponde em coordenadas geográficas 76.34°S, 154.74°E e 38.05°S, 111.5°W respectivamente.



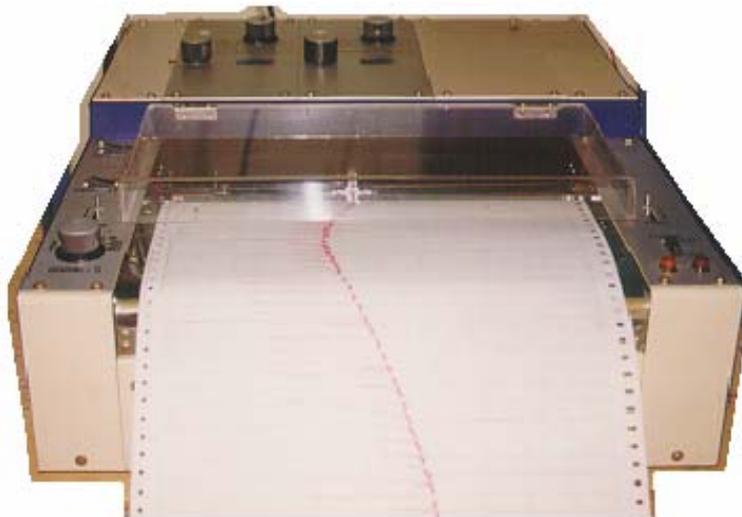
**FIGURA 1.5** – Da esquerda para direita: Antena apontada para o sul, módulo onde estão os riômetros, antena apontada para o oeste, antena apontada para o zênite e o módulo onde se encontra o computador de aquisição de dados digitais dos riômetros.

FONTE: Mangueira (1996).



**FIGURA 1.6** – A figura mostra a antena voltada para o sul e o módulo de “Investigação Ionosférica” da Estação Antártica Comandante Ferraz.

Até o final do ano de 1992, o registro de dados era efetuado em forma analógica, em fitas de papel, utilizando um registrador potenciométrico de três canais, marca ECB, modelo RB103 (FIGURA 1.7). Deste modo era muito difícil a análise dos dados, uma vez que era necessária a digitalização dos dados analógicos, para sua análise posterior. No início de 1993 foi instalado um sistema digital de registros que permitiu o armazenamento dos dados em disquetes, ainda que apresentando algumas dificuldades na sua utilização, por causa do formato adotado.



**FIGURA 1.7** – Registrador analógico usado para registrar o ruído cósmico.

A partir do inverno de 1995 os dados digitais foram reformatados a fim de se facilitar a sua utilização. Os novos arquivos agora gerados possuem três ou quatro horas de dados, com uma taxa de aquisição 3 segundos (Apêndice A).

Os riômetros usados neste trabalho foram utilizados pelo projeto de Investigação Ionosférica na Antártica, e foram adquiridos diretamente do fabricante *La Jolla Sciences em Solana Beach*, Califórnia, EUA, havendo sido

projetados com dispositivos semicondutores (FIGURA 1.8). Esses riômetros correspondem a terceira geração do gênero (a primeira foi construída com tubos a vácuo e a segunda com transistores). O diagrama de blocos dos riômetros é mostrado na FIGURA 1.9.



**FIGURA 1.8** – Aspecto externo de um riômetro.

Uma chave eletrônica RF (*RF Switch* na figura) é controlada por um oscilador, num regime de áudio, de maneira que o receptor alternadamente fornece duas fontes diferentes de ruído. Uma das duas portas de entrada é conectada ou à antena, que registra o ruído cósmico, ou à uma fonte de ruído, controlado por servomecanismo (*Servo Noise Source*), cujo nível é ajustado automaticamente de maneira que o nível de ruído seja igual ao ruído do outro lado da chave RF.

Utiliza-se um circuito lógico para conseguir um pulso, de pouco menos de 1 minuto de duração, em cada hora, o qual é utilizado para desconectar o sinal da antena (ruído cósmico) e substituí-lo por uma fonte de ruído para calibração. O circuito lógico também é usado para controlar o nível da fonte do ruído da calibração, de maneira a formar-se uma sequência de quatro níveis para calibração, que são utilizados em cada pulso horário.

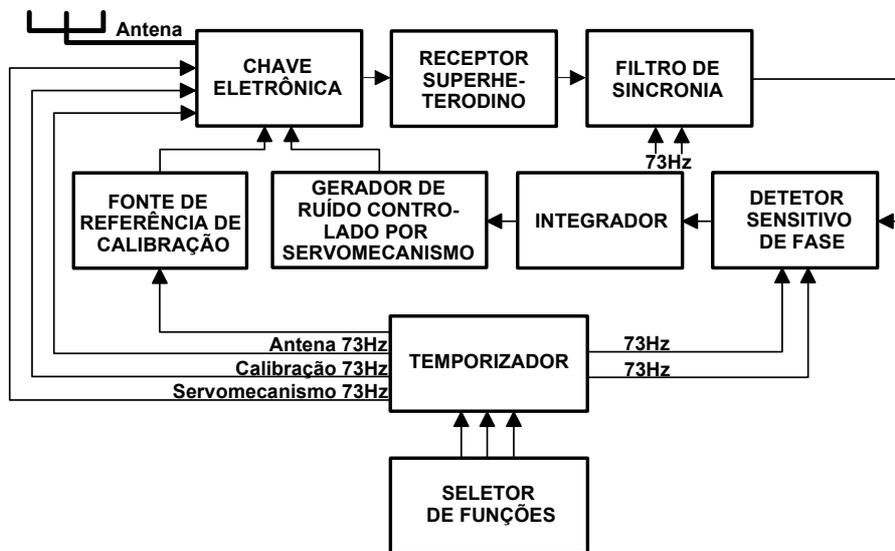


FIGURA 1.9 - Diagrama de blocos do riômetro.



## CAPÍTULO 2

### CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DE CONJUNTOS DE DADOS ANALISADOS

Neste Capítulo apresentaremos os três critérios de seleção de dados utilizados neste trabalho. O primeiro critério teve como finalidade localizar os dias geomagneticamente calmos, utilizando os índices planetários Ap e Kp. O segundo critério visou determinar quais as curvas satisfatórias para a redução das mesmas, e por fim, o terceiro critério de seleção de dados foi uma reavaliação do primeiro critério, utilizando novos valores para o limite máximo dos índices planetários adotados.

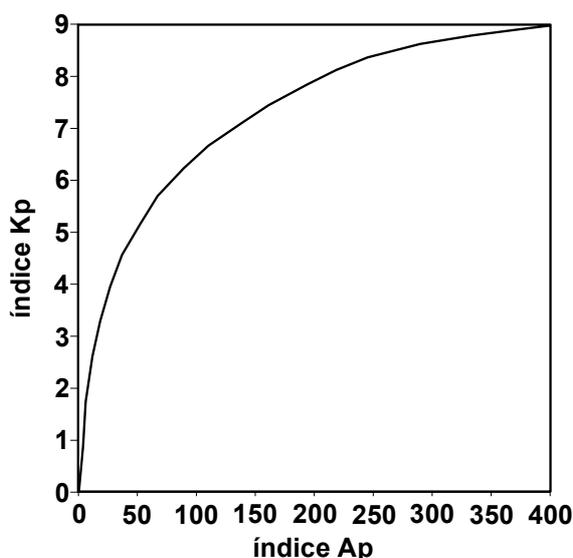
#### 2.1 - Dia geomagneticamente calmo (quieto)

É considerado um dia geomagneticamente calmo um dia com baixa atividade geomagnética, este caracterizado pelo índice planetário Ap ou Kp. Stoker et al. (1989) e Wrenn et al. (1987) definem um dia com baixa atividade geomagnética como um dia com um índice planetário Kp inferior a 4. Neste trabalho estaremos considerando como sendo um domínio satisfatório dos índices planetários Kp aqueles menores ou iguais a 3<sup>+</sup>, equivalente a valores dos índices Ap menores ou iguais 18, definidos como representativos de um dia normal para um dia geomagneticamente muito calmo. Segundo Wrenn, os distúrbios geomagnéticos podem ser classificados como:

- Dia muito quieto, de 0 até 4 Ap ou 0 até 1 Kp;
- Dia quieto, de 4 até 6 Ap ou 1 até 2<sup>-</sup> Kp;
- Dia normal, de 6 até 8 Ap ou 2<sup>-</sup> até 3<sup>+</sup> Kp;
- Dia perturbado, de 18 até 30 Ap ou 3<sup>+</sup> até 4<sup>+</sup> Kp e
- Dia muito perturbado, de 30 até 400 Ap ou 4<sup>+</sup> até 9 Kp.

## 2.2 - Critério de seleção de dias quietos

O primeiro julgamento de seleção foi feito sobre os índices magnéticos planetários Kp e dos índices planetários Ap, os quais indicam se houve perturbações no campo magnético terrestre ou não, estando ambos correlacionados através de uma escala semi-logarítmica (FIGURA 2.1).



**FIGURA 2.1** – Relação entre os índices planetários Ap e Kp.

Os índices planetários Ap e Kp usados neste trabalho foram adquiridos no *National Geophysical Data Center*. Estes índices apresentam a média dos índices registrados por 13 observatórios que se encontram entre as latitudes geomagnéticas 46° e 63° norte e sul, respectivamente. Atualmente os observatórios que contribuem para a divulgação destes índices planetários são: Lerwick, Harthand e Eskdalemuir (Reino Unido), Fredericksburg e Sitka (Estados Unidos), Ottawa e Meannok (Canadá), Wingst e Niemegk (Alemanha), Eyrewell (Nova Zelândia), Camberra (Australia), Lovo (Suécia) e Brorfelde (Dinamarca).

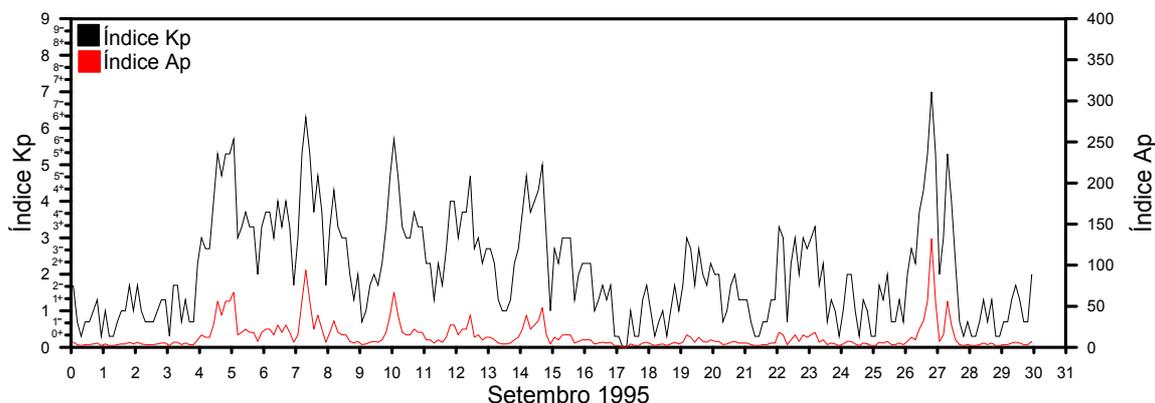
Os arquivos contendo os índices planetários utilizados neste trabalho vêm em formato texto com 366 ou 365 linhas, para anos bissextos ou não

respectivamente, e 71 dígitos divididos em grupos onde cada aglomerado (contendo de 2 a 5 dígitos) indica um valor numérico dos dados contidos no arquivo. No Apêndice B é descrita a formatação dos arquivos contendo uma diversidade de informações.

Os índices Kp são apresentados em uma escala de 28 pontos que variam de 0 (atividade magnética muito calma) até 9 (atividade magnética muito intensa) com frações intermediárias de 1/3, representados por exemplo, pelos valores  $0^+$ ,  $1^-$ ,  $2^+$ , etc. Os índices Kp utilizados neste trabalho são convertidos para uma série numérica variando de 0 a 90, ou seja, os valores fracionários assumiram um número inteiro afim de facilitar sua visualização gráfica. O número 23, por exemplo, representa o índice planetário Kp  $2^+$ , onde a dezena indica o valor inteiro dos índice Kp (de 0 à 9) e a unidade a parte fracionária (3 para o índice “+”). Por outro lado, o índice planetário Kp  $2^-$  é representado pelo número 17, ou seja, a dezena indica o valor da dezena acima (a dezena 1 representando a dezena 2) e a unidade a parte fracionária (7 para o índice “-”).

Para utilização destes arquivos de dados foram feitas duas transformações, a primeira separando os dígitos e criando 22 colunas, feito através do *Microsoft Excel*, o que tornou possível uma primeira visualização, porém não satisfatória das curvas dos índices Kp e Ap. Isto ocorre devido a discretização temporal dos dados, os quais apresentam apenas um intervalo de aquisição diária dos índices por coluna, ou seja, cada coluna representa apenas um período de três horas do dia de aquisição, o que dificultava em muito a observação da variação diária do comportamento do campo magnético terrestre.

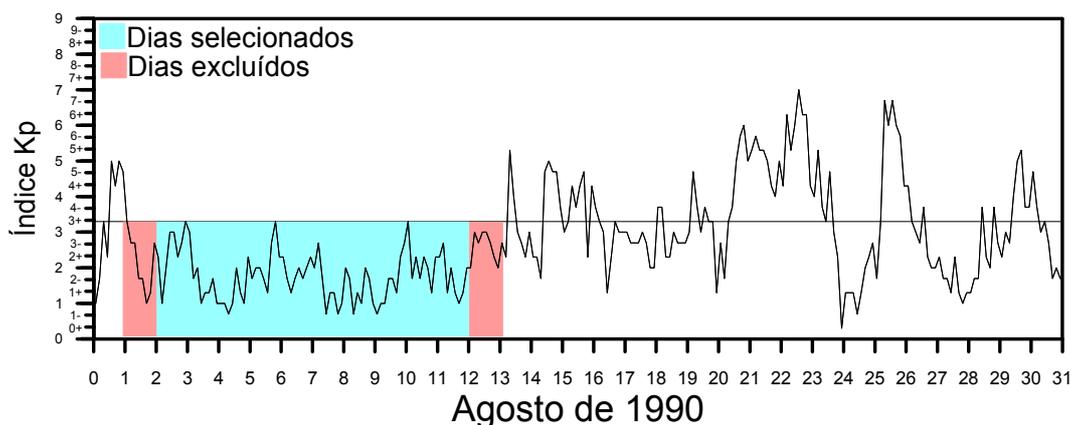
Para facilitar a visualização das curvas dos índices planetários Kp e Ap foi feita a partir da primeira transformação dos arquivos um programa com a finalidade de passar os dados das oito colunas referentes de cada índice em apenas uma coluna de forma contínua com uma variação temporal de três em três horas (FIGURA 2.2).



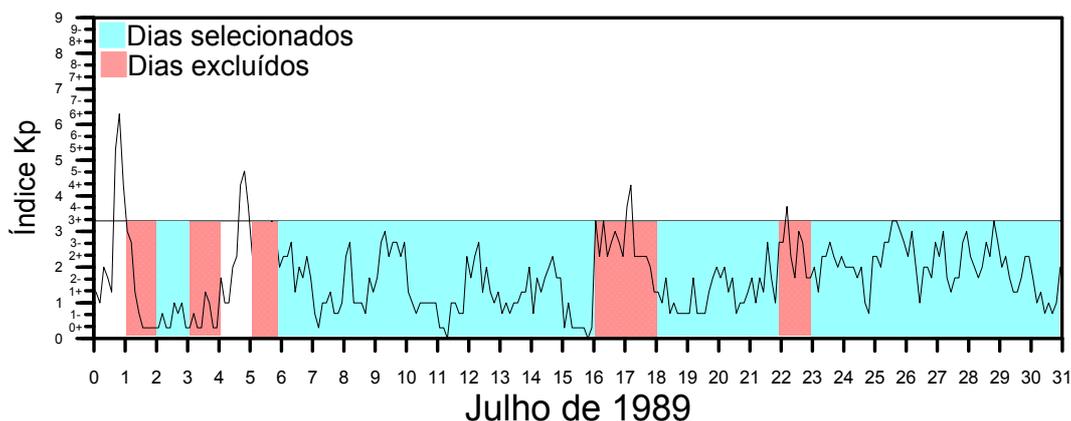
**FIGURA 2.2** – Variação dos índices planetários Ap e Kp referentes ao mês de setembro de 1995.

Com esta última transformação, escolhemos o índice Kp para a seleção dos dias calmos, pois como pode-se constatar pela curva da FIGURA 2.2, a variação da amplitude dos dados dos índices Ap é muito grande e os valores que interessam são muito baixos dificultando a visualização do mesmo.

Durante a seleção dos dias calmos, para evitar qualquer tipo de contaminação (resíduo) de distúrbios geomagnéticos, não foram selecionados nem o primeiro nem o último dia de um período calmo (FIGURA 2.3), exceto durante períodos longos de calma onde só foi excluído o dia com um pico acima do especificado pelo critério de seleção (FIGURA 2.4).

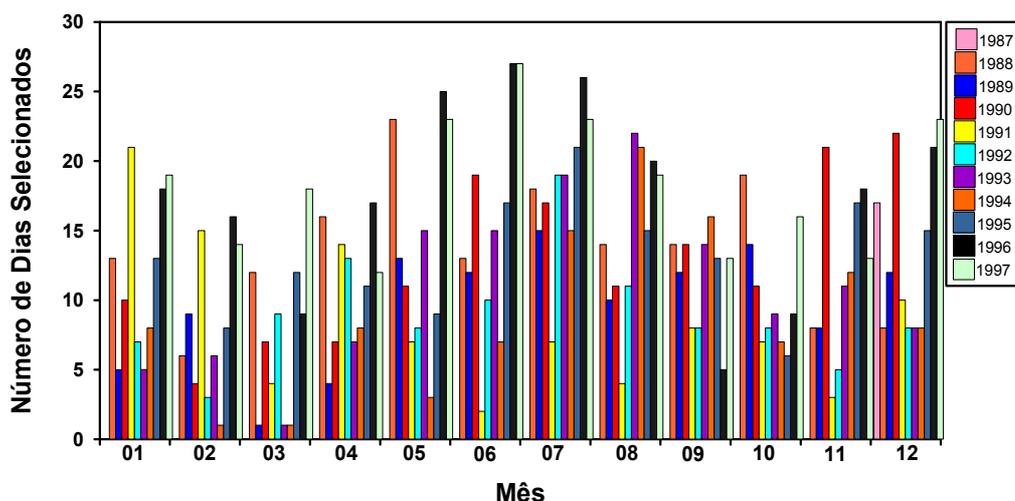


**FIGURA 2.3** – Variação dos índices planetários num período de um mês (agosto de 1990). Em evidência, estão os dias calmos selecionados e os dias excluídos.



**FIGURA 2.4** - Variação dos índices planetários num período de um mês (julho de 1989). Em evidência, estão os dias selecionados e os dias excluídos.

Com este primeiro critério de seleção foram analisados 4049 dias, de dezembro de 1987 até dezembro de 1997, sendo que deste montante, 1667 dias foram considerados satisfatórios para análise, ou seja, 41.1% dos dias analisados. A FIGURA 2.5 mostra o número de dias selecionados por mês em cada ano analisado.



**FIGURA 2.5** – Número de dias selecionados por mês (no total de 1667) pelos índices planetário Kp, entre os anos de 1987 até 1997.

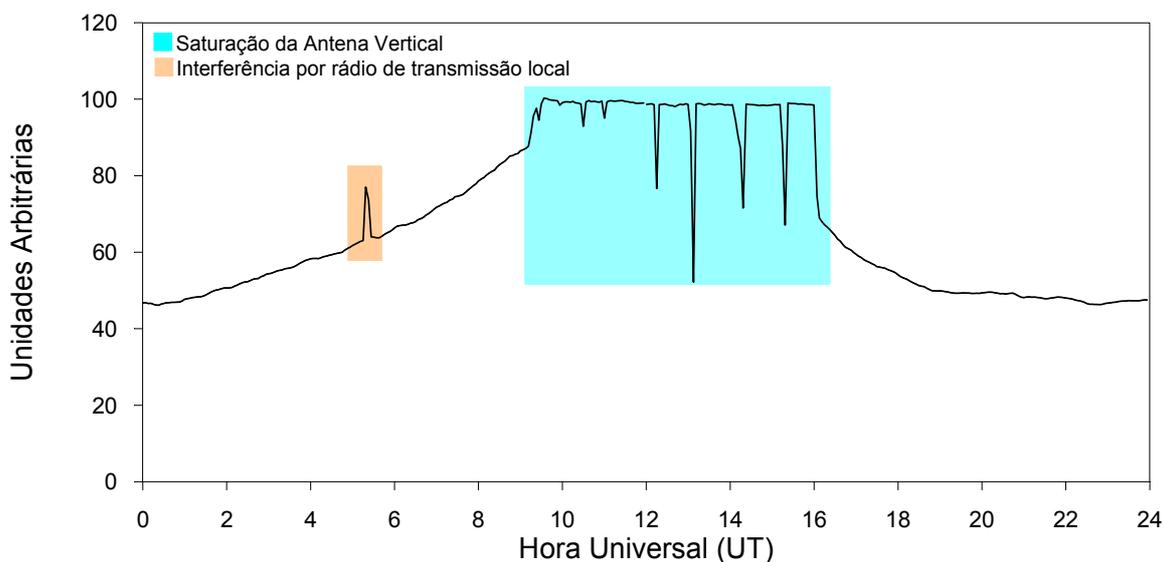
### 2.3 - Critério de seleção de dados dos riômetros

O segundo critério de seleção de dados aplicado aos dias já selecionados, está relacionado com a qualidade dos dados utilizados dos riômetros. Este critério adotado determinou quais registros de riômetros seriam aproveitados ou não, eliminando os registros com interferências externas e internas.

Podemos caracterizar registros com “interferências externas” como sendo aqueles que sofreram interferências eletromagnéticas, principalmente devido a equipamentos eletroeletrônicos (como rádios transmissores, muito usados no final da década de 80 e início da década de 90 na comunicação entre a Estação Antártica Comandante Ferraz e o Brasil pelos integrantes da EACF) e também pelos rádio transmissores de comunicação local. Outro tipo de interferência externa foi constituído pelos computadores de outros projetos funcionando perto dos equipamentos dos riômetros (como os da Ciências Atmosféricas, antes do reposicionamento dos equipamentos em um módulo mais afastado), quedas de energia causadas por panes nos geradores da Estação, o uso de equipamentos de reparo de alto consumo de energia elétrica (como soldadores elétricos) nas proximidades dos equipamentos, bem como

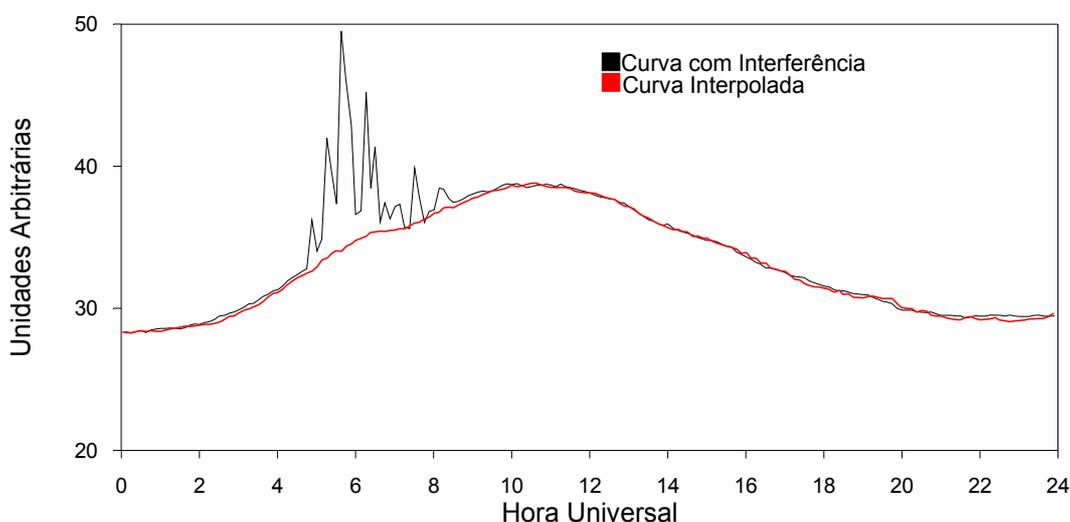
problemas com o *No-Break*. Mais recentemente as passagens de veículos motorizados nas proximidades do módulo dos riômetros, situado em Punta Plaza, prejudicaram a qualidade dos dados.

Caracterizou-se como “interferências internas” o mal funcionamento do sistema de aquisição de dados dos riômetros, desde a antena até o registro final (por carta analógica ou por computador). Estas perdas na qualidade dos dados estão relacionadas com problemas técnicos, tais como problemas nas antenas, ocasionados por oxidação devido à proximidade do mar; fadiga devido aos ventos fortes e baixas temperaturas, mal contato dos cabos; registros analógicos insatisfatórios em cartas devido ao mal funcionamento do registrador potenciométrico (como problema de contatos em seus componentes); carta gráfica fora das guias do registrador e/ou a falta de tinta nas penas de impressão. Recentemente, após a introdução do registro digital, ocorreram também problemas com o computador de aquisição. Na FIGURA 2.6 são ilustrados o efeito de dois principais tipos de interferências encontrados nos dados.



**FIGURA 2.6** – A figura mostra dois tipos de interferências muito comuns nos dados de riômetros vindo da EACF.

Dias que apresentaram interferências durante um curto espaço de tempo foram utilizados neste trabalho a fim de se ter o maior número possível de dias aproveitados para a análise final (FIGURA 2.7), porém isso só pode ser usado nos dados dos registros analógicos, uma vez que é possível fazer uma interpolação arbitrária nestas curvas (na digitalização das mesmas). Este mesmo critério de seleção de dados utilizáveis foi aplicado aos dados dos riômetros com antenas apontadas na direção zenital, na sul e oeste.

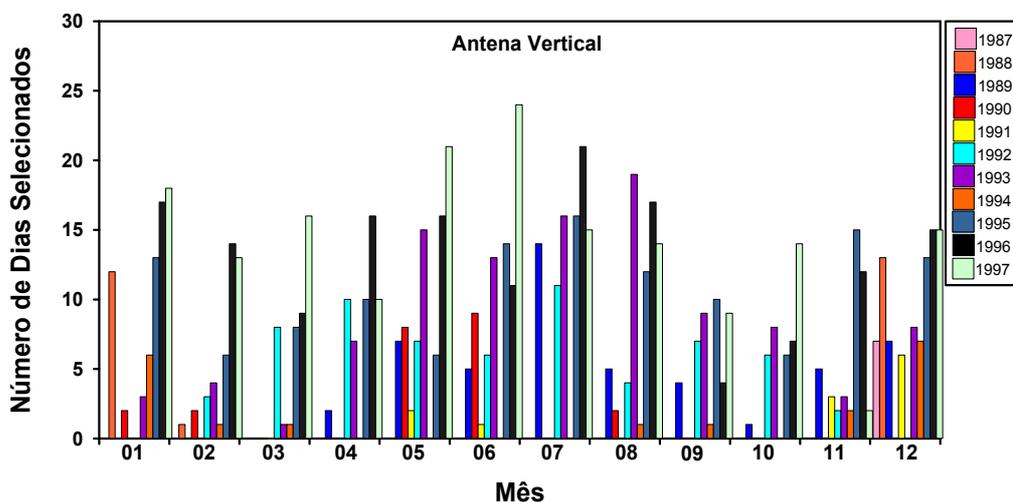


**FIGURA 2.7** – A figura mostra um exemplo de interpolação arbitrária, baseada no comportamento dos dias imediatamente próximos.

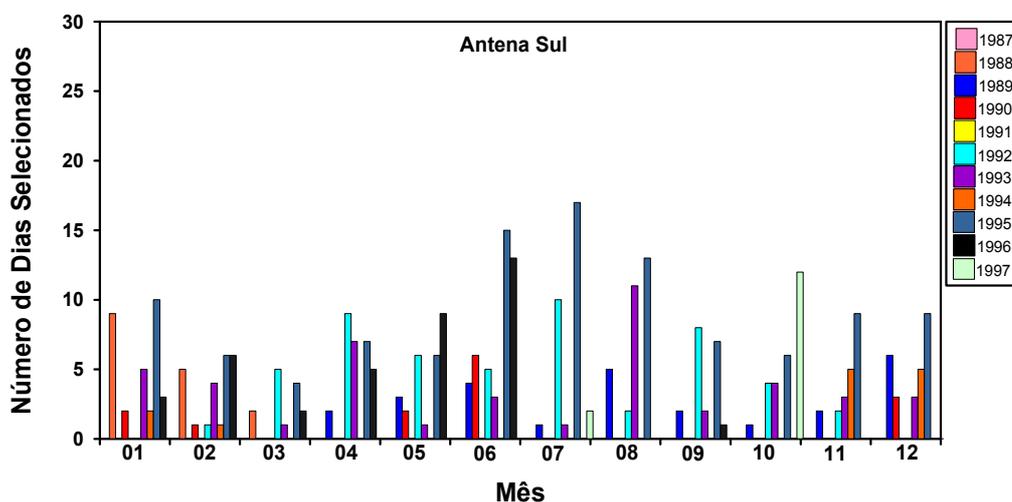
Os registros de riômetros na Antártica pelo projeto “Investigação Ionosférica na Antártica” começaram no dia 23 de dezembro de 1987 as 16:30 horas UT, com a instalação de um riômetro conectado a uma antena direcionada para cima, antena vertical. No dia 1<sup>o</sup> de janeiro de 1988 foi instalado o segundo riômetro, estando este conectado à antena voltada para o sul e quase um ano depois, no dia 26 de dezembro de 1988, foi instalado o terceiro e último riômetro, sendo este conectado a uma antena voltada para o oeste.

Dos 1667 dias selecionados pelo primeiro critério (geomagneticamente quietos), ficaram 750 dias de registros do riômetro conectado à antena dirigida

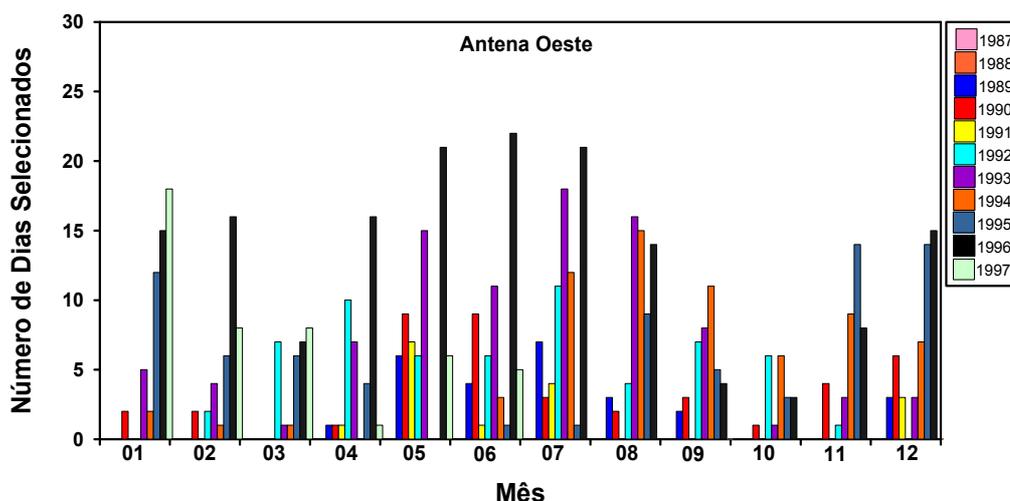
verticalmente (FIGURA 2.8), 355 dias de registros do riômetro conectado à antena orientada na direção sul (FIGURA 2.9) e 580 dias de registros do riômetro conectado a antena dirigida para o oeste (FIGURA 2.10).



**FIGURA 2.8** – A figura mostra o número de dias selecionados por mês (no total de 750 dias) dos registros do riômetro conectado a antena direcionada ao zênite entre os anos de 1987 a 1997.



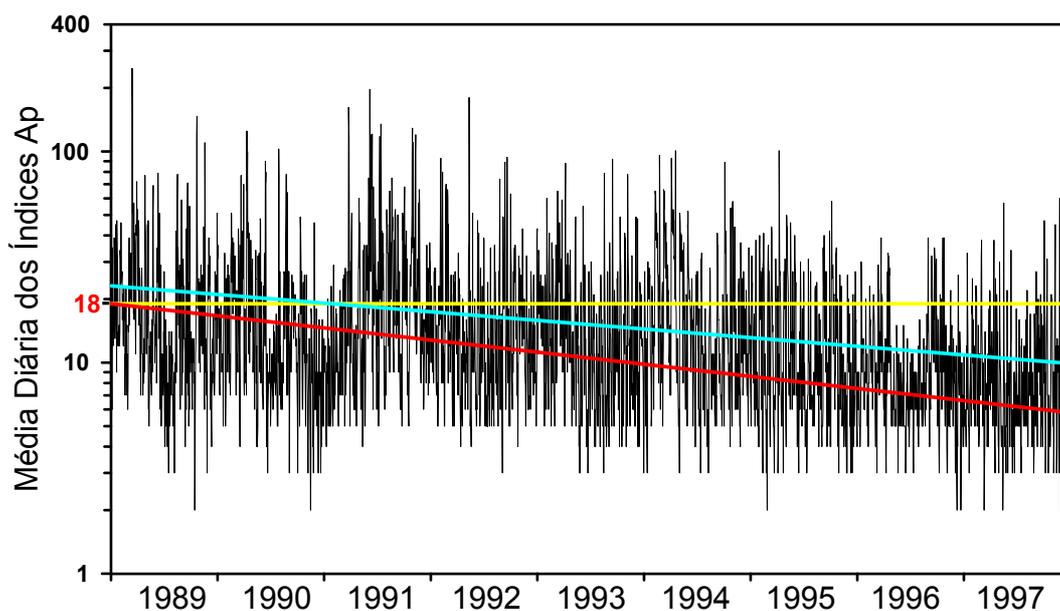
**FIGURA 2.9** – Número de dias selecionados por mês (no total de 355 dias) dos registros do riômetro conectado a antena direcionada para o sul magnético entre os anos de 1987 a 1997.



**FIGURA 2.10** – Número de dias selecionados por mês (no total de 580 dias) dos registros do riômetro conectado a antena direcionada para o oeste magnético entre os anos de 1987 a 1997.

#### 2.4 - Reavaliação da seleção de dias quietos

O terceiro critério de seleção de dias quietos usado neste trabalho foi feito após a primeira e segunda análise dos dados. Na primeira análise dos dados constatou-se um decaimento ao longo dos anos nos valores dos índices planetários Ap. Desta forma adotamos novos valores máximos dos índice Ap, tendo estes novos valores uma variação ao decorrer do período estudado. A FIGURA 2.11 mostra a média diária da variação dos índices Ap durante o período estudado. A reta amarela mostra a média usada no primeiro critério de seleção (índice Ap = 18); a reta azul mostra a média diária dos índices Ap durante o período estudado e finalmente a reta vermelha mostra a média do período estudado menos o desvio padrão dos dias quietos, e desta última foram obtidos os novos valores dos limites dos índices Ap utilizados, os quais são apresentados na TABELA 2.1.

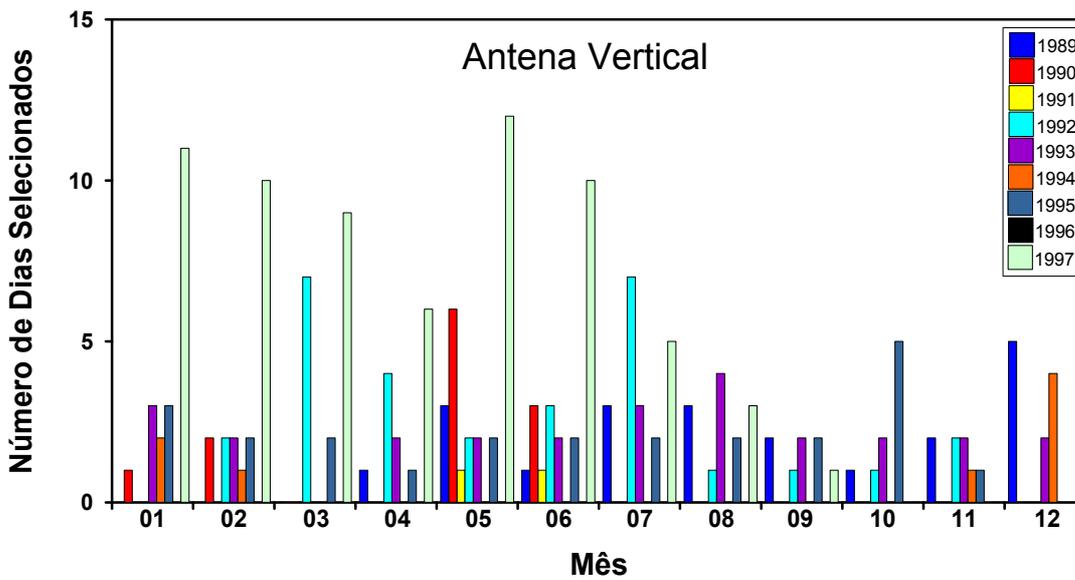


**FIGURA 2.11** – Média diária dos índices planetários Ap pelo período estudado.

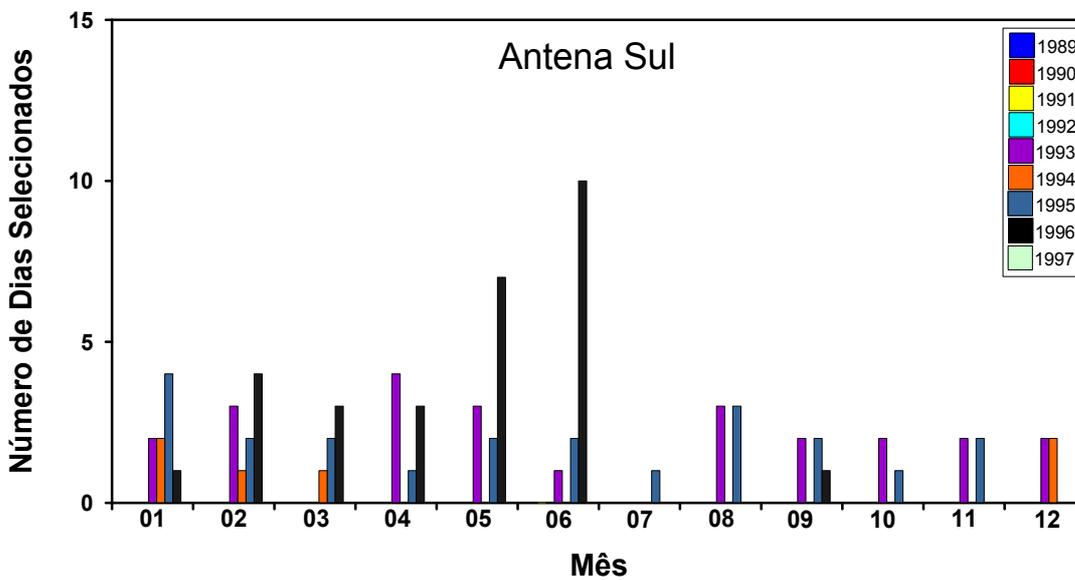
**TABELA 2.1** – Novos valores adotados dos índices Ap.

ANO	NOVO VALOR DOS ÍNDICES PLANETÁRIOS AP
1989	18
1990	15
1991	15
1992	12
1993	12
1994	9
1995	9
1996	7
1997	6

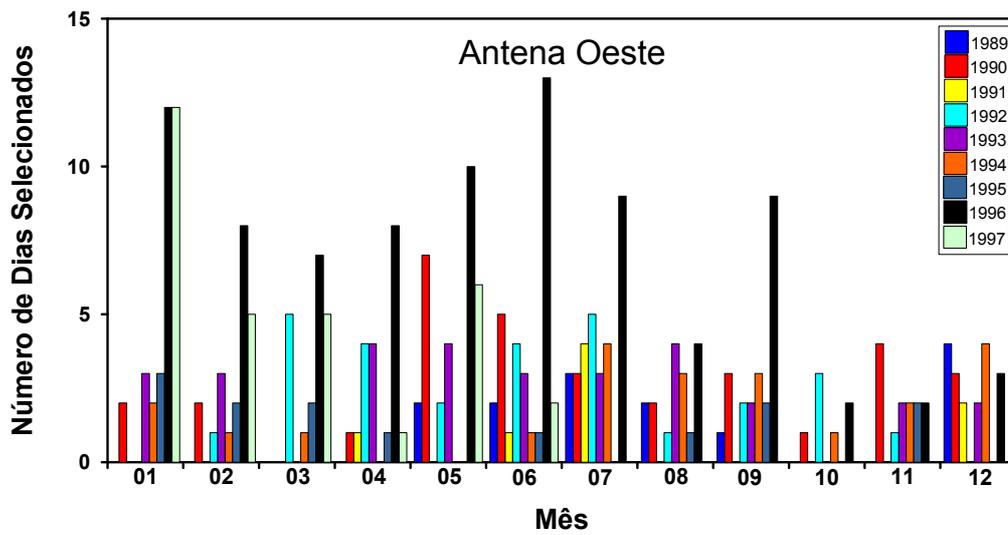
Após esta última seleção dos dias usados na determinação de um dia geomagneticamente calmo, o número de dias usados passou a ser 261 para o riômetro conectado a antena vertical (FIGURA 2.12) , 81 para os riômetro conectado a antena sul (FIGURA 2.13) e 267 para o riômetro conectado a antena oeste (FIGURA 2.14).



**FIGURA 2.12** - Número de dias selecionados por mês (no total de 261 dias) dos registros do riômetro conectado a antena direcionada verticalmente entre os anos de 1989 a 1997.



**FIGURA 2.13** - Número de dias selecionados por mês (no total de 81 dias) dos registros do riômetro conectado a antena direcionada para o sul magnético entre os anos de 1989 a 1997.



**FIGURA 2.14** - Número de dias selecionados por mês (no total de 267 dias) dos registros do riômetro conectado a antena direcionada para o oeste magnético entre os anos de 1989 a 1997.



## CAPÍTULO 3

### CARACTERÍSTICAS E REDUÇÃO DOS DADOS DOS RIÔMETROS UTILIZADOS

Os dados dos riômetros, que em essência são os registros da intensidade do ruído cósmico, são usados para obtenção da Absorção Ionosférica na Camada D da ionosfera. Em um dia típico, em condições de baixa atividade geomagnética, o registro da intensidade apresenta uma variação diurna, que se repete periodicamente em dias próximos e de condições geomagnéticas semelhantes. Esta periodicidade está relacionada com a orientação da antena do riômetro (que é fixa ao solo) e com sua varredura da esfera celeste, ou seja, esta periodicidade é proporcional a concentração de estrelas na que a antena está visualizando. Esta relação periódica é chamada de “Curva do Dia Quiet”, objeto de estudo do presente trabalho.

#### 3.1 - Características dos dados de riômetros

Atualmente os dados são gerados com sinais de calibração em intervalos de 1 hora. Os dados mostram-se numa escala linear, porém arbitrária. Para sua utilização é necessário a conversão da escala linear, arbitrária, em unidades de corrente elétrica utilizando-se dos sinais de calibração, depois a base temporal, que se encontra em hora universal (*Universal Time*, UT), deve ser convertida em Hora Sideral (*Sideral Time*, GST). Com a seleção de dados, em dias sem perturbação geomagnética, constrói-se uma curva de ruído cósmico em Dia Sideral (“curva do dia quieto”). Finalmente com a curva do dia quieto, proceder-se-á ao cálculo da absorção ionosférica. Conforme pode-se notar, a determinação da curva do dia quieto, é fundamental para o estudo do estado de ionização da Camada D. Eis a importância do presente trabalho.

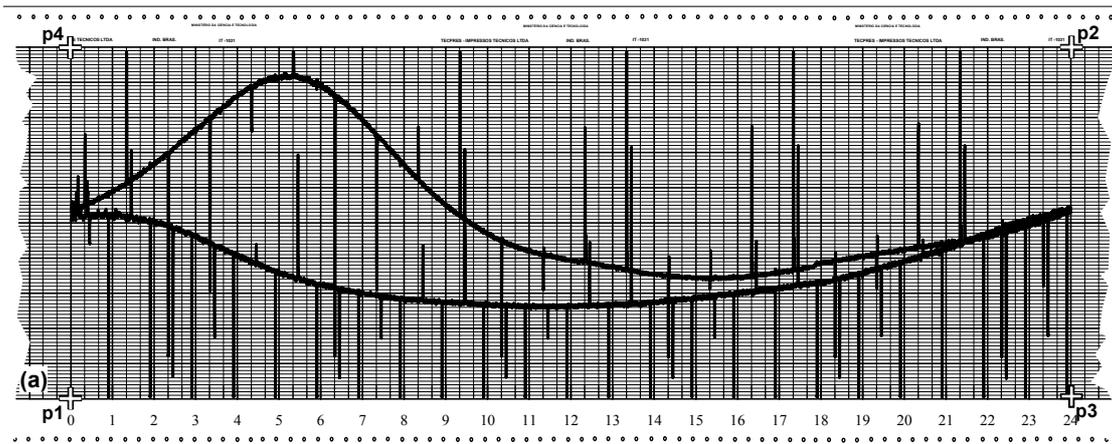
### **3.2 - Redução dos dados dos riômetros**

Como descrito anteriormente na Seção 1.4, os dados dos riômetros utilizados neste trabalho são de dois tipos: - analógicos e digitais. Os dados analógicos vêm gravados em fita de papel gráfico utilizando um registrador potenciométrico de três canais. Os dados digitais vêm gravados em arquivos de três ou quatro horas com uma resolução de um registro a cada três segundos. Em ambos os casos a base temporal do registro é a hora universal (UT).

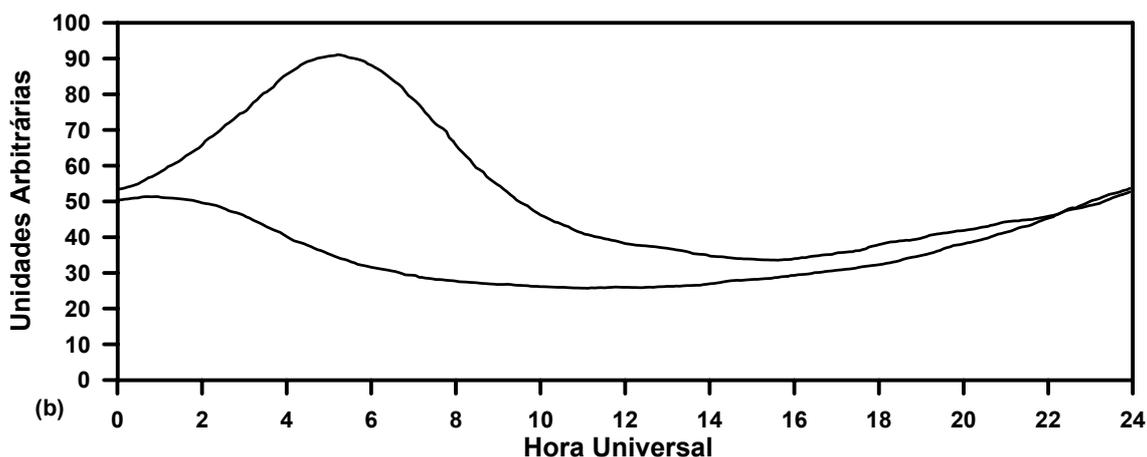
Para obtenção da curva de absorção ionosférica, há várias etapas a serem executadas, tanto para os dados digitais quanto para os dados analógicos, etapas estas descritas a seguir.

#### **3.2.1 - Dados analógicos**

Para a redução dos dados analógicos o primeiro procedimento a ser executado é a digitalização das curvas (denominado aqui de passo 1), transformando os dados analógicos (em carta gráfica, FIGURA 3.1) em dados digitais. Isto é feito com a auxílio de uma Mesa Digitalizadora (neste trabalho foi utilizada a mesa digitalizadora *Digigraf*, modelo *Van Gogh*). A digitalização das curvas é feita com uma variação temporal de 3 minutos, e desta digitalização foram criados arquivos de dados, os quais são descritos no Apêndice C. Após a digitalização dos dados (FIGURA 3.2), os procedimentos seguintes são basicamente semelhantes à redução dos dados digitais.



**FIGURA 3.1** – Carta gráfica apresentando os registros do riômetro conectado a antena oeste e vertical para o dia 18 de julho de 1996.



**FIGURA 3.2** – Dados digitalizados para o mesmo período da FIGURA 3.1.

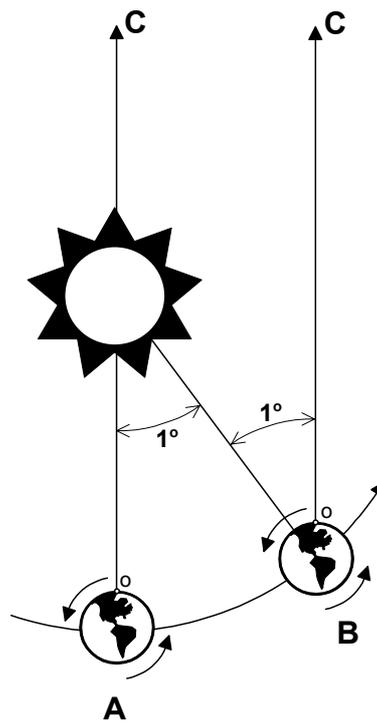
O procedimento seguinte de redução (aqui denominado de passo 2) é a transformação dos valores arbitrários da digitalização em unidades de corrente (mA). Isto é feito com a ajuda dos pontos de calibração. Os pontos de calibração são pontos de referência gerados pelos riômetros, em corrente elétrica equivalente. Para o caso dos riômetros utilizados, são quatro os pontos (correntes) de referência. A cada 60 minutos é enviado um impulso de um minuto de duração, referente a uma corrente conhecida, neste caso 0mA, 1mA, 2mA e 3mA. Devido a erros estatísticos do equipamento, os valores da corrente de referência, dentro do mesmo minuto, não são exatamente os

mesmos. Por esta razão, é necessário fazer uma média para sua utilização como ponto de calibração. A seguir, é efetuada a interpolação correspondente do valor digital dos dados, entre os sucessivos pontos de calibração, para sua transformação em unidades de corrente (mA).

A descrição dos programas desenvolvidos, nesta fase de redução, encontra-se no Apêndice D.

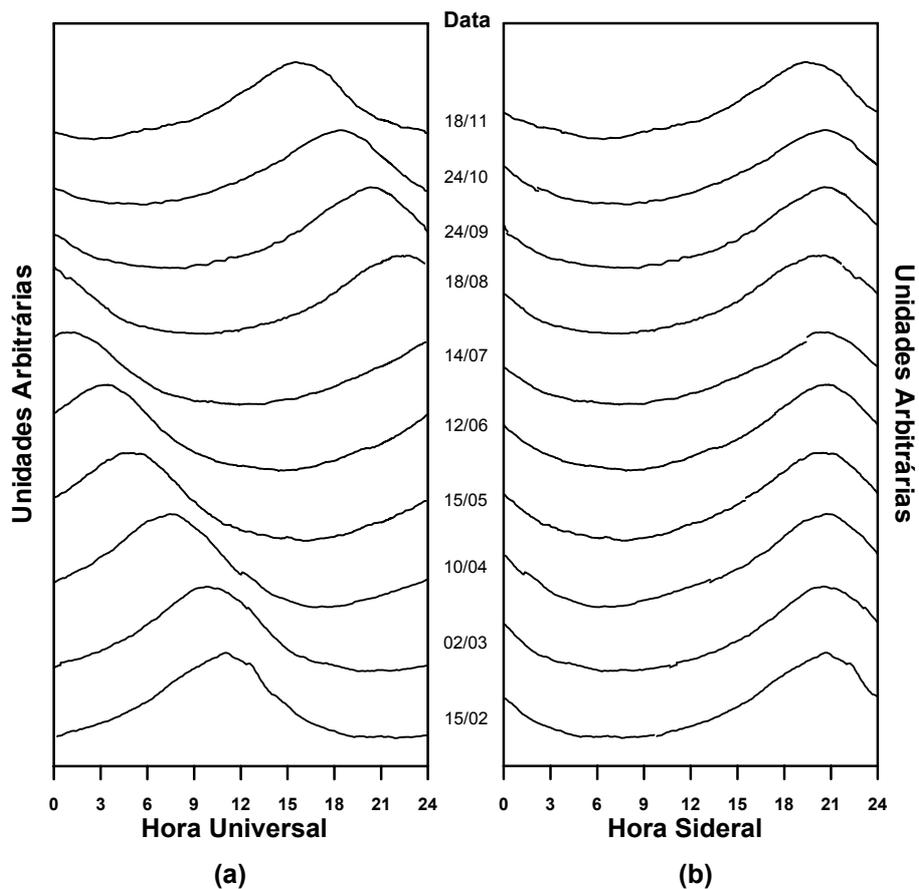
A periodicidade dos dados de riômetros está diretamente ligada com o dia sideral, dia este que tem como referência a configuração estelar varrida pela antena, independente da posição da Terra em relação ao Sol. De fato, o dia sideral é mais curto que o dia solar uma vez que, o dia sideral tem como referência um ponto remoto na esfera celeste (FIGURA 3.3).

O dia sideral tem aproximadamente 4 minutos a menos que um dia solar. Deste modo, para objeto desta análise, torna-se necessário transformar a hora universal (UT) em hora sideral (ST), esta última baseada no dia sideral, com suas divisões de horas, minutos e segundos. Através da base temporal sideral, cada ponto temporal da curva do dia estudado estará apontado para a mesma localidade, na configuração da esfera estelar, e conseqüentemente recebendo o mesmo fluxo de ruído cósmico que os das outras curvas dos dias selecionados. A FIGURA 3.4 (a) mostra diferentes conjuntos de dados diários de ruído cósmico variando aproximadamente de mês em mês, durante um ano (de fevereiro a novembro de 1992) em hora universal. É fácil ver o deslocamento do pico das curvas ocasionadas pelos 4 minutos a menos do dia solar em relação ao dia sideral. A FIGURA 3.4 (b) mostra os mesmos dias da FIGURA 3.4 (a) só que em hora sideral, onde é fácil a visualização da mesma fase em que as curvas se encontram.



**FIGURA 3.3** – Esquema ilustrativo da diferença entre dia solar e dia sideral considerando o movimento de translação da Terra em torno do Sol.

FONTE: adaptada de Abell (1969).



**FIGURA 3.4** – Curvas de dias quietos com dados do riômetro com antena direcionada ao zênite, variando de mês em mês durante aproximadamente um ano: (a) curvas em hora universal, (b) curvas em hora sideral.

O processo seguinte de redução é a passagem da série temporal universal em que são gerados os dados dos riômetros em uma série temporal sideral. Esta transformação (aqui denominada de passo 3) que fornece a nova série temporal sideral, é dada a seguir pela equação 3.1:

$$ST = A * UT + B * D - C \quad (3.1)$$

onde,

ST = hora sideral;

A, B e C = constantes astronômicas;

UT = hora universal;

D = número do dia Juliano correspondente ao dia transformado.

As constantes astronômicas (A) e (B) assumem os valores 1.002743 e 0.065709 respectivamente, já a constante astronômica (C) varia de ano para ano, onde os valores destas variações são dadas na TABELA 3.1 (Duffett, 1979).

**TABELA 3.1** – Valores da constante astronômica (c) para os anos de 1987 até 1997.

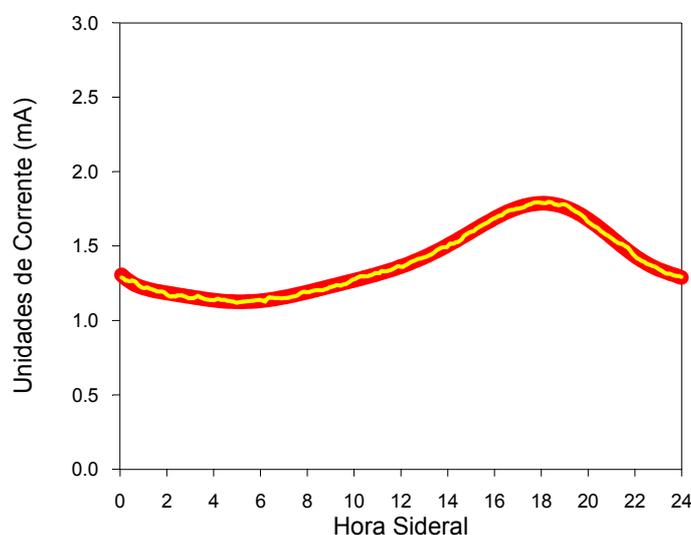
<b>ANO</b>	<b>VALOR DA CONSTANTE (C)</b>
<b>1987</b>	17.391454
<b>1988</b>	17.407368
<b>1989</b>	17.357573
<b>1990</b>	17.373487
<b>1991</b>	17.389402
<b>1992</b>	17.405316
<b>1993</b>	17.355521
<b>1994</b>	17.371435
<b>1995</b>	17.387349
<b>1996</b>	17.403626
<b>1997</b>	17.353468

FONTE: Duffet (1979).

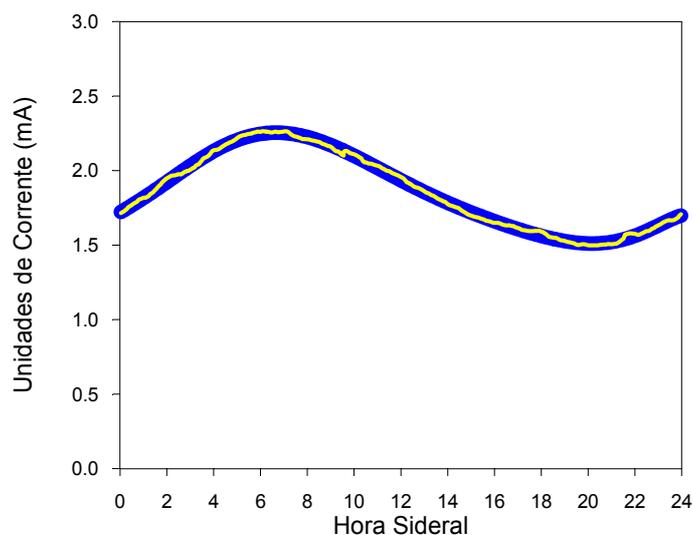
O processo seguinte de redução dos dados dos riômetros é o cálculo da absorção ionosférica relativa (passo 4). Isto foi feito utilizando como dia quieto de referência, dados de três dias (um para cada antena direcional) correspondentes ao início do período de dados disponíveis em cada antena. Estas curvas servem como padrão de um dia calmo tendo como finalidade o cálculo da absorção ionosférica do resto dos dados, objetivando o estudo do comportamento de todos os dias calmos durante quase um ciclo solar, em unidades de “absorção ionosférica”. Para os dados do riômetro conectado à antena apontada para o zênite (antena vertical) foi utilizada a curva do dia 22 de abril de 1989, para os dados do riômetro conectado à antena voltada para o

sul foi utilizada a curva do dia 14 de fevereiro de 1992 e para os dados do riômetro conectado à antena voltada para o oeste foi utilizada a curva do dia 28 de julho de 1989.

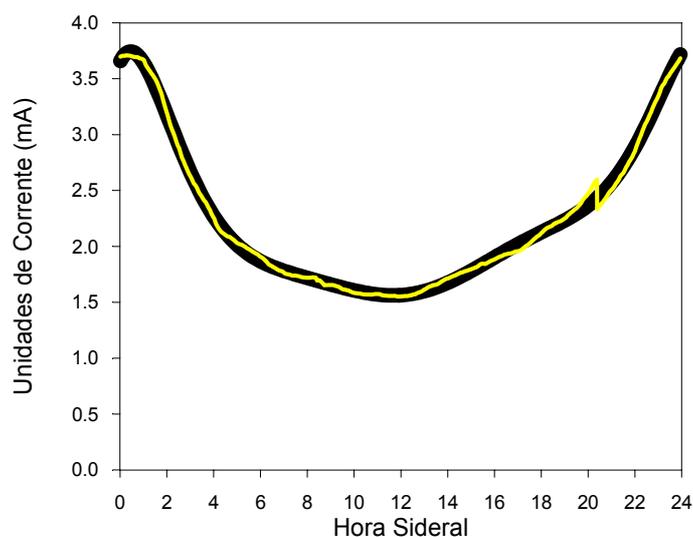
Estas curvas antes de serem usadas no cálculo da absorção ionosférica foram submetidas a um alisamento matemático polinomial (melhor ajuste matemático aos dados). A FIGURA 3.5 mostra a curva do dia 22 de abril de 1989 do riômetro conectado à antena vertical e a curva polinomial da mesma. A FIGURA 3.6 mostra a curva do dia 14 de fevereiro de 1992 do riômetro conectado à antena sul e sua curva do alisamento polinomial. Por último, a FIGURA 3.7 mostra a curva do dia 28 de julho de 1989 do riômetro conectado à antena oeste e a curva alisada da mesma. Os alisamentos polinomiais das curvas descritas neste parágrafo apresentam-se nos gráficos com uma espessura maior apenas para efeito de visualização. Essas três curvas polinomiais serão referenciadas como curvas padrão, no que se segue.



**FIGURA 3.5** – A figura mostra a curva do 22 de abril de 1989 do riômetro conectado à antena vertical (em amarelo) e seu alisamento polinomial (em vermelho).



**FIGURA 3.6** – A figura mostra a curva do 14 de fevereiro de 1992 do riômetro conectado à antena voltada para o sul (em amarelo) e seu alisamento polinomial (em azul).



**FIGURA 3.7** – A figura mostra a curva do 28 de julho de 1989 do riômetro conectado à antena voltada para o oeste (em amarelo) e seu alisamento polinomial (em preto).

Uma vez definidas as curvas padrão dos registros dos riômetros que correspondem ao início dos dados disponíveis, é feito o cálculo da absorção ionosférica (Egeland et al., 1973). No presente caso, chama-se de “Absorção

Ionosférica Relativa” a comparação logarítmica entre a curva do dia padrão e a curva do dia considerado calmo. A comparação logarítmica, que fornece a absorção ionosférica ( $A_I$ ) em unidades de decibéis (dB), é dada pela equação 3.2:

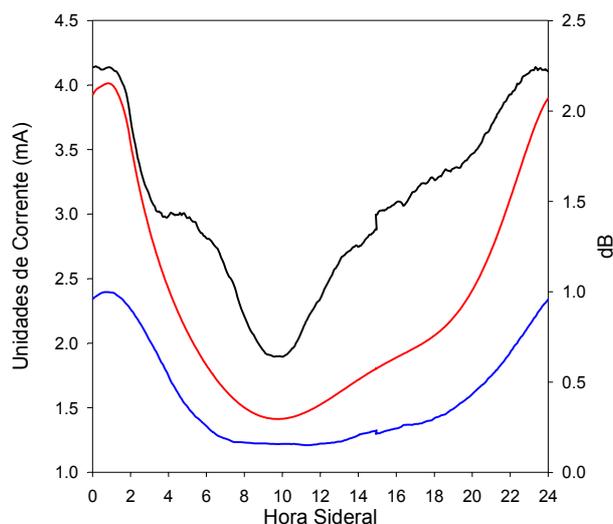
$$A_I = 10 \cdot \log\left(\frac{I_0}{I}\right) \text{ (dB)} \quad (3.2)$$

onde,

$I_0$  = Intensidade (em mA) correspondente ao dia padrão;

$I$  = Intensidade (em mA) correspondente ao dia calmo.

Deste modo obtemos a variação da absorção ionosférica relativa correspondente aos dias calmos pré-selecionados. A FIGURA 3.8 mostra um exemplo do cálculo utilizando a Equação 3.2 onde tem-se a curva dos dados de riômetro (antena oeste) do ruído cósmico do dia 6 de maio de 1993 (em azul), a curva padrão usada como referência no cálculo (em vermelho) e a curva da absorção ionosférica relativa (em preto). Na escala do lado esquerdo indica-se os miliamperes correspondentes aos dados e a curva padrão. No lado direito mostra-se a escala, em dB, da absorção.



**FIGURA 3.8** – Absorção ionosférica relativa do dia 06 de Maio de 1993 (linha preta), a curva padrão utilizada (linha vermelha) e o ruído cósmico do período (linha azul).

Numa análise preliminar dos dados dos riômetros, notou-se que a amplitude dos dias quietos eram maiores no final do período analisado do que no início, em 1989. Esta característica levou a identificar um parâmetro que quantificasse essa diferença da amplitude ao longo dos nove anos. O parâmetro que melhor quantificava essa variação de amplitude foi o cálculo da “Absorção Ionosférica Relativa Total” de um dia ( $A_T$ ) a qual é dada pela Equação 3.3 . A FIGURA 3.9 ilustra a absorção ionosférica total relativa (em azul) do dia 06 de maio de 1993.

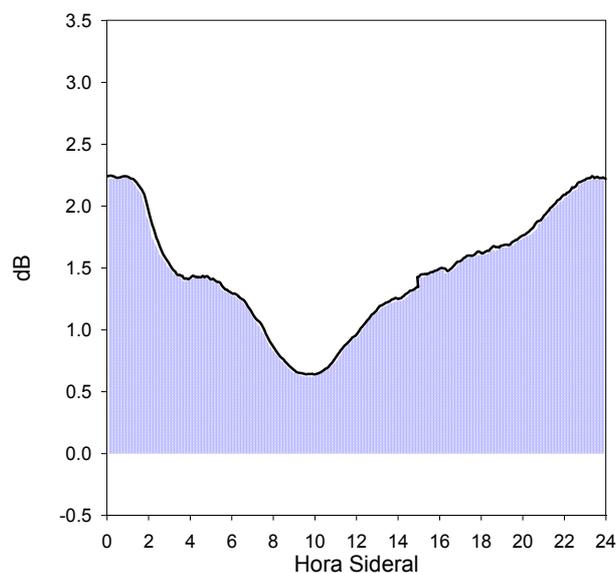
$$A_T = \int_0^{24} A_I . dt \quad (3.3)$$

onde

$A_T$  = Absorção Ionosférica Relativa Total.

$A_I$  = Absorção ionosférica relativa calculada pela a equação 3.2;

t = Tempo em horas.



**FIGURA 3.9** – A área em azul ilustra a absorção ionosférica relativa total do dia 06 de maio de 1993.

### 3.2.2 - Dados digitais

A redução dos dados digitais dos riômetros seguem basicamente o mesmo procedimento de redução dos dados analógicos descrito na Seção 3.2.1, salvo o passo 1, de digitalização. Contudo, nos dados digitais existe o problema da eliminação dos pontos de calibração e os pontos de marcação de hora. Esta é a grande diferença dos dados digitais para os dados analógicos.

Todos os programas e *software* utilizados na “limpeza” destes dados, desde sua aquisição na Antártica, até serem colocados na forma pronta para análise, são descritos no Apêndice E.

Os procedimentos adotados nas Seção 3.2 serviram para fazer toda a redução dos dados dos riômetros e padronização de todas as fases de redução, até a obtenção dos dados finais.

## CAPÍTULO 4

### PRINCIPAIS AGENTES IONIZANTES DA CAMADA D DA IONOSFERA DURANTE O PERÍODO ESTUDADO

Neste capítulo são apresentados o comportamento e as características das principais fontes de ionização da Camada D da ionosfera, tanto de origem solar (Raios-X e Lyman-alpha) como os de origem externas (Raios Cósmicos Galácticos).

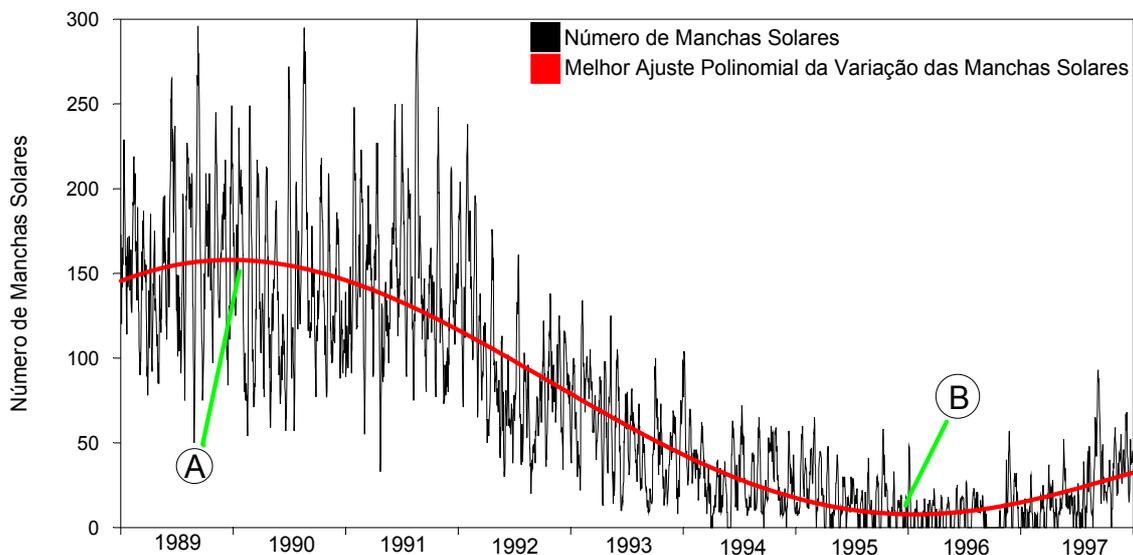
#### 4.1 - Principais fontes de ionização de origem solar

O Sol possui duas fontes de emissão de partículas que podem contribuir para a ionização da ionosfera, sendo estas: o Vento Solar e os *Flares* Solares. Ambas contribuem com a liberação de partículas de alta energia, chamadas de raios cósmicos solares, e também com a emissão de raios-X e de Lyman- $\alpha$ . O vento solar é um fluxo de partículas (plasma) emitido continuamente, mesmo em períodos sem atividade solar, o qual estabelece uma ligação entre o comportamento da atividade solar com as perturbações geofísicas sentidas por nós. Já os *flares* solares são um abrilhantamento de curta duração (de alguns minutos a poucas horas) e ocorrem no colapso das manchas solares (nas vizinhanças das mesmas). Consequentemente os *flares* solares possuem uma variação temporal proporcional ao número de Manchas Solares (*Sunspot Number*) na liberação de partículas que também são conhecidas como prótons solares. Este último afeta principalmente a ionização sobre as calotas polares, aproximadamente acima de  $65^\circ$  de latitude magnética (Westerlund et al, 1969).

Sabidamente, o vento solar não contribui, pelo menos não diretamente, com a ionização ionosférica da Camada D. Por outro lado a radiação de fundo Lyman-

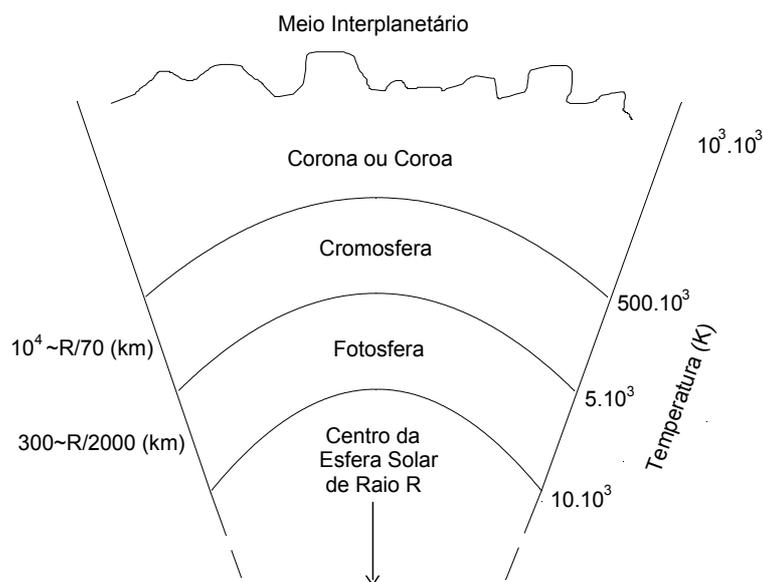
$\alpha$  (*background*) sofre uma variação muito pequena na sua emissão durante os *flares* solares (Whitten e Poppoff, 1971). Assim apresentaremos apenas a variação de emissão dos raios-X como variável na taxa de ionização da Camada D de origem solar.

O período dos dados obtidos pelos riômetros abrange quase um ciclo solar inteiro, visto que um ciclo solar padrão tem aproximadamente onze anos e o período selecionado e analisado é de nove anos. Durante este período, através do melhor ajuste polinomial, é fácil distinguir o Máximo e o Mínimo Solar (“A” e “B” respectivamente da FIGURA 4.1). Pode-se ver que o primeiro ocorreu entre o fim do ano de 1989 e início do ano de 1990 e o segundo ocorreu entre o final do ano de 1995 e início do ano de 1996. Os máximos e mínimos das manchas solares não ocorrem em semi-períodos regulares. A passagem do máximo solar para o mínimo solar dura em torno de quatro anos e o seu caminho inverso normalmente dura mais, em torno de sete anos (Tascione, 1988; McNamara, 1991). Durante o período de mínimo solar o número de manchas solares pode chegar a zero, ou seja, a total ausência das mesmas, por outro lado, durante o período de máximo solar este número geralmente ultrapassa a cem unidades.



**FIGURA 4.1** – Variação do número de manchas solares durante o período analisado. Os pontos “A” e “B” representam o máximo e o mínimo solar do período, respectivamente.

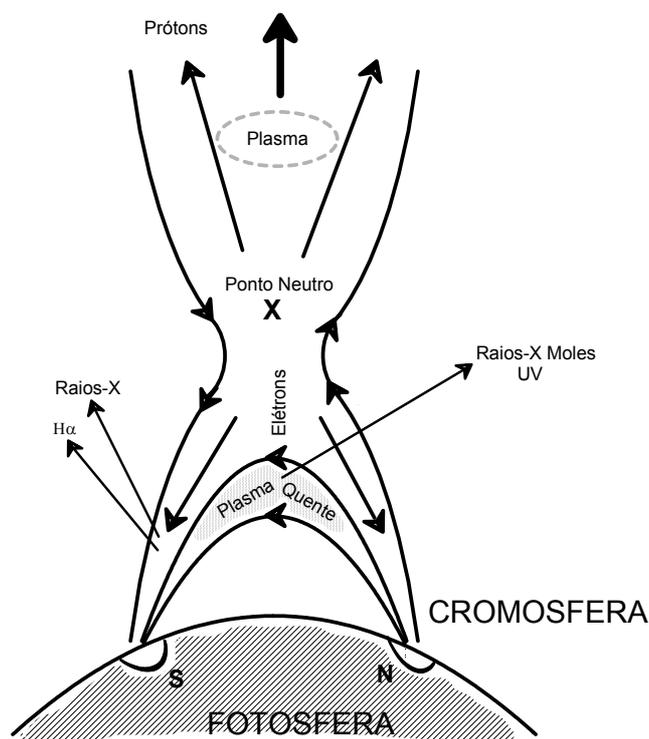
As manchas solares encontram-se em uma região do Sol denominada fotosfera, região esta de radiação mais intensa no visível, com cerca de 300km de espessura e com uma temperatura que decresce com a altitude, variando de 10.000K a 5.000K (Kirchhoff, 1991) (FIGURA 4.2). As manchas solares são regiões da fotosfera com um campo magnético muito intenso (vários milhares de Gauss). Este intenso campo magnético confina o plasma dentro da mesma e reduz a interação deste plasma com o que está ao seu redor. Em parte, esta falta de interação permite que o gás contido dentro desta região de campo magnético solar intenso esfrie (para aproximadamente 1000K) e é esta redução de temperatura que lhe propicia apresentar uma aparência escura e destoante do que lhe está em volta, dando origem assim ao que chamamos de manchas solares (Tascione, 1988).



**FIGURA 4.2** – Representação esquemática da Fotosfera.

FONTE: modificada de Kirchhoff (1991).

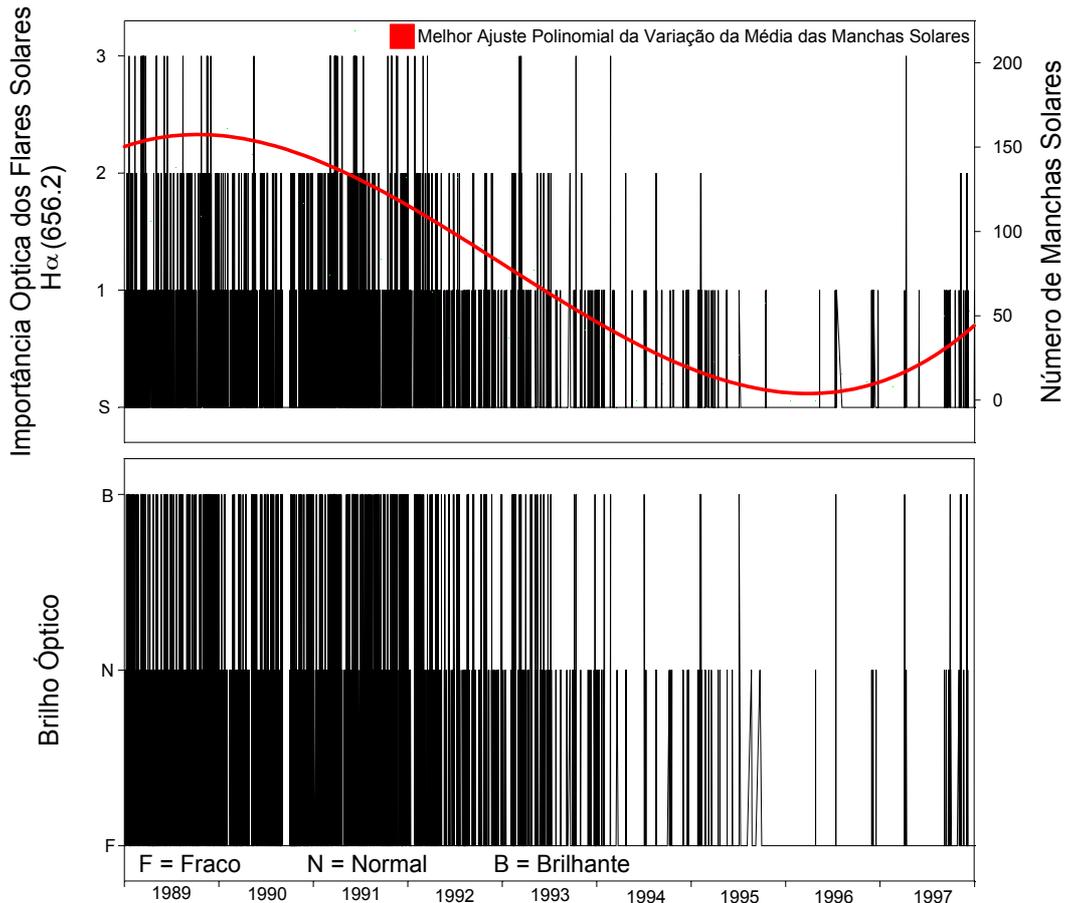
Este campo magnético intenso gera uma fulguração (abrilhantamento) de curta duração que aparece geralmente aos arredores de um grupo complexo de manchas solares, por exemplo. Este brilho observado na faixa visível do espectro eletromagnético é devido a um aumento local da densidade eletrônica do plasma contido em seu interior, em torno de  $10^{13}$  e/cm<sup>3</sup>, o que em relação ao volume espacial que este campo magnético ocupa lhe proporciona uma energia muito elevada, em torno de  $4 \times 10^{32}$  ergs. Quando esta energia é liberada, devido à aniquilação do campo magnético que a aprisiona, ocorrem os *flares* solares, que tem os principais produtos de emissão esquematizados na FIGURA 4.3 (Piddington, 1965) no qual, pressupõe-se que a energia começa em um ponto neutro formado acima de um par de manchas solares de polaridades opostas (Hargreaves, 1992).



**FIGURA 4.3** – Representação de um *flare* solar tendo como padrão um modelo bem simples de configuração de campo magnético.  
 FONTE: modificada de Hargreaves (1992).

Os *flares* solares são classificados quanto à sua importância em 4 escalas, de acordo com a área visualizada no  $H\alpha$  (656.2nm), região esta chamada de *plage*. *Flares* de brilho muito baixo são classificados como *subflares* (“S”) e os demais recebem uma numeração, de um até três, dependendo da sua área de brilho. A FIGURA 4.4 (Fonte dos Dados: Apêndice F) mostra a variação da importância dos *flares* solares durante o período estudado e a variação do seu Brilho Óptico do mesmo período. Para a classificação do Brilho Óptico são adotadas três letras, sendo estas: “F”, “N” e “B” para fraco, normal e brilhante, respectivamente. A FIGURA 4.4 também apresenta o melhor ajuste polinomial da média das manchas solares do mesmo período mostrando a íntima relação de ocorrências com os *flares* solares, ou seja, durante o período de máximo solar há uma maior ocorrência de *flares* e a maior ocorrência de *flares* com

intensidade de brilho maior. Durante o mínimo solar o mesmo não ocorre, havendo um número menor de ocorrências de *flares* solares e estes quando acontecem se apresentam com um brilho óptico fraco.



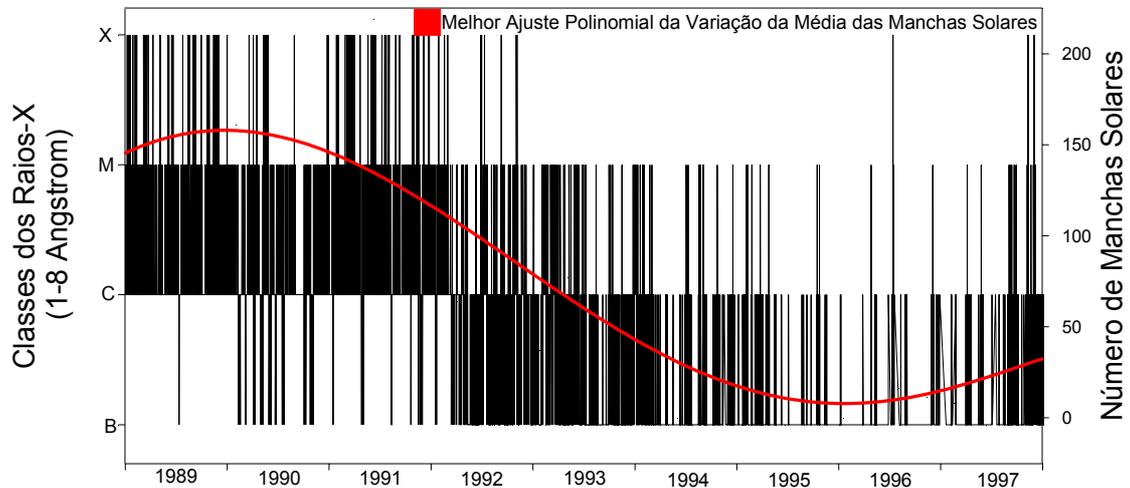
**FIGURA 4.4** - Ocorrências dos diferentes tipos de *flares* solares durante o período estudado, flares estes classificados quanto a área visualizada no H $\alpha$  (656.2nm) e a intensidade do brilho dos mesmos.

Outra grande fonte de ionização da Camada-D da ionosfera são os raios-X duros (2-8 Å). Estes ionizam todos os constituintes da Camada D, principalmente o O<sub>2</sub> e o N<sub>2</sub>. Na TABELA 4.1 temos os tipos de classificação dos raios-X, tendo como parâmetros a intensidade dos mesmos com a magnitude do pico de *Burst*. A FIGURA 4.5 mostra a variação das classes de raios-X durante o período analisado (Fonte de dados: Apêndice F). A exemplo da FIGURA 4.4, a FIGURA 4.5 também apresenta o perfil do melhor ajuste polinomial da média do número de manchas solares do mesmo período, com o intuito de também mostrar a relação de proporcionalidade da mesma com a variação das ocorrências das classes dos raios-X, ou seja, durante o período de máximo solar, há uma maior ocorrência de raios-X de classes mais energéticas e o mesmo não ocorre durante o mínimo solar.

**TABELA 4.1 – Classes de raios-X.**

CLASSE DOS RAIOS-X	INTENSIDADE DOS RAIOS-X DE ACORDO COM A MAGNITUDE DO PICO DE <i>BURST</i>	
	W/m <sup>2</sup>	Ergs/cm <sup>2</sup> /s
<b>B</b>	$I < 10^{-6}$	$I < 10^{-3}$
<b>C</b>	$10^{-6} \leq I < 10^{-5}$	$10^{-3} \leq I < 10^{-2}$
<b>M</b>	$10^{-5} \leq I < 10^{-4}$	$10^{-2} \leq I < 10^{-1}$
<b>X</b>	$I \geq 10^{-4}$	$I \geq 10^{-1}$

FONTE: NOAA (1996).



**FIGURA 4.5** – Ocorrência da emissão de raios-X divididas por classes durante o período estudado.

#### **4.2 - Variação da incidência de raios cósmicos durante o período estudado**

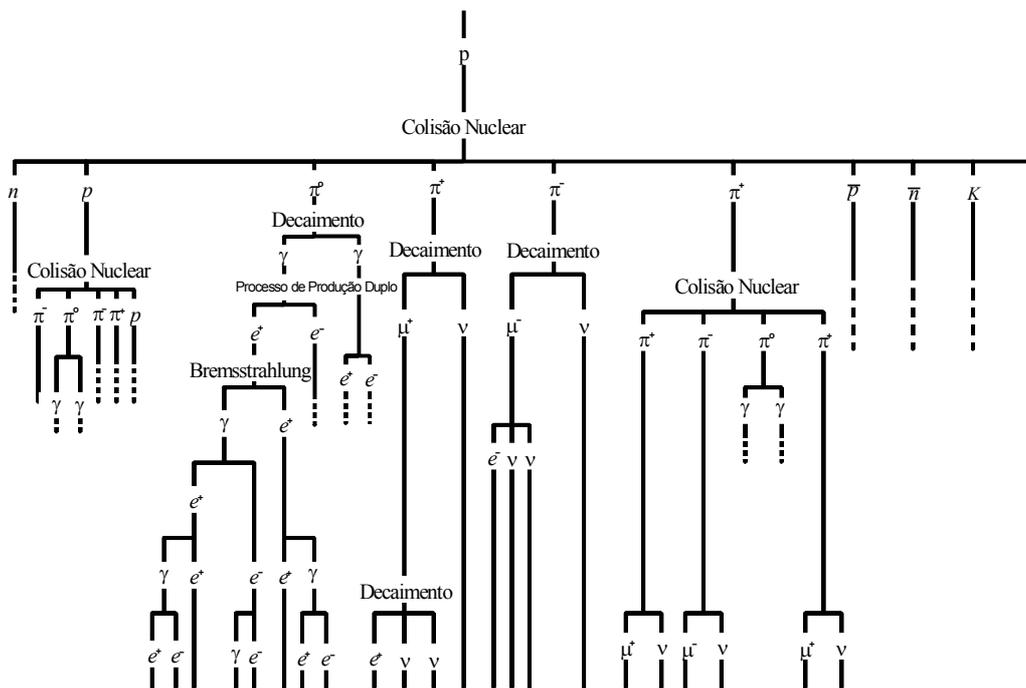
Os raios cósmicos solares, exceto em casos identificáveis, em geral não possuem energia suficiente para penetrar na camada atmosférica para ionização da Camada D. Outro agente de ionização da Camada D da ionosfera são os Raios Cósmicos Galácticos. Estes são partículas nucleares energéticas (em torno de 100 BeV) encontradas no espaço interplanetário, chegando ao topo da atmosfera terrestre vindo de todas as direções. Os componentes primários dos raios cósmicos galácticos são prótons (83%) e partículas alfa (13%), com um pequeno resíduo consistindo em elétrons (3%) e de núcleos desprovidos de grande número atômico (1%), tendo estes últimos número atômico inferior a dois (Jursa, 1985).

Considerando que todas as estrelas em nossa galáxia emitem partículas comparáveis com os raios cósmicos solares, e que estas partículas escapam de sua fonte de emissão, conseqüentemente estas partículas preencherão todo o espaço do volume galáctico. Contudo se nós assumirmos, que todas as  $10^{11}$  estrelas de nossa galáxia emitem raios cósmicos com a mesma taxa de produção do Sol ( $10^{21} - 10^{22}$  ergs/seg), então a taxa de produção total de todas as estrelas de nossa galáxia na formação dos raios cósmicos seria  $10^{32}$  a  $10^{33}$  ergs/seg, porém essa taxa de produção é muito inferior aos valores obtidos ( $10^{39}$  a  $10^{40}$  ergs/seg) por algumas ordens de grandeza de potência. Este problema foi resolvido em parte pela teoria da origem dos raios cósmicos galácticos, pertencente a Fermi. Nesta teoria estas partículas ganham energia pelo processo de aceleração gradual no espaço interestelar em vez de serem produzidas com muita energia por alguma ou por todas as estrelas de nossa galáxia. Estas estrelas, neste caso, servem como verdadeiras injetoras de partículas de baixa energia ( $\approx 10\text{MeV}$ ), baixa energia se comparada aos raios cósmicos, as quais são aceleradas no espaço interestelar e chegam nas vizinhanças de nosso planeta. Para concluir esta aceleração, Fermi considerou que todo o espaço galáctico é atravessado por um campo magnético fraco, campo este que seria um resíduo dos campos magnéticos de corpos celestes, por exemplo. O campo apesar de ser mais ou menos regular sobre grandes regiões do espaço, pode ser muito irregular em algumas localidades do mesmo, como em nuvens de gás de hidrogênio ionizado. Se durante seu movimento ao longo do meio intergaláctico, uma partícula cósmica encontrar uma região de campo magnético mais forte, sua direção e seu movimento serão mudados apreciavelmente, e deste modo, essa partícula pode perder ou ganhar velocidade. Supondo que estas partículas se chocam ou sentem esta mudança de campo magnético, podem ganhar energia; por outro lado, se estas partículas sofrerem uma colisão frontal e inelástica perderão alguma energia. Desde que a colisão do primeiro tipo seja mais numerosa que a do segundo, as partículas terão em média um aumento de energia em seu deslocamento pelo espaço (Hess, 1965).

As partículas que compõem os raios cósmicos galácticos ao chegarem na atmosfera terrestre, ou seja em um meio mais denso, colidem com núcleos de oxigênio ou nitrogênio (mais abundantes) e desta colisão obtém-se como produtos neutrons ( $n$ ), prótons ( $p$ ), mésons  $\pi$  neutros ( $\pi^0$ ), mésons  $\pi$  carregados ( $\pi^+$  e  $\pi^-$ ), anti-prótons e anti-neutrons ( $\bar{n}$  e  $\bar{p}$ ), mésons pesados ( $K$ ) e hyperons ( $Y$ ).

Os mésons  $\pi$  neutros decaem rapidamente devido a uma interação nuclear energética no topo da atmosfera dando origem a um par de raios gamma de alta energia ( $\gamma$ ), que por sua vez transformam-se (Processo de Produção Dupla) em elétrons positivos (pósitrons) e elétrons negativos de alta energia ( $e^+$  e  $e^-$ ). Estes elétrons de alta energia são desviados de sua trajetória pelo campo elétrico do núcleo atômico resultando em outro elétron e um outro raio gamma, agora com uma energia um pouco menor (Processo *Bremsstrahlung*). Os processos de Produção Dupla e de *Bremsstrahlung* continuam sem interrupção na parte inferior da atmosfera, originando a chamada Cascata Eletromagnética.

Os mésons  $\pi$  carregados decaem para mésons  $\mu$  ( $\mu^+$  e  $\mu^-$  e neutrinos ( $\nu$ ). Os mésons  $\mu$  originados nesta interação decaem para elétrons e neutrinos, deste modo a maioria das partículas carregadas que chegam a superfície da Terra são elétrons, positrons e mésons  $\mu$  (Rossi, 1964). A FIGURA 4.6 ilustra de maneira clara todo o processo de decaimento dos raios cósmicos, desde suas partículas primárias (geralmente prótons) até o produto final que chega na superfície terrestre, as quais são registradas pelos Monitores de Neutróns (Hess, 1965).



**FIGURA 4.6** – Representação esquemática das reações envolvidas na interação das partículas dos raios cósmicos com a atmosfera terrestre. As linhas segmentadas indicam que a interação irá ocorrer em um tempo futuro.

FONTE: modificada de Rossi (1964).

Em cada interação de colisão nuclear dos raios cósmicos é liberada uma parcela de energia e é esta a energia que ioniza o caminho percorrido pelos elementos secundários dos raios cósmicos .

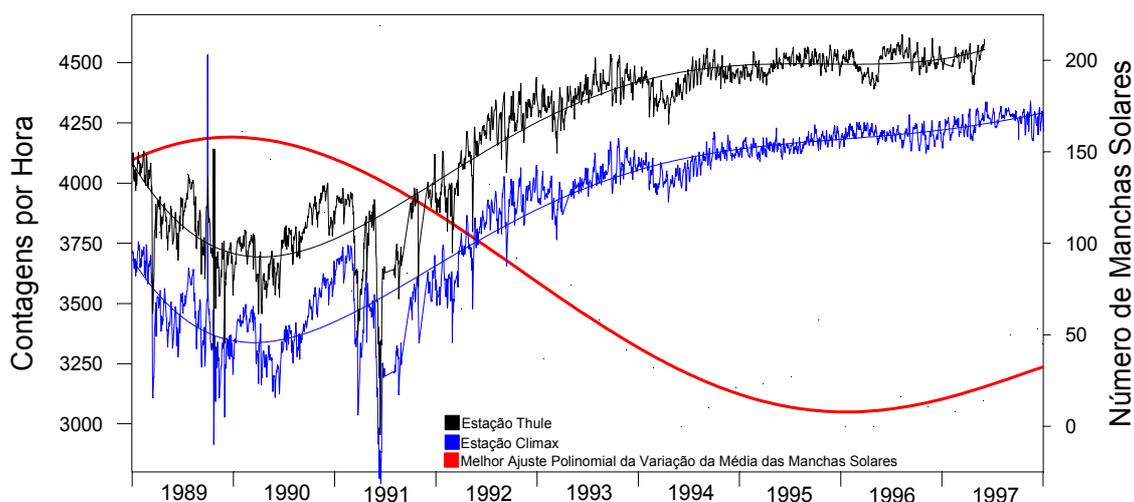
Os dados experimentais de raios cósmicos utilizados neste trabalho são de duas Estações situadas no hemisfério norte, estando estas situadas em média e alta latitude ( $\geq 40^\circ$ ) (TABELA 4.2): Estações Climax (Estados Unidos) e Thule (GreenLand, Dinamarca) (Apêndice G).

**TABELA 4.2** – Dados dos monitores de neutrons utilizados no trabalho.

Estações	Coordenadas Geográficas		Rigidez Magnética (GV)	Altitude (m)
	NORTE	LESTE		
Thule	76.50	291.30	0.00	44
Climax	39.37	253.82	2.97	3400

FONTE: NOAA (1996).

Em ambas as Estações são usados Monitores de Neutron que registram o número de partículas que incidem sobre as mesmas (FIGURA 4.7). Nota-se que a variação na taxa de contagem nas duas estações têm um comportamento semelhante porém com uma diferença quase que constante durante todo o período dos dados apresentados.



**FIGURA 4.7** – Taxa de contagem dos monitores de neutrons nas Estações de Climax e Thule.

A diferença na contagem do número de partículas dos raios cósmicos incidentes nas duas estações é ocasionada pela Rigidez de Corte Magnética Terrestre. Sendo os raios cósmicos núcleos carregados, estes sofrem um desvio em seu caminho de propagação pelo campo geomagnético devido ao

campo elétrico  $\vec{v} \times \vec{B}$  ( $\vec{v}$  = velocidade da partícula,  $\vec{B}$  = campo magnético), e é este desvio que chamamos de rigidez de corte magnética (Jursa, 1985).

A rigidez magnética dos raios cósmicos é o valor que especifica a rigidez mínima que uma partícula carregada deve possuir para vencer o campo geomagnético e ser detectada na superfície terrestre. Se a partícula primária for suficientemente rígida (ou seja, tiver uma rigidez maior que a rigidez magnética de corte terrestre) esta pode penetrar através do campo geomagnético para um ponto de observação. Por outro lado, se a rigidez da partícula primária for menor que a rigidez magnética de corte terrestre, esta não consegue atravessar o campo geomagnético, deste modo não sendo detectada. A rigidez de corte magnética terrestre varia em função da latitude geomagnética, da altitude (densidade atmosférica) e da direção zenital de incidência das partículas em um ponto de detecção, sendo seu valor máximo na região do equador magnético e mínimo nas regiões polares (Jursa, 1985; Toptygin, 1985).

Nota-se também que a contagem do número de partículas incidentes nas duas estações apesar de terem um comportamento semelhante, tem uma variação inversa ao do número de manchas solares. Isso é devido à variação do campo magnético interplanetário, que tem um comportamento semelhante à rigidez geomagnética descrito anteriormente, a qual denominaremos de Rigidez Magnética Interplanetária. O campo magnético interplanetário nada mais é que o campo magnético solar congelado no plasma expelido nos *flares* e ventos solares (Costa, 1991). Visto que o campo magnético solar tem uma variação de intensidade proporcional ao ciclo solar, a intensidade do campo magnético interplanetário se comportará do mesmo modo, ou seja, possuindo a mesma variação e conseqüentemente sua rigidez magnética interplanetária terá uma variação temporal proporcional às variações do ciclo solar. Assim sendo, quando o Sol está em sua atividade máxima, a rigidez magnética

interplanetária será maior, bloqueando deste modo as partículas dos raios cósmicos menos energéticas e diminuindo assim o número de partículas incidentes na nossa atmosfera. Por outro lado, quando a atividade solar é mínima, a intensidade do campo magnético interplanetário também é menor e conseqüentemente sua rigidez magnética é menor, deixando assim passar um maior número de raios cósmicos, os quais chegam na atmosfera terrestre e podem ser detectadas pelos monitores de neutron. Isso explica a variação da contagem do número de partículas dos raios cósmico incidentes nas Estações de Thule e Climax (FIGURA 4.6).

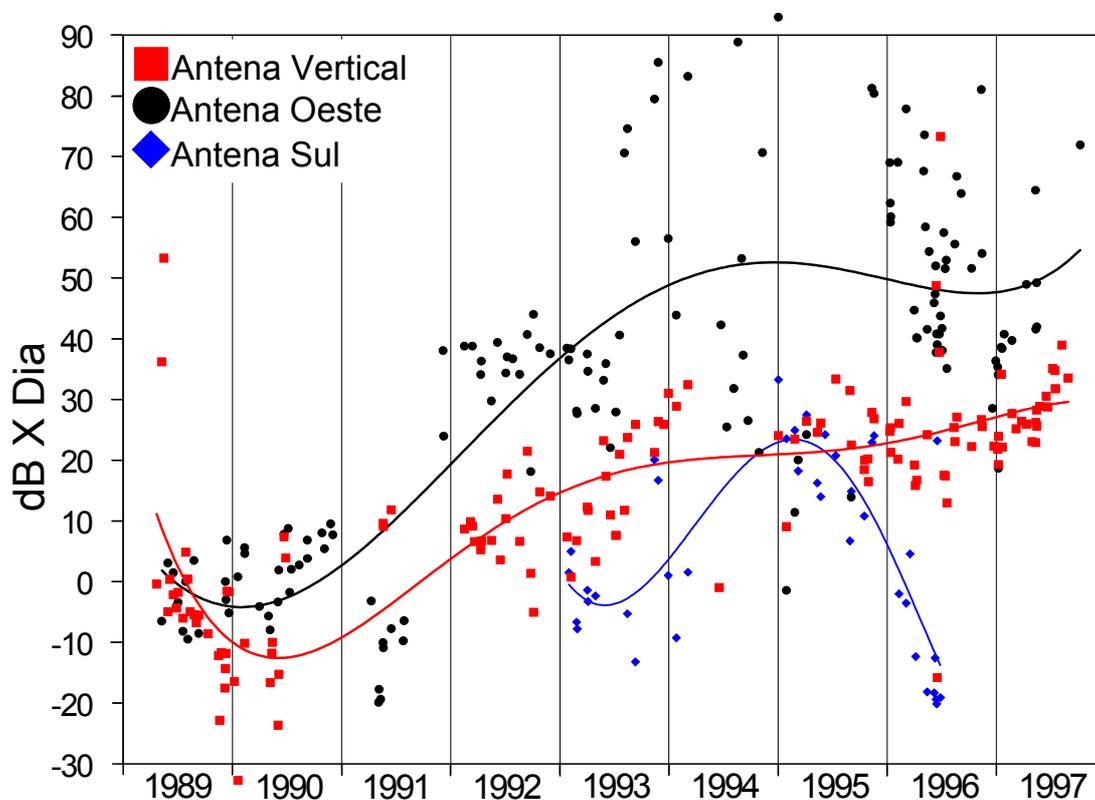
## CAPÍTULO 5

### DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS EM FUNÇÃO DOS PRINCIPAIS AGENTES IONIZANTES DA CAMADA D

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados das análises feitas em forma de gráficos comentados, através dos quais pode-se visualizar a variação da absorção do ruído cósmico, obtido experimentalmente pelos riômetros na Estação Antártica Comandante Ferraz, e o comportamento das principais fontes de ionização, durante o mesmo período, da Camada D da ionosfera, tanto de origem solar (raios-X e Lyman-alpha) como os de origem externas (Raios Cósmicos Galácticos).

No Capítulo 3 foi definida a Absorção Ionosférica Total ( $A_T$ ), mediante a relação (3.3). Este parâmetro, na verdade, é a comparação logarítmica da amplitude de um dia quieto qualquer com um dia quieto definido no início do período (1989) analisado. A FIGURA 5.1 mostra o valor deste parâmetro para os dados correspondentes às 3 direções (zênite, oeste e sul) dos riômetros instalados na Estação Antártica Comandante Ferraz. Na FIGURA 5.1 também são apresentados os melhores ajustes polinomiais (quinta ordem) dos dados obtidos pelos riômetros das três antenas. Nota-se que a absorção ionosférica relativa total ( $A_T$ ) aumentou nos riômetros conectados às antenas vertical e oeste, o mesmo não ocorrendo com os dados da antena voltada para o sul. Este comportamento da  $A_T$  da antena sul é devido as más condições da instrumentação utilizada. Durante muito tempo a antena sul apresentou problemas que só foram diagnosticados depois de um período grande de registro de dados, o que tornou grande parte de seus dados inutilizáveis (Medrano-B et al., 1990). Por essa razão os dados obtidos pelo riômetro conectado à antena direcionada para o sul serão desprezados e deste modo todas as análises realizadas neste processo de discussão e apresentação de

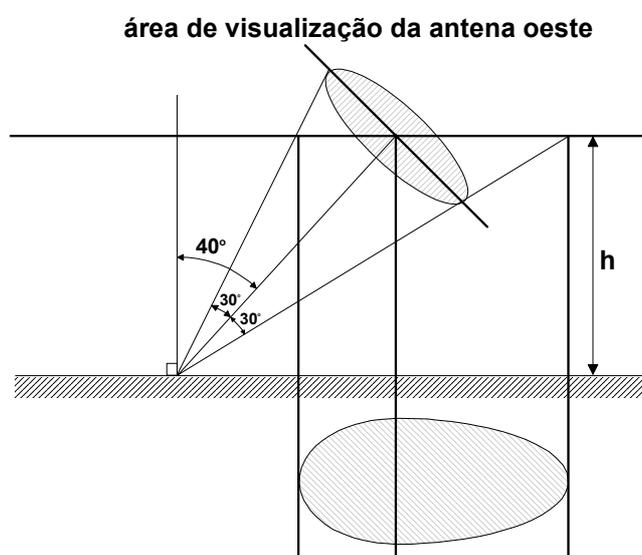
resultados serão com os dados dos riômetros conectados as antenas voltadas para o oeste e para o zênite.



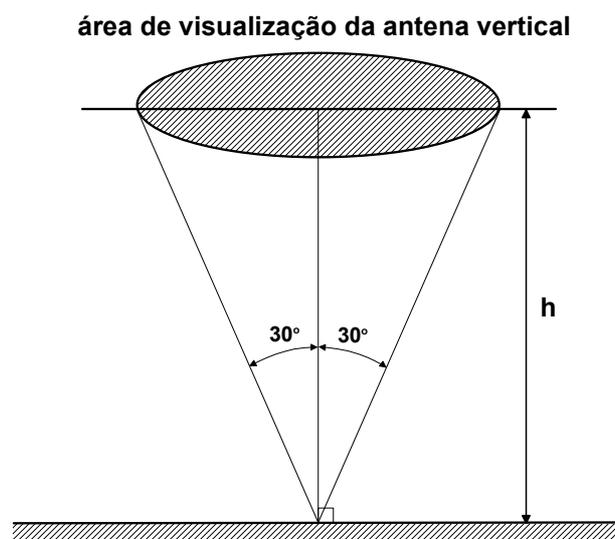
**FIGURA 5.1** – Variação da absorção ionosférica total dos dados dos três riômetros instalados na EACF.

Ainda na FIGURA 5.1, nota-se que há algumas lacunas na continuidade dos pontos de dados. Isso se deve aos problemas de registros, ou seja, ou estes estavam com muita interferência ou o equipamento estava desligado por problemas técnicos. Isso ocorreu principalmente nos registros do riômetro conectado à antena vertical, entre o meio do ano de 1990 até o começo de 1992, onde somente foram aproveitados dois dias de dados. O mesmo problema ocorreu durante quase todo o ano de 1994 na mesma antena. Já os registros do riômetro conectado à antena oeste possuem uma melhor continuidade de dados, não possuindo assim lacunas muito grandes de ausência dos mesmos, o que lhe proporciona uma melhor distribuição de

dados sobre o período estudado e, conseqüentemente, apresentaria uma melhor visão da variação da absorção ionosférica relativa total do ruído cósmico durante o período estudado. Contudo isso não ocorre. Durante quase todo o período de aquisição de dados da antena oeste é apresentado um grande espalhamento de pontos. Isso se deve ao fato da antena oeste possuir uma inclinação de  $40^\circ$  em relação ao zênite, a qual cobre uma área maior da Camada D (FIGURA 5.2), área esta aproximadamente três vezes maior que a área da antena apontada para o zênite, e deste modo seus registros estão mais susceptíveis a variações na intensidade de absorção do ruído cósmico, visto que o mesmo é feito na integração da área que ela está cobrindo. Já a antena vertical rastreia uma área muito menor da Camada D (FIGURA 5.3), se comparada a antena oeste, conseqüentemente a variação dos registros se torna menor o que explica o menor espalhamento dos pontos referentes aos dados do riômetro conectado à mesma.



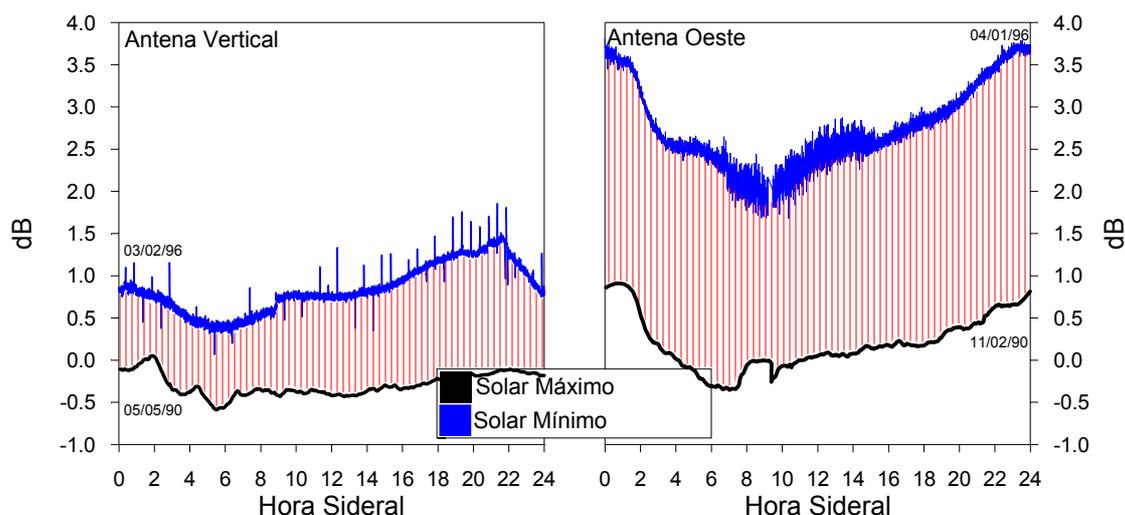
**FIGURA 5.2** – Ilustração da área de varredura da antenas oeste.



**FIGURA 5.3** – Ilustração da área de varredura da antena vertical.

Do mesmo modo, a área de rastreamento das antenas também influencia no grau da absorção do ruído cósmico nos registros dos riômetros. Isto é facilmente constatado observando os ajustes polinomiais dos referentes dados, os quais apresentam uma maior variação na taxa de absorção ionosférica relativa total do ruído cósmico para a riômetro conectado à antena oeste do que as do riômetro conectado à antena vertical.

A FIGURA 5.4 mostra os gráficos correspondentes a quatro intervalos diferentes da absorção ionosférica relativa (duas para cada antena) sendo que destas, dois intervalos para o período de mínimo solar e dois intervalos para o período de máximo solar. Estes intervalos foram selecionados de maneira a estarem os mais próximos possíveis dos máximos e mínimos dos ajustes polinomiais das antenas vertical e oeste. Para a antena vertical foram escolhidos os dias 05 de maio de 1990 (máximo) e 03 de fevereiro de 1996 (mínimo), já para a antena oeste foram escolhidos os dias 11 de fevereiro de 1990 (máximo) e 04 de janeiro de 1996 (mínimo).

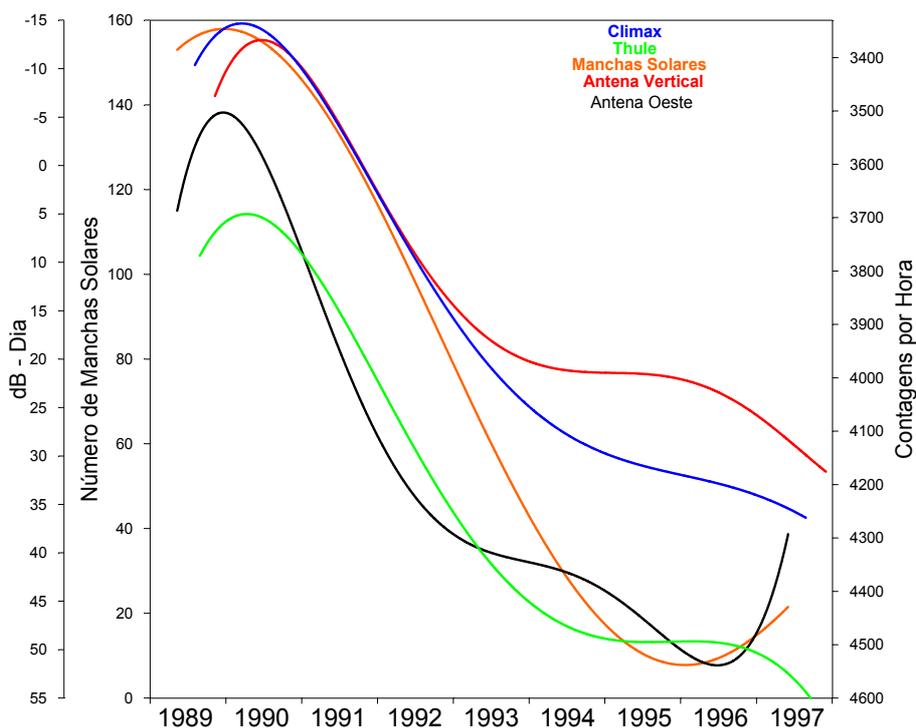


**FIGURA 5.4** – Variação da absorção ionosférica relativa do ruído cósmico entre os períodos de máximo e mínimo solar do período estudado para os dados dos riômetros conectados as antenas vertical e oeste.

Na FIGURA 5.4 fica clara a diferença da absorção do ruído cósmico entre os dias correspondentes a extremos do período. Para o caso desses exemplos, a diferença da absorção ionosférica relativa total foram de 27,12 dB e de 70,32dB para os registros dos riômetros conectados as antenas vertical e oeste, respectivamente (variação esta ilustrada pela área em vermelho da FIGURA 5.4).

O aumento da absorção ionosférica verificada nos registros das duas antenas mostra um significativo aumento na ionização da Camada D da ionosfera e conseqüentemente um aumento em uma, ou mais, de suas fontes de ionização. Para esta discussão serão usados os melhores ajustes polinomiais dos dados disponíveis. Na FIGURA 5.5 tem-se a curva dos melhores ajustes polinomiais dos dados dos riômetros conectados às antenas oeste e vertical (preto e vermelho, respectivamente), o melhor ajuste polinomial do número de manchas solares (em cor de laranja) e os melhores ajustes polinomiais do número de partículas incidentes nas Estações Thule e Climax (azul e verde,

respectivamente). Na escala do lado direito mostra-se o número de incidência de partículas cósmicas por hora. No lado esquerdo mostra-se a escala, em dB-dia, da absorção relativa do ruído cósmico e ainda do mesmo lado, tem-se a escala da variação do número de manchas solares. Nota-se que as escalas da absorção e da incidência de partículas estão na descendente, isso foi feito para a melhor visualização da correlação e anti-correlação dos dados apresentados.



**FIGURA 5.5** - Melhores ajustes polinomiais da absorção ionosférica relativa total ( $A_T$ ) dos dados dos riômetros, do número de partículas incidentes de raios cósmicos e do número de manchas solares.

Já pela simples visualização da FIGURA 5.5 fica evidente a correlação entre os melhores ajustes polinomiais da absorção ionosférica e da incidência de partículas dos raios cósmicos, entretanto o mesmo não acontece entre estes e o número de manchas solares. Para determinar a proporcionalidade das curvas apresentadas na FIGURA 5.5, foi feito o cálculo da correlação linear entre todos os ajustes polinomiais disponíveis dos fenômenos apresentados na

mesma. A partir deste cálculo, dado pela equação 5.1 (Bevington, 1969), obteve-se os coeficientes de correlação linear apresentados na TABELA 5.1.

$$r \equiv \frac{N \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\left[ N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \left[ N \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (5.1)$$

onde,

N = número de pontos a serem correlacionados;

$x_i, y_i$  = valores pontuais a serem correlacionados.

**TABELA 5.1 – Coeficientes de correlação.**

<b>Nº Manchas de Solares</b>	1				
<b>Vertical</b>	-0.933	1			
<b>Oeste</b>	-0.953	0.931	1		
<b>Thule</b>	-0.907	0.980	0.960	1	
<b>Climax</b>	-0.977	0.980	0.961	0.997	1
	<b>Nº de Manchas Solares</b>	<b>Vertical</b>	<b>Oeste</b>	<b>Thule</b>	<b>Climax</b>

Os valores dos coeficientes de correlação linear obtidos e apresentados na TABELA 5.1 mostram um padrão de ocorrência dos eventos analisados, devido ao fato do valor absoluto destes valores serem bem próximos à 1.

A anti-correlação entre o número de manchas solares e a incidência de raios cósmicos nas estações citadas ( $r = -0.907$  e  $r = -0.977$  para as Estações Thule e Climax, respectivamente) é explicada pela variação do campo magnético interplanetário. Durante o máximo solar o campo magnético do Sol está mais intenso, e este por sua vez é “congelado” no plasma expelido nos *flares* solares e ventos solares que se propagam no meio interplanetário e conseqüentemente aumentam a intensidade do campo magnético interplanetário. Este por sua vez bloqueia os raios cósmicos menos energéticos, deixando chegar até as

vizinhanças da Terra apenas as partículas mais energéticas, diminuindo assim o fluxo de partículas que incidem na superfície da Terra durante o período de máximo solar. O contrário acontece durante o período de mínimo solar, ou seja, neste período o campo magnético interplanetário está menos intenso facilitando a passagem dos raios cósmicos menos energéticos, aumentando assim a incidência de partículas na superfície terrestre.

Já as anti-correlações obtidas entre o número de manchas solares e os registros da absorção relativa do ruído cósmico ( $r = -0.933$  e  $r = -0.953$  para os riômetros conectados as antenas vertical e oeste, respectivamente) indicam que há um padrão de variação inversamente proporcional na absorção do ruído cósmico e o número de manchas solares.

De acordo com os resultados aqui apresentados, parece que a contribuição dos raios cósmicos galácticos na ionização da Camada D da ionosfera é maior do que podia-se esperar, visto os valores dos índices de correlação linear dos mesmos ( $r = 0.980$  para o riômetro conectado à antena vertical e as Estações Climax e Thule,  $r = 0.961$  e  $r = 0.061$  para o riômetro conectado à antena oeste e as Estações Climax e Thule, respectivamente). Isto é, o aumento na absorção do ruído cósmico acompanha o aumento do fluxo dos raios cósmicos incidentes. Sendo a absorção do ruído cósmico devido à ionização da Camada D da ionosfera, é possível que esta região seja consideravelmente mais sensível à ionização dos raios cósmicos do que seria de se esperar.

Ainda na FIGURA 5.5, nota-se que existe um deslocamento entre os picos de mínimo dos ajustes polinomiais dos dados da absorção ionosférica relativa total do ruído cósmico e da incidência dos raios cósmicos, em relação ao máximo do ajuste polinomial do número de manchas solares. O mesmo acontece com os mínimos dos dados  $Af$  e os mínimos da incidência de partículas cósmicas. Na TABELA 5.2 tem-se a variação de todos os deslocamentos, em dias, sendo este feito em relação ao agente dominante da coluna, ou seja, se o pico

ocorreu antes do agente dominante da coluna, ele é negativo, se ocorreu depois, ele é positivo. Como exemplo, na coluna do número de manchas solares tem-se o valor -2, que indica que o mínimo do ajuste polinomial da absorção ionosférica relativa total do riômetro conectado à antena oeste ocorreu dois dias antes do máximo do ajuste polinomial do número de manchas solares. Do mesmo modo, na mesma coluna, o valor 109 indica que o mínimo do ajuste polinomial da variação da incidência de partículas cósmicas ocorreu 109 dias após o máximo do ajuste polinomial do número de manchas solares.

**TABELA 5.2** – Deslocamento, em dias, dos picos dos melhores ajustes polinomiais dos fenômenos apresentados.

<b>Nº Manchas de Solares</b>	0				
<b>Vertical</b>	182	0			
<b>Oeste</b>	-2	-184	0		
<b>Thule</b>	109	-71	111	0	
<b>Climax</b>	85	-97	87	-24	0
	<b>Nº de Manchas Solares</b>	<b>Vertical</b>	<b>Oeste</b>	<b>Thule</b>	<b>Climax</b>

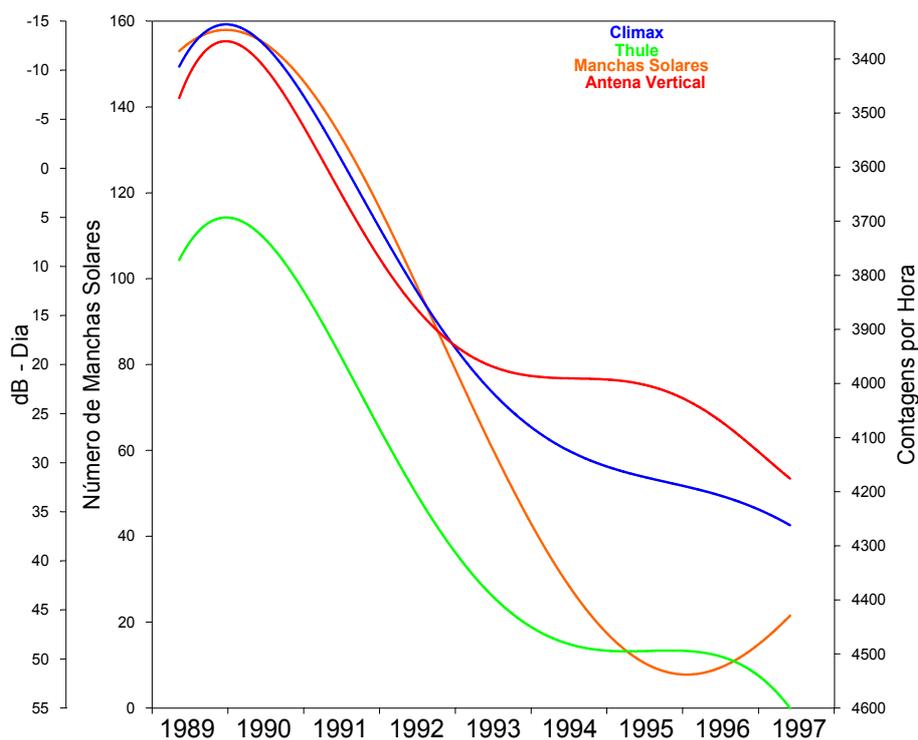
Os deslocamentos, mostrados na TABELA 5.2, sugerem uma possível existência de “causa” e “efeito” entre os fenômenos aqui discutidos. Isto é, é possível inferir uma ordem cronológica na qual têm-se como causa primária o Sol (ciclo solar) que rege a variação da intensidade do campo magnético interplanetário (consequentemente variando também a rigidez magnética do meio interplanetário) e deste modo interferindo na incidência de raios cósmico na atmosfera terrestre (efeito). É importante notar o retardo do mínimo de incidência de raios cósmicos em relação ao máximo do número de manchas solares (109 dias depois para Thule e 85 dias depois para Climax). Observa-se também que há outro retardo entre os mínimos de Thule e Climax, onde o primeiro ocorreu 24 dias depois do segundo. Tal fato pode estar associado à diferença na rigidez magnética de corte entre Thule, cuja rigidez é próxima de zero, e a de Climax cuja rigidez é de 2.97GV. Em outras palavras, o maior

retardo em Thule pode estar relacionado com uma resposta dos raios cósmicos menos energéticos, cujo fluxo, por sua vez, é maior.

De acordo com os resultados aqui apresentados, a resposta da Camada D, à ionização devido aos raios cósmicos galácticos é também retardada em relação à causa, que neste caso seria à incidência de raios cósmicos em Thule e Climax. Portanto, agora temos como fator causa a incidência de raios cósmicos na atmosfera terrestre, estando este contribuindo na ionização da Camada D, que por sua vez absorve o ruído cósmico (efeito). Esta interpretação explicaria o deslocamento do mínimo da absorção total registrada pelo riômetro conectado à antena vertical (71 e 97 dias depois Thule e Climax, respectivamente).

O mesmo não ocorreu com a absorção ionosférica relativa total registrada pelo riômetro conectado à antena oeste. O seu mínimo do ajuste polinomial está localizado dois dias antes do máximo do ajuste polinomial do número manchas solares. Neste caso, a associação entre causa e efeito descrita anteriormente, não faz sentido. Isto possivelmente é devido ao grande espalhamento de pontos (FIGURA 5.1) dos dados obtidos pelo sistema conectado à antena oeste, e também pela grande concentração de pontos em torno deste período (FIGURA 4.7), o que pode ter deslocado a curva do ajuste polinomial

Uma vez obtidos os deslocamentos dos ajustes polinomiais dos fenômenos apresentados, os mesmos foram colocados em fase (FIGURA 5.6) e calculados os novos valores das correlações lineares (TABELA 5.3), excluindo agora o ajuste polinomial dos dados obtidos pelo riômetro conectado à antena oeste.



**FIGURA 5.6** - Melhores ajustes polinomiais, agora com todos os máximos em fase, dos dados do riômetro conectado à antena vertical, do número de partículas incidentes de raios cósmicos e do número de manchas solares.

**TABELA 5.3** – Coeficientes de correlação das curvas em fase.

<b>Nº Manchas de Solares</b>	1			
<b>Vertical</b>	-0.943	1		
<b>Thule</b>	-0.974	0.989	1	
<b>Climax</b>	-0.985	0.985	0.998	1
	<b>Nº de Manchas Solares</b>	<b>Vertical</b>	<b>Thule</b>	<b>Climax</b>

Com os novos valores da correlação linear fica clara a última discussão de causa e efeito, uma vez que realizando estes deslocamentos nas curvas dos ajustes polinomiais (deixando-as em fase) os índices apresentados na TABELA 5.3 aumentaram em módulo em relação à TABELA 5.1 para as correlações, ou seja, aproximaram-se mais ainda do máximo 1.



## CAPÍTULO 6

### CONCLUSÕES

Para o estudo proposto neste trabalho, foram desenvolvidas ferramentas computacionais para a análise dos dados analógicos e digitais de riômetros. Tanto os programas quanto o software desenvolvidos, mostraram-se extremamente eficazes, agilizando e facilitando todo o processo de redução de dados, tornando-os mais confiáveis, além de padronizá-los nas diferentes etapas do processo de redução.

Os dados dos riômetros conectados às antenas vertical e oeste possuem um comportamento muito semelhante (com um índice de correlação entre os ajustes polinomiais de 0.931). Contudo, os dados da antena oeste mostraram-se muito espalhados, devido, possivelmente, a sua maior área de rastreamento que o correspondente do riômetro com a antena vertical. Devido a este fato, sugere-se que para a análise da variação de absorção ionosférica de ruído cósmico, é preferível utilizar riômetros conectados a antenas direcionadas ao zênite.

Comparando os dias quietos de forma logarítmica, durante quase um ciclo solar inteiro, e tomando como base de comparação dias quietos correspondentes ao início do intervalo de dados disponíveis, criou-se o parâmetro da Absorção Ionosférica Relativa Total ( $A_f$ ). Este parâmetro quantifica a diferença de amplitude entre os dias quietos, mostrando-se bastante eficaz no estudo da variação relativa da amplitude dos dias quietos correspondentes à intensidade do ruído cósmico para períodos longos.

Através da  $A_f$  obteve-se como resultado do período estudado, um comportamento inverso ao das manchas solares. De fato, a análise das curvas polinomiais, resultado do ajuste pelo método dos mínimos quadrados, acusou

coeficientes de anti-correlação muito significativos (sendo os valores absolutos próximos da unidade).

Através da análise correlativa, foram identificados comportamentos semelhantes entre a  $Af$  e os raios cósmicos galácticos. Por estes resultados pode-se inferir que a ação dos raios cósmicos galácticos na ionização da Camada D da ionosfera, é muito maior do que o esperado.

Pelos deslocamentos dos mínimos correspondentes aos ajustes polinomiais dos raios cósmicos e dos dados da antena vertical, comparados com o máximo do número de manchas solares, foi possível inferir uma ordem cronológica nos fenômenos estudados, sugerindo a existência de “causa” e “efeito”. Neste contexto, a atividade solar, através do campo magnético interplanetário, modula a chegada dos ruídos cósmicos galácticos na atmosfera terrestre, modulando, por sua vez, o estado de ionização da Camada D. Esta interpretação é substantiada pelos altos valores dos índices absolutos de correlação obtidos entre os fenômenos citados.

Finalmente pode-se afirmar, baseado nas conclusões anteriores, que para determinar a absorção ionosférica do ruído cósmico, com dados de riômetros, de eventos localizados e de curta duração (de poucas horas a alguns dias), é mais apropriado usar na determinação de um dia quieto, dias geomagneticamente calmos adjacentes aos mesmos. Isso se deve ao fato dos dias quietos não serem constantes durante o ano e dependerem da atividade solar.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abel, G. **Exploration of the universe**. 2.ed., Los Angeles: Holt Rinehart Winston, 1969.

Bevington, P.R.; Robinson, D.K. **Data reduction and error analysis for the physical sciences**. Boston: McGraw-Hill Book Company, 1969.

Costa, A. M. **Estudo do comportamento da densidade eletrônica da baixa ionosfera durante absorção da calota polar em altas latitudes no Hemisfério Sul e na Região da Anomalia Geomagnética do Atlântico Sul**. 1991. 332 p. Dissertação (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE - 5232-TDL/439), São José dos Campos, 1991.

Dolukhanov, M. **Propagation of radio waves**. Moscow: Mir Publishers, 1971.

Duffett-Smith, P. E. **Practical astronomy**. Cambridge: Cambridge University Press, 1979.

Egeland, A.; Holter, O. and Omholt, A. **Cosmical geophysics**. Denmark: Scandinavian University Books, 1973.

Brum, C. G. M. e Medrano-B, R. A. **Software para análises de dados de absorção ionosférica de ruído cósmico na Antártica**. Dissertação (Graduação do Curso de Engenharia Industrial Mecânica), Escola de Engenharia Industrial (E.E.I), São José dos Campos. 1995.

Hargreaves, J.K. **The solar-terrestrial environment**. New York: Cambridge University Press, 1992.

Hess, W.N. **Introduction to space science**. New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1965.

Jursa, A. S. **Handbook of geophysics and the space environment**. Washington: Air Force Geophysics Laboratory, 1985.

Kirchhoff, V.W.J.H. **Introdução à geofísica espacial**. São Paulo: Nova Stella, 1991.

Koop, E. ; Hermann, U. **Ion Composition in the lower ionosphere**. Leeds: EGS Conference on Ionosphere and Middle Atmosphere, Aug., 1982.

Mangueira, Luis. **Foto das antenas de riômetros situadas em Punta Plaza, Ilha Rei George - Antártica**. 1996, 1 fotografia.

McNamara, L.F. **The ionosphere: communications, surveillance, and direction finding**. Miami: Krieger Publishing Company, 1991.

Mechtly, E.A. and Smith, L.G. Growth of the D-Region at sunrise. **Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics**, v.30, n.3, p. 363-370, Apr., 1968.

Mechtly, E.A.; Smith, L.G.; Mukundarao, M.; Skaperdas, D.O. Latitude Variation of the Lower Ionosphere. **Radio science**, v.4, n.6, p.517-524, Jun., 1969.

Mechtly, E.A.; Smith, L.G.; Bowhill. Changes of lower ionosphere electron concentration with solar activity. **Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics**, v.34, n.11, p.1899-1905, Nov., 1972.

Medrano-B, R. A.; Abdu, M. A.; Batista, I. S.; Muralikrishna, P. Possible instrumental cause of an anomalous sidereal time CNI variation observed in a riometer with directional antenna at the Brazilian Station in Antarctica. **Actas**, v.1, p.265-274, 1990.

Mitra, A.P.; Chakrabarty, D.K. Models of lower ionosphere electron density Profiles. In: COSPAR Planetary Meeting, 13. 1970, Leningrad. Proceedings... Leningrad: Academie-Verlag (COSPAR Space Research), p.1013-1018, 1971.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). **Dados de irradiância de raios-X**. Disponível em <ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR\_DATA/SOLAR\_FLARES/XRAY\_FLARES/xray.fmt.revised>. Acesso em abril de 1996. Arquivo de dados.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). **Dados de fluxo de raios cósmicos galácticos**. <ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR\_DATA/COSMIC\_RAYS/cosmic\_ray.txt>. Acesso em abril de 1996. Arquivo de dados.

Piddington, J.H. The morphology of auroral precipitation. **Planetary Space Science**, v.13, n.8, p.565-577, Aug., 1965.

Ratcliffe, J. A. **An introduction to the ionosphere and magnetosphere**. 1.ed., Cambridge: Cambridge University Press, 1972.

Rishbeth, H.; Garriott, O.K. **Introduction to ionosphere physics**. New York: Academic Press, 1969.

Rossi, B. **Cosmic rays**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1964.

Tascione, T.F. **Introduction to the space environment**. Miami: Orbit Book Company. Malabar, 1988.

Toptygin, I.N. **Cosmic rays in interplanetary magnetic fields**. Palo Alto: Lockheed Palo Alto Research Laboratory, 1985.

Westerlund, S.; Reder, F.H.; Abom, C. Effects of polar CAP absorption events of VLF transmissions. **Planetary Space Science**, v.12, n.8, p.1329-1374, May, 1969.

Whitten, R.C. and Poppoff, I.G. **Fundamentals of aeronomy**. New York: John Wiley & Sons, 1971.

Wrenn, G.L.; Rodger, A.S. and Rishbeth, H. Geomagnetic storms in the Antarctic F-Region. I. Diurnal and seasonal patterns for main phase effects. **Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics**, v.49, n. 9, p. 901-913, 1987.

## APÊNDICE A

### FORMATAÇÃO DOS ARQUIVOS DOS DADOS DIGITAIS DOS RIÔMETROS

Os arquivos de dados possuem 4 colunas, sendo a primeira referente ao horário da aquisição, a segunda, terceira e quarta colunas referentes ao registro digital dos dados obtidos pelas antenas dos riômetros (como mostrado na TABELA A.1). A primeira linha mostra a data do início de aquisição do arquivo, seguida pelo horário do início da aquisição, o horário do término da aquisição do arquivo e o número de linhas de dados criados no arquivo até o seu término, em ordem, a segunda linha indica o que contém cada coluna de dados, no caso T indica a coluna temporal (tempo transcorrido em segundos), C4, C5, C6 indicam as colunas de dados referentes as antenas direcionadas ao zênite (vertical), ao sul e para o oeste respectivamente.

**TABELA A.1** – Configuração dos dados digitais dos riômetros.

09-17-1996	06:00:02	09:00:01	3599
T	C4	C5	C6
5	687	674	509
8	688	676	508
11	689	675	509
14	689	676	508



## APÊNDICE B

### FORMATAÇÃO DOS ARQUIVOS DE DADOS DOS ÍNDICES PLANETÁRIOS “Ap” E “Kp”

Os dados dos índices planetários Ap e Kp utilizados foram adquiridos no *SITE* do *National Geophysical Data Center* ([http://www.ngdc.noaa.gov/stp/GEOMAG/Kp\\_ap.html](http://www.ngdc.noaa.gov/stp/GEOMAG/Kp_ap.html)) no dia 03 de maio de 1998. Os dados disponíveis neste *SITE* vêm separados em arquivos contendo um ano de dados, identificados pelo ano a que se referem, ou seja, o arquivo do ano de 1995 recebe a denominação “1995.htm”. A formatação destes dados é descrito abaixo.

Da TABELA B.1 os dois primeiros dígitos indicam o valor numérico referente ao ano de aquisição dos dados do arquivo (neste caso 95 do ano 1995), os 3º e 4º dígitos indicam o número do mês, os 5º e 6º dígitos o dia, os 7º e 8º dígitos expressam o número de rotações solares de “BARTEL”, ciclo de 27 dias, que é uma contagem contínua das rotações solares desde 8 de janeiro de 1832 e os dígitos 11 e 12 que indicam o número do dia do ciclo de “BARTEL”. Os dígitos 13 e 14, 15 e 16, 17 e 18, 19 e 20, 21 e 22, 23 e 24, 25 e 26, 27 e 28 indicam os valores numéricos dos índices Kp da 00:00h às 03:00h, das 03:00h às 06:00h, das 06:00h às 09:00h, das 09:00h às 12:00h, das 12:00h às 15:00h, das 15:00h às 18:00h, das 18:00h às 21:00h e das 21:00h às 24:00h respectivamente. Os dígitos de 29 a 31 dão o valor numérico da somatória dos índices Kp do dia. Os dígitos de 32 a 34, de 35 a 37, de 38 a 40, de 41 a 43, de 44 a 46, de 47 a 49, de 50 a 52, e de 53 a 55 indicam os valores numéricos dos índices Ap da 00:00h às 03:00h, das 03:00h às 06:00h, das 06:00h às 09:00h, das 09:00h às 12:00h, das 12:00h às 15:00h, das 15:00h às 18:00h, das 18:00h às 21:00h e das 21:00h às 24:00h respectivamente. Os dígitos de 56 a 58 dão o valor numérico da média dos índices Ap do dia. Os dígitos de 59 a 61 dão o valor numérico do índice diário planetário Cp, que varia de 0 a 2,5. O

dígito 62 é uma outra demonstração dos índices planetários com escala diferente, variando de 0 a 9. Dos dígitos 63 a 65 temos o número de manchas solares (*Sunspot Number*). Do dígito 66 ao 70 é apresentado o valor numérico do Fluxo Solar em ondas de rádio de 10,7 cm Ottawa, ajustado para uma unidade astronômica (Au) e finalizando o dígito 71 expressa o valor numérico do qualificador de Fluxo Radio Solar. A série temporal destes arquivos é dada em hora UT (*Universal Time*).

**TABELA B.1** – Formatação dos arquivos dos índices planetários “Ap” E “Kp”.

95	1	122041710	0	713	31027	7	77	4	0	3	5	2	4	12	3	40.10	10	72.90
95	1	222041813	23273323374740243	5	9	12	18	9	22	39	27	181.05	8	74.80				
95	1	322041953	40433733473743333	56	27	32	22	18	39	22	32	311.36	11	74.30				
95	1	422042040	37333337273027263	27	22	18	18	22	12	15	12	181.05	14	74.40				
95	1	522042133	30334040404037293	18	15	18	27	27	27	27	22	231.15	11	73.80				
95	1	622042227	27273333273043247	12	12	12	18	18	12	15	32	160.94	15	72.00				
95	1225221724	2730232730333027227	12	15	9	12	15	18	15	12	140.84	12	70.10					
95	1226221725	2740332330233323233	12	27	18	9	15	9	18	9	150.84	17	71.70					
95	1227221726	2720171320172020153	12	7	6	5	7	6	7	7	70.42	18	71.50					
95	1228221727	71013732071077	3	4	5	3	2	7	3	4	40.10	17	73.40					
95	12292218	177103310131770	3	3	4	2	2	4	5	6	40.10	9	73.90					
95	12302218	2137377107760	5	3	2	3	3	4	3	3	30.10	10	72.80					

## APÊNDICE C

### FORMATAÇÃO DOS ARQUIVOS DE DADOS GERADOS NA MESA DIGITALIZADORA

Para cada curva digitalizada foi criado um arquivo, e cada arquivo deste recebendo uma denominação diferente, dos quais adotamos os prefixos “V” (para os dados do riômetro conectado a antena vertical), “S” (para os dados do riômetro conectado à antena voltada para o sul) e “W” (para os dados do riômetro conectado à antena voltada para oeste) distinguindo-se assim os dados contidos em arquivo, seguidos com dois numerais indicando o ano, mais dois numerais indicando o mês e outros dois numerais indicando o dia da aquisição dos dados e finalizando este com o sufixo “.DAT” (como exemplo, o arquivo W910322.DAT possui dados da antena oeste do dia 22 de Março do ano de 1991). Estes arquivos possuem uma formatação característica que consiste em duas colunas, sendo a primeira destinada aos dados da variação temporal, no caso Hora Universal, e a segunda destinada aos valores do ruído cósmico, este último em unidades arbitrárias variando de 0 a 100 unidades (TABELA C.1).

**TABELA C.1** – Formatação dos arquivos gerados pela mesa digitalizadora.

0.00	34.21
0.07	34.13
0.13	34.22
0.19	34.42
0.25	34.61
0.31	34.88
0.38	35.02
0.44	35.22
0.50	35.35
0.56	35.49
0.63	35.54



## APÊNDICE D

### PROGRAMAS DE REDUÇÃO DOS DADOS ANALÓGICOS

Para otimizar todo o processo de redução dos dados analógicos, foram criados três programas, um para redução dos dados do riômetro conectado a antena vertical, um para redução dos dados do riômetro conectado a antena voltada para o sul e um para a redução dos dados do riômetro conectado a antena voltada para oeste, programas estes denominados de VANALOG.EXE (para antena vertical), SANALOG.EXE (para a antena sul) e WANALOG.EXE (para a antena oeste).

Tendo os dados digitalizados, ao executar os programas eles pedem para entrar com os dados relativos ao ano, mês e dia a ser reduzido; em seguida o programa pede para entrar com os valores dos pontos de calibração equivalentes às médias dos pontos de calibração para 0mA, 1mA, 2mA e 3mA. Após a entrada dos dados descritos os programas executam todos os passos de redução (do passo 2 ao passo 5) descritos anteriormente, com exceção do primeiro passo (a digitalização).

Estes programas têm como saída dois arquivos; o primeiro arquivo com cinco colunas, sendo a primeira coluna destinada à série temporal universal, a segunda coluna destinada à série temporal sideral, a terceira coluna destinada aos dados do riômetro calibrados, a quarta coluna destinada à curva padrão selecionada para o cálculo da absorção relativa e por fim a quinta coluna destinada aos valores calculados da absorção ionosférica relativa (TABELA D.1). A denominação destes primeiros arquivos de saída seguem o mesmo critério descrito anteriormente pelos arquivos gerados na mesa digitalizadora, somente mudando os prefixos, adotando “VC” para a saída de dados do riômetro conectado a antena vertical, “SC” para os dados da antena sul e “WC” para os dados da antena oeste.

**TABELA D.1** – Formato do primeiro arquivo de saída dos programas usados para a redução dos dados dos riômetros.

0.750000	0.018862	3.990370	3.990370	-0.071575
0.820000	0.089054	4.007037	4.007037	-0.066043
0.880000	0.149218	4.022593	4.022593	-0.069503
0.940000	0.209383	4.040370	4.040370	-0.079160
1.000000	0.269547	4.057037	4.057037	-0.089751
.				
.				
.				
0.440000	23.708012	3.911111	3.911111	-0.099137
0.500000	23.768175	3.924815	3.924815	-0.094184
0.570000	23.838367	3.939259	3.939259	-0.088248
0.630000	23.898533	3.951482	3.951482	-0.084416
0.690000	23.958696	3.968148	3.968148	-0.086617

O segundo tipo de arquivos gerados pelos programas contém dados de um intervalo correspondente a um ano. A denominação destes primeiros arquivos de saída seguem também o mesmo critério descrito anteriormente pelos arquivos gerados na mesa digitalizadora, adotando o mesmo prefixo seguido de um numeral com 4 dígitos indicando o ano do dados contidos no mesmo e finalizando com o mesmo sufixo (como exemplo, o arquivo W1991.DAT possui dados da antena oeste durante o ano de 1991). Estes arquivos têm como dados principais os valores da integral da absorção relativa por dia, ou seja, para cada execução dos programas acima é criada uma nova linha nestes arquivos, sendo que a primeira coluna é destinado ao nome do arquivo que gerou os dados, a segunda coluna ao dia Juliano correspondente ao dia reduzido e a terceira e ultima coluna destinada ao valor da integral do valor absoluto pelo dia (TABELA D.2).

**TABELA D.2** – Formato do segundo arquivo de saída dos programas usados para a redução dos dados dos riômetros.

wc910410.dat	100.0	-3.205273
wc910504.dat	124.0	-19.881657
wc910506.dat	126.0	-17.711231
wc910511.dat	131.0	-19.379448
wc910519.dat	139.0	-10.022156
wc910520.dat	140.0	-10.884831
wc910616.dat	167.0	-7.733294
wc910725.dat	206.0	-14.704106
wc910726.dat	207.0	-9.764948
wc910729.dat	210.0	-6.436700
wc910730.dat	211.0	-2.199597



## APÊNDICE E

### PROGRAMAS E SOFTWARE DE REDUÇÃO DOS DADOS DIGITAIS

Os arquivos gerados pelos riômetros, descritos na Seção 3.1, são denominados pelo mês, dia e hora do início de aquisição de dados mais o prefixo “A” e o sufixo “.DAT”, ou seja, um arquivo gerado denominado de A010309.DAT é um arquivo do dia três de Janeiro que iniciou a aquisição às nove horas UT.

Estes arquivos são submetidos a uma primeira transformação ainda na Estação Antártica Comandante Ferraz pelo programa ADIA.EXE. Este programa tem a finalidade de juntar os arquivos de dados gerados de três em três horas, ou quatro em quatro horas (a escolha do período de cada arquivo fica a cargo do operador do instrumento), em arquivos que contenham exatamente um dia de dados, ou seja, vinte e quatro horas. Para isso, após executar o programa, deve-se entrar com o mês e o ano dos dados a serem transformados e o programa varre todos os possíveis arquivos contidos neste período juntando-os. Como saída deste programa tem-se dois novos arquivos, um com 24 horas de dados distribuídos em quatro colunas, sendo a primeira destinada à série temporal, a segunda destinada aos dados do riômetro conectado à antena vertical, a terceira destinada aos dados do riômetro conectado à antena sul e a quarta e última coluna contém os dados do riômetro conectado à antena oeste. A denominação destes arquivos segue o mesmo padrão adotado para a denominação dos arquivos gerados na mesa digitalizadora, como descrito na Seção 3.2.1, somente mudando o prefixo, que passou a ser a letra “D” (o arquivo D960307.DAT contém dados de vinte e quatro horas de aquisição do dia sete de Março de 1996). O segundo arquivo gerado pelo programa ADIA.EXE tem o mesmo nome do primeiro arquivo criado mudando apenas seu sufixo, passando de “.DAT” para “.MSG”. Este arquivo contém o histórico dos arquivos usados para criar o arquivo de um dia

de aquisição, contendo os nomes dos arquivos usados para gerá-lo, data da aquisição, início e término de aquisição dos mesmos e o número de linhas gerados no arquivo (TABELA E.1).

**TABELA E.1** – Arquivo com o histórico dos arquivos utilizados para gerar um novo arquivo com um dia de dados.

```
arquivo A0626000.DAT
3 06-26-1996 00:00:02 04:00:02 4799
T C4 C5 C6 => novo dia
arquivo A0626040.DAT
3 06-26-1996 04:00:02 08:00:02 4799
T C4 C5 C6 => hora programada
.
.
arquivo A0626200.DAT
3 06-26-1996 20:00:01 00:00:01 4799
T C4 C5 C6 => hora programada
26120 linha(s) acumulada(s) a partir de 7 arquivo(s).
```

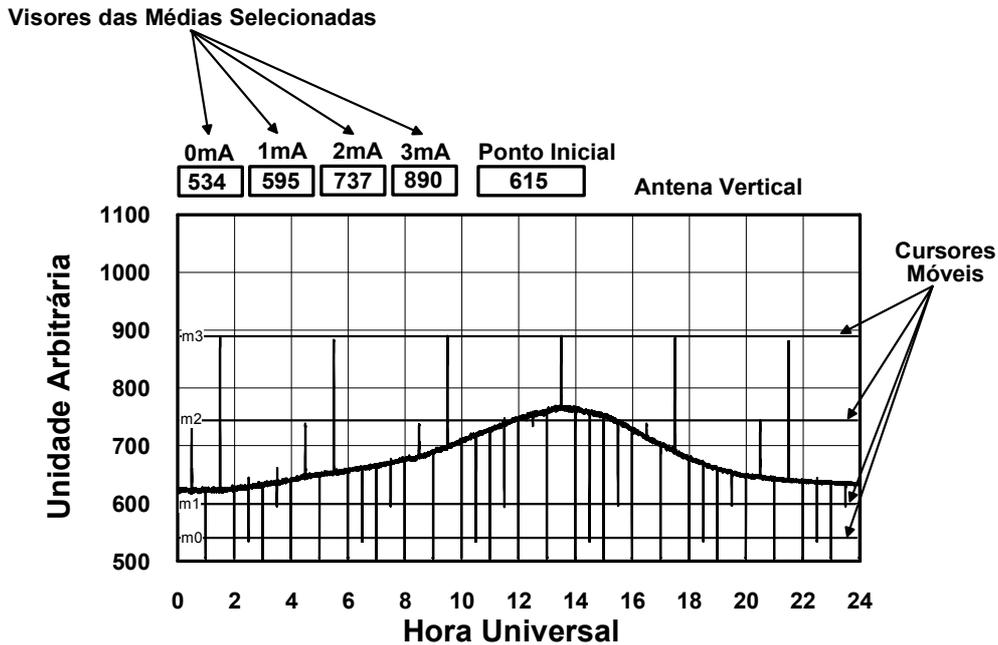
Os processos de redução dos dados digitais também foram otimizados a fim de facilitar e agilizar a obtenção final dos dados. Para isso foram criados quatro programas (UT-DIDT.EXE, VDIGITA.EXE, SDIGITA.EXE e VDIGITA.EXE) e um software (RIOMETRO.EXE) para o tratamento dos dados. O software foi desenvolvido em colaboração com Fabiano da Silveira Rodrigues e Fábio Augusto Vargas dos Santos, alunos de Iniciação Científica do Laboratório de Aeronomia da Universidade Federal de Santa Maria, tendo como base o software desenvolvido anteriormente denominado “Software para Análises de Dados de Absorção Ionosférica de ruído cósmico na Antártica” (Garnett e Medrano-B, 1995).

O primeiro programa (UT-DIDT.EXE) transforma a série temporal UT, que é gerada em segundos, para horas UT e ao mesmo tempo cria uma nova coluna com os respectivos valores da hora UT em hora ST usando a mesma transformação descrita na Seção 3.2.1 pela equação 3.2.1.1. Deste modo criou-se um novo arquivo com denominação semelhante ao anterior, somente com o prefixo trocado, passando de “D” para “T” (TABELA E.2).

**TABELA E.2** – Formatação da primeira transformação dos arquivos de dados digitais dos riômetros.

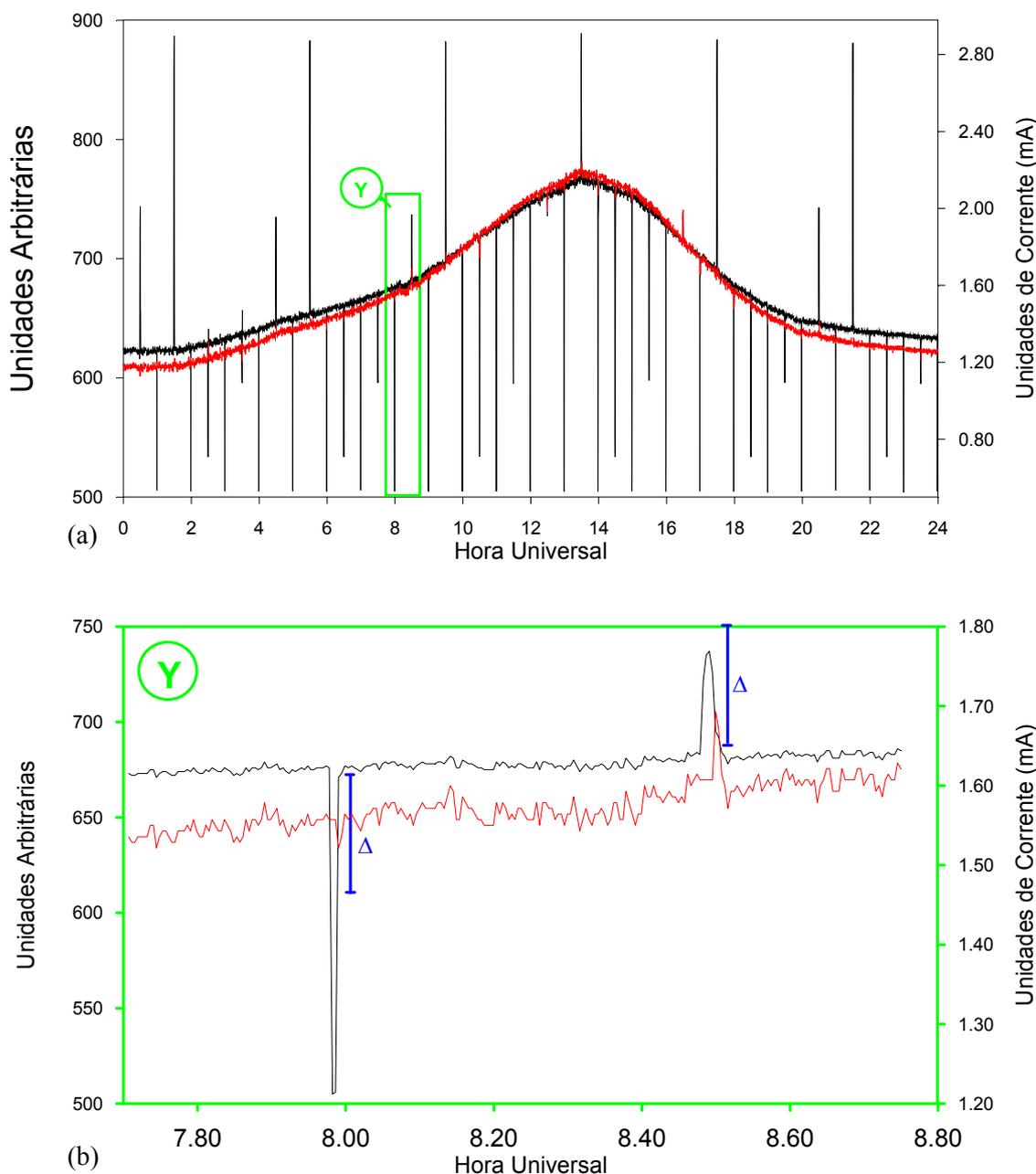
0.001944	5.284206	632	712	684
0.006111	5.288385	634	711	687
0.010278	5.292563	635	712	682
0.014444	5.296741	632	712	680
.				
.				
.				
23.968889	5.316893	625	691	668
23.973055	5.321070	626	688	671
23.977222	5.325249	625	689	670
23.981388	5.329426	545	685	659

Com base nestes novos arquivos é feita a calibração dos dados dos riômetros utilizando o software RIOMETRO.EXE. Com este software é possível visualizar a curva antes da calibração e conseqüentemente achar as médias dos pontos de calibração. Isto é feito com um cursor móvel que se desloca verticalmente, onde, visualmente se acha a média dos quatro pontos de calibração. Na FIGURA E.1, tem-se como exemplo, a tela do software RIOMETRO.EXE, no qual a reta em verde é a reta que corre pela curva achando as médias dos pontos de calibração.



**FIGURA E.1** – Tela de seleção dos pontos de calibração do software RIOMETRO.EXE.

O software também pede o ponto inicial da curva e uma sexta variável denominada de “ $\Delta$ ” (Delta). Este “ $\Delta$ ” serve como limite entre o módulo da diferença de um ponto para o outro, onde, se esta diferença ultrapassar o seu valor o ponto em análise é ignorado e repete-se o anterior. Esta interação serve para “limpar” todos os pontos indesejáveis da curva tais como os pontos de calibração e as marcações horárias. A curva em preto da FIGURA E.2 (a) apresenta um perfil padrão de um dia calmo da antena vertical sem serem retirados os pontos de calibração e as marcações das horas e em vermelho o um perfil da mesma curva após utilizado software RIOMETRO.EXE, sem os seus pontos de calibração e seus pontos de calibração de hora. O quadrilátero em verde (Y) evidencia um pequeno período das curvas que aparece na FIGURA E.2 (b) expandido, deste modo fica fácil perceber a atuação do “ $\Delta$ ” na limpeza das curvas calibradas.



**FIGURA E.2** – A figura mostra a ação do “ $\Delta$ ” na “limpeza” dos dados digitais.

Os novos arquivos de dados, criados após a calibração, são gerados com três colunas, sendo a primeira destinada à hora universal, a segunda à hora sideral e a terceira contendo dados do riômetro (TABELA E.3). A denominação destes novos arquivos também seguem o padrões adotados anteriormente de ano, mês e dia e sufixo “.DAT”, mudando apenas o seu prefixo, que passou a ser

“CV”, “CS” e “CO” para os dados dos riômetros conectados às antenas vertical, sul e oeste respectivamente.

**TABELA E.3** - Segunda formatação dos arquivos de dados digitais dos riômetros.

0.00222	8.63594	0.89423
0.00639	8.64012	0.88462
0.01056	8.64430	0.87500
23.99389	8.69342	0.84615
23.99806	8.69760	0.84615
23.99806	8.69760	0.84615

O Processo final de redução dos dados digitais dos riômetros, a exemplo da redução dos dados analógicos, consiste no cálculo da integral de absorção pelo dia utilizando a Equação 3.2 descrita na Seção 3.3. Para isso foram criados três novos programas, basicamente semelhantes aos usados para a mesma finalidade na redução dos dados analógicos, programas estes VANALOG.EXE, SANALOG.EXE e WANALOG.EXE para os riômetros conectados à antena vertical, sul e oeste respectivamente. Estes arquivos foram nomeados seguindo o mesmo critério descrito anteriormente pelos arquivos gerados a partir dos dados analógicos, adotando “VC” para a saída de dados do riômetro conectado a antena vertical, “SC” para os dados da antena sul e “WC” para os dados da antena oeste e contendo o mesmo formato de saída mostrado na TABELA E.4. Estes programas também criam um segundo tipo de arquivo, semelhante ao mostrado na TABELA E.5.

E (para a antena sul) e WANALOG.EXE (para a antena oeste).

Tendo os dados digitalizados, ao executar os programas eles pedem para entrar com os dados relativos ao ano, mês e dia a ser reduzido; em seguida o programa pede para entrar com os valores dos pontos de calibração equivalentes às médias dos pontos de calibração para 0mA, 1mA, 2mA e 3mA.

Após a entrada dos dados descritos os programas executam todos os passos de redução (do passo 2 ao passo 5) descritos anteriormente, com exceção do primeiro passo (a digitalização).

Estes programas têm como saída dois arquivos; o primeiro arquivo com cinco colunas, sendo a primeira coluna destinada à série temporal universal, a segunda coluna destinada à série temporal sideral, a terceira coluna destinada aos dados do riômetro calibrados, a quarta coluna destinada à curva padrão selecionada para o cálculo da absorção relativa e por fim a quinta coluna destinada aos valores calculados da absorção ionosférica relativa (TABELA E.4). A denominação destes primeiros arquivos de saída seguem o mesmo critério descrito anteriormente pelos arquivos gerados na mesa digitalizadora, somente mudando os prefixos, adotando “VC” para a saída de dados do riômetro conectado a antena vertical, “SC” para os dados da antena sul e “WC” para os dados da antena oeste.

**TABELA E.4 – Formato do primeiro arquivo de saída dos programas usados para a redução dos dados dos riômetros.**

0.750000	0.018862	3.990370	3.990370	-0.071575
0.820000	0.089054	4.007037	4.007037	-0.066043
0.880000	0.149218	4.022593	4.022593	-0.069503
0.940000	0.209383	4.040370	4.040370	-0.079160
1.000000	0.269547	4.057037	4.057037	-0.089751
.				
.				
.				
0.440000	23.708012	3.911111	3.911111	-0.099137
0.500000	23.768175	3.924815	3.924815	-0.094184
0.570000	23.838367	3.939259	3.939259	-0.088248
0.630000	23.898533	3.951482	3.951482	-0.084416
0.690000	23.958696	3.968148	3.968148	-0.086617

O segundo tipo de arquivos gerados pelos programas contém dados de um intervalo correspondente a um ano. A denominação destes primeiros arquivos de saída seguem também o mesmo critério descrito anteriormente pelos arquivos gerados na mesa digitalizadora, adotando o mesmo prefixo seguido de um numeral com 4 dígitos indicando o ano do dados contidos no mesmo e

finalizando com o mesmo sufixo (como exemplo, o arquivo W1991.DAT possui dados da antena oeste durante o ano de 1991). Estes arquivos têm como dados principais os valores da integral da absorção relativa por dia, ou seja, para cada execução dos programas acima é criada uma nova linha nestes arquivos, sendo que a primeira coluna é destinado ao nome do arquivo que gerou os dados, a segunda coluna ao dia Juliano correspondente ao dia reduzido e a terceira e ultima coluna destinada ao valor da integral do valor absoluto pelo dia (TABELA E.5).

**TABELA E.5** – Formato do segundo arquivo de saída dos programas usados para a redução dos dados dos riômetros.

wc910410.dat	100.0	-3.205273
wc910504.dat	124.0	-19.881657
wc910506.dat	126.0	-17.711231
wc910511.dat	131.0	-19.379448
wc910519.dat	139.0	-10.022156
wc910520.dat	140.0	-10.884831
wc910616.dat	167.0	-7.733294
wc910725.dat	206.0	-14.704106
wc910726.dat	207.0	-9.764948
wc910729.dat	210.0	-6.436700
wc910730.dat	211.0	-2.199597

## APÊNDICE F

### FORMATAÇÃO DOS ARQUIVOS DE DADOS DOS *FLARES* SOLARES E DA INCIDÊNCIA DE RAIOS-X

Os arquivos com dados da variação da emissão de raios-X associados aos *flares* solares utilizados neste trabalho foram adquiridos no *SITE* do *National Geophysical Data Center* ([http://www.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR\\_DATA/SOLAR\\_FLARES/XRAY\\_FLARES](http://www.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SOLAR_FLARES/XRAY_FLARES)) no dia 07 de abril de 1998. Os dados disponíveis neste *SITE* estão separados em arquivos contendo um ano de dados e a denominação destes arquivos também são referentes ao ano dos dados contidos nos mesmos, ou seja, o arquivo do ano de 1996 recebe a denominação “xray1996.htm”. A formatação destes dados é descrita abaixo.

Na TABELA F.1 os dois primeiros dígitos indicam o código dos dados, neste caso 31, do 3<sup>o</sup> ao 5<sup>o</sup> dígito é expresso o número do código da estação de coleta, código este 777 (código do satélite GOES). O 6<sup>o</sup> e o 7<sup>o</sup> dígitos indicam o valor numérico referente ao ano de aquisição dos dados do arquivo (como exemplo 96 do ano 1996), o 8<sup>o</sup> e 9<sup>o</sup> dígitos indicam o número do mês, o 10<sup>o</sup> e 11<sup>o</sup> dígitos o dia. Do 12<sup>o</sup> dígito ao 34<sup>o</sup> são apresentados dados irrelevantes para o estudo, os quais não serão descritos aqui. O 35<sup>o</sup> apresenta a classificação da importância óptica, já o 36<sup>o</sup> apresenta o brilho óptico dos mesmos. Da 37<sup>o</sup> coluna à 59<sup>o</sup> coluna não são apresentados dados algum. O dígito 60 apresenta a classe dos raios-X e os dígitos 61, 62 e 63 a intensidade dos mesmos. Do 64<sup>o</sup> ao 67<sup>o</sup> dígito é dada a região onde ocorreu o *flare* e os dígitos 68, 68, 70 e 71 a abreviação da estação de coleta, neste caso GOES. Os dígitos restantes também são irrelevantes para este estudo e não serão descritos.

**TABELA F.1** - Formatação dos arquivos de dados dos *flares* solares e raio-X.

31777960805	0155 0209 0201	B 15	GOES
31777960805	0311 0323 0321	B 17	GOES
31777960805	0753 0756 0753 S11W37SF		B 267981GOES
31777960805	0920 0930 0920 S10W35SF		B 517981GOES
31777960805	1423 1434 1424 S09W39SF		B 557981GOES
31777960805	1506 1511 1508 S09W39SF		B 247981GOES
31777960805	1533 1546 1534 S08W44SF		B 207981GOES
31777960805	2019 2040 2030	B 25	GOES
31777960806	0315 0339 0326	B 24	GOES
31777960806	0953 1008 0957	B 10	GOES
31777960806	1910 2243 2201	C 15	GOES

## APÊNDICE G

### FORMATAÇÃO DOS ARQUIVOS DE DADOS DOS RAIOS CÓSMICOS

Os arquivos com dados da variação da incidência de partículas raios cósmico utilizados neste trabalho foram adquiridos no *SITE* do *National Geophysical Data Center* ([ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR\\_DATA/COSMIC\\_RAYS/](ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/COSMIC_RAYS/)) no dia 07 de abril de 1998. Os dados disponíveis neste *SITE* estão separados em arquivos contendo um ano de dados, e a denominação destes arquivos também são referentes ao ano dos dados contidos nos mesmos e a estação de coleta. Como exemplo, o arquivo do ano de 1995 da Estação Thule recebe a denominação “Thule.95”. A formatação destes dados é descrita abaixo.

Na TABELA G.1 tem-se a formatação dos dados contidos em cada arquivo disponível no *SITE*. Na primeira coluna é mostrada a data da aquisição dos dados e na segunda coluna a média do número de partículas incidentes no equipamento registrador (Monitor de Neutrons), neste caso, por exemplo, o arquivo começa no dia 01 de janeiro de 1995 (950101) com uma contagem média horária de 4119.1 partículas.

**TABELA G.1** - Formatação dos arquivos contendo dados da variação de incidência de raios cósmicos.

950101	4119.1
950102	4136.9
950103	4145.5
950104	4131.9
950105	4147.5
950106	4141.7
950107	4112.0
950108	4105.7
950109	4123.3
950110	4141.4