



Estudo dos Raios C3smicos que Chegam na Terra

RELAT3RIO FINAL DE PROJETO DE INICIA33O CIENT3FICA (PIBIC/CNPq/INPE)

Processo CNPq N3 113137/2014-1

Ana Luiza Dors Wilke – (UFSM, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: analuizadors@hotmail.com

Nivaor Rodolfo Rigozo – (DGE/CEA/INPE, Orientador)

E-mail: [nivaor.rigozo@ inpe.br](mailto:nivaor.rigozo@inpe.br)

Santa Maria, Julho de 2014

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) pelo auxílio financeiro para desenvolver o trabalho, ao INPE/CRS por me disponibilizar o local de trabalho, ao meu orientador Nivaor Rodolfo Rigozo pelo auxílio e paciência, e aos meus colegas de laboratório pelo companheirismo e ajuda.

RESUMO

Raios cósmicos chegam à atmosfera da Terra constantemente e de todas as direções vindos do sol, da nossa galáxia ou até mesmo de fora da nossa galáxia, sendo que a natureza destes últimos não é completamente conhecida. As Ejeções de Massa Coronal (CME) estão entre os principais fenômenos físicos que são gerados no Sol, causando intensas tempestades magnéticas com consequências diretas no planeta Terra. Uma das componentes secundárias desses raios cósmicos são os múons, que são partículas de alta energia originadas da interação dos prótons de alta energia com a radiação cósmica na atmosfera da Terra, sua formação e propagação na atmosfera terrestre, dependem das variações de temperatura e pressão atmosférica. Os efeitos sobre essas partículas energéticas secundárias podem ser utilizados para identificar as CME's no meio interplanetário, dando uma importância secundária a essas partículas como "informantes" desses fenômenos em direção a Terra. Sendo assim, esses efeitos de temperatura e pressão são a principal interferência no estudo das variações de intensidade da radiação cósmica primária, causando variações no fluxo de raios cósmicos que entram nos detectores de múons.

ABSTRACT

Cosmic rays reach the Earth atmosphere constantly from all directions coming from the sun, from our galaxy or even from outside our galaxy, being which nature of the latter is not completely known. The coronal mass ejections (CME) are among the main physical phenomena that are generated in the Sun, causing intense magnetic storms with direct consequences on Earth planet. One of the secondary components of cosmic rays are muons, which are high-energy particles originating from the interaction of high-energy protons with the cosmic radiation in the Earth's atmosphere, its formation and propagation in the atmosphere depends on the variations of temperature and atmospheric pressure. The effects on these secondary energetic particles can be used to identify the CME's in the interplanetary medium, giving secondary importance to these particles as "informants" of these phenomena toward Earth. Thus, the effects of temperature and pressure are the main interference in the study of variations in the intensity of the primary cosmic radiation, causing variations on the cosmic ray flux that entering múon detectors.

SUMÁRIO

1 – Introdução.....	6
2 – Objetivo.....	7
3 – Revisão Bibliográfica.....	8
3.1 – O Sol.....	8
3.2 – Vento Solar.....	8
3.3 – Manchas Solares.....	9
3.4 – Raios Cósmicos.....	9
3.4.1 – Raios Cósmicos Galácticos.....	9
3.4.2 – Raios Cósmicos Solares.....	10
3.5 – Chuveiro Atmosférico Extenso (CAE).....	10
3.6 – Múons.....	10
3.7 – Massa de Ar.....	11
3.8 – Frentes Frias.....	11
4 – Materiais e Métodos.....	13
4.1 – Dados.....	13
5 – Resultados Esperado.....	14
6 – Bibliografia.....	15

1 – INTRODUÇÃO

Atualmente, o estudo e entendimento sobre os raios cósmicos provenientes do Sol e do espaço galáctico e extragaláctico, e suas interferências no clima da Terra tem se tornado cada vez mais relevante. Ainda temos muitas perguntas não respondidas sobre esse assunto (como e onde a radiação galáctica é originada); em função desta e outras indagações, busca-se um entendimento mais claro sobre esses fenômenos. Este trabalho tem como objetivo apresentar um estudo estatístico (de correlação) para determinar o grau de importância na variação de intensidade da radiação cósmica secundária de múons pela ação da pressão atmosférica e a chegada de frentes frias no sul do Brasil.

2 – OBJETIVO

O objetivo deste projeto é o estudo dos raios cósmicos que chegam na Terra pelas séries temporais, para se entender melhor a interação dos fenômenos raios cósmico – Clima, podendo usar metodologias de análise matemática, como correlação e regressão linear e/ou análise espectral.

3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 – O Sol

O Sol é uma estrela com raio de $6,96 * 10^8 m$, o que equivale a aproximadamente 109 vezes o raio da Terra, ele é espectralmente classificado como uma estrela do tipo G e sua massa da ordem de $1,98 * 10^{30} kg$, sendo sua massa 332 vezes maior do que a do nosso planeta (Murcia, 2013). É no núcleo do Sol que ocorrem as reações nucleares que geram a energia que alimenta nossa estrela. Ele também detém aproximadamente 98% de toda a massa do sistema solar e está dividido em camadas. A primeira camada é chamada de fotosfera, sua temperatura é de $6000^{\circ}C$ e ela possui uma aparência turbulenta em função das erupções ocorridas nela. Logo acima da fotosfera está a cromosfera, e é nela que se originam as manchas (*faculae*) e explosões (*flares*) solares, a temperatura nas regiões dessas manchas chega a $4000^{\circ}C$. A parte mais externa da atmosfera solar é a coroa, e é nela que as *proeminências* (nuvens de gás aquecido e brilhante que explodem da alta cromosfera) aparecem. A idade do Sol é de 4,6 bilhões de anos, e estima-se que ele possua combustível suficiente para sustentar-se por aproximadamente mais 5 bilhões de anos (Hamilton, 1997).

3.2 – Vento Solar

Segundo Amador (2010) o vento solar é definido como um plasma magnetizado não constante em expansão, que se comporta de maneira relativamente cíclica (depende da atividade solar) e causa uma desaceleração nas partículas energéticas, excluindo as de menor energia ($< 10^9 eV$).

Já para Murcia (2013), o vento solar é um fluxo de plasma ionizado que se desenvolve devido à diferença de pressão entre a coroa solar e o meio interplanetário e que consegue se deslocar para este meio através de linhas localmente abertas do campo magnético. Devido as suas interações com os planetas do sistema solar, seu estudo é muito importante para entender como seu material é expandido da região solar (extremamente quente) para regiões frias.

Apesar de ser formado basicamente de material ionizado, este vento é considerado neutro, pois ele é quente e rápido para os padrões terrestres (Baccaro, 2004). Sendo ele constituído de prótons, elétrons e íons, essas partículas conseguem escapar do Sol, em direção ao espaço interplanetário devido à alta energia cinética contida no mesmo, e à alta temperatura da coroa solar; o vento solar é um elemento importante no estudo do clima espacial, pois interage com outros fenômenos solares como um objeto imerso em um fluido (Murcia, 2013).

3.3 – Manchas Solares

Em função do movimento de rotação solar em torno de seu próprio eixo, a velocidade de um ponto no equador do Sol é maior do que a velocidade de um ponto em seus pólos. Devido a grande velocidade do plasma no equador solar, ocorre um deslocamento das linhas magnéticas solares próximas à superfície do mesmo. Uma parte dessas linhas magnéticas forma um tubo instável que contém plasma, e essa instabilidade joga esse plasma para fora do Sol formando o que chamamos de protuberância, as bases desse tubo são as manchas solares. Através dos estudos dessas manchas, podemos compreender a variabilidade solar e podemos concluir que quanto maior o número de manchas solares, mais ativo estará o Sol e vice-versa (Rigozo, 1994).

3.4 – Raios Cósmicos

Os raios cósmicos são partículas altamente energéticas que chegam à Terra, com energias que variam entre $10^9 eV$ até acima de $10^{20} eV$. Quando estes interagem com a atmosfera terrestre, geram outros tipos de partículas, chamadas de partículas secundárias. No início dos estudos sobre essas partículas, acreditava-se que os raios cósmicos eram átomos neutros ou de origem eletromagnética (raios-X ou raios γ), mas verificou-se que os raios cósmicos sofriam deflexão da atmosfera terrestre, e passou-se a considerar essas partículas como componentes carregadas (Lago, 2007).

Jokipii (1998) define raios cósmicos como sendo partículas energéticas (em sua maioria íons) com energia cinética altíssima que pode ultrapassar o valor de $10^{20} eV$. Estes raios estão constantemente bombardeando o topo da atmosfera, vindos de todas as direções, a cada segundo.

Os raios cósmicos são divididos em duas componentes: raios cósmicos galácticos (RCG) que se originam fora do sistema solar, e os raios cósmicos solares (RCS) produzidos no próprio Sol com energias bem menores do que as dos RCG's (Rigozo, 1994).

3.4.1 – Raios Cósmicos Galácticos (RCG)

A radiação cósmica galáctica pode se originar direta, ou indiretamente de explosões de supernovas e chegam até nós através de campos magnéticos de grande intensidade e muito velozes, que são responsáveis pela alteração da direção e movimento dessas partículas. Sobre a radiação cósmica de intensidade mais alta, acredita-se que é originária de fora do nosso sistema solar ou até mesmo de nossa galáxia, sendo sua origem e modo de transporte praticamente desconhecidos (Amador, 2010).

A obtenção do tempo médio de confinamento destes raios cósmicos primários é obtida através dos raios cósmicos secundários, o número destes raios secundários depende de quanta matéria eles atravessam desde sua criação, o que depende da densidade desta matéria onde os raios primários são propagados desde o seu princípio (Jokipii, 1998).

3.4.2 – Raios Cósmicos Solares (RCS)

Os RCS são partículas menos energéticas do que os RCG, eles se originam no Sol e sofrem variações espectrais e de densidade em função dos eventos solares. O aumento na quantidade dos RCS é inversamente proporcional ao dos RCG, pois o vento solar é que carrega os RCS até a atmosfera da Terra, e este vento é responsável pela diminuição na quantidade dos RCG.

3.5 – Chuveiro Atmosférico Extenso (CAE)

Quando partículas altamente energéticas chegam à alta atmosfera da Terra, estas interagem com os núcleos dos átomos presentes no ar formando o que chamamos de chuvaire atmosférico. Quando esta interação nuclear ocorre entre um raio cósmico e o núcleo de um átomo, esse núcleo se desintegra em partículas secundárias de menor energia do que a partícula original. Essas partículas continuam a colidir até que toda energia seja dissipada, podendo estender o fenômeno até a superfície terrestre (Vale & Souza, 2012).

Essa interação entre as partículas ultra energéticas e os núcleos de moléculas na atmosfera terrestre dá início a uma cascata de partículas secundárias (chamada de chuvaire atmosférico extenso) que se deslocam com velocidades próximas a velocidade da luz. Esta cascata é dita como um disco de partículas com raio variando conforme o mesmo se propaga para o solo (Comin, 2010).

Comin (2010) também comenta que as pesquisas sobre esses CAE's fornecem informações sobre essas interações e possibilitam a determinação da natureza, da energia e da direção de chegada dos raios cósmicos primários na Terra, sendo também a principal fonte de informações sobre fenômenos astrofísicos de regiões muito distantes da Terra. A detecção desses CAE's é feita a partir de aparatos experimentais que cobrem áreas de até milhares de quilômetros quadrados.

3.6 – Múons

Múons são partículas elementares semi-estáveis que possuem massa muito maior do que neutrinos e elétrons, e decaem em elétrons e pósitrons, ao mesmo tempo do que os neutrinos e antineutrinos (Amador, 2010).

De acordo com Lago (2007), os múons (conhecidos como *mu-méson* durante anos) foram descobertos em 1936 por C. Anderson e seu aluno S. Neddermeyer e são partículas secundárias de alta energia, que se dividem em duas componentes: a componente dura dos múons dentro da água (com aproximadamente 10% da energia) e a componente mole eletromagnética na atmosfera (com aproximadamente 90% da energia). O autor ainda comenta que J. Clay e A. Compton fizeram experimentos com câmaras de ionização idênticas instaladas em vários lugares do mundo para realizar medições em diferentes latitudes, provando assim, que partículas carregadas também fazem parte da composição dos raios cósmicos.

Outra observação contundente feita por Bruno Rossi foi que a partir da direção em que as partículas entram na atmosfera pode-se determinar sua carga, as partículas com direção a oeste da vertical tem carga positiva, e as partículas que tem direção a leste da vertical tem carga negativa, verificou-se que o número de partículas que vinham da direção oeste era muito maior, e concluiu-se que as partículas que predominavam eram as de carga positiva (Lago, 2007).

Os múons mais energéticos podem ser captados ao nível do mar, e fornecem informações sobre a composição química dos raios cósmicos primários, sendo de grande importância fazer medidas diretas destas componentes (Vale & Souza, 2012).

3.7 – Massa de Ar

A expressão massa de ar é utilizada em Meteorologia para determinar uma porção da atmosfera que cobre milhares de quilômetros da superfície da Terra, com uma distribuição vertical aproximadamente uniforme de umidade e temperatura. Sendo assim, em certa altitude em qualquer ponto dentro dessa massa de ar, a temperatura tem aproximadamente o mesmo valor, e os gradientes de temperatura e de umidade pouca variação com as coordenadas horizontais (Varejão-Silva, 2005).

Segundo Comin (2010), são parcelas de ar atmosférico que trazem em suas características e propriedades, informações sobre as condições gerais do tempo dos locais de onde elas se originaram. Elas estão geralmente associadas a sistemas de alta e baixa pressão e seu deslocamento se dá devido a diferenças na pressão e temperatura nas áreas de superfície. As áreas de baixa pressão são instáveis e são denominadas receptoras de ventos, enquanto as áreas de alta pressão são mais estáveis (devido a sua baixa temperatura) sendo denominadas áreas dispersoras de ventos.

3.8 – Frentes Frias

Quando uma massa de ar tem temperatura menor do que a da região por onde está passando, esta é denominada uma massa de ar frio. O aquecimento da camada de ar em contato direto com o solo se dá através de condução, provocando uma instabilidade. A parcela de ar aquecida é elevada a níveis mais altos da atmosfera por convecção.

As massas de ar frio que chegam a América do Sul são originadas da região subantártica, fazendo um caminho pelo sul do continente indo pelo Chile, pela Argentina, pelo Uruguai e pelo Paraguai, chegando ao Brasil durante o outono e inverno (Comin, 2010).

De acordo com Varejão-Silva (2005), uma frente fria é caracterizada quando uma massa de ar passa por um determinado local, e o ar quente contido nela é substituído pelo ar frio. Assim, a massa de ar pré-frontal é quente e a pós-frontal é fria. Sendo o ar frio de maior densidade do que o ar quente, a superfície frontal fria se estende para a parte de trás desta frente, se sobrepondo sobre a superfície terrestre. As frentes frias tende a se deslocar no sentido pólo-equador.

4 – MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 – Dados

No estudo serão utilizadas séries temporais de múons (com dados brutos e dados padronizados pela pressão atmosférica) que serão correlacionadas com medidas de frentes frias.

Serão adotados os métodos de análise matemática como correlação e regressão linear. Poderá ser usada ainda, a análise espectral clássica a fim de determinar as periodicidades embutidas nas séries temporais (Rigozo, 1994; Rigozo et al., 2005; Nordemann et al., 2008).

Os dados utilizados são do protótipo do Detector Multidirecional de Múons (MMDP), instalado no Observatório Espacial do Sul (OES/CRS/INPE – MCT), (29.4°S, 53.8°W, 480 m a.n.m.), em São Martinho da Serra, RS. E também dados históricos do Banco de Dados Climatológicos do CPETEC- CLIMANÁLISE, que são dados de entrada de frentes frias no Brasil, com o intuito de verificar se estas causam ou não, interferências nas medidas de múons (já que são medidas feitas em superfície) (Comim, 2010).

5 – RESULTADOS ESPERADOS

Espera-se encontrar uma correlação entre os dados de múons e os dados de entrada de frentes frias no Brasil, e averiguar se estas últimas causam ou não interferência nos dados de múons.

6 – REFERÊNCIAS

Amador, Miguel 2010. **Radiação Cósmica**. Mestrado Integrado em Engenharia Biomédica. Instituto Superior Técnico. Disponível em: <file:///C:/Documents%20and%20Settings/Usuario/Meus%20documentos/Downloads/Raios%20Co%CC%81smicos%20-%20Trabalho.pdf>. Acesso em 30/05/2014.

Baccaro, Marcos A. C. 2004. **Modelo hidrodinâmico bidimensional de ejeção de massa coronal**. Dissertação de Mestrado em Astrofísica, INPE – São José dos Campos, SP.

Comin, Alcimoni Nelci 2010. **Estudo das séries temporais de raios cósmicos (múons e nêutrons) através da análise espectral de wavelets**. Relatório final de projeto de iniciação científica (Pibic/INPE – CNPq/MCT). Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais CRS/INPE – MCT.

Hamilton, Kelvin J. 1997; **O SOL**. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/ast/solar/portug/sun.htm#intro>. Acesso em: 01/06/2014.

Jokipii, J. R.; Cosmic Rays. In: SUESS, S.T.; TSURUTANI, B.T. **From the Sun**. Washington, 1998. p. 123-131.

Lago, Bruno R. 2007; **Estudo de raios cósmicos galácticos com o Observatório Auger**. Dissertação de Mestrado em Física, Instituto de Física da UFRJ, RJ.

Murcia, Miguel A. P. 2013; **Estudo da Existência das Instabilidades Kelvin-Helmholtz e Rayleigh-Taylor em uma Ejeção de Massa Coronal**. Dissertação de Mestrado em Ciências, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP, SP.

Nordemman, Daniel J. R.; Rigozo, N. R.; Echer, Ezequiel; Echer, Mariza P. de Souza. 2008; **Principal Components and Iterative Regression Analysis of Geophysical Series: Application to Sunspot Group Number (1750-2004)**

Vale, Antônio L. do; Souza, Claudio M. G. de; 2012; **A Importância do estudo dos Raios Cósmicos: O método de detecção do Observatório Pierre Auger**. Curso de Física da Universidade Católica de Brasília, DF. Disponível em: <http://www.ucb.br/sites/100/118/TCC/1%C2%BA2012/AImportandiadsRaiosCosmicosOmetododedete.pdf>. Acesso em 02/06/2014.

Varejão-Silva, M. A.; **Meteorologia e Climatologia**, versão digital, Recife, 2005. p. 424-430.

Rigozo, N. R. 1994; **Análise por Regressão Iterativa de Periodicidade nas Variações dos Cosmonuclídeos Atmosféricos Be-10 e C-14**. Dissertação de Mestrado em Ciência Espacial/Geofísica, INPE, São José dos Campos, SP.

Rigozo, N. R.; Echer, Ezequiel; Nordemman, Daniel Jean Roger; Vieira, Luiz Eduardo

Antunes; Faria, Heloisa Helena de; **Comparative Study Between Four Spectral Analysis Methods Applied Mathematics and Computation.** v. 168; p.411-430, 2005.