

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS RAIOS CÓSMICOS GALÁCTICOS EM DADOS DE TEMPERATURA MÉDIA ANUAL REGISTRADOS NO LITORAL DO RIO GRANDE DO SUL: RESULTADOS PRELIMINARES

F. Antonelli^{1*}, E. Frigo²

¹ Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, Brasil.

*e-mail: francescoantonelli.geof@gmail.com

ABSTRACT

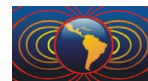
The goal of this work is to investigate the influence of galactic cosmic rays (GCR) and the solar activity on the annual average temperature variability registered in three weather stations, covering the period between 1931 and 2014 along the coast of the Rio Grande do Sul (RS) state. The study region was chosen considering the low intensity of geomagnetic field resulting of the influence of the South Atlantic Magnetic Anomaly (SAMA) during the last century, which can make possible effects associated to the GCR more significant in this region. Besides de geomagnetic field, GCR are modulated by Sun's magnetic field, more specifically by solar activity/magnetic cycles of ~11 and ~22 years. As a result of solar and geomagnetic modulation, regions with low geomagnetic field intensity are characterized by high GCR fluxes which, as a consequence of solar modulation, show decadal periodic variations similar to solar cycle periodicities. Results of classical spectral analysis using the Análise por Regressão Iterativa de Séries Temporais (ARIST) method revealed the presence of typical signs of the GCR variability on climatic data. These results are an indirect indication that the GCR may have been responsible for a portion of annual average temperature variability in the coast of RS in the last century and, in a large time scale, may be responsible for changes in the Earth's climate.

Keywords: Climatic change, solar activity, galactic cosmic rays, South Atlantic magnetic anomaly, average annual temperatures.

RESUMO

Este trabalho investiga a influência dos raios cósmicos galácticos (do inglês, galactic cosmic rays - GCR) e da atividade solar sobre a variabilidade da temperatura média anual, registrada em três estações meteorológicas localizadas nas proximidades do litoral do estado do Rio Grande do Sul, no período entre 1931 e 2014. A região de estudo foi escolhida considerando que a mesma apresenta baixa intensidade de campo geomagnético em decorrência da influência da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (South Atlantic Magnetic Anomaly - SAMA) durante o último século, o que pode tornar possíveis efeitos associados aos GCR mais significativos na região. Além do campo geomagnético, os GCR são modulados pelo campo magnético do Sol, mais especificamente pelos ciclos de atividade solar de aproximadamente 11 anos e pelo ciclo magnético solar de 22 anos. Como consequência das modulações solar e geomagnética, regiões com campo geomagnético menos intenso são caracterizadas por um maior fluxo de GCR que, por sua vez, em decorrência da modulação solar apresentam variações periódicas decadais similares às periodicidades dos ciclos solares. Resultados de análise espectral clássica utilizando o método de Análise por Regressão Iterativa de Séries Temporais (ARIST) revelaram a presença de sinais típicos da variabilidade dos GCR nos dados climáticos. Estes resultados são uma indicação indireta de que os GCR podem ter sido responsáveis por uma parcela das variações de temperatura média anual na região litorânea do RS no último século e, em grande escala de tempo, ser responsável por mudanças no clima terrestre.

Palavras Chave: Mudanças climáticas, Atividade Solar, Raios cósmicos galácticos, Anomalia Magnética do Atlântico Sul, temperatura média anual.



1. Introdução

A procura de explicações para as mudanças climáticas observadas no último século tem despertado o interesse não só da comunidade científica, mas também da população. A principal razão disso deve-se à necessidade de entender a relação entre os efeitos causados por processos naturais e antrópicos com a variação do clima. Autores como Dickinson (1975) e Svensmark & Friis-Christensen (1997) sugerem que uma parcela da contribuição para a variação do clima esteja associada aos forçantes climáticos naturais com origem externa à Terra.

Um dos fenômenos responsáveis por essas variações estaria relacionado com o fluxo de GCR na atmosfera. Os GCR são predominantemente partículas eletricamente positivas provenientes de fora do sistema solar, e sua intensidade detectada na Terra é dependente da modulação devida aos campos magnéticos da Terra (CMT) e do Sol. A modulação terrestre se dá principalmente em razão da intensidade e da direção do CMT. A modulação solar é devida às variações de intensidade e polaridade magnética durante os ciclos solares. Em escala de tempo anual a multidecadal, a modulação solar se deve principalmente aos ciclos de ~ 11 e ~ 22 anos, que podem ser descritos em função do número de manchas solares observadas na superfície solar. Períodos de baixa intensidade magnética solar são associados a períodos com grande penetração de GCR na atmosfera terrestre.

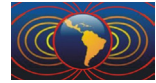
De acordo com o mecanismo sugerido por Svensmark & Friis-Christensen (1997) e Svensmark (2007), esta maior entrada de GCR estaria relacionada com uma maior cobertura de nuvens baixas, o que poderia implicar na diminuição da temperatura da superfície da Terra. Considerando que uma série de fatores controlam as variações espaciais e temporais do fluxo de GCR, diferentes efeitos climáticos podem ser esperados em diferentes localidades na superfície terrestre assim como em diferentes épocas (Frigo, 2013). Entre os vários parâmetros de atividade solar que tem alta correlação com os RCG estão o número de manchas solares (SSN), fluxo solar (SF), erupções solares agrupadas (GSF), índice de explosão solar (SFI) e índice coronal (CI) (Gupta, 2005). Apesar de a energia ser desprezível em comparação com a irradiância solar, os GCR continuam sendo a principal fonte de ionização na baixa e média atmosfera, em altitudes entre 55 a 60 km, tornando-os possíveis mediadores de mecanismos físico-químicos ligando a variabilidade solar ao clima terrestre (Bazilevskaya, 2000).

Neste trabalho é investigada a possível presença de sinais característicos da variabilidade solar e dos GCR, em dados de temperatura média anual registrados em três estações meteorológicas localizadas nas proximidades do litoral do Estado do Rio Grande do Sul, no período entre 1931 e 2014.

2. Área de estudo, dados utilizados e métodos de análise

Este estudo concentra-se na região litorânea do Estado do Rio Grande do Sul, que vem sendo influenciada pela SAMA por mais de um século. O centro da SAMA é o ponto de menor intensidade do campo magnético terrestre em toda a superfície da Terra. Os registros históricos indicam que a posição da SAMA varia ao longo do tempo, com mudanças em sua tendência de trajetória. Atualmente ela ocupa parte do oceano Atlântico Sul e do continente Sul-Americano, com sentido de deriva para oeste e velocidade de deslocamento de $0,18^\circ$ por ano (Hartmann, 2005). Esta anomalia permite um alto fluxo de partículas cósmicas em sua região de influência, facilitando a entrada dos RCG na atmosfera do nosso planeta.

Estudos publicados por König *et al.* (1978) e Smart & Shea (2009) mostram que a rigidez magnética de corte vertical, que indica a energia mínima que uma partícula eletricamente carregada deve possuir para penetrar a barreira imposta pelo campo geomagnético, vem diminuindo ao longo do último século como efeito das variações geomagnéticas. Devido a estes condicionantes e à alta influência do fenômeno SAMA próximo das estações estudadas espera-se uma maior manifestação dos ciclos solares de 11 e 22 anos, associados aos GCR, nos registros climáticos.



Os dados climáticos utilizados neste trabalho compreendem registros da temperatura média anual (T_{med}) correspondentes ao período 1931-2014, obtidos nas três estações meteorológicas investigadas: Torres (TOR), Porto Alegre (POA) e Santa Vitória do Palmar (SVP). Os valores de T_{med} foram obtidos a partir da diferença entre os valores de temperaturas máximas (T_{max}) e mínimas (T_{min}) dividida por dois.

Visando comparar as periodicidades obtidas nos dados climáticos com as periodicidades características da atividade solar/GCR, também são utilizadas as séries temporais do número de manchas solares (R_z) e do ciclo solar duplo (R_z22). A série temporal do número de manchas solares (Figura 2, painel superior), apresentada em termos de R_z (Hoyt e Schatten, 1997), foi obtida no site (<http://sidc.oma.be/>). Os dados de R_z podem ser utilizados como um indicador da componente periódica de 11 anos observada nos dados dos GCR. A série temporal de contagem de nêutrons (Fig. 2, painel intermediário), indicador da variabilidade dos GCR, está disponível para o período de 1953 a 2006 no site da Universidade de New Hampshire, onde neste conjunto de dados, a transição dos ciclos solares ímpares para os ciclos pares pode ser notada com a forma triangular e, a transição dos ciclos solares pares para os ímpares é característica com uma forma quadrada. O ciclo de Hale (Fig. 1, painel inferior) trata-se do número de manchas solares multiplicado por -1 em ciclos ímpares, representado como R_z22 . Este último pode ser utilizado como um indicador da componente periódica de 22 anos observada nos dados dos GCR.

Com o objetivo de identificar variações periódicas nas séries temporais, foi utilizado o método de análise espectral clássica Análise por Regressão Iterativa de Séries Temporais (ARIST), que utiliza um ajuste de mínimos quadrados para determinar periodicidades em séries temporais, sem a necessidade de linearização prévia e com alto nível de confiança do ponto de vista estatístico (Rigozo & Nordemann, 1998). O ARIST busca três parâmetros desconhecidos, a amplitude a_0 , frequência angular a_1 e fase a_2 , objetivando minimizar o quadrado da chamada função condicional a cada iteração. A função condicional é a diferença entre os dados experimentais e o ajuste de uma função senoidal a estes dados em um instante de tempo k , como:

$$F_k = Y_k - a_0 \sin(a_1 t_k + a_2) F_k = Y_k - a_0 \sin(a_1 t_k + a_2).$$

Este método investiga todo o espectro de frequências das séries, respeitando os critérios da frequência de Nyquist. Através dele é possível determinar o desvio padrão de todos os parâmetros, fato que permite encontrar as periodicidades mais importantes dentro do sinal com uma confiança estatística de 95%, através da razão da amplitude e seu desvio padrão.

3. Resultados

Os resultados obtidos a partir da análise ARIST estão apresentados graficamente na Figura 3. Verifica-se que os resultados são similares para as diferentes estações, o que pode ser justificado pela relativa proximidade entre as estações meteorológicas. O fato das três estações estarem distribuídas geograficamente entre o Oceano Atlântico e a Lagoa dos Patos pode explicar os baixos valores de amplitude térmica observados, uma vez que regiões que possuem corpos de água extensos implicam variações térmicas mais suaves.

Os sinais associados aos eventos El Niño-Oscilação Sul (do inglês, El Niño - Southern Oscillation), com periodicidades entre características entre 2 e 7 anos) são predominantes e estão presentes em todas as séries. Além destas, são detectadas periodicidades características do ciclo de Schwabe (~11 anos), cuja maior influência deste ciclo é detectada nos dados de SVP. Os ciclos de Hale (~22 anos) foram detectados, associadas a amplitudes relativamente baixas, nos dados de amplitude de TOR e POA e, não foram detectados nos dados da estação de SVP.

Também, foram detectadas periodicidades associadas a frequências mais curtas, como os ciclos de Gleissberg (~78 anos) e o quarto harmônico do ciclo de Suess (~55 anos) foram detectados com amplitudes altas nas séries T_{med} de POA e SVP.

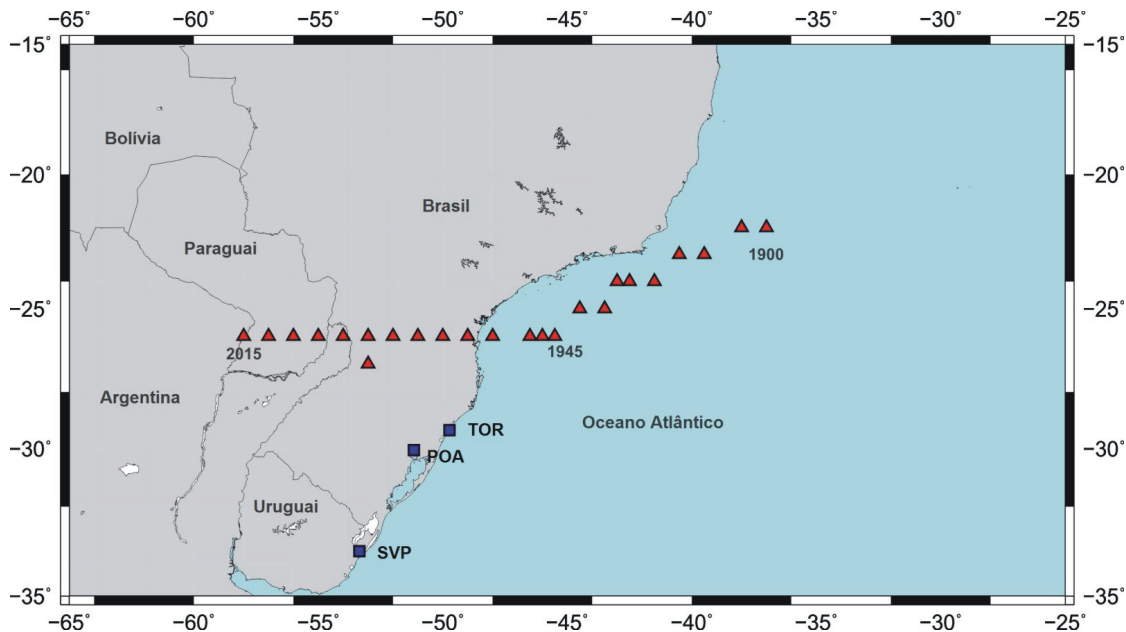
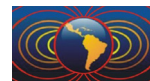


Figura 1. Mapa da região de estudo indicando as posições das estações meteorológicas (quadrados azuis) e as posições do centro da SAMA calculadas a partir do modelo IGRF a cada cinco anos (triângulos vermelhos).

4. Conclusão

Os resultados obtidos no presente trabalho consistem de um indicio matemático indireto e corroboram com a teoria de que a variabilidade dos GCR, caracterizadas pelas periodicidades próximas de 11 e 22 anos, podem influenciar a variabilidade de temperatura média na região influenciada pela SAMA. Além disso, considerando o comprimento das séries temporais utilizadas, de mais de oitenta anos, podem estar influenciando o clima do litoral do RS por um longo período.

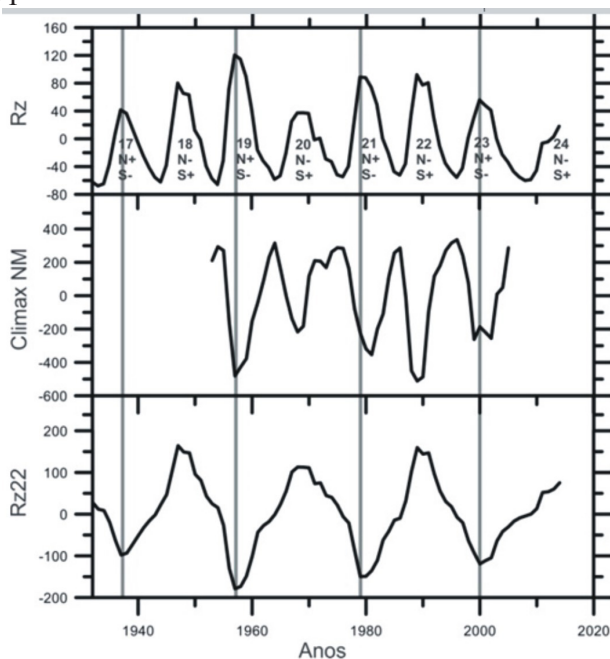
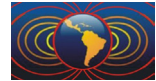


Figura 2. Séries temporais de Rz (painel superior), contagem de nêutrons registrada no Observatório Climax (painel intermediário) e, série de Rz22 (painel inferior).



Novas pesquisas estão sendo realizadas nestas mesmas estações com base em dados de T_{min}, T_{max} e amplitude térmica, visando melhorar o entendimento acerca da possível influência dos GCR sobre o clima na região influenciada pela SAMA.

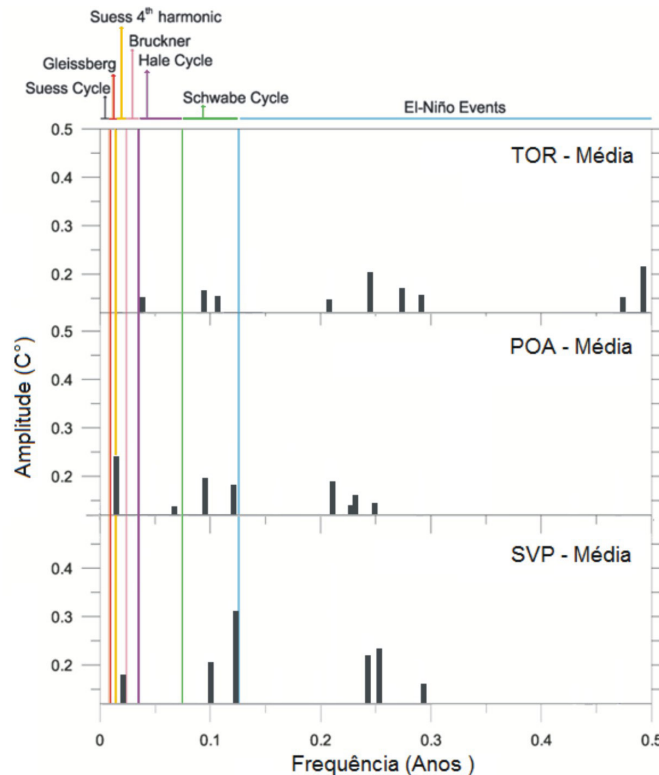


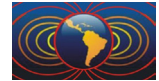
Figura 3. Periodicidades estatisticamente significativas, considerando o limite de confiança de 95%, calculadas a partir da análise espectral ARIST.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Meteorologia pela disponibilização dos dados meteorológicos das estações TOR, POA e SVP.

6. Referências

- Brasilevskaya G. A., 2000. Observation of variability in cosmic rays. *Space Science Reviews*, 94, Issue 1-2, 25-38.
- Dickinson R. E., 1975. Solar variability and the lower atmosphere. *American Meteorological Society Journals*, 56, 1240-1248.
- Frigo E., 2013. Variações geomagnéticas, heliomagnéticas e do fluxo de raios cósmicos galácticos: possíveis consequências climáticas na região da América do Sul. Universidade de São Paulo, SP, 142 pp.
- Frigo E., Pacca, I. G., Pereira-Filho, A. J., Rampelotto, P. H., Rigozo, N. R., 2013. Evidence for cosmic ray modulation in temperature records from the South Atlantic Magnetic Anomaly region. *Ann. Geophys.*, 31, 1833-1841.
- Gupta M., Mishra V. K., Mishra A. P., 2005. Correlative study of solar activity and cosmic ray intensity for solar cycles 20 to 23, 29th International Cosmic Ray Conference, 2, 147-150, Pune, India, 03-10 August 2005.
- Hartmann G. A., 2005. A Anomalia Magnética do Atlântico Sul: causas e efeitos. Dissertação de Mestrado.



Dep. De Geofísica do IAG/USP. 153 p.

Hoyt D.V., Schatten K.H., 1997. *The role of the sun in climate change*, Oxford University Press, New York, 288 pp.

König P.J., Walt A. J. V. D., Stoker P.H., Raubenheimer B.C., Shea M.A., Smart D.F., 1978. Vertical cutoff rigidity and the intensity distribution of cosmic rays near Cape Town, in: *International Cosmic Ray Conference*, 15th, Plovdiv, Bulgaria, 13– 26 August 1977.

Svensmark H., Friis-Christensen E., 1997. Variation of Cosmic Ray Flux and Global Cloud Coverage - a Missing Link in Solar-Climate relationships. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, 59, 1225-1232.

Rigozo N. R., Nordemann D. J. R., 1998. Iterative Regression Analysis of Periodicities in Geophysical Record Time Series, *Rev. Bras. De Geofísica, RJ*, 16, 149-158.

Smart D.F., Shea M.A., 2009. Fifty years of progress in geomagnetic cutoff rigidity determinations, *Adv. Space Res.*, 44, 10, 1107–1123.