

Avaliação da possível influência de forçantes geofísicos sobre a variabilidade da temperatura na região litorânea do Rio Grande do Sul no último século: resultados preliminares

Francesco Antonelli (UNIPAMPA)*, Éverton Frigo (UNIPAMPA)

Copyright 2016, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no VII Simpósio Brasileiro de Geofísica, Ouro Preto, 25 a 27 de outubro de 2016. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do VII SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

Resumo

The goal of this work is to investigate the influence of galactic cosmic rays (GCR) and the solar activity in the temperature variability series registered on the coast of the Rio Grande do Sul (RS) state between 1931 and 2014 by extrating solar activity/magnetic cycles of ~11 and ~22 years from the data. The study area was chosen considering the lower 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. The results are an indirect indication that the GCR may have been responsible by a portion of annual temperature variation on the seashore of RS in the last century and, for large time scale, by changes in the Earth's climate.

Introdução

A procura de explicações para as mudanças climáticas observadas nas últimas décadas 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 Raios cósmicos galácticos (*Galactic Cosmic Rays - GCR*) na atmosfera.

Os GCR são partículas eletricamente positivas provenientes do espaço e sua intensidade detectada na Terra depende da modulação dos campos magnéticos do Sol (CMS) e da Terra (CMT). A modulação solar é devida às variações de intensidade e polaridade magnética durante seus ciclos. 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 observadas na superfície do Sol. Períodos de baixa intensidade magnética solar são associados a períodos com grande penetração de GCR na atmosfera terrestre. Já a modulação magnética terrestre é dependente da intensidade e direção do campo geomagnético. Em locais onde o CMT é anormalmente pouco intenso, como é o

caso da região da SAMA, ou é predominantemente vertical, como nas regiões polares, a entrada de GCR até a baixa atmosfera é facilitada (Frigo, 2013).

Segundo o mecanismo sugerido por Svensmark & Friis-Christensen (1997) e Svensmark (2007), esse acréscimo na entrada de GCR estaria relacionado com uma maior cobertura de nuvens baixas, o que poderia implicar uma diminuição da temperatura da superfície da Terra. Os GCR possuem energia desprezível (10^{-9} W/cm²) em comparação com a energia envolvida nos processos atmosféricos relacionados ao clima, porém continuam sendo a principal fonte de ionização em altitudes entre 55 e 60 km, tornando-os possíveis mediadores de mecanismos físico-químicos, ligando a variabilidade solar ao clima terrestre (Brazilevskaya, 2000).

Neste trabalho é investigada a possível presença de sinais característicos dos ciclos solares e dos GCR em dados climáticos. Estes dados compreendem registros de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) de três estações meteorológicas localizadas nas cidades de Torres (TOR), Porto Alegre (POA) e Santa Vitória do Palmar (SVP) no período entre 1931 e 2014. Os dados foram obtidos no arquivo histórico do 8º Distrito do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), com sede em Porto Alegre.

Metodologia/ Problema Investigado

O estudo concentra-se na região litorânea do Estado do Rio Grande do Sul, local que vem sendo influenciado pela Anomalia Magnética do Atlântico Sul (SAMA) por mais de um século (Figura 1). O centro da SAMA é o

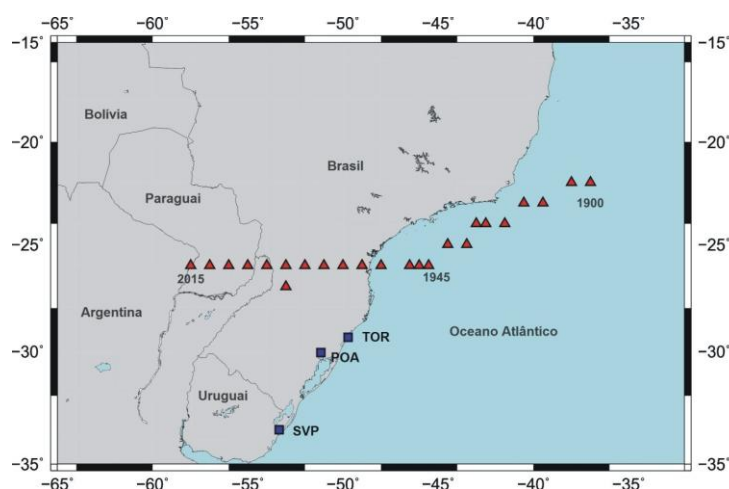


Figura 1 – Mapa de localização das estações meteorológicas e da trajetória do centro da SAMA.

ponto de menor intensidade do campo magnético em toda a superfície da Terra, atingindo valores inferiores a 25.000 nT. Os registros históricos indicam que a posição da SAMA varia ao longo do tempo e sofre 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). Essa anomalia permite um alto fluxo de partículas externas em sua região de influência, facilitando a entrada dos GCR na atmosfera do nosso planeta.

Estudos publicados por pesquisadores como 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, espera-se uma maior manifestação dos ciclos solares de 11 e 22 anos, associados aos GCR, nas séries investigadas.

Os dados sugeridos como forçantes climáticas relacionados com a atividade solar e fluxo de GCR são apresentados na Figura 2a-c. A série temporal do número de manchas solares (Fig. 2a), apresentada em termos de Rz (Hoyt e Schatten, 1997), foi obtida no site (<http://sidc.oma.be/>), enquanto a série temporal de contagem de nêutrons (Fig. 2b), indicador de GCR, está disponível para o período de 1953 a 2006 no site da

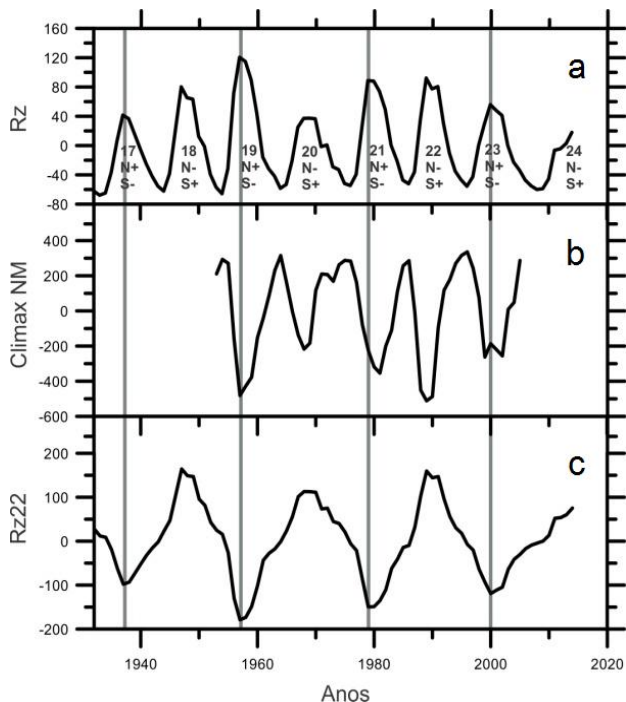


Figura 2 – Série temporal Rz (a), contagem de nêutrons no Observatório Climax (b) e série temporal Rz22 (c). As bandas sombreadas indicam os máximos dos ciclos solares ímpares.

Universidade de New Hampshire. O ciclo de Hale (Fig. 2c) trata-se do número de manchas solares multiplicado por -1 em ciclos ímpares, representado como Rz22.

Resultados

Assim como na Figura 2, bandas sombreadas foram adicionadas nas séries dos dados brutos (Figuras 3 e 4) para facilitar a localização dos mínimos de Rz22, que estão associadas a eventos de máxima temperatura média anual, conforme sugerido por Frigo et al. (2013). Essas eventos são coincidentes com os períodos de máxima atividade solar dentro dos ciclos ímpares de inversão do CMS, nos anos de 1937, 1957, 1979 e 2000, sugerindo a modulação climática pelos GCR/atividade solar para periodicidades de ~ 22 anos (Lima et al., 2015).

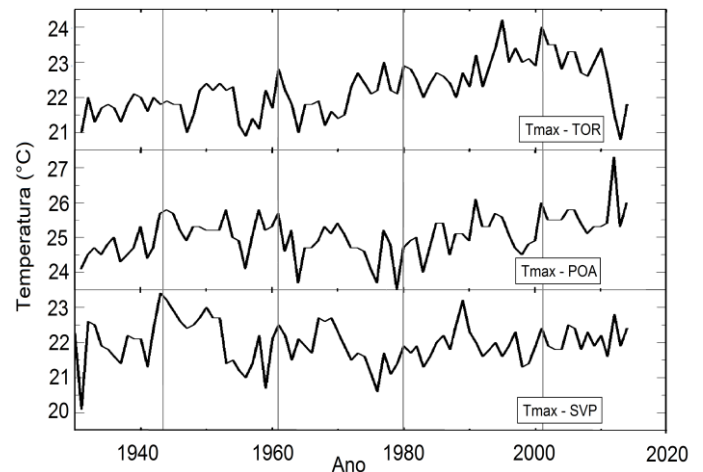


Figura 3 – Séries temporais de Tmax das cidades de TOR, POA e SVP sem correção de tendência. As linhas cinzas representam os ciclos magnéticos solares, coincidentes aos picos de máxima T nas séries.

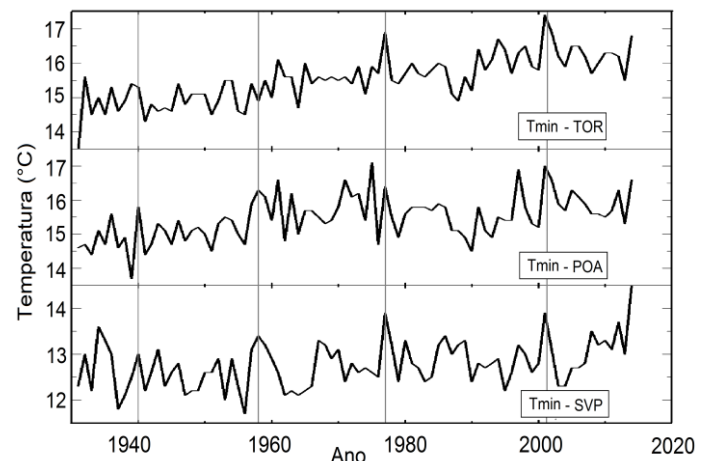


Figura 4 – Séries temporais de Tmin das cidades de TOR, POA e SVP sem correção de tendência. As linhas cinzas representam os ciclos magnéticos solares, coincidentes aos picos de máxima T nas séries.

Com a finalidade de identificar variações cíclicas nos dados de Tmax e Tmin, foi escolhido utilizar o método clássico de avaliação espectral chamado de 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 (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 .

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

Respeitando o Teorema de Amostragem, este método analisa todo o espectro de frequências das séries com uma confiança estatística de 95%. Com ele é possível determinar o desvio padrão de todos os parâmetros, possibilitando encontrar os períodos mais importantes através da razão da amplitude e de seu desvio padrão.

Os resultados espectrais do ARIST referente às séries de Tmax e Tmin são mostrados nas Figuras 5 e 6.

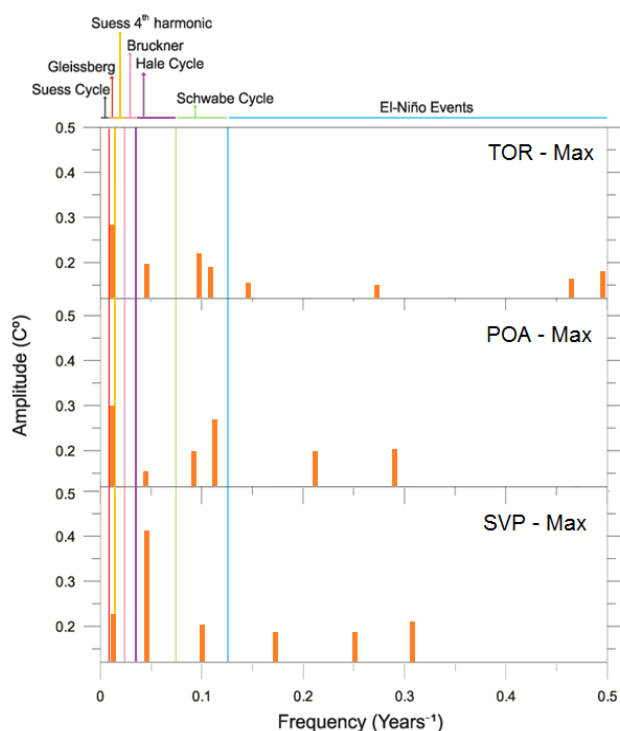


Figura 5 – Espectro de amplitude das séries temporais de temperatura máxima de TOR, POA e SVP sobre uma confiança de 95%.

Notamos semelhanças entre as séries, principalmente entre os dados de Tmax, justificadas devido à proximidade entre as estações meteorológicas. O fato das três estações estarem distribuídas geograficamente

entre corpos de água muito extensos, como o Oceano Atlântico e a Lagoa dos Patos, pode explicar os baixos valores de amplitude observados, uma vez que regiões costeiras e/ou próxima a grandes lagos implicam variações térmicas mais suaves.

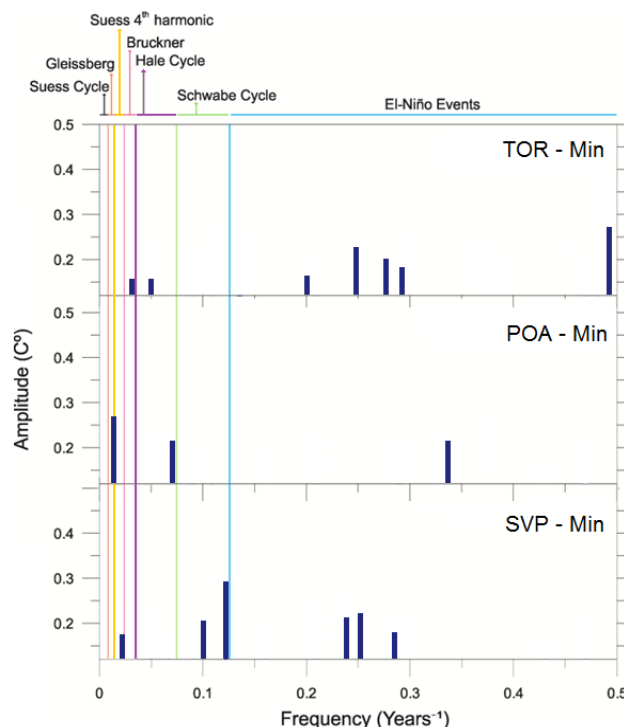


Figura 6 – Espectro de amplitude das séries temporais de temperatura mínima de TOR, POA e SVP sobre uma confiança de 95%.

Entretanto, nas séries de Tmax (Figura 5) presenciamos altos valores em periodicidades mais longas, principalmente para o intervalo que pode ser associado ao Ciclo solar de Gleissberg (~85 anos) e para o ciclo de Hale (18 a 26 anos), presentes em todas as séries de máxima temperatura, cuja maior manifestação deste último ciclo foi visto nos dados de SVP. O ciclo de Schwabe, referente às atividades solares de intervalos próximos a 11 anos, também é presenciado com grande influência em todos os dados deste tipo. Os períodos mais curtos, entre 2 e 7 anos, relacionados aos eventos La Niña e El Niño (ENSO), aparecem nas três séries de Tmax sem grandes amplitudes.

Analisando a Figura 6, é possível notar uma menor influência dos ciclos solares, cuja manifestação discreta do ciclo de Hale (~22 anos) ocorre em TOR e um pouco mais acentuada em POA. O ciclo de ~11 anos é visto apenas em SVP, porém com alta relevância espectral. Diferentemente de Tmax, os sinais de comprimentos de ondas maiores nas séries de Tmin sugerem estar relacionados aos Ciclos de Bruckner (~33 anos) em TOR e o quarto Harmônico de Suess em SVP. Além destas, é vista uma periodicidade de ~60 anos que pode estar associada ao Ciclo de Suess e/ou à Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA) nos dados de POA.

Enquanto isso, as periodicidades de alta frequência (menores do que 22 anos), referentes ao *ENSO* continuam presentes em todas as séries investigadas.

Discussão e Conclusões

Periodicidades possivelmente associadas ao fenômeno *ENSO* estão presentes em todas as séries temporais analisadas, apresentando maiores amplitudes nos dados de T_{min}, resposta coincidente com as séries de T_{min} para as estações de URU, SMA e POA apresentadas por Lima et al. (2015).

A maior manifestação de sinais ligados aos ciclos AS/CMS, cuja entrada de GCR estaria associada e que consiste nos principais ciclos de interesse para o estudo, ocorreram nos dados de T_{max}. Sinais dos ciclos de ~11 anos estiveram presentes em todas as estações desse conjunto, principalmente em TOR e POA cujo sinal foi detectado duas vezes. O ciclo de ~22 foi detectado em todos os dados de T_{max}, com destaque para SVP que, apesar de estar localizado mais distante do centro da SAMA, surpreendentemente foi a estação que mais pode ter sofrido influência da atividade solar e dos efeitos causados pela entrada dos GCR. O mesmo ocorreu na série de T_{min}, pois SVP foi a única estação a registrar ciclos de ~11 anos neste conjunto de dados.

O aparecimento dos ciclos de ~22 anos nas três estações dá sustento aos resultados por Souza Echer et al. (2008), Rampelotto et al. (2012), e Frigo et al. (2013), que também tiveram o Ciclo de Hale presente em todas as estações investigadas em suas pesquisas.

Para finalizar, a variabilidade dos GCR, caracterizadas pelas periodicidades próximas de 11 e 22 anos, podem ter tido influência significativa sobre a variabilidade de T_{max} e T_{min} na região influenciada pela SAMA.

Concluimos também que os resultados obtidos no presente trabalho consistem de um indício matemático indireto, visando auxiliar na melhor compreensão da possível relação entre a variabilidade dos GCR e as mudanças climáticas, na área influenciada pela SAMA. Contudo, ainda não foi possível inferir alguma relação clara entre a posição do centro da SAMA com as amplitudes de temperatura levantadas neste trabalho.

A próxima etapa deste estudo será investigar a coerência espectral baseada na transformada de ondaletas, o que permitirá entender o comportamento de determinadas periodicidades com o passar do tempo.

Agradecimentos

Agradecemos ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pelo fornecimento dos dados de temperatura das estações meteorológicas e também à National Science Foundation (Grant ATM-0339527) por disponibilizar os dados de contagem de nêutrons.

Referências

- Brasilevskaya, G. A. Observation of variability in cosmic rays. *Space Science Reviews*. Vol. 94, Issue 1-2, p. 25-38, 2000.
- Dickinson, R.E., 1975. Solar variability and the lower atmosphere. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 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. Tese de Doutorado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, 142 p.
- 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.
- Lima, P. C. M., Pacca, I. G., Razeira, M., Rigozo, N. R. Avaliação da possível influência de forçantes geofísicos sobre a variabilidade da temperatura na latitude ~30°S no estado do Rio Grande do Sul no último século. XV Congresso Internacional de Geofísica SBGF, Rio de Janeiro, 03-07 Agosto 2015.
- Rampelotto, P. H., Rigozo, N. R., da Rosa, M. B., Prestes, A., Frigo, E., Souza Echer, M. P., and Nordemann, D. J. R., 2012. Variability of Rainfall and Temperature (1912–2008) from Santa Maria (29_41' S, 53_48' W) and its Connection with Natural Influences. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, 77, 152-160.
- Rigozo, N. R. and Nordemann, D. J. R., 1998. Iterative Regression Analysis of Periodicities in Geophysical Record Time Series. *Rev. Bras. Geofis.*, 16, 149-158.
- Smart, D. F. and Shea M. A., 2009. Fifty years of progress in geomagnetic cutoff rigidity determinations. *Adv. Space Res.*, 44, 1107–1123.
- Souza Echer, M. P., Echer, E., Nordemann, D. J. R., Rigozo, N. R., and Prestes, A.: Wavelet analysis of a centennial (1895– 1994) southern Brazil rainfall series (Pelotas, 31_46'19" S 52_20'33" W), *Clim. Change*, 87, 489–497, 2008.
- Svensmark, H., 2007. Cosmoclimatology: a new theory emerges. *News Rev. Astron. Geophys.*, 48, 1.18-1.24.
- Svensmark, H., and 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.P