



**ANALISE DA INFLUÊNCIA DE FORÇANTES GEOFISICOS SOBRE O CAMPO
DE PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/INPE/CNPq)**

Giulia Ribeiro Herdies - Universidade Federal do Pampa (UNIPAMP),
Bolsista PIBIC/CNPq
E-mail: giuliaherdies@gmail.com

Simone Marilene da Costa Coelho - DSA/CPTEC/INPE, orientador
E-mail: simone.sievert@cptec.inpe.br

Éverton Frigo – Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), orientador
E-mail: evertonfrigo@unipampa.edu.br

Julho de 2018



**ANALISE DA INFLUÊNCIA DE FORÇANTES GEOFÍSICOS SOBRE O CAMPO
DE PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/INPE/CNPq)**

Giulia Ribeiro Herdies - Universidade Federal do Pampa (UNIPAMP),
Bolsista PIBIC/CNPq
E-mail: giuliaherdies@gmail.com

Simone Marilene da Costa Coelho - DSA/CPTEC/INPE, orientador
E-mail: simone.sievert@cptec.inpe.br

Éverton Frigo – Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), orientador
E-mail: evertonfrigo@unipampa.edu.br

Julho de 2018



Listas de Ilustrações

Figura 1 - Totais anuais de precipitação pluviométrica (mm) de Porto Alegre nos anos de 1916 a 2010.

Figura 2 - Totais anuais de precipitação pluviométrica (mm) de Rio Grande de 1910 a 2009.

Figura 3 - Totais anuais de precipitação pluviométrica (mm) de Santa Vitoria do Palmar nos anos de 1913 a 2009.

Figura 4 - Totais anuais de precipitação pluviométrica (mm) de Torres de 1946 a 2009.

Figura 5 - Totais de dias chuva dos anos de 1917 a 2010 em Porto Alegre.

Figura 6 - Totais de dias chuva dos anos de 1913 a 2009 em SVP.

Figura 7 - Totais de dias chuva dos anos de 1946 a 2009 em Torres.

Lista de Símbolos e Abreviaturas

Análise por Regressão Iterativa de Séries Temporais (ARIST)
Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS)
Atividade Solar (AS),
Campo Magnético Terrestre (CMT)
Centro Europeu de Previsão de Tempo de Médio Prazo (ECMWF)
Raios Cósmicos Galácticos (RCG)
Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).
Porto Alegre (POA)
Rio Grande (RGD)
Rio Grande do Sul (RS)
Santa Vitória do Palmar (SVP)
Torres (TOR)

Resumo

A economia do estado do Rio Grande do Sul (RS) é fortemente dependente do setor agropecuário. No entanto, este setor é significativamente afetado pelo clima, principalmente pela quantidade e distribuição da precipitação pluviométrica ao longo dos anos. Recentemente, muitos trabalhos científicos têm sugerido que forçantes geofísicos podem estar contribuindo, de forma direta ou indireta, para as variações climáticas observadas em diversas regiões do planeta. O principal indício matemático da modulação do clima a partir de forçantes geofísicos é a presença de periodicidades típicas da variabilidade solar em séries temporais de variáveis meteorológicas. Vários efeitos relacionados com a atividade solar são maximizados em regiões onde a intensidade do campo magnético terrestre é baixa, como é o caso da região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS) que cobre todo o RS. O objetivo deste trabalho é investigar a presença de sinais, associados à forçantes geofísicos, em dados de precipitação pluviométrica registrados em estações meteorológicas localizadas na região litorânea do RS. Os dados utilizados foram obtidos a partir dos relatórios mensais das estações de Torres (TOR), Porto Alegre (POA), Rio Grande (RGD) e Santa Vitória do Palmar (SVP), disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Estes relatórios, obtidos a partir de fotografias das páginas dos arquivos do INMET, contém dados desde o início do século XX. A metodologia utilizada consistiu da digitalização dos dados meteorológicos, cálculos dos totais anuais de precipitação pluviométrica e utilização do método de análise espectral clássica Análise por Regressão Iterativa de Séries Temporais (ARIST) com o objetivo de detectar variações periódicas relacionadas com forçantes geofísicos. Os resultados obtidos indicaram uma tendência de aumento do total anual de precipitação ao longo dos anos e a presença de periodicidades geralmente associadas ao El Niño - Oscilação Sul (2 a 7 anos) e aos ciclos solares de Schwabe (~11 anos) e de Hale (~22 anos).



SUMÁRIO	Pág.
1 INTRODUÇÃO	07
1.1 Objetivos	07
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	08
4 DADOS E MÉTODOS.....	09
4.1 Dados Utilizados	09
4.2 Métodos	09
5 RESULTADOS	11
6 CONCLUSÕES	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15



1. INTRODUÇÃO

A economia do estado do Rio Grande do Sul (RS) é fortemente dependente do setor agropecuário. No entanto, este setor é significativamente afetado pelo clima, principalmente pela quantidade e distribuição da precipitação pluviométrica ao longo dos anos. Uma das principais características do clima da região Sul, que o distingue das demais regiões do Brasil, está associado a uma maior regularidade na distribuição das chuvas, e nas baixas temperaturas nos meses de inverno (junho/julho/agosto), onde a variabilidade da pluviométrica apresenta um comportamento regular durante todos os meses do ano e uma elevada variabilidade térmica, deixando evidente as mudanças de estações, principalmente inverno e verão.

Recentemente, muitos trabalhos científicos têm sugerido que forçantes geofísicos podem estar contribuindo, de forma direta ou indireta, para as variações climáticas observadas em diversas regiões do planeta. O principal indício matemático da modulação do clima a partir de forçantes geofísicos é a presença de periodicidades típicas da variabilidade solar em séries temporais de variáveis meteorológicas. Vários efeitos relacionados com a atividade solar são maximizados em regiões onde a intensidade do campo magnético terrestre é baixa, como é o caso da região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS) que cobre todo o RS.

1.1 Objetivos

Objetivo deste trabalho trata-se de investigar a frequência de sinais, relacionados a forçantes geofísicos, como variabilidade solar, campo geomagnético e raios cósmicos galácticos, sobre dados dos totais anuais de precipitação pluviométrica registrada em quatro estações meteorológicas localizadas na região litorânea do estado do Rio Grande do Sul.



2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Durante os últimos anos as variações climáticas observadas na Terra têm sido predominantemente associadas a ação antrópica. Por outro lado, alguns pesquisadores têm encontrado indícios de que forçantes naturais possam estar modulando o clima e o meio ambiente mesmo durante o último século. Entre estes forçantes, destacam-se os forçantes geofísicos atividade solar (AS), o fluxo de raios cósmicos galácticos (RCG) e ao campo magnético terrestre (CMT). Uma característica interessante da AS, RCG e CMT, além de estarem diretamente ou indiretamente relacionados, é que os mesmos apresentam variabilidade espacial e variabilidade temporal em diferentes escalas de tempo (Dickinson, 1975; Svensmark & Friis-Christensen, 1997; Frigo, 2013; Svensmark, 2015). Resultados de estudos anteriores utilizando dados meteorológicos registrados no estado do Rio Grande do Sul no último século, realizados por Souza Echer et al. (2008), Rampelotto et al. (2012) e Frigo et al. (2013), são favoráveis a relação entre os forçantes geofísicos e as variações climáticas.

A região da América do Sul apresenta uma influência direta da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS), funcionando como uma janela para a entrada dos RCG na atmosfera terrestre, com os menores valores de CMT na superfície terrestre para faixas da mesma latitude. O estado do RS se encontra na área de influência da AMAS, e considerando que o estado tem uma grande parte de sua economia relacionada com a agricultura e pecuária, ambas culturas com grande dependência das condições climáticas, torna-se importante a investigação da influência dos campos geofísicos no clima do estado.

3. DADOS E MÉTODOS

Nesta seção estão apresentados os materiais que foram necessários e os métodos para a realização eficaz da análise proposta.

3.1 Dados Utilizados

Inicialmente foi realizado um levantamento de dados disponíveis de precipitação, dados em fotografias retiradas de arquivos do Instituto Nacional de Meteorologia, que contém informações desde o século vinte. Esses dados disponibilizados pelos mesmos, são pertinentes aos relatórios mensais das estações de Porto Alegre, Rio Grande, Santa Vitória do Palmar e Torres. O período dos dados compreende os anos de 1910-2010, sendo que este período varia de acordo com a as estações pluviométricas utilizadas.

3.2 Métodos

Para a análise da influência de forçantes geofísicos sobre a variação de precipitação no estado do Rio Grande do Sul (RS) foram utilizados os dados de 4 estações pluviométricas distribuídas pelo estado do RS, as quais tem seus registros desde 1912 até 2016, sendo que uma grande parte destes dados ainda estavam registrados em papel nos arquivos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As estações utilizadas foram Torres, Porto Alegre, Rio Grande e Santa Vitória do Palmar. Também serão utilizados os dados das reanálises do Centro Europeu de Previsão de Tempo de Médio Prazo (ECMWF) do ERA-20C, de 1900-2010. Os forçantes geofísicos utilizados neste trabalho estarão associados a variação da atividade solar (AS), o fluxo de raios cósmicos galácticos (RCG) e o campo magnético terrestre (CMT). Neste trabalho foi realizada a digitalização dos dados históricos de precipitação das estações utilizadas neste trabalho. Foram digitalizados os valores totais mensais de precipitação pluviométrica, e em uma segunda fase do trabalho será dada continuidade a digitalização do número mensal de dias de chuva, do máximo de chuva ocorrido em 24 horas e o correspondente dia de ocorrência, como parte do cronograma do segundo ano de projeto. Após, será feito um controle de qualidade básico para verificar inconsistências no conjunto de dados.



Posteriormente, serão utilizadas metodologias clássicas como a análise espectral e de tendências, visando correlacionar estatisticamente as séries temporais de dados meteorológicos e de forçantes geofísicos.

As técnicas de análise espectral utilizadas serão a Análise de Regressão Iterativa de Séries Temporais – ARIST (Wolberg, 1967; Rigozo & Nordemann, 1998) e Wavelet Coherence - WTC (Torrence & Compo, 1998; Grinsted et. al, 1998).

4. RESULTADOS

As figuras abaixo apresentam os dos resultados obtidos após a digitalização dos dados observados e os cálculos feitos para os totais anuais de precipitação pluviométrica sem tendência das estações em Porto Alegre (figura 1), Rio Grande (figura 2), Santa Vitória do Palmar (figura 3) e Torres (figura 4), respectivamente. Na Fig. 1, para a estação de Porto Alegre, pode-se observar um leve aumento nos totais pluviométricos a partir da metade da década de 70'. Resultado similar pode ser observado na Fig. 4, para a localidade de Torres.

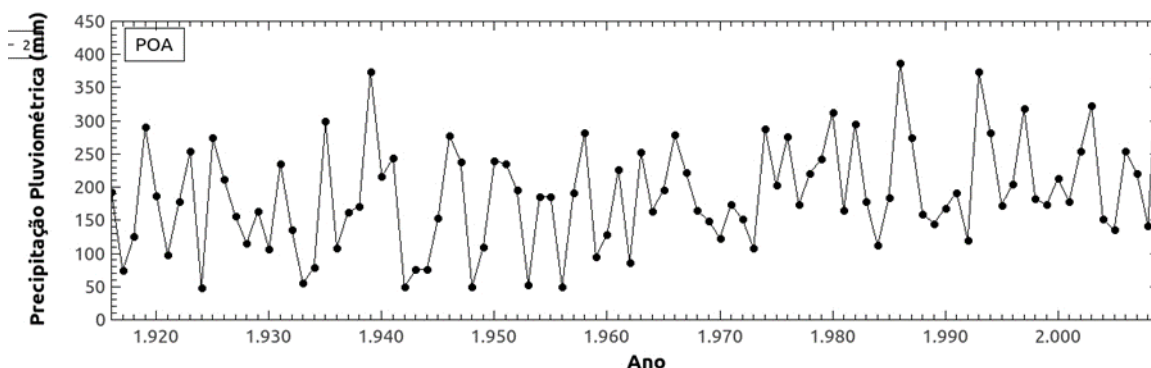


Figura 1: Totais anuais de precipitação pluviométrica (mm) de Porto Alegre nos anos de 1916 a 2010. Fonte: autora.

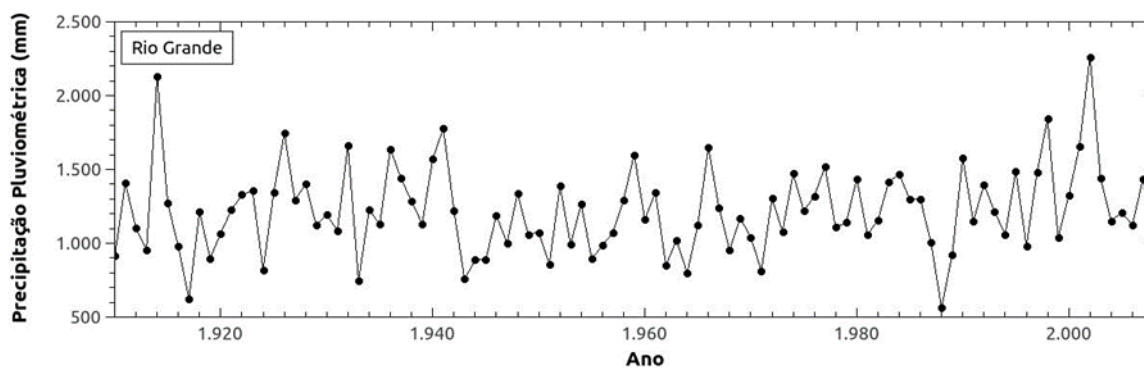


Figura 2: Totais anuais de precipitação pluviométrica (mm) de Rio Grande de 1910 a 2009. Fonte: autora

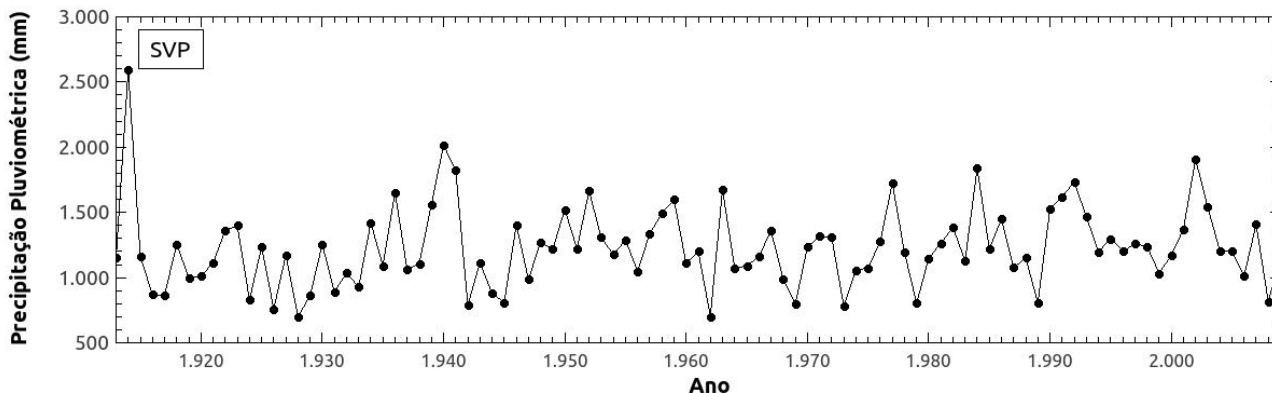


Figura 3: Totais anuais de precipitação pluviométrica (mm) de Santa Vitoria do Palmar nos anos de 1913 a 2009. Fonte: autora

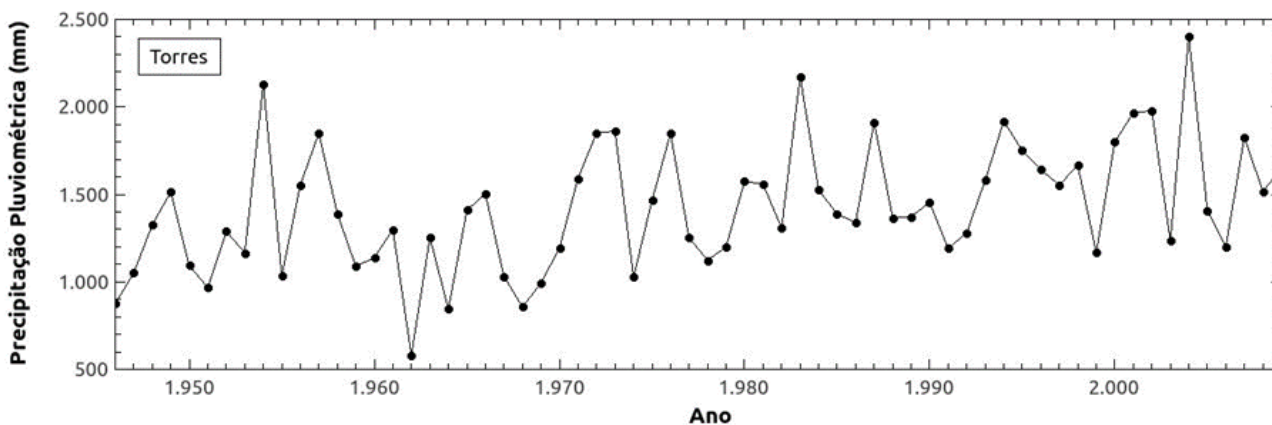


Figura 4: Totais anuais de precipitação pluviométrica (mm) de Torres de 1946 a 2009. Fonte: autora.

Sem retirar a tendência, o mesmo foi feito para os dados de totais de chuva para cada estação. Com a exceção de Rio Grande, visto que estavam em falta no banco de dados coletados. A seguir estão as figuras dos dados das respectivas estações, POA (figura 5), SVP (figura 6) e TOR (figura 7). Em todas as localidades pode se observar um aumento nos dias com chuva, sendo o mais expressivo para a localidade de Torres, mostrando que o aumento nos totais esteve relacionado ao aumento nos dias com chuva.

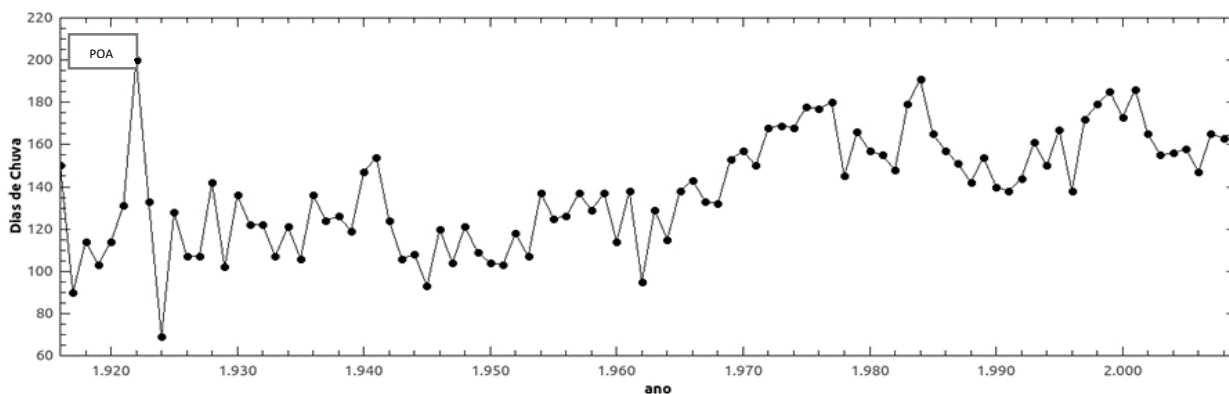


Figura 5: Totais de dias com chuva dos anos de 1917 a 2010 em Porto Alegre.

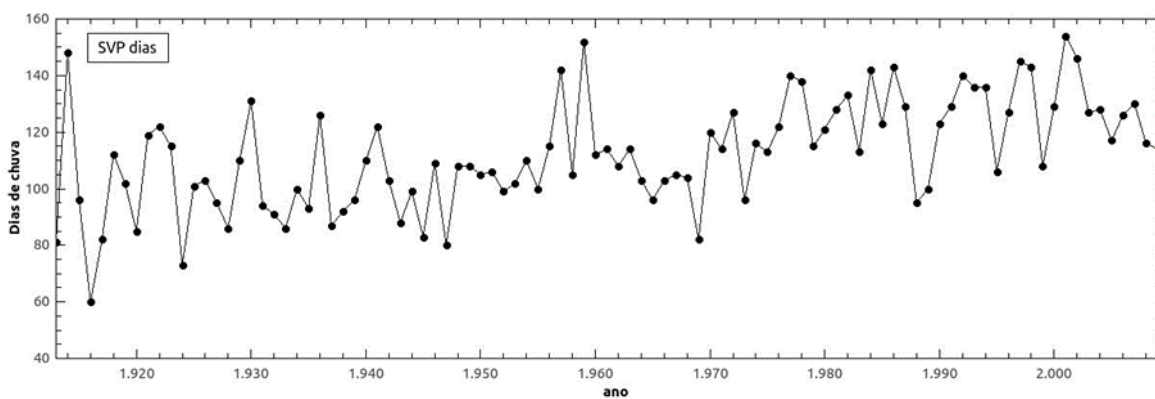


Figura 6: Totais de dias com chuva dos anos de 1913 a 2009 em SVP.

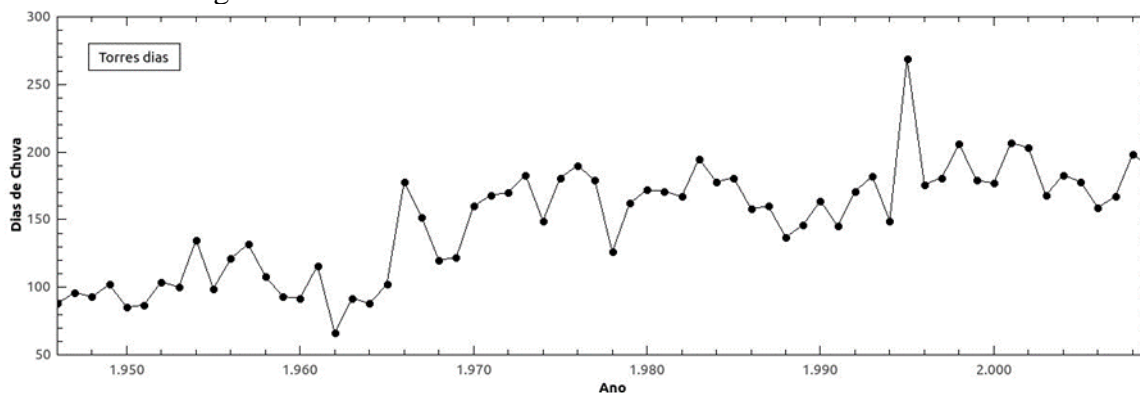


Figura 7: Totais de dias com chuva dos anos de 1946 a 2009 em Torres.



5. CONCLUSÕES

Os primeiros meses foram dedicados a leitura de livros de Introdução a Geofísica Espacial (Kirchhoff, Volker W. J. H., 1991) e Climatologia- Noções Básicas e Climas do Brasil (Francisco Mendonça, Inês Moresco Danni-Oliveira, 2007). Durante a revisão bibliográfica também foi realizada a digitalização de todos os dados meteorológicos obtidos pelo INMET. Conseqüentemente foram calculados os dados dos totais anuais de precipitação e totais de dias de chuva de cada estação. Com isto, foi produzido gráficos sem tendência relacionados aos cálculos obtidos de cada cidade analisada.

Os resultados obtidos indicaram uma tendência de aumento do total anual de precipitação ao longo dos anos e no total de chuvas, como pode ser visto nas imagens das figuras 5, 6 e 7, nas quais a tendência não foram retiradas. Foram vistas também a presença de periodicidades geralmente associadas ao El Niño - Oscilação Sul (2 a 7 anos) e aos ciclos solares de Schwabe (~11anos) e de Hale (~22 anos).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DICKINSON, R.E. Solar variability and the lower atmosphere. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, v. 56, p. 1240-1248, 1975.

FRIGO, Everton. Variações geomagnéticas, heliomagnéticas e do fluxo de raios cósmicos galácticos: possíveis consequências climáticas na região da América do Sul. Tese de Doutorado, 142p., Universidade de São Paulo, 2013.

FRIGO, Everton, PACCA, Igor G., PEREIRA FILHO, Augusto J., RAMPELLOTO, Pabulo H., RIGOZO, Nivaor R. Evidence for cosmic rays modulation in temperature records from the South Atlantic Magnetic Anomaly region. *Annales Geophysicae*, v. 31, p. 1833-1841, 2013.

GRINSTED, A., MOORE, J.C., JEVREJEVA, S. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear Processes in Geophysics*, V. 11, P. 561-566, 2004.

RAMPELOTTO, P.H., RIGOZO, N.R., DA ROSA, M.B., PRESTES, A., FRIGO, E., SOUZA ECHER, M.P., NORDEMANN, D.J.R., Variability of rainfall and temperature (1912-2008) parameters measured from Santa Maria (29°41'S, 53°48'W) and their connections with ENSO and solar activity. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, v. 77, p. 152-160, 2012.

SOUZA ECHER, M.P., ECHER, E., NORDEMANN, D.J.R., RIGOZO, N.R., PRESTES, A., 2008. Wavelet analysis of a centennial (1895-1994) southern Brazil rainfall series (Pelotas, 31°46'19"S 52°20'33"W). *Climatic Change*, 87, 489-497.

SVENSMARK H. Cosmic rays, clouds and climate. *Europhysics News*. 2015; doi: 10.1051/e pn/2015204.

SVENSMARK, H., FRIIS-CHRISTENSEN, E. Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage-a missing link in solar-climate relationships. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, V. 59, P.1225-1232, 1997.

TORRENCE, C., COMPO, G.P. A practical guide to wavelet analysis. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, v. 79, p. 61-78, 1998.

WOLBERG, J.R. Prediction Analysis. D. Van Nostrand Company. New Jersey, 291 p. 1967.