



# Atividade Solar nos Anéis de Crescimento de Árvores em Canela

Nivaor Rodolfo Rigozo e Daniel Jean Roger Nordemann

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brazil

## ABSTRACT

Tree ring studies are usually used to determine or verify climatic factors which prevail at a given place or region and may cause tree ring width variations. Few studies are dedicated to the geophysical phenomena which may underlie these tree ring width variations. Furthermore, it is known that some terrestrial phenomena suffer influence from short and long time scale solar variability. So, a study on solar activity records in tree rings at short time scales was developed. In order to determine a tree growth ring width mean chronology, an optical and computational method was set up and applied to tree samples (araucaria and pine trees) from Canela-RS, Brasil. Spectral analysis by maximum entropy method and iterative regression was applied to the search of periodicities related to solar activity phenomena. The results obtained have shown periodicities related to 11 yr and 22 yr solar cycle influence on tree growth rings.

## INTRODUÇÃO

Longas cronologias das variações da atividade solar têm sido reconstruídas a partir de uma variedade de fontes. Schrove (1955) usou registros históricos das observações das manchas solares e da atividade auroral para estimar as magnitudes e os anos em que ocorreram o máximo do número de manchas solares, desde o ano 300 D. C. Separadamente ao ciclo médio de 11 anos, ele identificou um ciclo de 78 anos (chamado ciclo de Gleissberg) na atividade das manchas solares, e um ciclo de 200 anos para a atividade auroral. Mudanças nos níveis de  $^{14}\text{C}$  atmosférico, também, têm sido relacionado as variações da atividade solar (Stuiver and Quay, 1980).

**Cronologias do índice da espessura do anel de árvore, também, tem sido usado como registro da variação do ciclo solar no passado. Os modelos, das variações da espessura dos anéis, geralmente indicam a presença de longos e curtos períodos na fase de crescimento. Em alguns casos um significativo ciclo de 11 anos é evidente, com um pequeno atraso de tempo com respeito ao ciclo solar (Douglass, 1928; Mori, 1981).**

Este trabalho apresenta alguns resultados da procura de periodicidades, pertencentes à atividade solar, em séries temporais de anéis de árvores para a região sul do Brasil. As medidas das espessuras dos anéis de árvores foram feitas por uma metodologia de estudo de baixo custo, toda ela computacional, que identifique e mede as espessuras dos anéis de árvores, através de imagens digitalizadas por um digitalizador de mesa, transformando-as em séries temporais. Para isso se desenvolveu um programa computacional interativo, no ambiente do Interactive Data Language (IDL).

As análises das séries temporais são feitas pelo método de máxima entropia, devido sua grande precisão em determinar as frequências, e pelo método de Análise por Regressão Iterativa de Séries Temporais – ARIST (Nordemann, 1992; Rigozo, 1994).

## DADOS

Foram obtidas 9 amostras de árvores em forma de disco. Sendo 5 amostras da espécie *Araucaria angustifolias*, 3 amostras da espécie *Pinus elliottii* e uma amostra de *Pinus taeda*, a fim de investigar a possibilidade da atividade solar induzir periodicidades nos anéis de crescimento das árvores de Canela - RS. As séries das espessuras dos anéis de crescimento, foram obtidas através das imagens digitalizadas dos seus anéis de crescimento de cada uma das amostras. Isso foi feito por uma metodologia digital desenvolvida por nós, denominada de Tratamento Interativo de Imagens dos Anéis de Árvores (TIIAA)(Rigozo, 1998). As medidas dos erros na determinação das espessuras dos anéis de crescimento são estimadas em torno de 1 a 2 pixel/anel. A cronologia determinada para a espessura média dos anéis de crescimento foi de 47 anos, que se estende de 1950 a 1997 d. C (Fig.1).

A obtenção da série temporal média dos anéis de crescimento é feita após a remoção das tendências de longo períodos, contidas nos anéis de crescimentos de cada amostra; logo após a remoção das tendências efetua-se a média entre as séries. Assim, obtem-se a série temporal representativa de Canela. Na remoção dessas tendências utilizou-se a subtração de uma função exponencial, nas 9 séries.

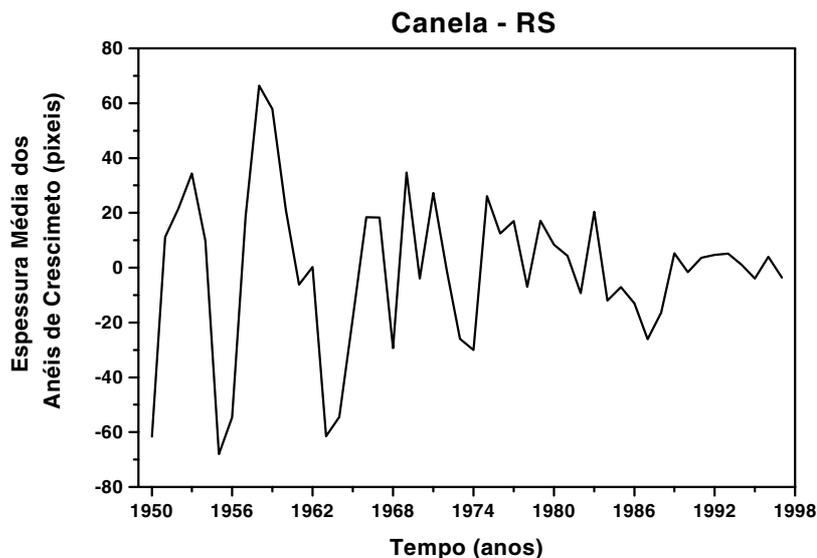


Fig. 1 – Cronologia das espessuras médias dos anéis de árvores, para Canela-RS.

#### ANÁLISE ESPECTRAL

Nesse estudo utilizou-se os métodos de análises espectrais da regressão iterativa e da máxima entropia na procura das periodicidades contidas nas séries dos anéis de crescimento de árvores. O método de Análise por Regressão Iterativa de Séries Temporais (ARIST) utiliza uma simples função senooidal com três parâmetros desconhecidos,  $a_0$  = amplitude,  $a_1$  = frequência angular e  $a_2$  = fase da função (Wolberg, 1967; Nordemann, 1992; Rigozo, 1994). O número iterações utilizado na determinação dos três parâmetros foi de 200. A vantagem deste método é que ele fornece o desvio padrão de cada um dos três parâmetro determinado. Isto permite uma seleção das amplitudes mais importantes, que apresentarem um valor maior da relação amplitude/desvio.

O método da máxima entropia é superior à outros métodos na determinação dos sinais de frequências (Kane, 1996). Entretanto, com o método da máxima entropia não é possível estimar amplitude dos sinais (Kane and Trivedi, 1982), bem como o erro na determinação de cada sinal de frequência. O número de pólos (número de coeficientes da predição linear ou ordem da aproximação da máxima entropia) adotado para cada análise foi de aproximadamente 50% do comprimento dos dados. A princípio não existe um critério na escolha do número de coeficientes da predição linear (Kane and Gobbi, 1992), no entanto Ulrych and Bishop (1975) e Kane (1977, 1979) recomendam usar um número próximo a 50% do comprimento dos dados.

#### RESULTADOS

Obtida a série temporal média das espessuras dos anéis de crescimento de árvores, representativa do município de Canela –RS, efetua-se as análises espectrais dessa série. A Fig. 2A apresenta o espectro de amplitude em função da frequência, determinado pelo método da regressão iterativa. Em quanto que a Tabela 1 apresenta as periodicidade determinadas pelo método da regressão iterativa. Também é apresentado o desvio padrão de cada período e amplitude encontrada.

Tabela 1 – Periodicidades determinadas pelo método da regressão iterativa, juntamente com seus desvios padrões

Período (anos)	Erro (anos)	Amplitude (pixels)	Erro (pixels)
19,2	2,7	09,1	5,7
10,9	0,6	12,7	5,6
07,9	0,2	16,9	5,4
04,5	0,1	14,6	5,5
03,5	0,1	07,2	5,8
02,9	0,1	06,3	5,8
02,2	0,1	06,5	6,0

O nosso interesse é de observar periodicidades pertencentes à atividade solar nas espessuras dos anéis de crescimento de árvores. Assim, encontrou-se duas períodos que podem ser característicos da atividade solar. O período de 10,9 anos, que pode representa o ciclo solar de 11 anos. Neste ciclo, o Sol sofre uma inversão dos seus pólos magnéticos, o que provoca uma maior emissão de partículas e radiação, acarretando numa maior atividade solar (Stuiver and Quay, 1980; Eddy 1980). Também se observou um período de 19,2 anos, que pode ser devido ao ciclo solar de Hale, de 22 anos. Este comportamento cíclico de 22 anos é representado pela reversão dos pólos magnético

do Sol, ou seja o campo magnético volta ao seu sentido original (Mitchell et al., 1979).

Observa-se que o sinal mais dominante se encontra em 7,9 anos. Esse período se deve principalmente ao desbaste seletivo efetuado a cada 8 anos pelos engenheiros florestais. Esses desbastes consistem em derrubar árvores velhas ou que apresentem algum tipo de anomalia, para que as árvores mais novas e em boas condições de saúde consigam se desenvolverem melhor, conseqüentemente isso provoca um maior crescimento nessas árvores, pois elimina-se assim a concorrência por água, nutrientes e luz solar.

A Fig. 2B apresenta o espectro da densidade de potência em função da frequência pelo método da máxima entropia. Observa-se nesse espectro uma periodicidade próxima ao ciclo solar de 11 anos, em 10,6 anos. O ciclo de Hale também é encontrado no espectro, para um período de 21,2 anos. Também se observa um sinal dominante em 8,0 anos, devido aos desbaste seletivo feito em São Francisco de Paula.

As estimativas das periodicidades obtidas pelos métodos da regressão iterativa (Fig. 2A) e máxima entropia (Fig. 2B), estão de acordo. Ambos os dois métodos apresentam claramente os períodos 19,2/21,2 e 10,9/10,6 anos (regressão iterativa/máxima entropia) devidos a uma possível influência da atividade solar no crescimento dos anéis de árvores de Canela. Além do período de 7,9/8,0 anos (regressão iterativa/máxima entropia), devido aos desbaste seletivo.

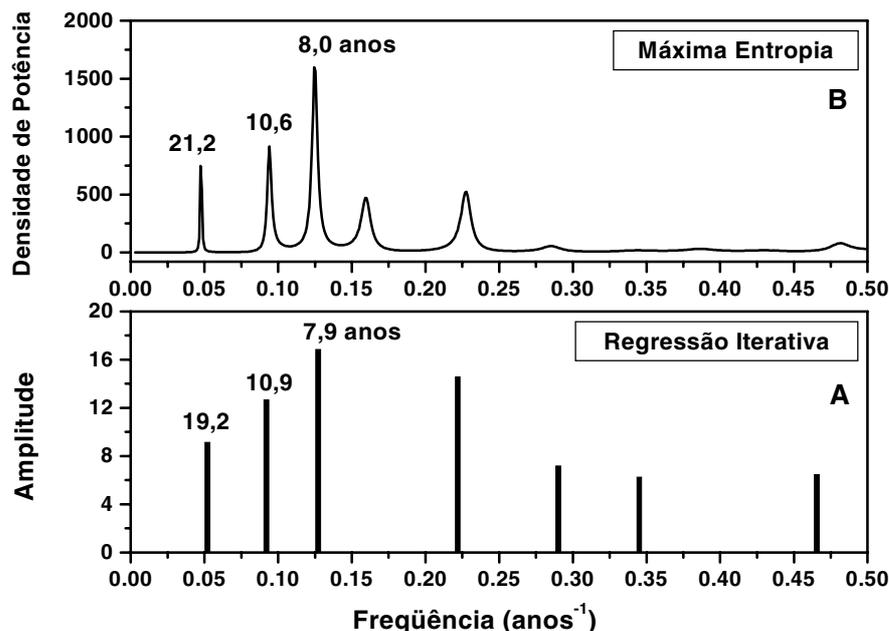


Fig. 2 – Espectro de amplitude determinado pelo método da regressão iterativa (A). Espectro da densidade de potência determinado pelo método da máxima entropia (B).

## CONCLUSÕES

Normalmente fatores climáticos e ambientais apresentam uma influência dominante no crescimento dos anéis de árvores. Espera-se que qualquer influência solar, a partir das variações de sua irradiação, deva ser menor. No entanto há confirmações de que variações nas espessuras dos anéis de crescimento são atribuídas, em parte, à atividade solar. Essas confirmações são baseadas em estudos feitos em outras séries de anéis de crescimento obtidas a partir de locais com contrastes no clima e de outras espécies de árvores. Murphy (1990 e 1991) observou periodicidades entre 9,3 a 13,3 anos em anéis de crescimento de árvores da Austrália, e períodos de 11,1 e 13,6 anos nos anéis de crescimento de árvores de Taiwan, que ele atribuiu às influências do ciclo solar de 11 anos. Nestes mesmos estudos dos anéis de crescimento de árvores da Austrália e Taiwan, ele também encontrou períodos em torno de 20 a 25 anos, pertencentes ao ciclo de Hale.

Evidências convincentes e independentes das influências das periodicidades solar em séries temporais das espessuras dos anéis de árvores são dadas pelas variações nos longos registros do <sup>14</sup>C (Stuiver and Quay, 1980). Kocharov et al. (1995) estudando os conteúdos do  $\Delta^{14}\text{C}$  em anéis de crescimento de árvores de Bashkiria, Rússia, encontraram períodos de 21,4 anos e 9,4-9,6 anos, com o método de análise de Fourier, e períodos entre 21,3 anos e 9,7-13,5 anos, com o método de análise da máxima entropia. Os autores os atribuíram às influências da atividade solar. Recentemente Damon et al. (1998) estudando uma série temporal do  $\Delta^{14}\text{C}$  em anéis de crescimento de árvores, para o intervalo de tempo entre 1065 a 1250, encontraram períodos de 24,3 anos e 9,8-13,9 anos, que eles atribuíram ao ciclo solar de Hale, ciclo solar de 11 anos.

Em acordo com as periodicidades encontradas nos registros do <sup>14</sup>C e nas séries das espessuras dos anéis de crescimento de árvores da Austrália, Taiwan e Alemanha, nós também observamos periodicidades pertencentes a uma possível influência da atividade solar. Os períodos encontrados foram 19,2/21,2 e 10,9/10,6 anos (regressão iterativa/máxima entropia), caracterizados pelos ciclos de Hale e o ciclo de 11 anos, respectivamente. Também foi observado um período dominante, próximo dos 8 anos, devido aos desbaste seletivos.

## REFERÊNCIAS

- Damon, P. E.; Eastone, C. J.; Hughes, M. K., Kalin, R. M., Long, A. Peristykh, A. N. Secular variation of  $\Delta^{14}\text{C}$  during the medieval solar maximum: a progress report.. *Radiocarbon*, v.40, n.1, p.343-350. 1998.
- Douglass, A. E. *Climatic cycles and tree growth. Vol. II, Carnegie Institute of Washington Publications, Washington, D.C., 1928.*
- Eddy, J. A. *The historical record of solar activity. Proceedings of the conference on the ancient sun: fossil record in the earth, moon and meteorites. p.119-134, 1980.*
- Kane, R. P. Maximum entropy spectral analysis of some artificial samples. *Journal of Geophysical Research*, v.84, p.965-966, 1979.
- Kane, R. P. Power spectrum analysis of solar and geophysical parameters. *Journal of Geomagnetic and Geoelectrical*, v.29, p.471-495, 1977.
- Kane, R. P. Quasi-biennial and quasi-triennial oscillations in some atmospheric parameters. *Pageoph*, v. 147, n. 3, p. 567-583, 1996.
- Kane, R. P. and Gobbi, D. Periodicities in the time series of annual minimum temperatures for the United States Gulf coast region. *Pageoph*, v.138, n.2, p. 324-333, 1992.
- Kane, R. P. and Trivedi, N. B. Comparison of Maximum Entropy Spectral Analysis (MESA) and Least-Squares Linear Prediction (LSLP) methods for some artificial sample. *Geophysics*, v. 47, p. 1731-1736, 1982.
- Kocharov, G. E.; Ostryakov, V. M.; Peristykh, A. N.; Vasil'ev, V. A. Radiocarbon content variations and Maunder minimum of solar activity. *Solar Physics*. v.159, p.381-391. 1995.
- Mitchell, S. M. Jr.; Stockton, C. W.; Meko, D. M. Evidence of a 22-year rhythm of drought in the Western United States related to the Hale solar cycle since the 17<sup>th</sup> century. *Solar Terrestrial Influences on Weather and Climate, Reidel, Dordrecht, Holland, p.125-143. 1979.*
- Mori, Y. Evidence of an 11-year periodicity in tree-ring series from Formosa related to the sunspot cycle. *Journal Climatology*, v.1, p.345-353. 1981.
- Murphy, J. O. Australian tree ring chronologies a proxy data for solar variability. *Proceedings ASA*, v.8, n.3, p.292-297, 1990.
- Murphy, J. O. The downturn in solar activity during solar cycles 5 and 6. *Proceedings ASA*, v.9, n.2, p.330-331. 1991.
- Nordemann, D. J. R. Search for periodicities in geophysical time series by iterative regression analysis in C. São José dos Campos, INPE, 1992. 20p. (INPE-5420-PRE/1762).
- Rigozo, N. R. *Análise por regressão iterativa de periodicidades nas variações dos cosmonuclídeos atmosféricos Be-10 e C-14. São José dos Campos, 79p. (INPE-5547-TDI/533). Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1994.*
- Rigozo, N. R. *Registros da atividade solar e de outros fenômenos geofísicos em anéis de árvores. São José dos Campos, 131p. Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998.*
- Schrove, D. J. *Journal of Geophysical Research*, v.60, p.127, 1955.
- Stuiver, M. and Quay, P. D. Changes in atmospheric carbon-14 attributed to a variable Sun. *Science*, v.207, n.4426, p.11-19, 1980.
- Ulrych, T. J. and Bishop, T. N. Maximum entropy spectral analysis and autoregressive decomposition. *Review of Geophysics*, v.13, p.183-200. 1975.
- Wolberg, J. R. *Prediction analysis. Northland D. Van Nostrand, 1967.*

## ACKNOWLEDGMENTS

Ao colega Luiz E. A. Vieira, pela ajuda na coleta das amostras de árvores em São Francisco de Paula. À Sra. Maria da Graça Hübbe pela sua ajuda na aquisição das amostras de árvore em São Francisco de Paula. Ao IBAMA pela doação das amostras de árvores. Ao Engenheiros Florestais do IBAMA, Everton Aires Ricardo Feraz pela ajuda prestada em Canela-RS. À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo auxílio de verbas no desenvolvimento dessa pesquisa, através do projeto de bolsa de pós-doutorado, número 98/16094-2. Ao CNPq pela bolsa de auxílio número 300031/94-7.