

## ESTUDO COMPARATIVO DOS FENÔMENOS GEOFÍSICOS, CLIMÁTICOS E SOLARES, COMUNS NAS FLORESTAS NACIONAIS DE AÇUNGUI - PR E DE SÃO FRANCISCO DE PAULA - RS

**SILVA, Aline C<sup>1</sup>, SOUZA, Táyla G.G.<sup>2</sup>, PRESTES, Alan<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Universidade do Vale do Paraíba /IP&D - Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento.  
Rua Shishima Hifumi, 2911, Urbanova. São José dos Campos – SP.

<sup>1</sup>[linecsilva2@hotmail.com](mailto:linecsilva2@hotmail.com), <sup>2</sup>[taylagabrielle@gmail.com](mailto:taylagabrielle@gmail.com), <sup>3</sup>[prest@univap.br](mailto:prest@univap.br)

**Resumo-** As variações climáticas modificam os padrões de temperatura, umidade, precipitação. Esses fenômenos climáticos e geofísicos ocorridos no passado podem ser estudados por meio de árvores que registram em seus anéis de crescimento as variações do ambiente onde vivem. Assim, desenvolveu-se um estudo dendroclimático, com amostras de *Araucaria angustifolia*, coletadas na Floresta Nacional de Açungui - PR e Floresta Nacional de São Francisco de Paula – RS. As séries dendrocronológicas obtidas dessas amostras, de 1948 a 2004, foram analisadas pelo método de ondeleta-cruzada, com o objetivo de conhecer os fenômenos geofísico, climáticos e solares, comuns nas duas regiões e compará-los. Foi possível encontrar respostas às variações de temperatura, de atividade solar e eventos El Niño/La Niña em ambas regiões, que apresentaram períodos representativos da atividade solar de 11 anos (ciclo de Schwabe) e baixos períodos de 2 a 8 anos, que podem representar uma resposta das árvores às condições climáticas locais.

**Palavras-chave:** Dendroclimatologia; Dendrocronologia; *Araucaria angustifolia*; e Anéis de crescimento.

**Área do Conhecimento:** Ciências exatas e da Terra.

### Introdução

Registros instrumentais não são suficientes para a observação e estudo de como o sistema climático opera em escalas temporais maiores do que algumas décadas ou sob forçantes climáticas diferentes do presente. Diante das mudanças ambientais, é importante compreender as variações climáticas e os fenômenos geofísicos para realizar correlações e fazer previsões. Um dos meios de entendimento e estimativa das mudanças ambientais de longos períodos é a análise de amostras naturais (RIGOZO, 1994).

Devido à escassez de registros climáticos e a qualidade dos registros em anéis de crescimento de árvores, desenvolveu-se a dendrocronologia e a dendroclimatologia (FRITTS, 1976). Na dendroclimatologia, pela análise dos anéis de crescimento anuais, é possível conhecer a idade das árvores e os registros das variações climáticas do ambiente onde vivem. Nessas variações é possível identificar, dentre outras, as que são

devidas a mudanças climáticas associadas às variações da atividade solar (PRESTES, 2009).

Estudos das relações Sol-Terra apresentam indícios de sinais climáticos e do ciclo solar de 11 anos em anéis de crescimento de coníferas da região sul do Brasil (Nordemann e Rigozo, 2003; Prestes, 2009).

Os fenômenos El Niño e La Niña (aferido Índice de Oscilação Sul - SOI), também apresentam forte influência na região sul, causando variação na distribuição das chuvas. Baseado nestas considerações obteve-se séries dendrocronológicas de *Araucaria angustifolia* da região da Floresta Nacional de Açungui-PR e de São Francisco de Paula-RS, com objetivo de estudar os fenômenos geofísicos, climáticos e solares, comuns a ambas regiões e compará-los.

### Metodologia

*Objeto de estudo:* Devido às características morfológicas e anatômicas da madeira, a área de

ocorrência e potencial dendrocronológico, utilizou-se amostras da flora gimnospérmica, coníferas, da espécie *Araucaria angustifolia*. Amostras do lenho da espécie foram coletadas para a realização das análises dendroclimáticas. A Figura 1 apresenta algumas amostras.



Figura 1: Amostras de *Araucaria angustifolia* coletadas

**Locais de coleta das amostras:** As amostras de araucárias foram coletadas, sob licença do IBAMA, na Floresta Nacional Açungui - PR e na Floresta Nacional de São Francisco de Paula - RS, pelo professor Dr. Alan Prestes no ano de 2005.

**Coletas das amostras:** As amostras de araucária (*Araucaria angustifolia*) foram retiradas pelo método não-detrutivo. Nesse método um trado de aço (Sonda de Pressler) retira cilindros (“baqueta”) de madeira de cada árvore viva, através de uma incisão no tronco a 1,30 m de altura (DAP- diâmetro da altura do peito), no sentido casca-medula. Para cada árvore foram coletadas em média 3 a 4 amostras de baquetas. Foram também utilizados discos de árvores anteriormente tombadas por uma tempestade na Floresta Nacional de São Francisco de Paula – RS. Para a realização das análises as amostras foram coladas em suporte e polidas. A figura 2 exemplifica o método de coleta e as amostras extraídas.

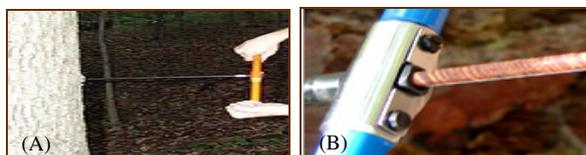


Figura 2: (A) Exemplo do método de coleta e a (B) amostra extraída

**Dados climáticos e solares:** Os dados utilizados foram: a série de atividade solar (obtido do centro de dados do Sunspot Index Data Center em Bruxelas, Bélgica); a série de anomalia de temperatura entre 24° a 44° sul (obtida do Goddard Institute for Space Studies, NASA; e o Índice de Oscilação SUL – SOI (obtido do Instituto

de Pesquisa Climática da Universidade do Leste do Reino Unido).

**Obtenção das séries cronológicas:** O estudo foi realizado no Laboratório de Registro Naturais, localizado no Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento da Universidade do Vale do Paraíba. As amostras foram examinadas sob microscópio estereoscópico e iluminação de fibra ótica e foram digitalizadas. No software *Image Tool* (Copyright © 1992-2002 UTHSCSA. All Rights), foram obtidas as séries das espessuras de anéis de crescimento de 11 árvores da Floresta Nacional de São Francisco de Paula e 18 árvores na Floresta Nacional de Açungui. No programa “Origin 7.0” (Copyright © 1991-2003 Oring Lab Corporation) foram obtidos os gráficos das séries temporais que permitiram fazer as cronologias de cada árvore. Obtidas as séries temporais das espessuras dos anéis de crescimento para cada árvore, determinou-se a melhor curva de ajuste que representa a tendência de crescimento biológico de cada árvore. Posteriormente foi obtida a cronologia média de cada sítios, para minimizar a influência de anomalias e/ou danos que possam ter ocorrido em alguma árvore, ou algum outro fenômeno esporádico que tenha ocorrido, com a finalidade de relacionar estes dados com fatores que influenciam o clima das regiões no decorrer dos anos.

**Métodos de análise dos resultados:** As cronologias médias das regiões foram analisadas pelos métodos de ondeletas-cruzada (wavelet), correlacionando-as com as séries temporais do número de manchas solares, que descreve o nível da atividade solar, o Índice de Oscilação SUL (SOI), e anomalia da temperatura entre a latitude 24° a 44° sul (figura 3).

O espectro de ondeleta-cruzada de Morlet mostra o que existe de comum entre duas séries temporais. O eixo Y representa a escala (períodos) do espectro em anos, o eixo X é o tempo, também em anos, e a escala de cores indica a potência cruzada do espectro, para cada periodicidade em um dado tempo. O mapa de ondeleta-cruzada também apresenta o cone da região de influência (delimitado por uma curva parabólica branca), no qual a região externa desta curva é onde se apresentam os efeitos de bordas da série temporal. Assim, somente a região dentro do cone de influência deve ser analisada (TORRENCE e COMPO, 1998).

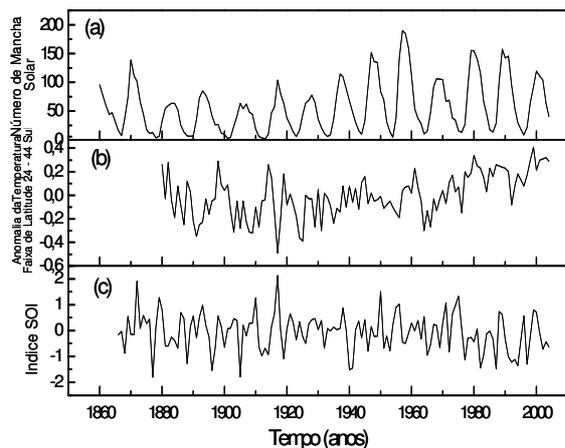


Figura 3 - Número de manchas solares anuais (a), anomalia da temperatura entre a latitude 24° a 44° sul (b), índice de oscilação sul, SOI (c).

## Resultados

### *Espectro de ondeleta-cruzada entre as séries dendrocronológicas*

O espectro de ondeleta-cruzadas entre as cronologias médias dos anéis de crescimento da Floresta Nacional de Açungui e Floresta Nacional de São Francisco de Paula, no período entre 1948 a 2004, apresenta curtas periodicidades entre 2 a 8 anos, que estão presentes no intervalo de ~1990-2000. Observa-se que o período de ~11 anos esta presente em praticamente todo intervalo, como apresentado na figura 4.

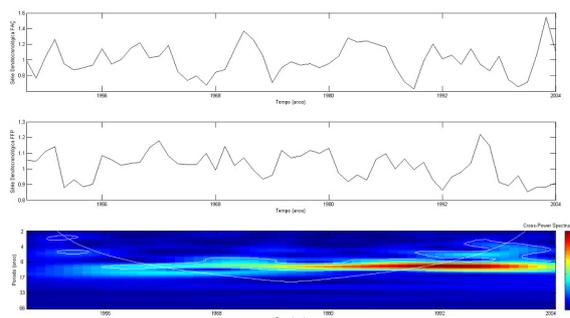


Figura 4: Cronologia média da largura dos anéis de crescimento de árvores de Açungui e de São Francisco de Paula com espectro de ondeleta comum às duas regiões, com o cone de influência (curva branca) e nível de confiança de 95% (contorno branco).

### *Espectro de ondeleta-cruzada entre o número de manchas solares e os anéis de crescimento de árvores*

O espectro de ondeleta-cruzada entra as séries da Floresta Nacional de Açungui e o número de manchas solares é apresentado na figura 5, observa-se que o período de 11 anos da atividade solar está presente em praticamente todo o intervalo entre 1948 e 2004, indicando uma forte resposta dos anéis de crescimento às variações na atividade solar. Entre os anos de 1956 a 1986, foi registrada uma maior influência como observado pelo espectro de amplitude.

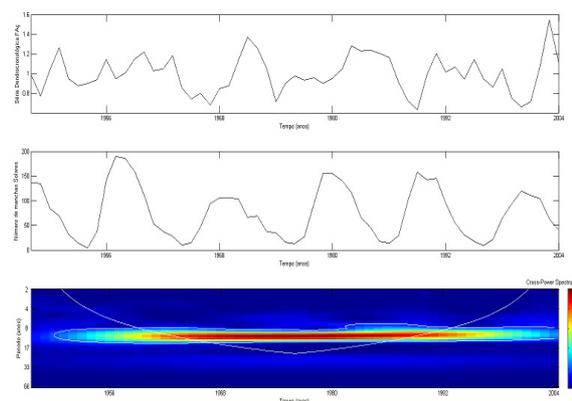


Figura 5 - Espectro de potência cruzado entre a série cronológica média dos anéis de crescimento de Açungui e o número de manchas solares, com o cone de influência (curva branca) e o nível de confiança de 95% (contorno branco).

A Figura 6 apresenta o mapa de ondeleta-cruzada entre a série dendrocronológica de São Francisco de Paula e o número de manchas solares. A periodicidade predominante é o período em torno de 11 anos que está presente em todo o intervalo.

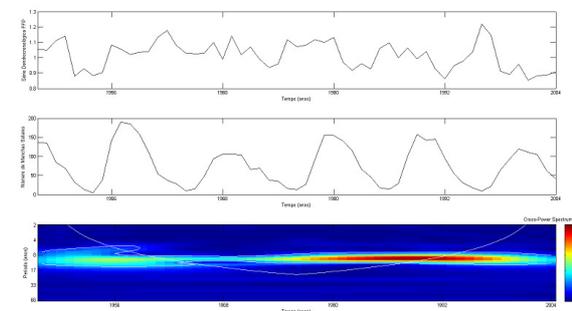


Figura 6: Espectro de potência cruzado entre a série cronológica média dos anéis de crescimento de São Francisco de Paula e o número de manchas solares, com o cone de influência (curva branca) e o nível de confiança de 95% (contorno branco).

## Espectro de ondeleta-cruzada entre o Índice de Oscilação Sul (SOI) e os anéis de crescimento de árvores

A Figura 7 apresenta o espectro cruzado entre a série cronológica média dos anéis de crescimento de Açungui e o índice SOI. As regiões de confiança são os períodos esporádicos na banda entre 3-7 anos nos intervalos ~1950-1960 e de ~1968-2000. Observa-se também uma periodicidade em torno de 13 anos no intervalo de ~1960-2002.

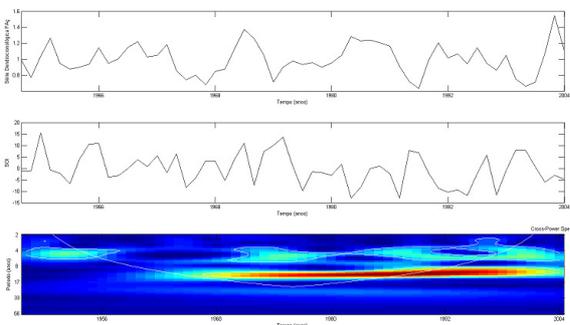


Figura 7: Espectro de potência cruzado entre a série cronológica média dos anéis de crescimento de Açungui e o índice SOI, com o cone de influência (curva branca) e o nível de confiança de 95% (contorno branco).

A Figura 8 apresenta o espectro cruzado entre a série cronológica média dos anéis de crescimento de São Francisco de Paula e o índice SOI. As regiões de confiança apresentadas são: os períodos esporádicos entre 2-8 anos e o período de 13 a 17 anos. Os períodos com maior amplitude entre 2-8 anos estão entre os intervalos: de ~1968-1972, ~1974-2000. O período de 13 a 17 anos está sob a influência do efeito de borda.

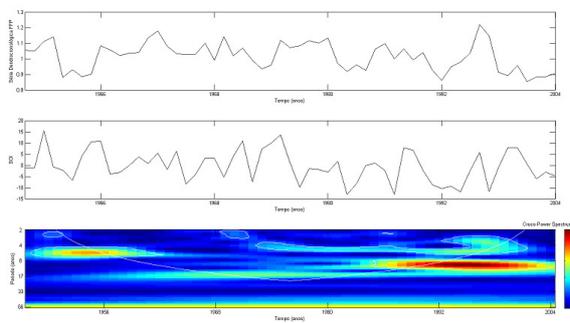


Figura 8: Espectro de potência cruzado entre a série cronológica média dos anéis de crescimento da Floresta Nacional de São Francisco de Paula e o índice SOI, com o cone de influência (curva branca) e o nível de confiança de 95% (contorno branco).

## Espectro de ondeleta-cruzada entre o número de anomalia de temperatura e os anéis de crescimento de árvores

A figura 9 apresenta o espectro cruzado entre índice de crescimento da Floresta Nacional de Açungui e a Anomalia da temperatura entre 24° e 44° sul. Observa-se forte periodicidade na banda de 8 a 13 anos em praticamente todo o intervalo de estudo.

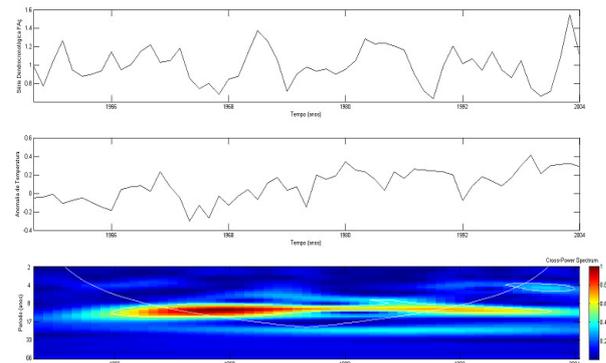


Figura 9: Espectro de potência cruzado entre a série cronológica média dos anéis de crescimento de Açungui e a anomalia da temperatura entre 24° e 44° sul, com o cone de influência (curva branca) e o nível de confiança de 95% (contorno branco).

A Figura 10 apresenta o espectro cruzado de ondeleta de Morlet entre a série cronológica média dos anéis de crescimento de São Francisco de Paula e a série da anomalia da temperatura entre 24° e 44° sul. Semelhante ao que ocorreu no espectro cruzado de Açungui, observa-se que a periodicidade na banda de 8 a 13 anos esta presente em praticamente todo o intervalo de estudo.

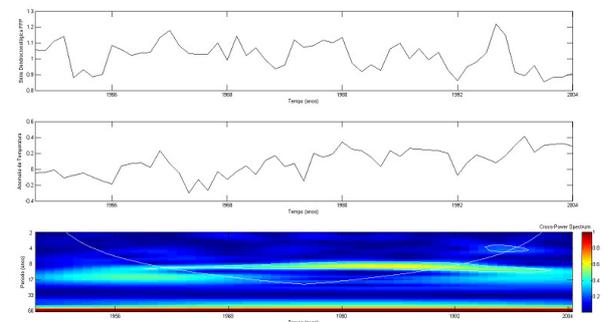


Figura 10- Espectro de potência cruzado entre a série cronológica média dos anéis de crescimento de São Francisco de Paula e a anomalia da temperatura entre 24° e 44° sul, com o cone de influência (curva branca) e o nível de confiança de 95% (contorno branco).

## Discussão

Nas séries dos anéis de crescimento das araucárias das duas regiões estudadas foram encontradas respostas às variações da atividade solar, temperatura e eventos El Niño/La Niña, da mesma forma que os estudos realizados por Prestes (2009) e Nordemann e Rigozo (2003) que identificaram estas variações nos anéis de crescimento de araucárias da região sul do Brasil.

De acordo com Alvim (1964), espécies arbóreas que se desenvolvem em regiões temperadas apresentam oscilações periódicas do crescimento na circunferência do seu tronco. Com base no espectro de ondeleta cruzado das séries cronológicas dos anéis de crescimento de São Francisco de Paula e de Açungui e a série temporal do número de manchas solares observou-se a forte resposta das árvores a atividade solar. As figuras 5 e 6 apresentaram os mapas de ondeleta-cruzada com grande influência solar registrada em praticamente em todo o período em ambas regiões. Rigozo et. al. (2002; 2003) e Prestes (2009) observam uma alta correlação entre as séries dendrocronológicas do Rio Grande do Sul e o números de manchas solares. Os autores relatam que os anéis de crescimento de árvores apresentam uma melhor resposta em épocas de atividade solar mais intensa, ao passo que em épocas de atividade solar baixa a resposta é fraca.

Rao & Hada (1990) e Studzinski (1995) mostraram que durante a fase quente do ENSO (El Niño) ocorre geralmente um excesso de precipitação no sul do Brasil, norte da Argentina e Uruguai, e na fase fria do ENSO (La Niña), ocorre uma deficiência de precipitação. Rigozo et al. (2003), estudando sinais do ENSO impressos em anéis de árvores do sul do Brasil por meio de ondeletas-cruzadas encontraram forte amplitude para períodos entre 2-8 anos que mostram não ser estacionários, alternando as periodicidades, estando presente durante um tempo e ausente em outros. Resultados semelhantes foram encontrados em nossas análises.

As araucárias, diante de condições limitantes da região em determinadas épocas, entram em período de dormência. De acordo com Raven (1999), as temperaturas abaixo do mínimo requerido modificam as respostas das plantas ao

meio, durante as estações com condições desfavoráveis, elas limitam ou cessam seu crescimento. Observam-se respostas à anomalia de temperatura em diferentes períodos em ambas regiões, e uma maior influência de temperatura na região de Açungui (figura 9) do que na região de São Francisco de Paula (figura 10). Vários trabalhos têm mostrado que a periodicidade em torno de 11 anos encontrada em séries de temperatura está relacionada a atividade solar, assim, pode-se inferir que a atividade solar esta influenciando a temperatura a qual influencia os anéis de crescimento (Raspopov et. al., 2004).

## Conclusão

As séries temporais das espessuras dos anéis de árvores de Açungui (PR) e de São Francisco de Paula (RS), e as séries geofísicas e climatológicas foram analisadas por ondeleta-cruzada, permitindo fazer uma comparação entre as duas regiões:

- ✓ Encontrou-se nos anéis de crescimento das araucárias respostas às variações de temperatura, da atividade solar e eventos El Niño/La Niña em ambas regiões.
- ✓ Observou-se que as regiões de São Francisco de Paula e de Açungui apresentaram forte resposta das árvores à atividade solar, que foi registrada em praticamente todo o período de estudo. Encontrou-se forte evidência da influência do ciclo solar de Schwabe (~11anos) durante todo o intervalo.
- ✓ Os curtos períodos (2-8 anos) encontrados nas análises são devidos, principalmente, a ocorrência de eventos El-Niño.
- ✓ Pode-se inferir que atividade solar exerce uma influência indireta sobre os anéis de crescimento, a qual influencia a temperatura, que por sua vez influencia o crescimento das árvores. Observou-se uma maior influência de temperatura na região de Açungui do que na região de São Francisco de Paula.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPESP pelo auxílio nos projetos: SILVA, Aline C. Pelo (2010/02265-3) e Prestes A. FAPESP - (2009/02907-8).

## Referências Bibliográficas

ALVIM, T. P. **Periodicidade do crescimento das árvores em climas tropicais**. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BOTÂNICA DO BRASIL, Porto Alegre, 1964. Anais. Porto Alegre: UFRGS, 1964. p.405-422.

FRITTS, H. C., **Tree rings and climate**. London: Academic Press, 1976

NORDEMANN, D. J. R.; RIGOZO, N. R., **Árvores Contam Uma Historia do Sol**. Scientific American, v. 2, n.14, p. 30-37, 2003.

NORDEMANN, D. J. R., RIGOZO, N. R., ECHER, E., VIEIRA, L. E. A. **Solar activity and El Niño effects on Southern Brazil Araucaria ring widths (1955-1997)**. In: International Conference on Dendrochronology, 6., 2002. Québec City. Proceedings... Québec: [s.n], 2002 (Poster).

PRESTES, A. **Relação Sol-Terra estudada através de anéis de crescimento de coníferas do holoceno recente e do triássico**. São José dos Campos: INPE, 2009. 148p.; (INPE-15).

RAO, V.B., HADA, K., **Characteristics of Rainfall over Brazil: Annual Variations and Connections with the Southern Oscillations**. Theoretical and Applied Climatology, v.42, p.81-91, 1990.

RASPOPOV, O.M., DERGACHEV, V.A., SHUMILOV, O.I., KOLSTRÖM, T., LINDHOLM, M., MERILÄINEN, J., EGGERTSSON, Ó., VASILIEV, S.S., KUZMIN, A.V., YU KIRTSIDELY, I., KASATKINA, E.A. **Dendrochronological evidence of longterm variations in solar activity and climate**. In: International Conference Tree rings and people, Davos. Proceedings... Davos: Kaennel Dobbertin M., Bräker O.U. (eds.), 2001

RAVEN, P.R.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. **Biologia Vegetal**, 6ª ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1999.

RIGOZO, N. R., AND NORDEMANN, D. J. R. **Análise por regressão iterativa de periodicidades em séries temporais de registros geofísicos**. Revista Brasileira de Geofísica, v. 16, n. 2/3, p. 149-158, 1998.

RIGOZO, N. R.; ECHER, E.; VIEIRA L.E.A.; NORDEMANN, D.J. R. **Reconstruction of Wolf sunspot numbers on the basis of spectral characteristics and estimates of associated radio flux and solar Wind parameters for the last millennium**. Solar Physics, v.203, p. 179-191, 2001.

RIGOZO, N. R.; NORDEMANN, D. J. R.; ECHER, E.; ZANANDEA, A.; GONZALEZ, W. D. **Solar variability effects by tree-ring data wavelets analysis**. Advance Space Research, v. 29, n. 12, p. 1985-1988, 2002.

STUDZINSKI, C. D. S. **Um estudo da precipitação na região Sul do Brasil e sua relação com os Oceanos Pacífico e Atlântico Tropical Sul**. 1995. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos. 1995

TORRENCE, C. AND COMPTON, G. P.: 'A Practical Guide to Wavelet Analysis', *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79, 61-78, 1998.