

**CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS DOS ÍNDICES DE SECA DE PALMER (PDSI) E DA
PRECIPITAÇÃO NORMALIZADA (SPI) EM PIRACICABA, SP**

Clóvis Angeli Sansigolo
LMO, CPTEC, INPE, São José dos Campos, SP
sansigol@cptec.inpe.br

ABSTRACT

This study compares historical series (1917-2001) of the Palmer Drought Severity Index (PDSI) in Piracicaba, São Paulo, with time series of corresponding Standardized Precipitation Index (SPI) through spectral analysis. The PDSI presented 8 significant periodicities explaining ~57% of the total variance, while the various SPIs (1-60 months) didn't presented any significant periodicity. The PDSI and the SPIs are linearly related (coherencies² >0.8), but systematically lagged by -1 radian. The PDSI has a complex structure with a very long memory (>20 years), while the SPI is an easily interpreted, simple average process.

1 - INTRODUÇÃO

Secas são fenômenos climáticos regionais causados pelo déficit de precipitação em relação aos volumes esperados. É uma situação temporária, com uma duração, magnitude, severidade e extensão, diferente de aridez que é uma característica climática permanente. Um dos maiores problemas associados à secas é sua definição, que geralmente depende do tipo especial de aplicação. Comumente, quatro definições, baseadas em considerações meteorológicas, hidrológicas, agrícolas e econômicas, tem sido adotadas. Secas meteorológicas referem-se à precipitações abaixo das normais esperadas. Secas hidrológicas e agrícolas, correspondentes aos dois principais usos da água, referem-se respectivamente, à níveis de rios e reservatórios abaixo dos normais e umidade do solo insuficiente para suprir a demanda das plantas. Secas econômicas tem uma definição mais ampla, feita em função do suprimento e da demanda de água, como o déficit de água induzindo a falta de produtos (energia elétrica, alimentos, etc), devido ao volume inadequado ou má distribuição das chuvas, aumento no consumo e até mau gerenciamento dos recursos hídricos.

Palmer (1965) propôs um índice de severidade de secas (PDSI) que satisfizesse as necessidades hidrológicas e agrícolas. O PSDI vem sendo usado com sucesso há mais de 30 anos para monitorar secas nos Estados Unidos (Hayes et al. 1999). Suas principais suposições, relacionadas ao cálculo dos componentes dos balanços hídricos e à natureza empírica dos coeficientes de padronização, foram extensivamente discutidas por Alley (1984) e Karl (1986), que concluíram que o PSDI, se apropriadamente utilizado, é uma ferramenta útil para pesquisa e monitoramento de secas em tempo real.

McKee et al. (1993) propuseram um novo índice, o SPI, para quantificar o déficit de precipitação nas diversas escalas de tempo. O SPI teria uma maior capacidade de detecção e monitoramento de secas, além de contornar algumas limitações do PDSI. Fisicamente, o SPI para um dado período de tempo é a diferença entre a precipitação observada e a média dividida pelo desvio padrão. Ele tem-se mostrado bastante útil no monitoramento de secas nos EUA, pela sua flexibilidade, simplicidade de cálculo e interpretação (Hayes et al. 1999).

O objetivo deste trabalho é uma análise comparativa das principais características espectrais simples e cruzadas dos índices de seca PDSI e SPI em Piracicaba, SP, no período de 1917 a 2001.

2 - DADOS e METODOLOGIA

Neste trabalho foram utilizadas as séries históricas mensais dos totais de precipitação e de temperatura média do ar em Piracicaba, SP, no período de 1917 a 2001. Balanços hídricos sequenciais mensais, pelo método de Thornthwaite & Matter (1955), adotando uma capacidade de armazenamento de água no solo de 100mm, foram usados para obter os diversos parâmetros usados no PSDI, que pode ser definido como:

$$PDSI_i = 0,897 PDSI_{i-1} + (Z_i/3) \quad (1)$$

na qual i é o mês de interesse e Z um índice de anomalia de umidade, dado por:

$$Z_i = (P_i - \bar{P}_i) K_i \quad (2)$$

na qual P é a precipitação observada, \bar{P} a precipitação climatologicamente apropriada para as condições existentes e K uma constante de padronização. \bar{P}_i pode ser obtido por:

$$\bar{P}_i = \alpha_i ETP_i + \beta_i PR_i + \gamma_i PRO_i - \delta_i PL_i \quad (3)$$

na qual ETP é a evapotranspiração potencial, PR a recarga potencial de umidade do solo, PRO o escoamento superficial potencial e PL a perda potencial de umidade do solo. Os parâmetros α , β , γ e δ são definidos mensalmente, num período de calibração, por:

$$\alpha = \overline{ETR} / \overline{ETP} \quad (4)$$

$$\beta = \overline{R} / \overline{PR} \quad (5)$$

$$\gamma = \overline{RO} / \overline{PRO} \quad (6)$$

$$\delta = \overline{L} / \overline{PL} \quad (7)$$

na qual ETR é a evapotranspiração real, R a recarga, RO o escoamento superficial e L a perda de umidade do solo.

As constantes de padronização K_i também são mensalmente definidas, num período de calibração, por:

$$K_i = 17,67 \hat{K}_i / \sum_{j=1}^{12} |P_j - \bar{P}_j| K_j \quad (8)$$

na qual \hat{K}_i é dado por :

$$\hat{K}_i = 1,5 \log_{10} [(T_i + 2,8) / |P_i - \bar{P}_i|] + 0,5 \quad (9)$$

e T , a razão entre a demanda e o suprimento de umidade, por:

$$T_i = (\overline{ETR}_i + \overline{R}_i + \overline{RO}_i) / (\overline{P}_i + \overline{L}_i) \quad (10)$$

O SPI é determinado a partir das funções de densidade de probabilidade que descrevem as séries históricas de precipitação nas diferentes escalas de tempo utilizadas (1-60 meses). Foram consideradas para fins de ajuste as distribuições normal e gama2. Conhecida (ajustada) a função de distribuição de probabilidade acumulada, a chance de uma dada quantidade de precipitação observada é obtida, e o SPI é computado usando a distribuição normal reduzida inversa. No caso das precipitações acumuladas num dado intervalo de tempo (1, 3, 6, ...60 meses) terem uma distribuição normal, o SPI é simplesmente a variável reduzida da distribuição normal z_i :

$$SPI = z_i = (P_i - \bar{P}_i) / \sigma_i \quad (11)$$

na qual P_i é a precipitação observada e \bar{P}_i e σ_i , respectivamente, a média e o desvio padrão da série ajustada.

Análise espectrais simples dos dois índices usando FFT foram utilizadas para identificar possíveis periodicidades, que serão verificadas pelo teste de Fisher estendido. Análises espectrais cruzadas entre o PDSI e os SPI de 1, 3, 6, 12, 18, 24, 36 e 60 meses foram utilizadas para verificação de possíveis correlações significativas (coerências) e ângulos de fase nas diferentes frequências.

3 – RESULTADOS e DISCUSSÃO

Na figura 1 encontram-se as séries temporais dos índices PDSI e SPI para Piracicaba, SP, no período de 1917 a 2001. Nota-se uma boa concordância entre as séries das médias móveis anuais desses índices, que foram usadas nesta figura para suavização e melhor visualização dos mesmos.

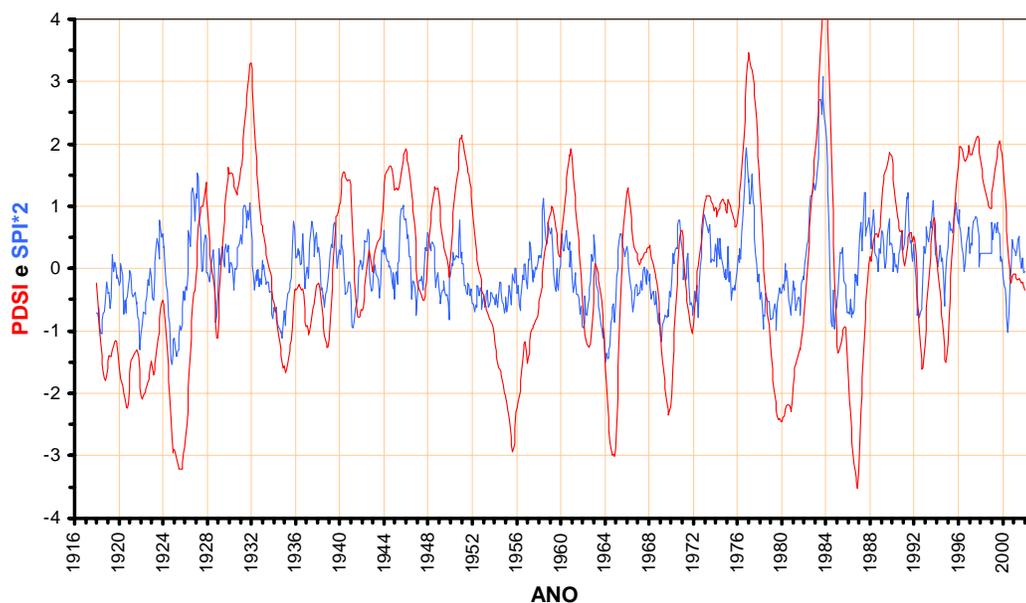


Figura 1. Séries temporais das médias móveis anuais dos índices PDSI e SPI 1 para Piracicaba, SP, no período de 1917 a 2001.

Os histogramas com as distribuições de frequência dos índices PDSI e SPI 1 nas 9 categorias consideradas são mostrados na figura 2. Como é suposta uma distribuição normal para os dois índices, o PSDI é mais simétrico que o SPI 1.

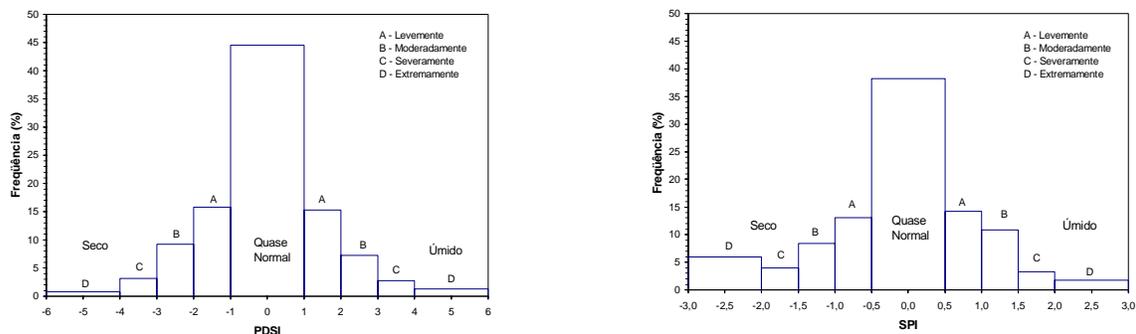


Figura 2. Distribuições de frequência para as 9 categorias dos índices PDSI e SPI 1 em Piracicaba, SP.

O PDSI apresentou 8 periodicidades significativas de 7,7; 17,0; 14,2; 5,7; 8,5; 6,6; 21,3 e 42,5 anos, que explicam ~57% da variância total da série (15+9+6,4+6,3+5,4+5,4+4,7+4,7%). As funções de densidade espectral e de distribuição de potência para o PDSI encontram-se na figura 3. Observa-se na figura 3B que o PDSI apresenta uma longa memória que pode se estender por mais de 20 anos.

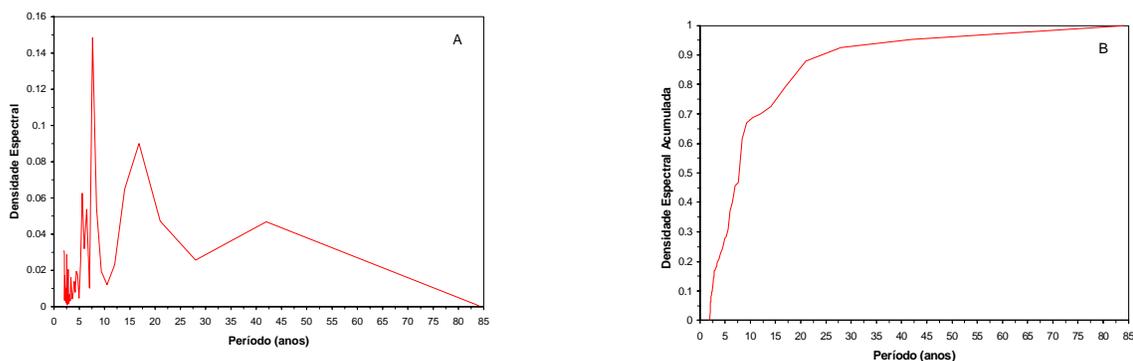


Figura 3. Funções de densidade espectral (A) e de distribuição de potência (B) do PDSI em Piracicaba, SP

Na figura 4 encontram-se as séries temporais para os SPI de 3 a 60 meses em Piracicaba, no período de 1917 a 2001. Nota-se que os períodos mais secos ou chuvosos representados pelos SPIs nas 7 escalas de tempo consideradas, são mais suavizados no caso dos maiores intervalos (12 – 60 meses), por serem calculados usando as precipitações médias móveis de períodos mais longos.

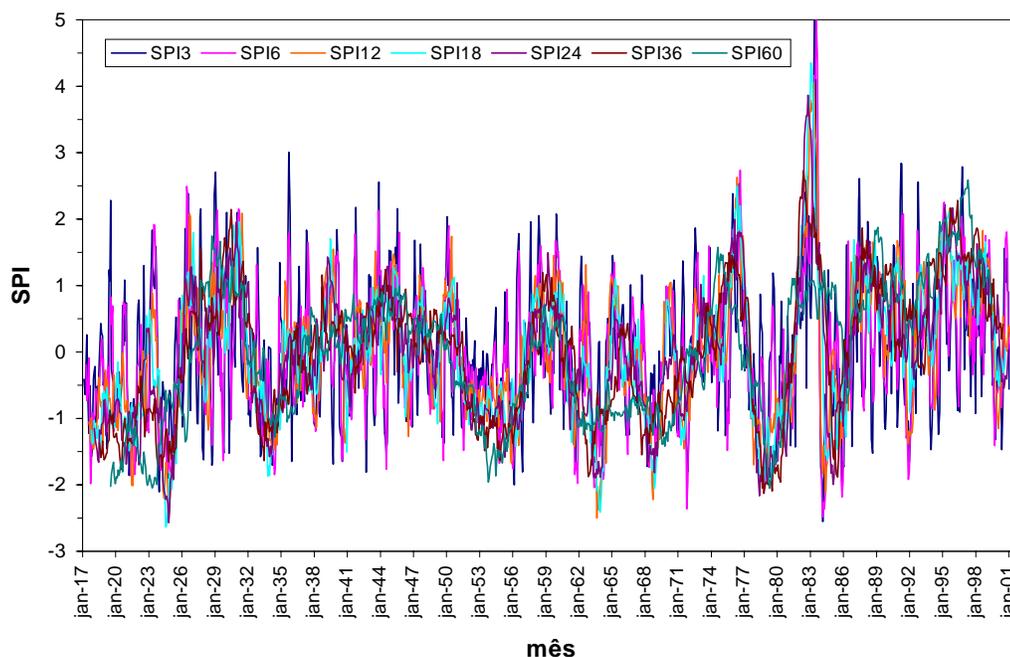


Figura 4. Séries temporais dos SPI entre 3 e 60 meses para Piracicaba, SP.

Nenhum SPI entre 1 e 60 meses apresentou periodicidades significativas a 95%. Na figura 5 encontram-se as função de densidade espectral do SPI 1 e de distribuição de potência para os diversos SPI, de 1 a 60 meses. Verifica-se que os diferentes SPIs apresentam memórias inferiores ao PDSI. O SPI 1 de um dado mês depende dos SPI dos 12 meses anteriores, o SPI 6 dos 72 anteriores, o SPI 12 dos 120 anteriores, etc.

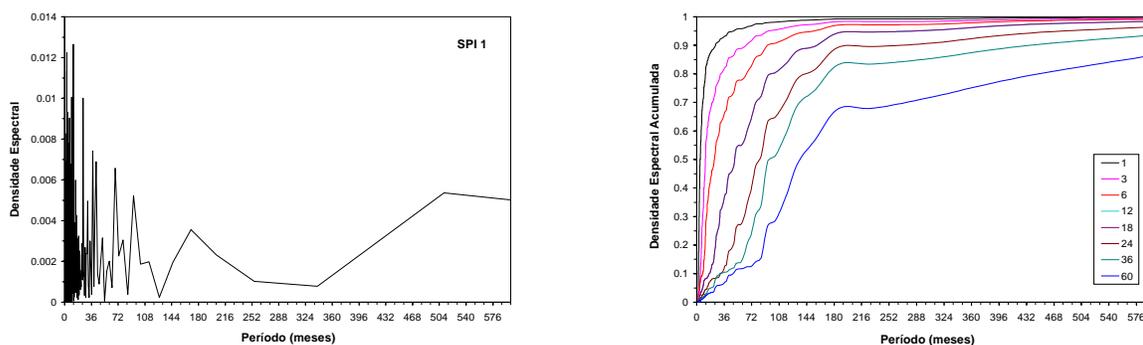


Figura 5. Funções de densidade espectral do SPI 1 e de distribuição de potência dos diversos SPI, de 1 e 60 meses, em Piracicaba, SP.

Na figura 6 encontram-se as coerências quadráticas entre o PDSI e os SPIs para diferentes períodos entre 1 e 60 meses. Para períodos superiores a 24 meses observam-se altos coeficientes de determinação (r^2), da ordem de 0,8, mas pequenas flutuações em r^2 ocorrem nos períodos inferiores. Verifica-se que rapidamente (menos de 6 meses) os SPIs 1 e 3 se defasam de -1 radiano e permanecem sistematicamente defasados com este mesmo ângulo ($\sim 57^\circ$). A mesma defazagem (-1 rad) é observada nos SPI 6 – 60, com leve tendência de diminuição em longos períodos.

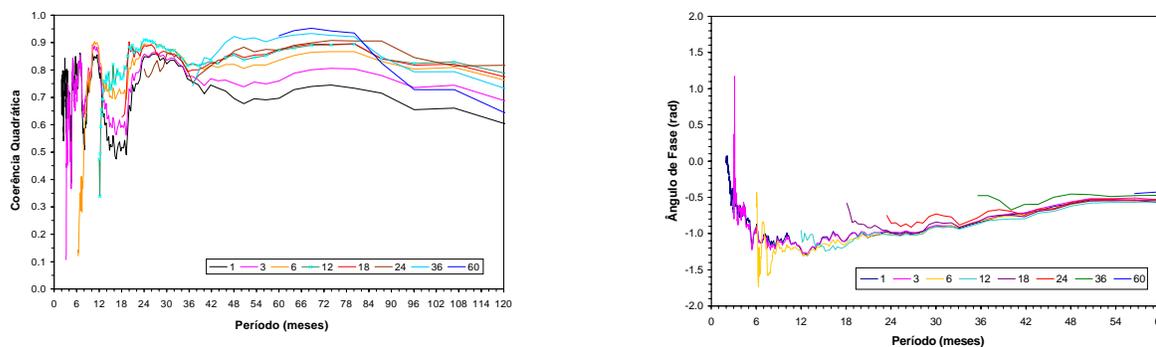


Figura 6. Coerências quadráticas e ângulos de fase entre o PDSI e os SPI 1-60, em Piracicaba, SP.

Como o PDSI apresentou um conjunto de 8 periodicidades significativas, que explicam $\sim 57\%$ da variância total, pôde-se construir um modelo de previsão baseado nas mesmas. Na figura 7 encontram-se os PDSI médios anuais observados (1917-2001) e os ajustados (1917-2010). Verifica-se nesta figura que o modelo ajustado reproduz razoavelmente bem os períodos secos e chuvosos, mas não tão bem as intensidades, principalmente a dos eventos extremos.

Conclui-se que o PDSI e os SPI entre 1 e 60 meses são bastante linearmente relacionados, indicando que a precipitação é o processo dominante no PDSI, apesar dos dois índices estarem sistematicamente defazados de $\sim 57^0$, devido a atuação dos outros processos relacionados ao balanço hídrico.

O PDSI tem uma estrutura complexa e uma excepcional memória, enquanto que o SPI é mais facilmente interpretável como um simples processo de média móvel. Uma das vantagens do SPI é sua simplicidade e versatilidade em relação às escalas de tempo.

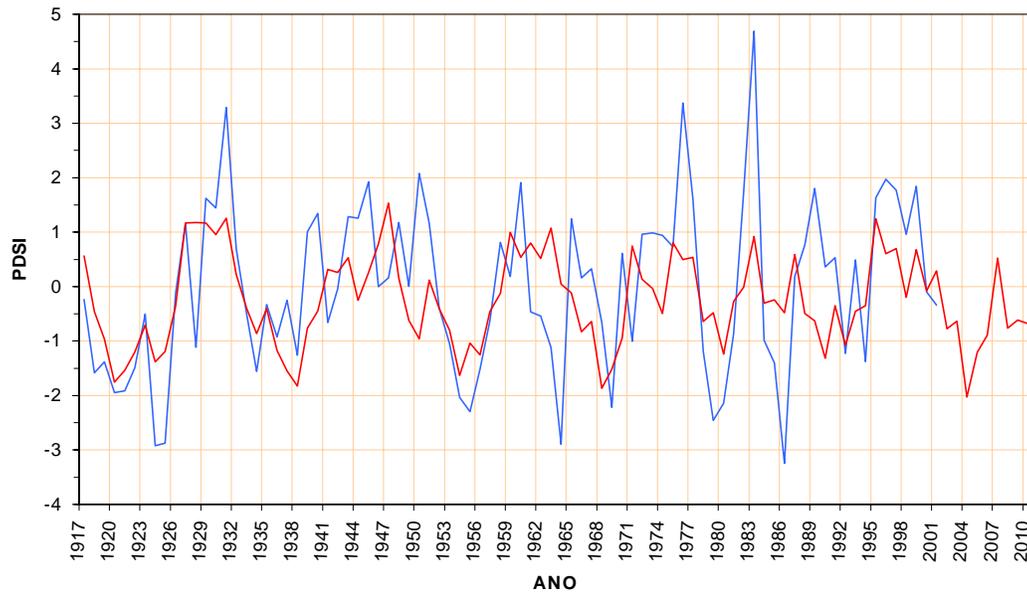


Figura 7. Série anual observada (1917-2001), em azul, e ajustada (1917-2010), em vermelho para o PDSI em Piracicaba, SP.

4 - REFERÊNCIAS

- ALLEY, W. M. The Palmer drought severity index: Limitations and assumptions. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, Boston, v. 23, p.1100-1109, 1984.
- BAGROV, N. A. Frequency of droughts. **Soviet Meteorology and Hydrology**, New York, v. 12, p. 43-48. 1986.
- BAGROV, N. A. Drought and its definition. **Soviet Meteorology and Hydrology**, New York, v. 9, p. 53-58. 1992.
- BRUNINI, O.; PINTO, H. S.; ZULLO, J.; BLAIN, G. C.; BRUNINI, A. P. C.; ASSAD, E. & LOBO, G. A. Uso do SPI para avaliação dos períodos de seca no Estado de São Paulo. **Anais XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia**, Fortaleza, p. 251-252, 2001.
- BYUN, H. R. & WILHITE, D. A. Objective quantification of drought severity and duration. **Journal of Climate**, Boston, v. 12, p. 2747-2756, 1999.
- DRACUP, J. A.; LEE, K. S. & PAULSON, G. On the statistical characteristics of drought events. **Water Resources Research**, Washington, v. 16, n. 2, p. 289-296, 1980.
- DRACUP, J. A.; LEE, K. S. & PAULSON, G. On the definition of droughts. **Water Resources Research**, Washington, v. 16, n. 2, p. 297-302, 1980.
- GUTTMAN, N. B. Comparing the Palmer drought index and the standardized precipitation index. **Journal of the American Water Resources Association**, Washington, v. 34, n. 1, p. 113-121, 1998.

- HAYES, M. J.; SVOBODA, M. D.; WILHITE, D. A. & VANYARKHO, O. V. Monitoring the 1996 drought index using the standardized precipitation index. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Boston, v. 80, n. 3, 1999.
- KARL, T. The sensitivity of the Palmer drought severity index and Palmer's Z-index to their calibration coefficients including potential evapotranspiration. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, Boston, v. 25, p. 313-329, 1986.
- KARL, T.; QUINLAN, F. & EZELL, D. S. Drought termination and amelioration: Its climatological probability. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, Boston, v. 26, p. 1198-1209, 1987.
- McKEE, T. B.; DOESKEN, N. J. & KLEIST, J. Drought monitoring with multiple time scales. **Preprints 9th Conference on Applied Climatology**, American Meteorological Society, Boston, p. 233-236, 1995.
- OLAPIDO, E. O. A comparative performance analysis of three meteorological drought indexes. **Journal of Climatology**, Chichester, v. 5, p. 655-664, 1985.
- PALMER, W. C. **Meteorological Drought**. Research Paper n. 45, Weather Bureau, Washington, 58 p., 1965.
- SANTOS, F. A. S. & ANJOS, R. J. Utilização do Índice de Precipitação Padronizada (SPI) no monitoramento da seca no Estado de Pernambuco. **Anais XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, Fortaleza, p.121-122, 2001.
- SHIMSHONI, M. On Fisher's test of significance in Harmonic Analysis. **Geophysical Journal of the Royal Astrophysical Society**, London, v. 23, p.373-377.
- WMO. **Drought and Agriculture**. WMO technical Note 138, Génève, 127 p., 1975.