

Correlação em séries temporais de temperatura na região de Cascavel, Estado do Paraná

Isabel Tamara Pedron

Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua Pernambuco, 1777, 85960-000, Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brasil. E-mail: itpedron@yahoo.com.br

RESUMO. Temperaturas podem ser correlacionadas por funções tipo leis de potência, e o termo de persistência pode ser caracterizado por uma função de autocorrelação $C(t)$ de variações de temperatura, e t é o tempo entre as observações. Esta função decai como $C(t) \sim t^{-\gamma}$ em que γ representa o expoente de correlação. Neste trabalho, este expoente é obtido por meio da análise de flutuações em séries temporais de temperatura média, máxima e mínima, na região de Cascavel, Estado do Paraná, no período de 1972 a 2004. Foi utilizado o método *Detrended Fluctuation Analysis* - DFA, que se mostrou útil para detectar correlações de longa duração e também permitiu obter os expoentes para leis de escala locais e que podem ser comparados aos obtidos em outras regiões do planeta. Por meio deste método foi obtido o expoente de Hurst (H), o qual está relacionado com γ por $\gamma = 2(1 - H)$. O valor $\gamma = 0,74$ obtido, neste trabalho, encontra-se no limite superior da faixa de valores apresentados na literatura para outras regiões do planeta.

Palavras-chave: *Detrended Fluctuation Analysis*, séries temporais, séries correlacionadas, temperatura.

ABSTRACT. *Correlation in temperature time series in Cascavel, Paraná State.*

Temperatures can be correlated by power-law kind functions, and the persistency term can be characterized by a self-correlation function $C(t)$ of temperature variations, where t is the time between observations. This function decreases as $C(t) \sim t^{-\gamma}$, where γ represents the correlation exponent. In this work this exponent is obtained by fluctuations analysis of temperature time series in Cascavel area, from 1972 to 2004. It is applied the *Detrended Fluctuation Analysis* - DFA method, which becomes useful to detect long range correlations and allows to obtain the exponents for local scale rules. These exponents can be compared with those obtained in other areas of the planet. Through this method the Hurst exponent H is obtained which is related with γ by $\gamma = 2(1 - H)$. The value $\gamma = 0,74$ obtained here is in the superior limit of the values range presented in the literature for other places around the world.

Key words: *Detrended Fluctuation Analysis*, time series, correlated series, temperature.

Introdução

Uma série temporal consiste numa seqüência única de dados obtidos ao longo de um determinado período de tempo. Uma investigação interessante que pode ser efetuada na série é identificar se a seqüência destes registros apresenta correlação, isto é, se existe um efeito de memória de longa duração nesse conjunto de dados ao longo do tempo. Pode-se verificar a existência de correlação em séries temporais por meio de diversas formas (Taqqi *et al.*, 1995). Uma possível metodologia consiste em estimar como determinada medida de flutuação da série, denotada genericamente por F , escala com o tamanho s da janela de tempo considerada. O método específico para essa análise é o método *Detrended Fluctuation Analysis* - DFA (Peng *et al.*, 1994). A função flutuação F comporta-se como lei de

potência em relação aos valores escolhidos para s , ou seja, $F \propto s^H$. O expoente H também é conhecido como expoente de Hurst. A variação do expoente de Hurst no tempo, para uma dada série, indica a existência de flutuações não-estacionárias, apontando para um processo multifractal (Kantelhardt *et al.*, 2002).

Em anos recentes, tem sido dedicado esforço considerável na análise de correlações que caracterizam a persistência em regimes climáticos, e o método DFA tem se mostrado instrumento bastante útil na análise e quantificação desse fenômeno. É bem conhecida a persistência nas condições de tempo, por exemplo, se o dia é ensolarado e quente, existe alta tendência de que o próximo dia permaneça similar. Indicações dessa persistência por meses ou estações são conhecidas (Shukla, 1998), entre anos sucessivos e mesmo por meio de décadas (Molinari *et al.*, 1997; Sutton e Allen,

1997). Temperaturas podem ser correlacionadas por leis de potência, e o termo de persistência pode ser caracterizado por uma função de autocorrelação $C(t)$ de variações de temperatura, em que t é o tempo entre as observações. Esta função decai como $C(t) \sim t^{-\gamma}$, em que o expoente de correlação γ está relacionado com o expoente de Hurst na forma $\gamma = 2(1 - H)$ (Bunde e Havlin, 1995).

Mesmo com desacordo no valor do expoente γ , o fato de que a persistência no comportamento da temperatura pode ser caracterizada por esta função de autocorrelação é bem estabelecido. Vários trabalhos obtiveram os mesmos valores para o expoente em estações continentais que independem do local das medidas, com $\gamma \approx 0,7$ (Koscielny-Bunde *et al.*, 1996 e 1998). Neste sentido, a presença de uma aparente lei universal de persistência indica que os processos governantes da dinâmica atmosférica, em diferentes zonas climáticas, são baseados em princípios similares. Por outro lado, modelos acoplados oceano-atmosfera parecem violar este princípio e indicam uma distribuição geográfica de leis de escala (Fraedrich e Blender, 2003). Existem variações para estações em ilhas (Eichner *et al.*, 2003; Monetti *et al.*, 2003) e em medidas nas superfícies de oceanos (Fraedrich e Blender, 2003). Aparentemente, também existe relação entre o valor do expoente e a latitude (Tsonis, 1999; Király e Jánosi, 2004) e, também, com a altitude da estação meteorológica (Weber e Talkner, 2001), apontando para uma possível dependência do expoente de correlação com a localização geográfica, inclusive relacionando os expoentes com o tipo de clima local. Estas variações estão na faixa de $\gamma \approx 0,5$ a $\gamma \approx 0,7$ (Kurnaz, 2004).

O objetivo deste trabalho foi determinar o expoente de Hurst (H) e o expoente de correlação (γ) para séries de temperaturas diárias médias, máximas e mínimas, com dados obtidos na estação meteorológica de Cascavel – Estado do Paraná.

Material e métodos

Os dados foram obtidos dos registros da estação meteorológica de Cascavel – Estado do Paraná (altitude 719,3 m), no período de 1º/01/73 a 31/12/04, totalizando 11.656 registros. Parte dos dados foi fornecida pelo Instituto Agrônomo do Paraná (Iapar), e a partir de 1997 foram fornecidos pelo Instituto Tecnológico Simepar, Estado do Paraná (www.simepar.br). Foram analisadas séries de valores diários de temperatura máxima, média e mínima.

O método DFA

Inicialmente, para evitar pseudocorrelações por causa de influências sazonais na série temporal de temperatura $x(t)$, com $t = 1, 2, \dots, N$ e sendo N o número total de registros diários, é computado o desvio de cada registro em relação ao valor médio daquele dia na série completa, ou seja, $\Delta T(t) = x(t) - x_{\text{med}}$. É obtida, então, a série integrada dos desvios

$$T(t) = \sum_{k=1}^t \Delta T(k)$$

com $t = 1, 2, \dots, N$. Esta série é subdividida em n intervalos de tamanho s , não superpostos, em que $n = N/s$. No método DFA de primeira ordem, é calculada, em cada intervalo, a diferença entre o valor da série e a reta $y_n(t) = a_n + b_n(t)$ que melhor ajusta a sua curva, para cada ponto t . É computada então a função flutuação

$$F(s) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N [T(t) - y_n(t)]^2}.$$

Esta função comporta-se como uma lei de potência, do tipo $F(s) \propto s^H$, em que H é o expoente de Hurst. Esta relação pode ser linearizada e em um gráfico logXlog e é representada por uma reta cuja inclinação H é justamente o expoente procurado. Para séries não-correlacionadas, espera-se que $F(s) \propto s^{1/2}$, o que significa que $H = 1/2$ representa uma sequência de dados aleatória, caso típico do movimento browniano usual. Em contraste, quando, com $H = 1/2$, afirma-se que a série apresenta correlação, ou seja, um efeito de memória de longa duração. Neste caso, $H > 1/2$ está relacionado a um comportamento persistente e $H < 1/2$ a um comportamento antipersistente. Para s , foram escolhidos valores que variam de três a 1.100 dias.

Para testar o método e garantir que as correlações (no caso, efeito de memória) são realmente da sequência dos dados, o método foi aplicado para os dados embaralhados de cada série. Neste caso, não deve haver correlação, ou seja, $H \sim 1/2$, como é de se esperar para uma sequência aleatória de valores.

Resultados e discussão

Na Figura 1 é apresentado o gráfico da série acumulada dos desvios diários $T(t)$ da temperatura média no período de 1º/01/73 a 31/12/04 (total de 11.656 registros). O objetivo, ao se construir a série integrada, é eliminar o grande número de oscilações e obter uma figura mais lisa a qual se torna mais

apropriada para aplicar o método.

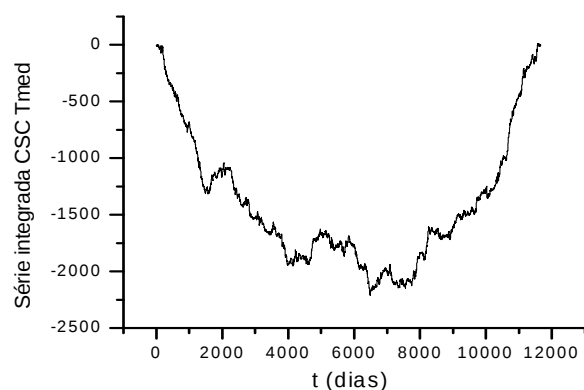


Figura 1. Série acumulada dos desvios diários de temperatura média ao longo do período.

Na Figura 2 é ilustrado o gráfico da função medida de flutuação $F(s)$ em função do tamanho s das janelas de tempo (em dias), correspondente aos dados de temperatura média diária. Neste segundo gráfico, em que já estão representados os logaritmos destes valores, a inclinação da reta fornece diretamente o valor do expoente H . Interessante ressaltar que o comportamento tipo lei de potência para a medida de flutuação torna-se mais evidente para maiores valores de s . Em relação aos pequenos valores de s , o procedimento utilizado remove muito a flutuação e este efeito é responsável pelo encurvamento típico da função nos pontos iniciais. Ambas as figuras representam os resultados para a série de temperatura média. Para esta série $H = 0,63$ o que implica $\gamma = 0,74$, um valor próximo ao limite superior dos encontrados na literatura. O mesmo procedimento fornece valores similares tanto para séries de temperatura mínima como para séries de temperatura máxima.

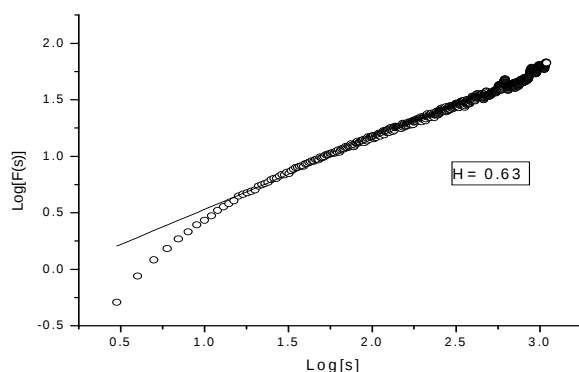


Figura 2. A função flutuação $F(s)$ (pontos discretos) em função da janela de tempo s para a série de temperatura média. Os valores de s variam de três a 1.100 dias. Na representação, os valores já estão em escala logarítmica, portanto a inclinação da reta fornece diretamente o expoente de Hurst (H).

Na Figura 3 é apresentado o resultado da aplicação do método para os dados embaralhados da série completa de temperatura média. O valor $H = 0,51$ indica não-correlação, como esperado para uma sequência aleatória de valores.

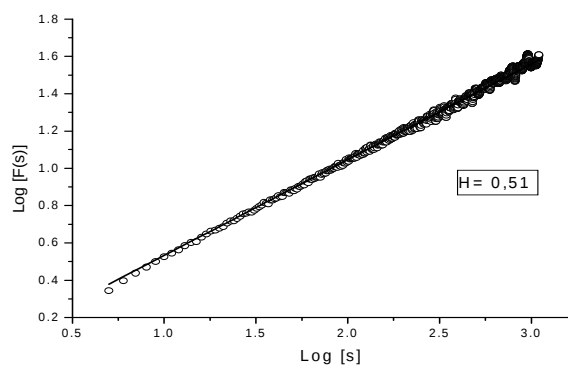


Figura 3. Para os dados embaralhados da série de temperatura média a aplicação do método conduz a $H = 0,51$, significando que não existe correlação para uma sequência aleatória de valores.

Conclusão

A presença de uma aparente lei universal de persistência indica que os processos governantes da dinâmica atmosférica, em diferentes zonas climáticas, são baseados em princípios similares. Por outro lado, a existência de uma possível relação entre a localização ou mesmo a elevação de uma estação meteorológica e o valor do expoente de correlação indica a possibilidade de se estabelecer conexão entre a natureza estatística das flutuações na temperatura e o clima. Nesse trabalho, foi obtido valor para o expoente de correlação para a região de Cascavel – Estado do Paraná, que está em acordo com os apresentados na literatura. Por outro lado, torna-se importante a investigação desses expoentes em dados obtidos de outras estações, na região e no país, levando em conta as variáveis: localização e altitude, para, então, comparar com os valores obtidos em outras regiões climáticas do globo.

Agradecimentos

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pelo apoio à pesquisa e, ao Simepar (Instituto Tecnológico Simepar – Estado do Paraná), pela disponibilidade de parte dos dados.

Referências

- BUNDE, A.; HAVLIN, S. *Fractals in science*. New York: Springer, 1995.
- EICHNER, J. *et al.* Power-law persistence and trends in

- the atmosphere: a detailed study of long temperature records. *Phys. Rev. E*, College Park, v. 68, p. 046133, 2003.
- FRAEDRICH, K.; BLENDER, R. Scaling of atmosphere and ocean temperature correlations in observations and climate models. *Phys. Rev. Lett.*, College Park, v. 90, n. 10, p. 108501, 2003.
- KANTELHARDT, J.W. *et al.* Multifractal detrended fluctuation analysis of nonstationary time series. *Physica A*, Amsterdam, v. 316, p. 87-114, 2002.
- KIRÁLY, A.; JÁNOSI, I.M. Detrended fluctuation analysis of daily temperature records: geographic dependence over Australia. *ArXiv: physics/0403120*. v. 1, 2004. Disponível em: <http://xxx.lanl.gov/PS_cache/physics/pdf/0403/0403120.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2006.
- KOSCIELNY-BUNDE, E. *et al.* Analysis of daily temperature fluctuations. *Physica A*, Amsterdam, v. 231, p. 393-396, 1996.
- KOSCIELNY-BUNDE, E. *et al.* Indication of a universal persistence law governing atmospheric variability. *Phys. Rev. Lett.*, College Park, v. 81, p. 729-732, 1998.
- KURNAZ, M.L. Detrended fluctuation analysis as a statistical tool to monitor the climate. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*. 2004. Disponível em: <http://xxx.lanl.gov/PS_cache/cond-mat/pdf/0403/0403671.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2006.
- MOLINARI, R.L. *et al.* Multiyear variability in the near-surface temperature structure of the mid latitude western North Atlantic Ocean. *J. Geophys. Res.*, Dordrecht, v. 102, p. 3267-3278, 1997.
- MONETTI, R.A. *et al.* Long-term persistence in the sea surface temperature fluctuations. *Physica A*, Amsterdam, v. 320, p. 581-589, 2003.
- PENG, C.K. *et al.* Mosaic organization of DNA nucleotides. *Phys. Rev. E*, College Park, v. 49, p. 1685-1689, 1994.
- SHUKLA, J. Predictability in the Midst of Chaos: A scientific basis for climate forecasting. *Science*, Washington, D.C., v. 282, p. 728-731, 1998.
- SUTTON, R.T.; ALLEN, M.R. Decadal predictability of North Atlantic sea surface temperature and climate. *Nature*, London, v. 388, p. 563-567, 1997.
- TAQQU, M.S. *et al.* Estimators for long-range dependence: an empirical study. *Fractals*, London, v. 3, n. 4, p. 785-798, 1995.
- TSONIS, A.A. *et al.* Long-range correlations in the extratropical atmospheric circulation. *J. Climate*, Toronto, v. 12, p. 1534-1541, 1999.
- WEBER, R.O.; TALKNER, P. Spectra and correlations of climate data from days to decades. *J. Geophys. Res.*, Dordrecht, v. 106, p. 20131-20144, 2001.

Received on February 17, 2006.

Accepted on August 23, 2007.