

## AVALIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO DIÁRIA DO ESTADO DE SERGIPE UTILIZANDO ANÁLISE DE LACUNARIDADE

Leandro Ricardo Rodrigues de LUCENA<sup>1</sup>  
Tatijana STOSIC<sup>1</sup>  
Moacyr CUNHA FILHO<sup>1</sup>

- RESUMO: Neste artigo avaliamos a variabilidade temporal da precipitação diária de estações meteorológicas do estado de Sergipe utilizando o método de lacunaridade. Os resultados mostraram que nas estações localizadas no litoral os valores de lacunaridade das séries de precipitação foram menores (indicando um comportamento mais homogêneo), enquanto que no semiárido e no agreste os valores de lacunaridade de precipitação foram maiores (indicando um comportamento mais heterogêneo). Os resultados do agrupamento (utilizando os valores de lacunaridade) mostraram que o método de lacunaridade pode ser usado para identificar as regiões geográficas com comportamento temporal característico da precipitação.
- PALAVRAS-CHAVE: Fractal; variabilidade climática; fenômenos hidrológicos.

### 1. Introdução

O clima de uma região é determinado por vários fatores entre quais os mais importantes são circulação geral da atmosfera, topografia local, cobertura vegetal, maritimidade e continentalidade. Estes fatores atuam tanto na escala global como na regional (Molion, 1987). A variabilidade climática pode afetar de forma importante a vida econômica e social da população em geral, na geração de energia, nas atividades agrícolas, na indústria turística e, de forma indireta, em todo setor produtivo.

A precipitação pluviométrica é uma das variáveis climáticas mais importantes na caracterização das mudanças climáticas de uma região (Almazroui et al., 2012) interferindo nas alternâncias de rendimento das culturas (Silva et al., 2003; Bannayan, 2011) e produção primária (Ye et al., 2013). O conhecimento da variabilidade espacial e temporal de precipitação é crucial para planejamento de ações relacionadas aos usos da água em bacias hidrográficas, que vão desde a utilização de sistemas para irrigação a cisternas para abastecimento em regiões de escassez hídrica.

O clima predominante da região Nordeste Brasileira (2°–14°S, 35°–46°W) é o semiárido com uma elevada irregularidade sazonal e interanual de chuva. Os eventos extremos chuvosos e secos são associados aos fenômenos climáticos regionais como El Niño Oscilação Sul (ENOS) e gradiente meridional de Temperatura da Superfície do Mar

---

<sup>1</sup>Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Departamento de Estatística e Informática, CEP: 52171-900, Recife, PE, Brasil. E-mail: [leandroricardo\\_est@yahoo.com.br](mailto:leandroricardo_est@yahoo.com.br); [tastosic@gmail.com](mailto:tastosic@gmail.com); [moacyr@deinfo.ufrpe.br](mailto:moacyr@deinfo.ufrpe.br).

(TCM). Durante as fases negativas de ENOS e as positivas da TCM as chuvas são elevadas, enquanto as fases positivas de ENOS e as negativas da TCM são caracterizadas pelo menor volume da chuva e ocorrências de secas (Lucena et al., 2011).

A elevada irregularidade na distribuição temporal da chuva afeta fortemente a produção agrícola e o abastecimento de água a população. Vários métodos quantitativos foram aplicados em análise de variação temporal e espacial da chuva (Buytaert et al., 2006; Sun et al., 2012; Zhang et al., 2008) com foco em tendências de valores médios, máximos e mínimos e da distribuição dos períodos de seca e da chuva intensa. Recentemente o método de lacunaridade mostrou-se promissor em estudos hidrológicos, contribuindo ao melhor entendimento de variabilidade temporal e fragmentação dos períodos chuvosos e períodos de seca (Martinez et al., 2007; Lana et al., 2010; Lucena et al., 2014; Lucena e Campos, 2014).

O método de lacunaridade foi introduzido para descrever a distribuição de tamanhos de lacunas em um conjunto de dados (Mandelbrot, 1982). No caso da precipitação as lacunas correspondem aos períodos de seca (dias consecutivos sem chuva ou com precipitação abaixo de um limiar). A hipótese do artigo é que o método de lacunaridade forneça as informações sobre a fragmentação dos períodos chuvosos e períodos de seca nas diferentes escalas temporais, podendo ser utilizado para regionalização do regime pluviométrico.

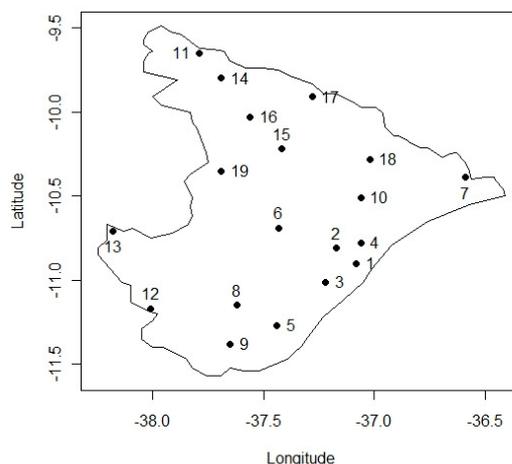
Neste artigo aplicamos o método de lacunaridade nas séries temporais diárias de precipitação registradas no estado de Sergipe para avaliar a distribuição de períodos de seca em múltiplas escalas temporais e identificar as regiões geográficas caracterizadas pelo regime específico de chuva.

## **2. Materiais e métodos**

### **2.1 Dados**

O estado de Sergipe, (com área de 22.000 km<sup>2</sup> e população de 2.068.017 habitantes) esta localizada na região Nordeste do Brasil, nas coordenadas geográficas 9° 31' 54" a 11° 34' 12" 9° 31' Se 36° 24' 27" a 38° 11' 20" 36° 25' We encontra-se entre os estados da Bahia e Alagoas e no Oceano Atlântico (Aragão et al., 2013). O clima de Sergipe é caracterizado pela ampla variabilidade espacial e temporal com precipitação média variando de 700 mm/ano no semiárido, de 1.000 mm/ano no agreste e de 1.355 mm/ano no litoral. A precipitação é concentrada nos períodos de abril a agosto definindo as estações chuvosa e seca, com secas severas em alguns anos e enchentes em outros anos. A temperatura média anual do ar varia de 22,7 a 26,5 °C e a umidade relativa média anual varia de 65% a 80% (Aragão et al., 2011).

Foram utilizados os dados de precipitação pluviométrica diária de 19 estações meteorológicas no período de 01 de janeiro de 2006 a 31 de julho de 2012 disponibilizadas pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos – SEMARH<<http://www.semarh.se.gov.br/meteorologia/modules/tinyd0/index.php?id=50>> do estado de Sergipe (Figura 1).



Distribuição espacial das estações meteorológicas do estado de Sergipe.

## 2.2. Análise de lacunaridade

O conceito de lacunaridade foi introduzido por Mandelbrot (1982) para analisar a distribuição do tamanho de lacunas dentro de um sistema físico e foi aplicado em estudos de objetos fractais (Feder, 1988). Análise de lacunaridade também se mostrou eficaz em estudos de séries temporais, e dados espaciais (Lucena et al., 2014; Martinez et al., 2010; Plotnick et al., 1996; Malhi e Román-Cuesta, 2008).

Existem vários métodos para o cálculo de lacunaridade, entre os quais o mais utilizado é o método de deslizamento de caixas desenvolvido por Allain e Cloitre (1991). Para dados quantitativos unidimensionais este método é descrito pelos seguintes passos:

- i. Uma caixa de tamanho  $r$  é colocada na origem do banco de dados e o número  $s$  de sítios ocupados (com valores abaixo do limiar escolhido) é contado.
- ii. A caixa é movida ao longo de todo o conjunto de observações, e sua massa (número de sítios ocupados) é calculada.
- iii. A distribuição de probabilidade de massa da caixa é dada por:

$$P(s,r) = n(s,r)/N(r), \quad (1)$$

onde,  $n(s,r)$  é o número de caixas de tamanho  $r$  com massa  $s$  e  $N(r) = N - r + 1$  é o número total de caixas de tamanho  $r$  ( $N$  é o número total de observações).

- iv. A lacunaridade para o tamanho de caixa  $r$  é definida por:

$$L(r) = M2/[M1]^2, \quad (2)$$

onde,  $M1 = \sum_{s=1}^r s * p(s,r)$  e  $M2 = \sum_{s=1}^r s^2 * p(s,r)$  são o primeiro e o segundo momento da distribuição  $P(s,r)$ , respectivamente.

v. A lacunaridade diminui com tamanho de caixa como uma lei de potência

$$L(r) = ar^{\beta}, \quad (3)$$

onde, o expoente  $\beta < 0$  pode ser calculado como coeficiente angular da reta  $\log L(r)$  vs  $\log(r)$  (Martinez et al., 2007).

Valores grandes de lacunaridade implicam em grandes tamanhos de lacunas e uma maior heterogeneidade, enquanto que pequenos valores implicam em menores tamanhos de lacunas, o que sugere uma distribuição mais uniforme (Mandelbrot, 1982).

Na análise pluviométrica, a lacunaridade é uma medida da distribuição das lacunas definidas como uma sequência de dias consecutivos com valores de precipitação abaixo do limiar escolhido (Martinez et al., 2007). Para avaliação da lacunaridade foram escolhidos os limiares de 0, 5 e 10 mm/dia de precipitação pluvial.

### 2.3. k-médias

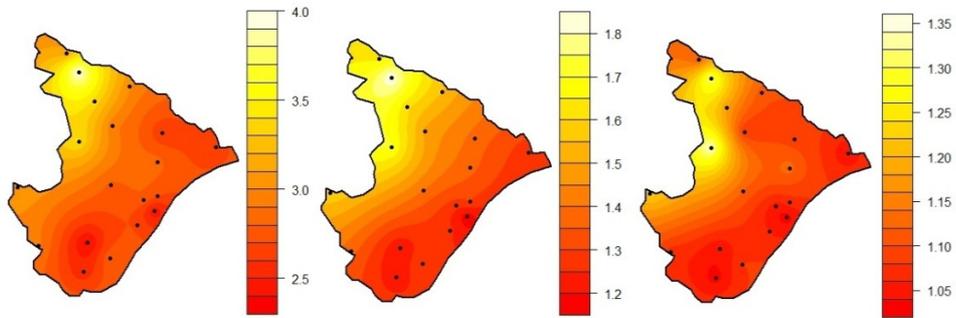
O método de k-médias foi desenvolvido para agrupar elementos em k grupos, onde k é quantidade de grupos pré-definidos. O k-médias é um método de partição que fornece indicações mais precisas sobre o número de grupos a ser formado. Esse método é bastante utilizado para agrupar objetos bastante similares a menos de pequenas variações (Bussab et al., 1990).

Utiliza-se a soma de quadrados dos resíduos provindo da análise de variância como um critério para se obter maior homogeneidade no grupo e maior heterogeneidade entre os grupos, obtendo assim uma partição ótima (Bussab et al., 1990).

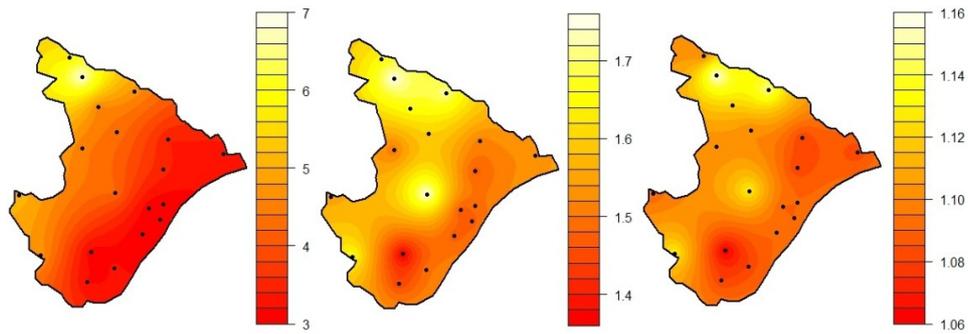
O algoritmo eficaz para utilização do k-médias foi desenvolvido por Hartigan e Wong (1979), este algoritmo consiste em encontrar a melhor partição iniciando com um conjunto de observações e indicando o número de grupos, no passo seguinte encontram-se os centroides de cada grupo, posteriormente aloca cada elemento ao grupo do centroide mais próximo, feito isto recalcula os centroides dos grupos a partir dos elementos alocados, por fim isto é feito até que se encontre um grupo ótimo segundo algum critério de convergência (Hartigan e Wong, 1979).

## 3. Resultados

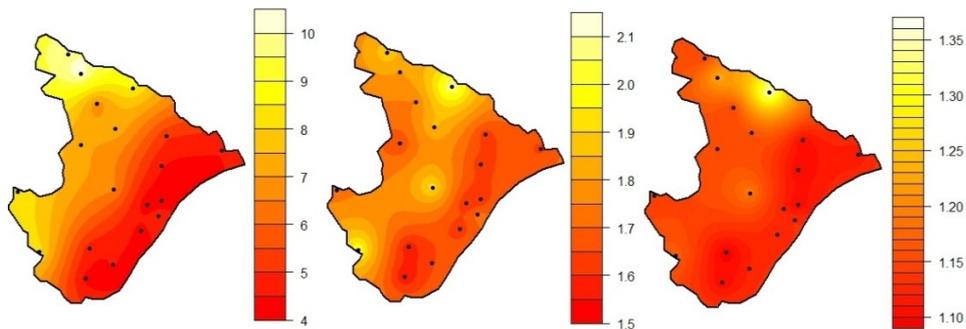
Verifica-se que para todas as estações meteorológicas os valores de lacunaridade diminuem com o tamanho das janelas para todos os limiares de precipitação, indicando uma distribuição mais uniforme de lacunas (períodos com precipitação abaixo destes limiares) Figuras 2, 3 e 4. Observa-se ainda o menor valor de lacunaridade (para todos os limiares escolhidos) na região litoral do estado, indicando uma distribuição de períodos chuvosa mais homogênea. Os valores de lacunaridade aumentam nas regiões do semiárido e agreste indicando uma maior heterogeneidade na duração dos períodos de seca. Observa-se ainda que o valor de lacunaridade aumenta com o limiar de precipitação, Figuras 2, 3 e 4.



Lacunaridade empírica para tamanhos de janelas de 2, 64 e 256 dias com limiar de precipitação 0 mm.

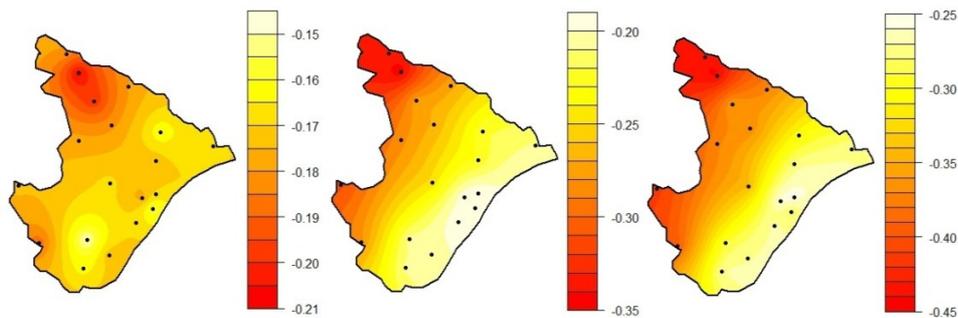


Lacunaridade empírica para tamanhos de janelas de 2, 64 e 256 dias com limiar de precipitação 5 mm.



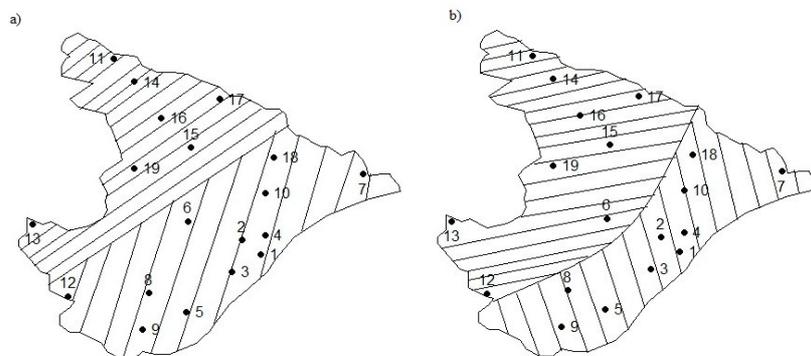
Lacunaridade empírica para tamanhos de janelas de 2, 64 e 256 dias com limiar de precipitação 10 mm.

A Figura 5 mostra os valores do expoente  $\beta$  de lacunaridade para diferentes limiares de precipitação. Observa-se que os valores do expoente  $\beta$  aumentam com o aumento do limiar escolhido, indicando maior heterogeneidade na dinâmica da precipitação.



Valores do expoente  $\beta$  de lacunaridade das estações meteorológicas para os limiares de 0, 5 e 10 mm de precipitação.

Através da análise de k médias, utilizando os valores da lacunaridade e do expoente  $\beta$ , observa-se na Figura 6a que foram classificadas as estações de 1 a 10, 12 e 18 num mesmo grupo e as demais estações em outro grupo com limiar de precipitação de 0 mm. Quando avaliado os limiares de 5 e 10 mm de precipitação a análise de k-médias forneceu os seguintes grupos de estações: um grupo contendo as estações 1 a 5 e 7 a 10, e outro grupo com as demais estações meteorológicas, Figura 6b.



Agrupamento das estações meteorológicas em relação aos níveis de precipitação de (a - 0 mm; b - 5 e 10 mm).

Esta formação de dois grupos de estações meteorológicas se deve ao fato de que um dos grupos apresenta posição desfavorável à costa do litoral sergipano, pois estas estações sofrem com a escassez de chuva, fato também constatado por estarem localizadas na região semiárida do estado. Um resultado similar foi obtido aplicando equação de chuvas intensas (IDF) nos dados de chuva diária de 48 postos, desagregados com base em fatores

de proporcionalidade, além das distribuições de Weibull e Gumbel (Aragão et al., 2013). Comparando os valores especializados dos parâmetros da IDF com o mapa das regiões climáticas do estado de Sergipe, evidenciou-se que a região do agreste sergipano e o semiárido são aquelas nas quais ocorre uma quantidade menor de precipitação, diferente do que ocorre no litoral úmido (Aragão et al., 2013).

## Conclusões

Neste artigo estudamos a dinâmica temporal da precipitação no estado de Sergipe utilizando o método de lacunaridade. Este método se mostrou bastante eficaz para avaliar as propriedades das séries temporais de precipitação pluviométrica. Os valores grandes de lacunaridade observados nas regiões do semiárido e agreste indicaram maior heterogeneidade na distribuição da duração de secas e, conseqüente, pouca quantidade de chuva, enquanto que valores pequenos observados no litoral indicam maior concentração de precipitação com uma distribuição mais uniforme.

Utilizando os valores de lacunaridade e o expoente  $\beta$  de lacunaridade foi possível classificar dois padrões de precipitação no estado de Sergipe, um padrão formado pelas estações que se aproximam da costa sergipana e outro das estações que se localizam nas regiões do semiárido e agreste. Estes resultados fornecem novas informações sobre a fragmentação dos períodos chuvosos no estado de Sergipe, que podem ser usados em planejamento das atividades agrícolas e desenvolvimento de estratégias para diminuir as conseqüências de fenômenos climáticos extremos (seca, cheia) e assim contribuir ao melhoramento da qualidade de vida da população e desenvolvimento sustentável da região.

LUCENA, L. R. R.; STOSIC, T.; CUNHA FILHO, M. Evaluation of daily precipitation in the state of Sergipe using the method of lacunarity. *Rev. Bras. Biom.*, São Paulo, v.33, n.2, p.168-276, 2015.

- *ABSTRACT: In this work we evaluate temporal variability of daily precipitation registered at meteorological stations in the state of Sergipe using the method of lacunarity. The results show that in the coastal region precipitation series demonstrate lower lacunarity (indicating more homogeneous behavior) while in the semiarid and in the dry regions precipitation demonstrates higher lacunarity (indicating more heterogeneous behavior). It is shown that clustering of calculated lacunarity values can be used to identify geographical regions with characteristic temporal variability of precipitation.*
- *KEYWORDS: Lacunarity; rainfall; Sergipe.*

## Referências

ALLAIN, C.; CLOITRE, M. Characterizing the lacunarity of random and deterministic fractal sets, *Physical Review A*, v.44, p.3552-3558, 1991.

ALMAZROUI, M.; ISLAM, M. N.; JONES, P. D.; ATHAR, H.; RAHMAN, M. A. Recent climate change in the Arabian Peninsula: Seasonal rainfall and temperature climatology of Saudi Arabia for 1979–2009. *Atmospheric Research*, v.111, p.29-45, 2012.

- ARAGÃO, R.; SANTANA, G. R.; COSTA, C. E. F. F.; CRUZ, M. A. S.; FIGUEIREDO, E. E.; SRINIVASAN, V. S. Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, p.243-252, 2013.
- ARAGÃO, R.; ALMEIDA, J. A. P.; FIGUEIREDO, E. E.; SRINIVASAN, V. S. Mapeamento do potencial de erosão laminar na Bacia do Rio Japarutuba, SE, via SIG. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.731-740, 2011.
- BANNAYAN, M. Effects of precipitation and temperature on crop production variability in northeast Iran, *International Journal of Biometeorology*, v.55, p.387-401, 2011.
- BUSSAB, W. O.; MIAZAKI, E. S.; ANDRADE, D. F. *Introdução à análise de agrupamento*. São Paulo: Associação Brasileira de Estatística, 1990.
- BUYTAERT, W.; CELLERI, R.; WILLEMS, P.; DE BIÈVRE, B.; WYSEURE, G. Spatial and temporal rainfall variability in mountainous areas: A case study from the south Ecuadorian Andes. *Journal of Hydrology*, v.329, p.413-421, 2006.
- FEDER, J. *Fractals*. Plenum Press, New York, 1988.
- HARTIGAN, J. A.; WONG, M.A. Algorithm, as136: A k-means Clustering algorithm. *Applied statistics*, v.28, p.100-108, 1979.
- LANA, X.; MARTINEZ, M. D.; SERRA, C.; BURGUEÑO, A. Complex behavior and predictability of the European dry spell regimes, *Nonlinear Processes in Geophysics*, v.17, p.499-512, 2010.
- LUCENA, R. R. L.; STOSIC, T.; CUNHA FILHO, M. Análise de lacunaridade de série temporal da vazão dos rios Atibaia e Jaguari. *Revista Brasileira de Biometria*, v.32, n.4, p.609-617, 2014.
- LUCENA, L. R. R., CAMPOS, A. C. P. Análise de lacunaridade da precipitação de bacias hidrográficas do estado de São Paulo. *Biomatemática*, v.24, p.1-8, 2014.
- LUCENA, D. B.; SERVAIN, J.; GOMES FILHO, M. F. Rainfall Response in Northeast Brazil from Ocean Climate Variability during the Second Half of the Twentieth Century. *Journal of Climate*, v.24, p.6174-6184, 2011.
- MALHI, Y.; ROMÁN-CUESTA, M. R. Analysis of lacunarity and scales of spatial homogeneity in IKONOS images of Amazonian tropical forest canopies. *Remote Sensing of Environment*, v.112, p.2074-2087, 2008.
- MANDELBROT, D. *The fractal geometry of nature*. Freeman, San Francisco, USA, 1982.
- MARTINEZ, M. D.; LANA, X.; BURGUEÑO, A.; SERRA, C. Lacunarity, predictability and predictive instability of the daily pluviometric regime in the Iberian Peninsula. *Nonlinear Processes in Geophysics*, v.14, p.109-121, 2007.
- MARTINEZ, M. D.; LANA, X.; BURGUEÑO, A.; SERRA, C. Predictability of the monthly North Atlantic Oscillation index based on fractal analysis and dynamics system theory. *Nonlinear Processes in Geophysics*, v.17, p.93-101, 2010.
- MOLION, L. C. B. Climatologia dinâmica da região amazônica: mecanismos de precipitação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.2, p.107-117, 1987.

PLOTNICK, R. E.; GARDNER, R. H.; HARGROVE, W. W.; PRESTEGAARD, K.; PERLMUTTER, M. Lacunarity analysis: A general technique for the analysis of spatial patterns. *Physical Review E*, v.53, p.5461-5468, 1996.

SILVA, J. W.; GUIMARÃES, E. C.; TAVARES, M. Variabilidade temporal da precipitação mensal e anual na estação climatológica de Uberaba-MG. *Ciências e Agrotecnologia*, v.27, p.665-674, 2003.

SUN, F.; RODERICK, M.; FARQUHAR, G. D. Changes in the variability of global land precipitation. *Geophysical Research Letters*, v.39, L19402, 2012.

YE, J. S.; REYNOLDS, J. F.; SUN, G. J.; LI, F.M. Impacts of increased variability in precipitation and air temperature on net primary productivity of the Tibetan Plateau: a modeling analysis. *Climatic Change*, v.119, p.321-332, 2013.

ZHANG, Q.; XU, C.Y.; ZHANG, Z.; CHEN, Y.D.; LIU, C. L.; LIN, H. Spatial and temporal variability of precipitation maxima during 1960–2005 in the Yangtze River basin and possible association with large-scale circulation. *Journal of Hydrology*, v.353, p.215-227, 2008.

Recebido em 03.02.2015

Aprovado após revisão em 08.05.2015