

## ANÁLISE DE LACUNARIDADE DE SÉRIE TEMPORAL DA VAZÃO DOS RIOS ATIBAIA E JAGUARI

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

- RESUMO: Neste artigo aplicamos o método de lacunaridade nas séries temporais diárias de vazão das estações dos rios Atibaia e Jaguari para os períodos antes e depois construção dos reservatórios do sistema Cantareira (SABESP), responsável pela reversão interbacias (de bacia de rio Piracicaba) de  $31\text{m}^3\text{s}^{-1}$  para abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Os resultados da análise de lacunaridade mostraram que esta metodologia é bastante eficaz na avaliação do impacto de atividade humana no regime natural da vazão do rio. Depois da construção dos reservatórios os valores de lacunaridade e do expoente  $\beta$  mostraram-se menores do que em relação ao período pré-construção do sistema Cantareira, indicando uma distribuição mais uniforme dos períodos com vazão abaixo dos limiares escolhidos e a diminuição de heterogeneidade na variação temporal da vazão.
- PALAVRAS-CHAVE: Lacunaridade; vazão; sistema Cantareira.

### 1 Introdução

O acelerado desenvolvimento urbano e agroindustrial de algumas regiões do Brasil tem provocado a degradação dos seus recursos hídricos em seus aspectos quantitativos e qualitativos. A região da bacia do rio Piracicaba ( $12.400\text{ km}^2$ ), com aproximadamente 3.000.000 de habitantes, é um exemplo típico dessa situação preocupante (Mortattiet al., 2004). As principais causas de degradação da quantidade e da qualidade desses recursos são o aumento do consumo de água e das cargas de esgotos urbano e agroindustrial, as mudanças no uso da terra e a transferência de água interbacias (Moraes et al., 1998).

A bacia do rio Piracicaba é utilizada como fonte de abastecimento de 40 municípios de São Paulo, sendo que apenas 13 municípios possuem algum tipo de tratamento. As águas da bacia do Piracicaba também são usadas para o abastecimento industrial, irrigação de plantações, produção de energia elétrica (Mortattiet al., 2004).

Um fato bastante importante da bacia do rio Piracicaba foi a implantação do Sistema Cantareira (SABESP), responsável pela reversão interbacias de  $31\text{m}^3\text{s}^{-1}$  para o abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo. O sistema Cantareira foi construído

---

<sup>1</sup> Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Departamento de Biometria e Estatística Aplicada, CEP: 52171-900, Recife, PE, Brasil. E-mail: [leandroricardo\\_est@yahoo.com.br](mailto:leandroricardo_est@yahoo.com.br); [tstosic@gmail.com](mailto:tstosic@gmail.com); [moacyr2006@ibest.com.br](mailto:moacyr2006@ibest.com.br)

em duas etapas, a primeira iniciou-se em 1965 nos rios Juqueri, Atibaia e Cachoeira estendendo-se até 1975, a segunda etapa da construção do Sistema começou em 1976 e se estendeu até 1981 compreendendo os rios Jaguari e Jacaré (Gropoet al., 2001).

As áreas utilizadas para a construção do sistema Cantareira sofreram um forte impacto ambiental, gerado pelos processos de erosão mecânica, tal impacto gerou um intenso transporte de material sólido provocando a criação de voçorocas e assoreamento (Mortattiet al., 2004).

As alterações da vazão causadas pelos fatores naturais e antrópicos podem influenciar vários processos como transporte de sedimentos (Gao et al., 2013), qualidade da água (Eheart, 1988) e o ecossistema da bacia hidrológica (Carlisle et al., 2011; Stromberg et al., 2007).

Durante as últimas décadas a bacia do rio Piracicaba foi fortemente afetada pela atividade humana (alterações em uso de solo, construção do Sistema Cantareira) cujos efeitos na hidrologia e ecologia da bacia foram intensivamente estudados (Moraes et al., 1998; Araújo et al., 2014; Azevedo et al. 2000; Krusche et al. 1997; Silva et al., 2008).

Neste trabalho avaliamos a influenciado Sistema Cantareira na dinâmica da vazão dos rios Atibaia e Jaguari, utilizando a análise de lacunaridade. Esta metodologia foi recentemente utilizada em estudos de dinâmica de processos hidrológicos (Martinez et al., 2007; Lana et al., 2010; Lucena e Campos, 2014). Comparamos a medida da lacunaridade para séries temporais diárias nos períodos antes e depois da construção dos reservatórios.

Os estudos anteriores relevaram a tendência crescente da precipitação anual para toda bacia, e a tendência decrescente da vazão para localizações próximas dos reservatórios (Moraes et al., 1998). Um estudo recente utilizando análise multifractal mostrou que as flutuações temporais da vazão também foram alteradas depois da construção dos reservatórios (Araújo et al., 2014).

## **2 Material e métodos**

### **2.1 Dados**

Foram utilizadas as séries originais diárias de vazão das estações: 3D-006 (Atibaia, latitude 22°58'59" e longitude 46°49'46") e 3D-009 (Jaguari, latitude 22°51'02" e longitude 46°46'47"). O sistema Cantareira, construído para a transferência da água da bacia do rio de Piracicaba para Região Metropolitana de São Paulo (RMPS), inclui reservatórios no rio Atibaia (construção 1968 a 1974) e rio Jaguari (construção 1968 a 1974) (Moraes et al., 1998). Foram analisadas séries temporais da vazão do rio Atibaia nos períodos de 1930 - 1974 e 1975 - 1997, antes e depois da construção do reservatório.

Para o rio Jaguari foram analisadas séries temporais da vazão nos períodos de 1931 - 1980 e 1984 - 1998, antes e depois de construção do reservatório. Os dados foram obtidos do site do DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica: <http://www.daae.sp.gov.br/>. Todas as análises foram realizadas utilizando o software R-project versão 2.13.1.

### **2.2 Lacunaridade**

Mandelbrot (1982) introduziu uma medida chamada lacunaridade para analisar a distribuição do tamanho de lacunas dentro de um conjunto de dados. Valores grandes de lacunaridade implicam em grandes tamanhos de lacunas, enquanto que pequenos valores implicam em menores tamanhos de lacunas, o que sugere uma distribuição mais uniforme (Mandelbrot, 1982).

O conceito de lacunaridade foi originalmente desenvolvido para detecção de padrões de texturas de objetos fractais, mas pode ser generalizado para qualquer padrão espacial, incluindo aqueles com propriedades fractais e multifractais e pode ser usado tanto com os dados quantitativos quanto para dados binários e também em dimensões 1D, 2D e 3D (Plotnick, 1996). Este método foi amplamente utilizado em estudos em fisiologia (Dougherty et al., 2001), ecologia (Malhi e Román-Cuesta, 2008), porosidade do solo (Luo e Lin, 2009), hidrologia (Martinez et al., 2007; Lana et al., 2010; Lucena e Campos 2014) e processamento de imagem (Florindo e Bruno, 2012; Lucena e Stosic, 2014).

Vários métodos para o cálculo da lacunaridade foram desenvolvidos com o avanço computacional, entre eles destaca-se o algoritmo de deslizamento de caixa “glidingbox” de Allain e Cloitre (Allain e Cloitre, 1991), descrito a seguir (para dados unidimensionais):

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

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

onde,  $n(s,r)$  é o numero das caixas do tamanho  $r$  com massa  $s$  e  $N(r) = N - r + 1$  é o número total de caixas de tamanho  $r$  ( $N$  é o 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 pode ser estimada por (Martinez et al., 2007).

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

onde, o expoente  $\beta < 0$  reflete a dinâmica do processo analisado.

Ilustraremos a seguir um exemplo onde a lacunaridade foi calculada para caixas de tamanhos 2 de registros de precipitação dos 50 primeiros dias consecutivos do ano de uma estação meteorológica hipotética. Os dados referentes aos 50 registros estão expressos na Figura 1, onde os pontos são os dias em que houve registro de chuva e os espaços em branco são os dias onde não houve registro de chuva.

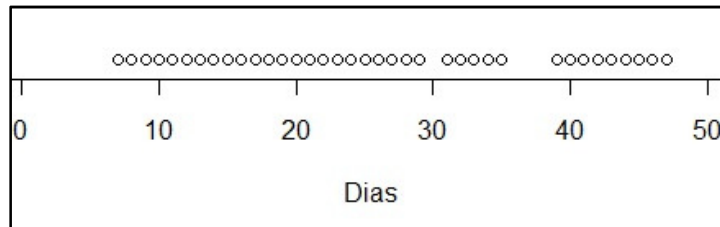


Figura 1 - Registro de precipitação de uma determinada estação meteorológica hipotética nos primeiros 50 dias consecutivos do ano.

Na Tabela 1, observa-se a quantidade de caixas de tamanho dois com nenhum sítio ocupado, apenas um e os dois sítios ocupados, posteriormente o número de caixas e suas respectivas probabilidades de ocorrência de 0, 1 e 2 sítios ocupados, e por fim o cálculo do primeiro e segundo momento, encontrado assim um valor de lacunaridade de 1,2706. Este valor indica um comportamento bastante homogêneo dos registros de precipitação nos primeiros 50 dias analisado.

Table 1 - Cálculo da lacunaridade para caixa de tamanho 2 dos 50 registros consecutivos de precipitação de uma estação meteorológica hipotética

s	n(s,r)	P(s,r)	s*P(s,r)	s <sup>2</sup> *P(s,r)	L(2)
0	9	0,1837	0	0	
1	6	0,1224	0,1224	0,1224	
2	34	0,6939	1,3878	2,7756	
				M1=1,5102	M2=2,898
					1,2706

Na análise da vazão das estações 3D-006 e 3D-009 dos rios Atibaia e Jaguari, a lacunaridade é uma medida da distribuição dos segmentos, definidos como a sequência de dias consecutivos com valores de vazão igual ou superior a um limiar, e as lacunas, definidos como sequências de dias consecutivos com valores de vazão abaixo do limiar selecionado. Foram utilizados os seguintes limiares de vazão para cada estação, ver Tabela 2.

Table 2 - Limiares de vazão das estações 3D-006 e 3D-009 dos rios Atibaia e Jaguari em relação aos períodos estudados

3D-006	Limiar	3D-009	Limiar
1930 – 1997	16,23	1931 – 1998	15,44
1930 – 1974	17,6	1931 – 1980	17,83
1975 – 1997	13,45	1984 – 1998	8,98
1962 – 1997	14,33	1966 – 1998	12,37
1962 – 1974	16,05	1966 – 1980	17,75

O método da vazão média mínima de 7 dias com período de recorrência de 10 anos ( ${}_{(7)Q_{10}}$ ) é bastante utilizado em estudos de qualidade de água (Thomann e Muller, 1987), entretanto Stalnakker et al. (1995) considera este método excessivamente baixo, Benetti e

Lanna (2003) afirma a existência de cerca de 70 métodos para determinação de vazão residuais, como não existe um consenso de um método para determinação de vazão residual os autores optaram pela escolha do 1º quartil da série temporal da vazão como limiar para o cálculo da lacunaridade.

### 3 Resultados e discussão

Verifica-se na Tabela 3 que os valores de lacunaridade compreendido no período de 1930 – 1974 para todos os limiares 16,23 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, 17,6 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> e 13,45 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> respectivamente, foram maiores do que em relação ao período 1975 – 1997 independente do tamanho de caixa, indicando uma distribuição mais uniforme de lacunas (períodos com vazão abaixo destes limiares) depois da construção do sistema Cantareira.

O valor do expoente  $\beta$  foi menor no período após a construção dos reservatórios independente do limiar utilizado, indicando a diminuição de heterogeneidade na dinâmica de vazão devido à regulação do fluxo hídrico nas microbacias do Sistema Cantareira, ver Tabela 3.

Table 3 - Valores de lacunaridade para diferentes tamanhos de janela e expoente  $\beta$  para estação 3D-006 do rio Atibia entre o período de 1930 – 1997

Estação (limiar)	Tamanho de Janela							$\beta$
	2	4	8	16	32	64	128	
3D-006 (16.23)								
1930-1974	14,87	9,54	6,32	4,48	3,32	2,44	1,74	-0,51
1975-1997	8,37	5,43	3,79	2,83	2,24	1,82	1,49	-0,41
3D-006 (17.6)								
1930-1974	13,62	8,73	5,75	4,03	2,98	2,22	1,62	-0,50
1975-1997	8,36	5,34	3,68	2,73	2,15	1,76	1,46	-0,41
3D-006 (13.45)								
1930-1974	22,61	14,74	9,93	6,98	5,07	3,65	2,49	-0,52
1975-1997	10,38	6,76	4,67	3,41	2,57	2,00	1,57	-0,45

Este comportamento foi confirmado analisando a série com igual período de avaliação antes (1962-1974) e após (1975-1997) construção do sistema Cantareira: os valores de lacunaridade e do expoente  $\beta$  calculados utilizando os limiares 14,33 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, 16,05 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> e 13,45 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> respectivamente, diminuem após da construção de reservatórios, ver Tabela 4.

A Tabela 5 mostra os valores da lacunaridade e do expoente  $\beta$  para vazão do rio Jaguari (estação 3D-009) compreendido no período de 1931 – 1998. Os resultados são similares aos obtidos para rio Atibaia. Para todos os limiares 15,44 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, 17,83 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> e 8,98 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, respectivamente, os valores de lacunaridade diminuem no período 1984 – 1998 após construção dos reservatórios independente do tamanho de caixa, indicando uma distribuição mais uniforme dos períodos com vazão abaixo destes limiares.

O valor do expoente  $\beta$  também diminui após a construção dos reservatórios independente do limiar utilizado, indicando menor heterogeneidade na dinâmica da vazão.

Este comportamento foi confirmado analisando a série com igual período de avaliação antes (1966 – 1980) e após (1984 – 1998) construção do sistema Cantareira, e limiares 12,37 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, 17,75 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> e 8,98 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, respectivamente, ver Tabela 6.

Table 4 - Valores de lacunaridade para diferentes tamanhos de janela e expoente  $\beta$  para estação 3D-006 do rio Atibaia entre o período de 1962 – 1997

Estação (limiar)	Tamanho de Janela							$\beta$
	2	4	8	16	32	64	128	
3D-006 (14,33)								
1962-1974	13,16	8,67	5,88	4,12	3,11	2,41	1,75	-0,48
1975-1997	9,15	5,96	4,13	3,04	2,35	1,88	1,51	-0,43
3D-006 (16,05)								
1962-1974	10,64	6,99	4,71	3,36	2,55	1,97	1,46	-0,47
1975-1997	8,56	5,55	3,86	2,87	2,26	1,83	1,49	-0,41
3D-006 (13,45)								
1962-1974	17,24	11,19	7,47	5,05	3,61	2,70	1,90	-0,52
1975-1997	10,38	6,76	4,67	3,41	2,57	2,00	1,57	-0,45

Table 5 - Valores de lacunaridade para diferentes tamanhos de janela e expoente  $\beta$  para estação 3D-009 do rio Jaguari entre o período de 1931 – 1998

Estação (limiar)	Tamanho de Janela							$\beta$
	2	4	8	16	32	64	128	
3D-009 (15,44)								
1931-1980	21,52	13,18	8,30	5,73	4,15	2,95	2,03	-0,55
1984-1998	7,76	5,15	3,69	2,84	2,21	1,75	1,46	-0,40
3D-009 (17,83)								
1931-1980	18,18	11,07	7,21	4,99	3,61	2,58	1,75	-0,55
1984-1998	8,37	5,36	3,82	2,92	2,32	1,87	1,56	-0,39
3D-009 (8,98)								
1931-1980	133,29	84,54	55,24	36,61	22,96	14,16	8,64	-0,65
1984-1998	10,45	6,88	4,88	3,58	2,69	2,02	1,52	-0,45

Table 6 - Valores de lacunaridade para diferentes tamanhos de janela e expoente  $\beta$  para estação 3D-009 do rio Jaguari entre o período de 1966 – 1998

Estação (limiar)	Tamanho de Janela							$\beta$
	2	4	8	16	32	64	128	
3D-009 (12,37)								
1966-1980	37,90	23,61	14,88	9,55	6,57	4,46	2,82	-0,62
1984-1998	8,52	5,53	3,91	2,98	2,35	1,82	1,44	-0,42
3D-009 (17,75)								
1966-1980	16,63	10,28	6,68	4,58	3,33	2,42	1,68	-0,62
1984-1998	8,40	5,37	3,81	2,92	2,31	1,87	1,56	-0,42
3D-009 (8,98)								
1966-1980	115,25	74,92	50,73	32,73	19,57	12,03	7,50	-0,66
1984-1998	10,45	6,88	4,88	3,58	2,69	2,02	1,52	-0,45

## Conclusões

Neste artigo utilizamos a análise de lacunaridade para comparar a dinâmica da vazão do rio Atibaia, e rio Jaguari nos períodos antes e depois da construção do sistema Cantareira. Depois da construção dos reservatórios os valores da lacunaridade diminuíram em relação ao período antes da construção dos reservatórios indicando uma distribuição mais uniforme das lacunas (períodos com vazão abaixo de limiares escolhidos). O valor do expoente  $\beta$  também foi menor no período após a construção dos reservatórios independente do limiar utilizado, indicando a diminuição de heterogeneidade da dinâmica da vazão devido à regulação do fluxo hídrico nas duas micro bacias do Sistema Cantareira.

A metodologia utilizada neste trabalho mostrou ser promissora para avaliação do impacto de atividade humana no regime natural da vazão do rio, fornecendo as informações complementares sobre a distribuição dos períodos com vazão abaixo de níveis definidos em respeito do uso de água pelos humanos e pelo ecossistema ripário. Os resultados obtidos podem ser úteis em planejamento de uso de água nas bacias estudadas dentro dos limites definidos pelo funcionamento do ecossistema, e assim garantir desenvolvimento sustentável da região.

LUCENA, L. R. R.; STOSIC, T.; CUNHA FILHO, M. Lacunarity analysis of stream flow temporal series in Atibaia and Jaguari river basins. *Rev. Bras. Biom.*, São Paulo, v.32, n.4, p. 609-617, 2014.

- *ABSTRACT: In this work we apply lacunarity analysis to compare the dynamics of daily stream flow temporal series in the Atibaia and Jaguari river basins, for the periods before and after the construction of Cantareira system which was built to export approximately  $31\text{m}^3\text{s}^{-1}$  from Piracicaba river basin to the metropolitan region of São Paulo city. The results demonstrate the efficiency of lacunarity analysis in evaluation of human impact on natural river flow regime. After the construction of water reservoirs the values of lacunarity and exponent  $\beta$  decrease, indicating more uniform distribution of periods with stream flow below chosen thresholds, and less heterogeneity in temporal variability of stream flow.*
- *KEYWORDS: Lacunarity; stream flow; Cantareira system.*

## Referências

- ALLAIN, C.; CLOITRE, M. Characterizing the lacunarity of random and deterministic fractal sets. *Physical Review A*, v.44, p.3552-3558, 1991.
- ARAÚJO, L. S.; CUNHA FILHO, M.; STOSIC, B.; STOSIC, T. Avaliação do impacto humano na dinâmica das variáveis hidrológicas da bacia do rio Piracicaba através da análise multifractal. *Revista Brasileira de Biometria*, v.32, n.1, p.170-179, 2014.
- AZEVEDO, L.; GATES, T.; FONTANE, D.; LABADIE, J.; PORTO, R. Integration of water quantity and quality in strategic river as in planning. *Journal Water Resource Planning Management*, v.126, n.2, p.85-97, 2000.

- BENETTI, A. D.; LANNA, A. E. Metodologias para determinação de vazões ecológicas em rios. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.8, p.149-160, 2003.
- CARLISLE, D. M.; WOLOCK, D. M.; MEADOR, M. R. Alteration of stream flow magnitudes and potential ecological consequences: a multiregional assessment. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v.9,p.264-270, 2011.
- DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica. Disponível em: <http://www.dae.sp.gov.br/>. Acesso 13 jan. 2013.
- DOUGHERTY, G.; HENEBRY, G. M. Fractal signature and lacunarity in the measurement of the texture of trabecular bone in clinical CT images. *Medical Engineering & Physics*, v.23, p.369-380, 2001.
- EHEART, J.W. Effects of stream flow variation on critical water quality for multiple discharges of decaying pollutants. *Water Resources Research*, v.24, p.1-8, 1988.
- FLORINDO, J. B.; BRUNO, O. M. Texture classification based on lacunarity descriptors. *Image and Signal Processing Lecture Notes in Computer Science*, v.7340, p.513-520, 2012.
- GAO, P.; GEISSEN, V.; RITSEMA, C. J.; MU, X.-M.; WANG, F. Impact of climate change and anthropogenic activities on stream flow and sediment discharge in the Wei River basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, v.17, p.961-972, 2013.
- GROPPO, J. D.; MILDE, L. C. E.; GUAMERO, M. E.; MORAES, J. M.; MARTINELLI, L. A. Análise de séries temporais de vazão e de precipitação na bacia do rio Piracicaba. *Revista de Ciência & Tecnologia*, v.8, p.109-117, 2001.
- HOEFFEL, J. L.; FADINI, A. A. B.; MACHADO, M. K.; REIS, J. C. Trajetórias do Jaguarí – unidades de conservação, percepção ambiental e turismo: um estudo na APA do sistema Cantareira, São Paulo. *Ambiente & Sociedade*, v.11, p.131-148, 2008.
- KRUSCHE, A. V.; GARVAIHO, F. P.; MORAES, J. M.; CAMARGO, P. B.; BALLESTER, M. V. R.; HOMINK, S.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L. Spatial and temporal water quality variability in the Piracicaba river basin. *Journal of the American Water Resources Association*, v.33, p.1117-1123, 1997.
- 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. Utilização de lacunaridade para detecção de padrões de imagens de retinas humanas. *Revista da Estatística da Universidade Federal de Ouro Preto*, v.3, p.789-793, 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.
- LUO, L.; LIN, H. Lacunarity and fractal analyses of soil macropores and preferential transport using micro-x-ray Computed Tomography. *Vadose Zone Journal*, v.8, p.233-241, 2009.
- MALHI, Y.; ROMÁN-CUESTA, R. M. 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*. 1.ed. San Francisco: W. H. Freeman and company, 1982. 468p.
- 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.
- MORAES, J. M.; PELLEGRINO, G. Q.; BALLESTER, M. V.; MARTINELLI, L.A.; VICTORIA, R. L.; KRUSCHE, A. V. Trends in Hydrological Parameters of a Southern Brazilian Watershed and its Relation to Human Induced Changes. *Water Resources Management*, v.12, p.295-311, 1998.
- MORTATTI, J.; JUNIOR, M. J. B.; MILDE, L. C. E.; PROBST, J. L. Hidrologia dos rios Tietê e Piracicaba: séries temporais de vazão e hidrogramas de cheia. *Revista Ciência & Tecnologia*, v.12, p.55-67, 2004.
- PLOTNICK, R. E.; GARDNER, R. H.; HARGROVE, W.W.; PRESTERGAARD, K.; PERMUTTER, M. Lacunarity analysis: A general technique for the analysis of spatial patterns. *Physical Review E*, v.53, p.5461-5468, 1996.
- SILVA, D. M. L.; CAMARGO, P. B.; MARTINELLI, L. A.; LANÇAS, F. M.; PINTO, J. S. S.; AVELAR, W. E. P. Organochlorine pesticides in Piracicaba river basin (São Paulo/Brazil): a survey of sediment, bivalve and fish. *Química Nova*, v.31, p.37-48, 2008.
- STALNAKER, C.; LAMB, B. L.; HEIRIKSEN, J.; BOVEE, K.; BARTHLOW, J. *The instream flow incremental methodology*. 1.ed. Washington, D.C.: A primer for IFIM, 1995. 65p.
- STROMBERG, J. C.; MARLER, S. J. L. R.; PARADZICK, C.; SHAFROTH, P. B.; SHORROCK, D.; WHITE, J. M.; WHITE, M. S. Altered stream flow regimes and invasive plant species: the Tamarix case. *Global Ecology and Biogeography*, v.16, p.381-393, 2007.
- THOMANN, R.V.; MUELLER, J. A. *Principles of surface water quality modeling and control*. 1.ed. New York: Prentice Hall, 1997. 656p.

Recebido em 05.05.2014

Aprovado após revisão em 03.12.2014