

# ANÁLISE DA LACUNARIDADE DO REGIME PLUVIOMÉTRICO DE PIRACICABA - SP

André Luiz Pinto dos Santos<sup>1</sup>

Tatijana Stosic<sup>2</sup>

Djair Durand Ramalho Frade<sup>3</sup>

Manoel Rivelino Gomes de Oliveira<sup>4</sup>

## 1 Introdução

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. Um dos fenômenos físicos decorrentes da variabilidade climática é a variabilidade da precipitação pluvial, como um importante fator no controle do ciclo hidrológico e uma das variáveis climáticas que exercem maior influência na qualidade do meio ambiente.

Enquanto a precipitação pluvial, a variação de seu regime sazonal ou diário e as intensidades afetam direta ou indiretamente a população, economia e o meio ambiente [1].

No Brasil a variabilidade e a distribuição da precipitação pluvial estão associadas à atuação e a sazonalidade dos sistemas conectivos de macro e mesoescala, em especial, da frente polar atlântica. Demonstra as determinadas diferenças entre os regimes pluviométricos encontrados no que representam na variabilidade climática do país e os tipos chuvosos, semi-áridos, tropicais e subtropicais [4].

O objetivo deste trabalho é utilizar o conceito de lacunaridade para avaliar a homogeneidade do regime pluviométrico do município de Piracicaba - SP, no período compreendido entre janeiro de 1982 a dezembro de 2011.

## 2 Material e métodos

### 2.1 Dados

Os dados foram extraídos da base de dados do posto agrometeorológico LEB - ESALQ - USP [6], situado nas seguintes coordenadas geográficas 22°42'30" S de latitude, 47°38'00" W

<sup>1</sup>Mestrando - UFRPE. e-mail: *andredensor@hotmail.com*

<sup>2</sup>Professora do departamento de Biometria e Estatística Aplicada - DEINF e-mail: *tastosic@gmail.com*

<sup>3</sup>Doutorando - ESALQ-USP. e-mail: *djairdurand@gmail.com*

<sup>4</sup>Doutorando - UFRPE. e-mail: *rivelino.gomes@hotmail.com*

de longitude e 546m de altitude. Trata-se de um conjunto de dados pluviométricos no período de janeiro de 1982 a dezembro de 2011, com média diária de 3,8 mm/dia. As análises estatísticas deste estudo foram realizadas no software R versão 2.12.2.

## 2.2 Área de estudo

Piracicaba é um município brasileiro que fica localizada no interior do Estado de São Paulo, numa região atualmente mais industrializada e economicamente produtiva, com uma área territorial de 1.378,501 Km<sup>2</sup>, com uma densidade demográfica de 264,47 hab/Km<sup>2</sup>. A temperatura média anual é de 23,9°C, na vegetação do município predomina a mata atlântica com média anual de precipitação pluvial de 1.273,3 mm [5].

Na Figura 1 observa-se o comportamento do regime pluviométrico da cidade de Piracicaba ao longo do período estudado.

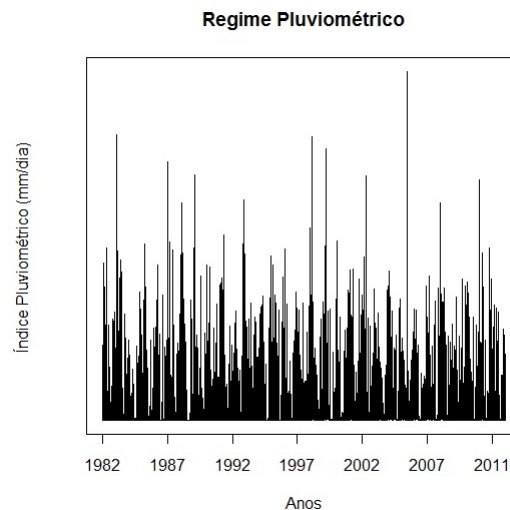


Figura 1: Regime Pluviométrico da cidade de Piracicaba durante o período de janeiro de 1982 a dezembro de 2011.

## 2.3 Lacunaridade

O conceito de lacunaridade foi originalmente introduzido por Mandelbrot, (1982) [2] a princípio desenvolvido para descrever e quantificar as propriedades dos objetos fractais. Vários métodos foram desenvolvidos para calcular a lacunaridade em fenômenos climáticos e ecológicos [3].

A lacunaridade é uma medida que estima a distribuição do tamanho de lacunas dentro de um conjunto de dados. Valores grandes de lacunaridade implicam em grandes tamanhos de lacunas, os pequenos valores indicam uma distribuição mais uniforme dos dados e menores tamanhos de lacunas [2].

No contexto meteorológico, em fenômeno de chuva a lacunaridade é uma medida de distribuição de segmentos, definido como sequências de dias consecutivos com precipitação, de valores iguais ou superiores a um limiar (adotado cinco mm) e as lacunas, como sequências de dias consecutivos, com valores de precipitação abaixo do limiar adotado.

Na forma quantitativa, temos que  $n(s, r)$  é o número de caixas móveis de tamanho  $r$  (dias) contendo  $s$  dias consecutivos com precipitação igual ou superior a cinco mm. Logo essa distribuição de frequência é convertida para uma distribuição de probabilidade  $Q(s, r)$ , [3]:

$$Q(s, r) = \frac{n(s, r)}{N(r)} \quad (1)$$

em que o número de caixas de tamanho  $r$  é  $N(r) = l - r + 1$ , com  $l$  o número de registros diários, incluindo dias chuvosos e secos.

Segundo [3], a lacunaridade é definida por :

$$\Lambda = \frac{Z(2)}{Z(1)^2} \quad (2)$$

onde  $Z(1)$  e  $Z(2)$  são primeiro e segundo momento da distribuição:

$$Z(1) = \sum_{s=1}^r s * Q(s, r), \quad (3)$$

$$Z(2) = \sum_{s=1}^r s^2 * Q(s, r) \quad (4)$$

Para processos fractais a lacunaridade diminui com o aumento do tamanho da caixa seguindo uma lei de potência,

$$L(r) = \alpha r^\beta \quad (5)$$

com  $\beta < 0$ , em que o expoente  $\beta$  pode ser estimado como coeficiente linear de gráfico  $\log \Lambda(r)$  versus  $\log(r)$ . As estimativas do modelo foram feitas através de mínimos quadrados.

### 3 Resultados e discussões

Os resultados da análise de lacunaridade para períodos consecutivos de cinco anos são apresentados na Tabela 1 e Figura 2. Observa-se que o valor de lacunaridade diminui com o tamanho de caixa de acordo com a lei de potência (5).

Tabela 1: Valores de Lacunaridade para tamanhos diferentes de caixas.

CAIXAS	1982-1986	1987-1991	1992-1996	1997-2001	2002-2006	2007-2011
2	3,69	3,79	3,62	3,81	4,13	3,93
4	2,62	2,75	2,61	2,71	2,93	2,83
8	2,02	2,12	2,004	2,07	2,16	2,16
16	1,66	1,74	1,70	1,72	1,72	1,77
32	1,44	1,54	1,51	1,52	1,52	1,54
64	1,29	1,37	1,39	1,38	1,37	1,42
128	1,20	1,24	1,26	1,25	1,25	1,29
256	1,11	1,05	1,06	1,06	1,06	1,07

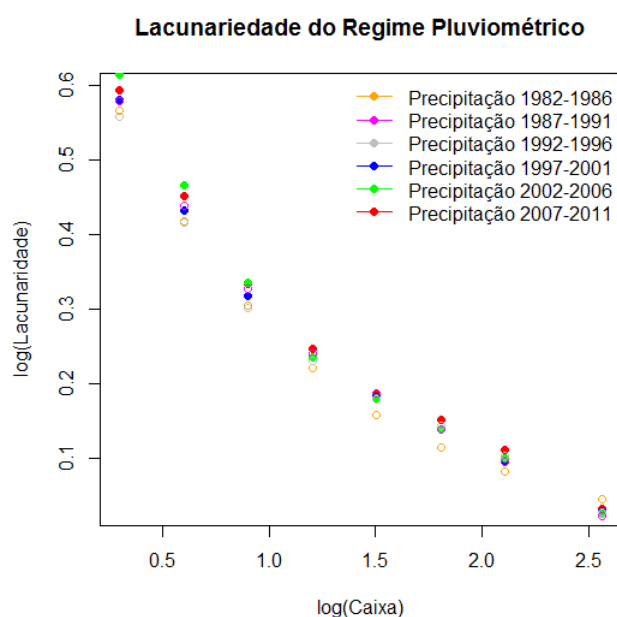


Figura 2: Dispersão entre os logaritmos da lacunaridade e os tamanhos de caixas.

As estimativas dos parâmetros do modelo (5) com seus respectivos erros padrões e valor de  $p$  estão dispostos na Tabela 2. Através do gráfico normal de probabilidade apresentado na Figura 3 verifica-se que não há indícios de não adequação do modelo, o resíduo segue uma distribuição normal.

Tabela 2: Estimativas dos parâmetros do modelo (5).

		1982-1986	1987-1991	1992-1996	1997-2001	2002-2006	2007-2011
$\hat{\alpha}$	Estimativa	0.55	0.58	0.55	0.57	0.60	0.59
	Erro Padrão	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
	P-Valor	1.91e-05	3.87e-06	6.58e-06	6.88e-06	1.02e-05	5.42e-06
$\hat{\beta}$	Estimativa	-0.22	-0.24	-0.22	-0.23	-0.25	-0.24
	Erro Padrão	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
	P-Valor	0.0002	5.50e-05	1e-04	9.85e-05	0.0001	8.41e-05

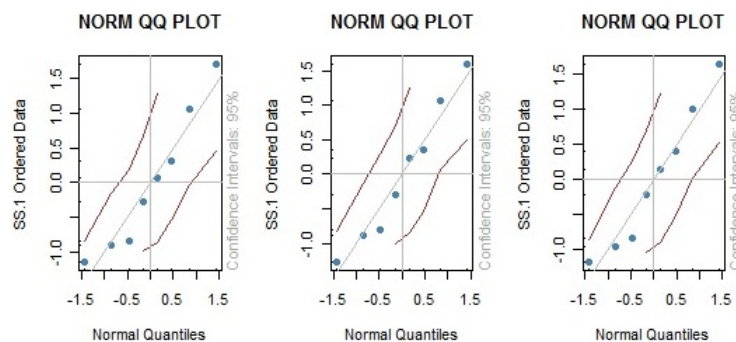


Figura 3: Gráfico da normalidade dos resíduos do modelo (5) com intervalo de confiança de 95%.

Depois de 2002, o valor da lacunaridade aumenta (para tamanhos de caixas 2,4 e 8) indicando uma maior heterogeneidade de períodos de seca (Tabela 1).

## 4 Conclusões

Neste trabalho aplicamos o método de lacunaridade para avaliar a heterogeneidade de períodos de seca na bacia do rio Piracicaba. Calculamos a lacunaridade dos períodos consecutivos de cinco anos ao longo da série diária de precipitação durante o período de 1982-2011. Depois de 2002, o valor da lacunaridade aumenta, indicando uma maior heterogeneidade de períodos de seca e a mudança de regime pluviométrico na região.

## 5 Referências

- [1] BRITTO, F.P.; BARLETA, R.; MENDONÇA, M., Regionalização sazonal e mensal da precipitação pluvial máxima no estado do Rio Grande do Sul, *Revista Brasileira de Climatologia*, v.2, p.35-5, 2007.
- [2] MANDELROT, B.B., *The Fractal Geometry of Nature*, Freremann, San Francisco, USA, 1982.
- [3] MARTINEZ, M.D.; LANA, X.; BURGUEÑO, A; SERRA, C., Lacunarity, predictability and predictive instability of the daily pluviometric regime in the Iberian Peninsula, *Nonlin. Processes Geophys*, v. 14, p. 109-121, 2007.
- [4] MENDONÇA, F., Aquecimento global e suas manifestações regionais e locais, *Revista Brasileira de Climatologia*, 2007. v.2, p.71-86.
- [5] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE, 2013). <http://www.cidades.ibge.gov.br>, com acesso em 27/01/2014.
- [6] <http://www.leb.esalq.usp.br/anos.html>, com acesso em 23 de Outubro de 2013.