

ANÁLISE DE LACUNARIDADE DE FENÔMENOS CLIMÁTICOS DO ESTADO DE PERNAMBUCO

Leandro Ricardo Rodrigues de LUCENA¹

Tatjana STOSIC¹

Moacyr CUNHA FILHO¹

Carlos Renato DOS SANTOS¹

- **RESUMO:** Neste artigo avaliamos a variabilidade temporal da precipitação e temperatura nas estações meteorológicas do estado de Pernambuco, no período de 01/01/2008 a 01/01/2011, utilizando o método de lacunaridade unidimensional. Os resultados mostraram que na região do semiárido “sertão” de Pernambuco a série de temperatura demonstra valores pequenos de lacunaridade (indicando um comportamento mais homogêneo), enquanto que a precipitação demonstra valores de lacunaridade elevados (indicando um comportamento mais heterogêneo). A análise de agrupamento (utilizando os valores de lacunaridade) mostrou que os valores de lacunaridade calculados podem ser usados para identificar regiões geográficas com variabilidade temporal característica de precipitação e temperatura e pode contribuir para o planejamento das atividades agrícolas, o desenvolvimento de estratégias para reduzir o impacto de fenômenos climáticos extremos (seca), e assegurar a região de desenvolvimento sustentável.
- **PALAVRAS-CHAVE:** Climatologia; fractal; lacunaridade.

1 Introdução

O clima de uma região é determinado por fatores, denominados controles climáticos, que atuam tanto na escala global como 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.

Entre as variáveis climáticas a precipitação pluviométrica e a temperatura tem grande importância 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).

Os estudos dos fenômenos climáticos no Brasil vêm sendo bastante estudados nas últimas décadas. A variabilidade temporal e espacial de precipitação foi estudada para bacia do rio Piracicaba (LUCENA e CAMPOS, 2014), no estado de Sergipe (LUCENA et al., 2015, ARAGÃO et al., 2013), no estado da Paraíba (GOMES et al, 2015), no estado do Paraná (SILVA et al., 2015) e no estado do Pará (MORAES et al., 2005). NÓBREGA

¹ Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Departamento de Estatística e Informática, CEP: 52171-900, Recife, PE, Brasil. E-mail: leandroricardo_est@yahoo.com.br; tastosic@gmail.com; moacyr@deinfo.ufrpe.br.

et al. (2015) observou a variabilidade temporal e espacial da precipitação em Pernambuco através de índices de extremos. Ramos et al. (2015) avaliou a precipitação de Diamantino-MT em anos de ocorrência de el niño e la niña. Silva et al. (2003) estudou a variabilidade temporal da precipitação mensal e anual da estação climatológica de Uberaba-MG e observou uma dependência temporal fraca, já Xavier et al. (1994) estudou a evolução da precipitação diária na cidade de São Paulo. Costa et al. (1998) analisou a variabilidade da precipitação em regiões de florestas e pastagens na Amazônia. Dantas et al. (2015) avaliou a sazonalidade de extremos de temperatura do ar e precipitação em Campina Grande-PB. Azevedo et al. (2015) estudou o conforto térmico em humanos no semiárido do nordeste brasileiro.

Na dinâmica de processos hidrológicos destacam-se os trabalhos de Martinez et al. (2007) que avaliou o comportamento da precipitação da península Ibérica no período de 1950 a 1990 utilizando análise de lacunaridade. Lana et al. (2010) utilizou a análise de lacunaridade para avaliar a precipitação de toda Europa no período de 1950- 2000. Lucena (2015) sugeriu a lacunaridade como índice de avaliação da precipitação do sertão do Pajeú, Pernambuco. Lucena et al. (2015) avaliaram a dinâmica da precipitação diária no estado de Sergipe utilizando a análise de lacunaridade encontrado dois regimes pluviométricos no estado. Lucena et al. (2014) avaliou o regime de vazões antes e depois construção do sistema Cantareira em São Paulo via análise de lacunaridade. Lucena e Campos (2014) utilizou a análise de lacunaridade para avaliar padrões em precipitação nas diferentes estações climatológicas na bacia do rio Piracicaba, São Paulo. Nos registros de Temperatura podem-se destacar os trabalhos de Lana et al. (2014) que avaliou o comportamento da temperatura no nordeste da Espanha no período de 1917 a 2005 via análise de lacunaridade, enquanto Lucena e Stosic (2013) avaliaram a temperatura do nordeste brasileiro utilizando análise de lacunaridade.

O método de lacunaridade foi introduzido para descrever a distribuição de tamanhos de lacunas em um conjunto de dados (MANDELROT, 1982). O conceito de lacunaridade foi originalmente desenvolvido para detecção de padrões de texturas de objetos fractais, e pode ser usado tanto com os dados quantitativos quanto para dados binários e também em dimensões 1D, 2D e 3D (PLOTNICK et al., 1996). O método de lacunaridade 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, 2015; LUCENA et al., 2015; LUCENA et al., 2014; MARTINEZ et al., 2010; PLOTNICK et al., 1996; MALHI e ROMÁN-CUESTA, 2008).

Neste trabalho objetivamos caracterizar o comportamento das séries temporais de precipitação e temperatura de municípios do estado de Pernambuco utilizando a análise de lacunaridade.

2 Materiais e métodos

2.1 Dados

Foram utilizados os dados de precipitação e temperatura horárias de nove estações meteorológicas no período de 01 de janeiro de 2008 a 01 de janeiro de 2011 disponibilizados pelo Instituto Nacional Brasileiro de Meteorologia (INMET) e fornecido pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). Os dados referentes à

precipitação e temperatura foram registrados nas estações meteorológicas: Recife, Caruaru, Garanhuns, Arcoverde, Surubim, Ibirimir, Floresta, Serra Talhada e Cabrobó, como ilustra a Figura 1.

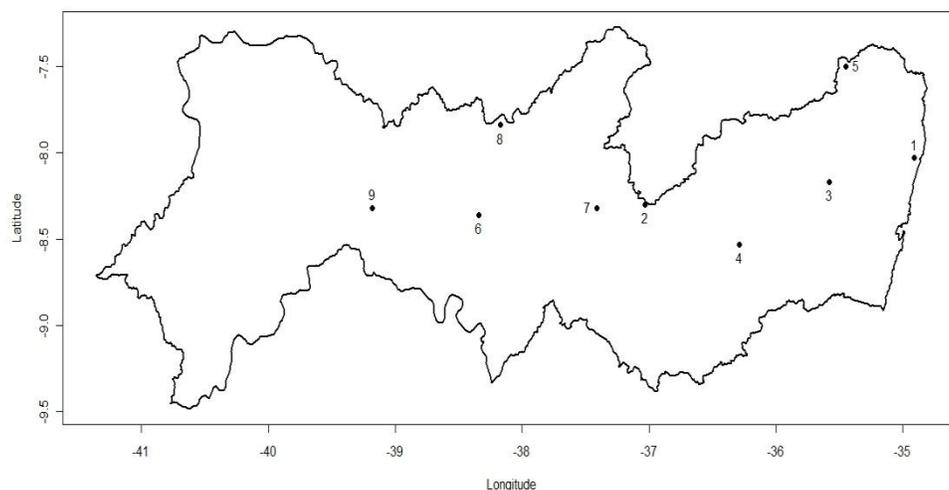


Figura 1 - Distribuição espacial das estações meteorológicas do estado de Pernambuco (1- Recife, 2- Arcoverde, 3- Caruaru, 4- Garanhuns, 5- Surubim, 6- Floresta, 7- Ibirimir, 8- Serra Talhada, 9- Cabrobó).

2.2 Análise de lacunaridade

Mandelbrot (1982) introduziu lacunaridade como uma medida da 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 método de lacunaridade foi amplamente utilizado em estudos em fisiologia (DOUGHERTY e HENEERY, 2001; ZAIA et al., 2006), ecologia (MALHI e ROMÁN-CUESTA, 2008), geologia (ROY et al., 2010), porosidade do solo (LUO e LIN, 2009), hidrologia (MARTINEZ et al., 2007; LANA et al., 2010; LUCENA et al., 2014; LUCENA et al., 2015; LUCENA, 2015), processamento de imagem (FLORINDO e BRUNO, 2012; LUCENA e STOSIC, 2014) e engenharia (IHA et al., 2012).

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

1. Uma caixa de tamanho r é colocada na origem do banco de dados e o número s de sítios ocupados (com valores acima de um limiar) é contado.

2. A caixa é movida ao longo de todo o conjunto de observações, e sua massa (numero dos sítios ocupados) é calculada.
3. A distribuição de probabilidade de massa de caixa e dada por

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

em que, $n(s,r)$ e 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).

4. A lacunaridade para o tamanho de caixa r é definida por:

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

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

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

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

em que, o expoente $\beta < 0$ reflete a dinâmica do processo analisado (MARTINEZ et al., 2007).

Ilustraremos a seguir um exemplo onde a lacunaridade foi calculada para caixas de tamanhos 2 de registros de temperatura dos 50 primeiros dias consecutivos do ano de uma estação meteorológica hipotética. Os dados referentes aos 50 registros estão expressos na Figura 2, onde os pontos (sítios ocupados) são os dias em que houve registro de temperatura superior a 30°C e os espaços em branco são dias onde a temperatura não superou os 30°C.



Figura 2 - Registro de temperatura 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 temperatura nos primeiros 50 dias analisado.

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

S	n(s,r)	P(s,r)	s*P(s,r)	s ² *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

Do ponto de vista da precipitação, a lacunaridade é definida como uma medida da distribuição do tamanho de lacunas (sequências de horas consecutivas com valores de chuva abaixo do limiar selecionado). Os limiares utilizados serão os de 1, 5 e 10 mm/hora de precipitação pluvial.

No caso da temperatura as lacunas são definidas como as sequências de horas consecutivas com valores de temperatura abaixo do limiar selecionado (27, 30 e 32° C).

2.3 k-média

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, ao final do algoritmo encontra-se um grupo ótimo segundo algum critério de convergência (HARTIGAN e WONG, 1979).

3 Resultados

Na avaliação da precipitação observa-se que para tamanhos de janelas 2, 64 e 256 horas os valores de lacunaridade diminuem com o tamanho da janela independente do limiar e da estação avaliada, Figuras 3, 4 e 5. Este mesmo padrão foi obtido no caso da

precipitação de Sergipe (LUCENA et al., 2015) e da precipitação da península Ibérica (MARTINEZ et al., 2007).

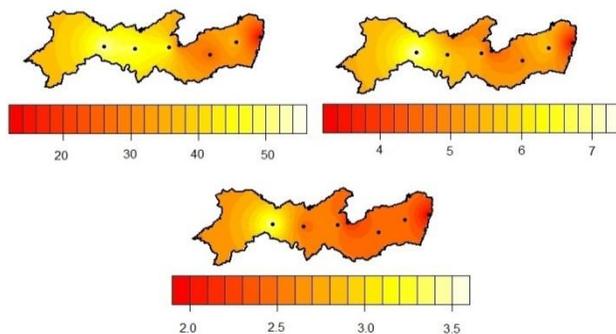


Figura 3 - Lacunaridade empírica para tamanho de janela 2, 64 e 256 horas, respectivamente com limiar de 1 mm de precipitação.

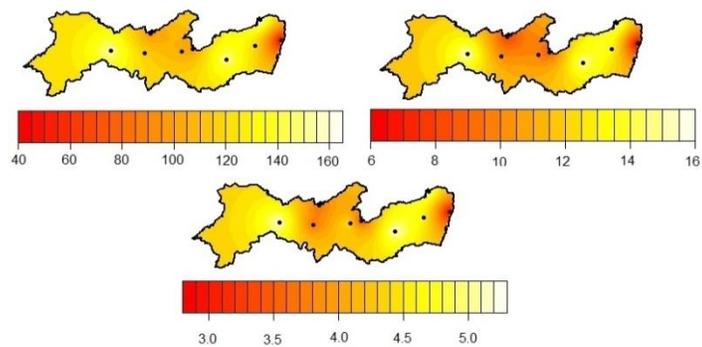


Figura 4 - Lacunaridade empírica para tamanho de janela 2, 64 e 256 horas, respectivamente com limiar de 5 mm de precipitação.

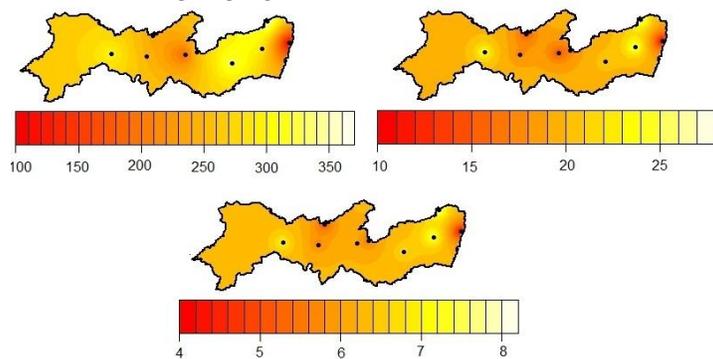


Figura 5 - Lacunaridade empírica para tamanho de janela 2, 64 e 256 horas, respectivamente com limiar de 10 mm de precipitação.

Avaliando o limiar de 1 mm, os valores de lacunaridade foram maiores nas estações que se localizam no sertão Pernambucano (Ibimirim, Floresta, Serra Talhada e Cabrobó) independente do tamanho de janela, que pode ser explicado pelo fato que nesta região a escassez de chuva é intensa durante o ano, Figura 3. Este mesmo fenômeno pode ser observado para os limiares de 5 e 10 mm, Figuras 4 e 5. Este mesmo padrão de lacunaridade foi encontrado por Lucena et al., (2015) quando avaliaram a precipitação no estado de Sergipe.

Nas estações do sertão pernambucano os valores do expoente β de lacunaridade foram maiores do que em relação às estações localizadas no agreste e litoral do estado independente do limiar estudado, indicando maior heterogeneidade na dinâmica de precipitação nesta região, Figura 6. Um comportamento similar foi encontrado para estado de Sergipe (LUCENA et al., 2015).

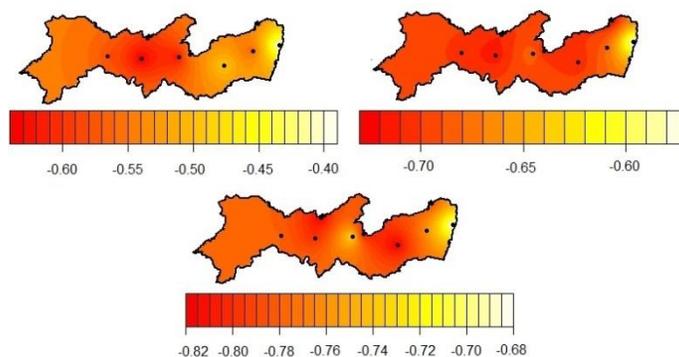


Figura 6 - Expoente β de lacunaridade para os limiares de 1mm, 5mm e 10mm de precipitação, respectivamente.

Utilizando os valores da lacunaridade para janelas 2, 64 e expoente β de lacunaridade observa-se o agrupamento da Figura 7, tal agrupamento se deve ao fato que a estação de Recife apresenta um comportamento de precipitação diferenciado das demais estações, por ser uma estação localizada no litoral do estado de Pernambuco. O grupo formado pelas estações de Floresta, Ibimirim e Cabrobó é um grupo onde a precipitação anual é bastante escassa. Os valores de lacunaridade são maiores para este grupo indicando uma maior heterogeneidade na duração dos períodos de seca. Esta formação de grupos de estações meteorológicas se deve ao fato de que dois grupos apresentam posição desfavorável à costa do litoral pernambucano, pois estas estações sofrem com a escassez de chuva. Um resultado similar foi obtido utilizando os índices de extremos climáticos nas mesorregiões de Pernambuco: para a mesorregião da Região Metropolitana certa regularidade de ocorrência para os episódios chuvosos e secos, enquanto que para as

localidades do Agreste e Sertão pernambucano ocorreu a predominância de episódios extremamente secos (NÓBREGA et al., 2015).

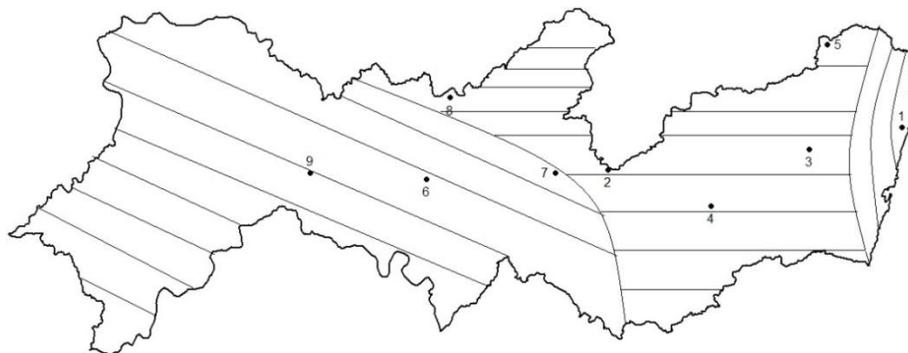


Figura 7 - Agrupamento das estações meteorológicas em relação aos diferentes limiares de precipitação (1, 5 e 10 mm) em relação às estações meteorológicas (1- Recife, 2- Arcoverde, 3- Caruaru, 4- Garanhuns, 5- Surubim, 6- Floresta, 7- Ibimirim, 8- Serra Talhada, 9- Cabrobó).

Na avaliação da temperatura, verifica-se que nas estações onde apresentam temperaturas bastante elevadas durante a maior parte do ano (Floresta, Ibimirim, Serra Talhada e Cabrobó) os valores de lacunaridade são menores do que as outras estações, independente do tamanho de janela e limiar avaliado, Figuras 8 e 9. Este fato acontece, pois no sertão pernambucano o comportamento da temperatura é bastante homogêneo, diferentemente das outras estações onde o regime de temperatura apresenta uma maior variabilidade durante o ano. Estes resultados estão em conformidade com os achados de Lucena e Stosic (2013), onde os mesmos observaram que as estações meteorológicas do sertão nordestino apresentaram menores valores de lacunaridade.

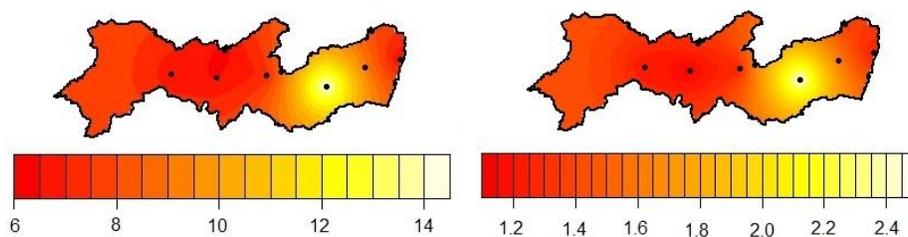


Figura 8 - Lacunaridade empírica para tamanho de janela 2 e 64 horas, respectivamente com limiar de 27° C.

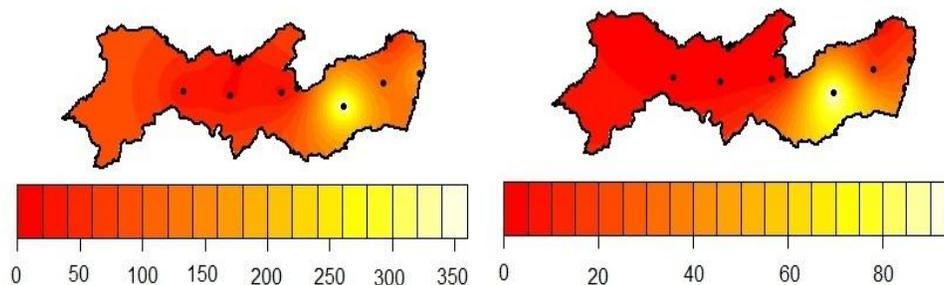


Figura 9 - Lacunaridade empírica para tamanho de janela 2 e 64 horas, respectivamente com limiar de 32° C.

Observa-se também que nas estações onde apresentam temperaturas mais elevadas durante grande parte do ano (Floresta, Ibimirim, Serra Talhada e Cabrobó) os valores do expoente β lacunaridade são maiores do que em relação às demais estações, independente do limiar avaliado, Figura 10. Este mesmo padrão foi observado no estudo de Lucena e Stosic (2013).

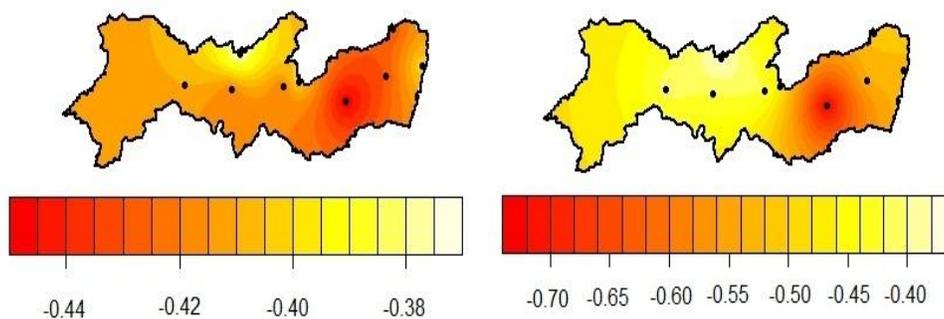


Figura 10 - Expoente β de lacunaridade para os limiares de 27° C e 32° C, respectivamente.

Através da análise de agrupamento e utilizando os valores da lacunaridade para janelas 2, 64 e expoente β de lacunaridade observamos a formação de três grupos de estações meteorológicas: um grupo formado pela estação de Recife, outro grupo formado pelas estações de Ibimirim, Floresta, Serra Talhada e Cabrobó e um terceiro grupo formado pelas demais estações, Figura 11. Estes resultados são similares aos encontrados por Azevedo et al. (2015) em seu estudo de conforto térmico, os resultados mostraram dois padrões de conforto térmico em estações do nordeste brasileiro.

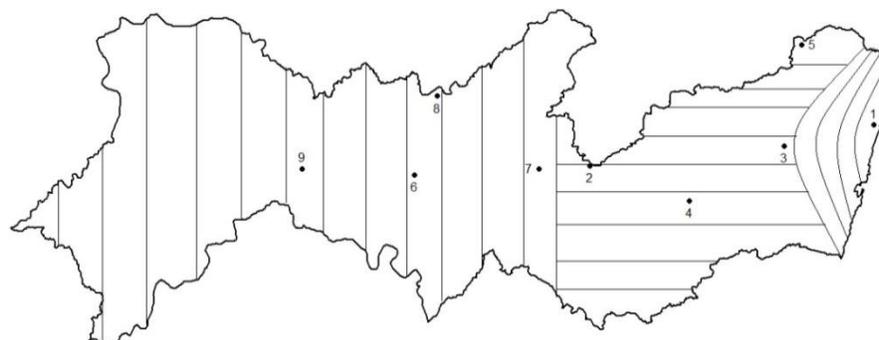


Figura 11 - Agrupamento das estações meteorológicas em relação aos diferentes limiares de temperatura 27° e 32°C) em relação às estações meteorológicas (1- Recife, 2- Arcoverde, 3- Caruaru, 4- Garanhuns, 5- Surubim, 6- Floresta, 7- Ibimirim, 8- Serra Talhada, 9- Cabrobó).

Conclusões

Neste artigo utilizamos a análise de lacunaridade para avaliar a dinâmica da precipitação e de temperatura das estações meteorológicas do estado de Pernambuco. Observou-se que para temperatura os valores de lacunaridade foram menores para as estações localizadas no sertão pernambucano (indicando um comportamento mais homogêneo), enquanto que para a precipitação os valores de lacunaridade foram maiores nas estações localizadas no sertão Pernambucano (indicando um comportamento mais heterogêneo). Os resultados do agrupamento (usando os valores da lacunaridade e do expoente β) mostraram que o método de lacunaridade pode ser usado para identificar as regiões geográficas com comportamento temporal característico da precipitação e de temperatura que pode contribuir ao planejamento das atividades agrícolas, desenvolvimento das estratégias para diminuir as consequências de fenômenos climáticos extremos (seca, cheia), planejamento de uso de energia renovável, e assim garantir desenvolvimento sustentável da região.

LUCENA, L. R. R.; STOSIC, T.; CUNHA FILHO, M.; DOS SANTOS, C. R. Lacunarity analysis of climatic phenomena in the state of Pernambuco. *Rev. Bras. Biom.*, Lavras, v.34, n.2, p.334-346, 2016.

- **ABSTRACT:** *In this work we evaluate temporal variability of precipitation and temperature recorded at meteorological stations in the state of Pernambuco – Brazil during the period 01/01/2008 to 01/01/2011 using the one-dimensional lacunarity method. The results show that in the semi-arid "sertão" region in Pernambuco, temperature series demonstrate lower lacunarity values (indicating more homogeneous behavior) while precipitation demonstrates higher lacunarity values (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 and temperature and can contribute to planning of agricultural activities, development of strategies to reduce impact of extreme climatic phenomenon (drought), and ensure sustainable development of the region.*

▪ **KEYWORDS:** *Climatology; fractal; lacunarity.*

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.

AZEVEDO, P. V.; BEZERRA, P. T. C.; LEITÃO, M. M. V. B. R.; SANTOS, C. A. C. Characterization of human thermal comfort in urban areas of Brazilian semiarid. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.30, p.371-380, 2015.

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.

COSTA, R. F.; FEITOSA, J. R. P.; FISCH, G.; SOUZA, S. S.; NOBRE, C. A. Variabilidade diária da precipitação em regiões de floresta e pastagem na Amazônia. *Acta Amazonica*, v. 28, p. 395-408, 1998.

DANTAS, L. G.; SANTOS, C. A. C.; OLINDA, R. A. Tendências anuais e sazonais nos extremos de temperatura do ar e precipitação em Campina Grande-PB. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.30, p.423-434, 2015.

DOUGHERTY, G.; HENEUBRY, 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.

FEDER, J. *Fractals*. Plenum, New York, USA, 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.

GOMES, O. M.; SANTOS, C. A. C.; SOUZA, F. A. S.; PAIVA, W.; OLINDA, R. A. Análise comparativa da precipitação no estado da Paraíba utilizando modelos de regressão polinomial. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.30, p.47-58, 2015.

HARTIGAN, J. A.; WONG, M. A. Algorithm, as136: A k-means Clustering algorithm. *Applied statistics*, v.28, p. 100-108, 1979.

IHA, D. K.; SINGH, D. S.; GUPTA, S.; Ray, A. Fractal analysis of crack initiation in polycrystalline alloys using surface interferometry. *European Physics Letters*, v. 98, p. 44006-44011, 2012.

- LANA, X.; BURGUEÑO, A.; SERRA, C.; MARTINEZ, M. D. Fractal structure and predictive strategy of the daily extreme temperature residuals at Fabra Observatory (NE Spain, years 1917–2005). *Theoretical and Applied Climatology*, v.118, p.1-17, 2014.
- LANA, X.; MARTINEZ, M.D.; SERRA, C.; BURGUEÑO, A. Complex behaviour and predictability of the European dry spell regimes. *Nonlinear Processes in Geophysics*, v.17, p.499-512, 2010.
- LUCENA, L. R. R. Lacunaridade como índice de avaliação da precipitação diária no sertão do Pajeú. *Biomatemática*, v. 25, p. 1-12, 2015.
- LUCENA, R. R. L.; STOSIC, T.; CUNHA FILHO, M. Avaliação da precipitação diária do estado de Sergipe utilizando análise de lacunaridade. *Revista Brasileira de Biometria*, v.33, n.2, p.268-276, 2015.
- 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 de precipitação de bacias hidrográficas do estado de São Paulo. *Biomatemática*, v. 24, p. 1-8, 2014.
- 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, R. R. L.; STOSIC, T. Temperatura do nordeste brasileiro via análise de lacunaridade. *Sigmae*, v.2, p.76-80, 2013.
- 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 inhomogeneity of IKONOS images of Amazonian tropical forest canopies. *Remote Sensing of Environment*, v.112, p. 2074 – 2087, 2008.
- MANDELBROT, B.B. *The fractal geometry of nature*. Freremann, 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.
- MOLLION, L. C. B. Climatologia dinâmica da região amazônica: mecanismos de precipitação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.2, p.107-117, 1987.
- MORAES, B. C.; COSTA, J. M. N.; COSTA, A. C. L.; COSTA, M. H. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. *Acta Amazonica*, v. 35, p. 207-214, 2005.
- 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.

- NÓBREGA, R. S.; FARIAS, R. F. L.; SANTOS, C. A. C. Variabilidade temporal e espacial da precipitação pluviométrica em Pernambuco através de índices de extremos climáticos. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.30, p.171-180, 2015.
- RAMOS, H. C.; DALLACORT, R.; SANTI, A.; JUNIOR, S. S.; QUEIROZ, T. M. Precipitação pluvial de Diamantino-MT em anos de ocorrências de El niño, La niña e neutros. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.30, p.71-80, 2015.
- ROY, A.; PERFECT, E.; DUNNE, W. M.; ODLING, N.; KIM, J. W. Lacunarity analysis of fracture network: Evidence of scale depended clustering. *Journal of Structural Geology*, v. 32, p. 1444-1449, 2010.
- SILVA, W. L.; DEREZYNYSKI, C.; CHANG, M.; FREITAS, M.; MACHADO, B. J.; TRISTÃO, L.; RUGGERI, J. Tendências observadas em indicadores de extremos climáticos de temperatura e precipitação no estado do Paraná. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.30, p.181-194, 2015.
- 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.
- XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F. S.; DIAS, M. A. F. S. Evolução da precipitação diária num ambiente urbano: o caso da cidade de São Paulo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 9, p. 44-53, 1994.
- 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.
- ZAIA, A.; ELEONORI, R.; MAPONI, P.; ROSSI, R.; MURRI, R. MR imaging and osteoporosis: Fractal lacunarity analysis of trabecular bone. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, v.10, p. 484-489, 2006.

Recebido em 29.06.2015

Aprovado após revisão em 22.02.2016