

Análise de Campo Gradiente e Dimensão de Hausdorff-Besicovitch aplicados na dinâmica espaço-temporal de ecossistemas aquáticos impactados

Ivan Bergier Tavares de Lima^{1,2}
Reinaldo Roberto Rosa²
Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo²
Reynaldo Luis Victória¹

¹CENA – Universidade de São Paulo
Caixa Postal 96 - 13416-000- Piracicaba - SP, Brasil
ivan@ltid.inpe.br, reyna@cena.usp.br

²INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
reinaldo@lac.inpe.br, evlyn@ltid.inpe.br

Abstract The use of lattice operators to determine parameters involved in the dynamics of impacted water ecosystems.

Keywords: Landsat5-TM, spatio-temporal complexity, dynamical systems.

1. Introdução

A construção de usinas hidrelétricas promove uma drástica alteração da dinâmica biológica de rios. Uma das principais consequências destes impactos é a proliferação de plantas aquáticas, e implicam em problemas de geração de energia, navegação, qualidade de água e formação de berçários de vetores de doenças. Esta infestação é uma resposta ao aumento da disponibilidade de nutrientes e da criação de nichos favoráveis ao seu desenvolvimento, como troncos semi-submersos, os quais funcionam como ancoradouros. Ao longo dos anos, a concentração de nutrientes na coluna d'água tende a diminuir, pela sua utilização, expulsão pelos vertedouros e por sedimentação através da formação de complexos com metais. A cada ano do ciclo hidrológico, quando o nível do reservatório é diminuído, as plantas entram em fase senescente e tendem a produzir mais estruturas reprodutivas que em quaisquer outro período. Todavia, com a baixa disponibilidade de nutrientes, uma menor quantidade de planta se desenvolve a cada ano.

2. Objetivos

Um modelo para esta dinâmica poderia ser uma equação com uma componente de percolação, utilizada em modelos de epidemias (Green, 1994), associada a outra de difusão. Para verificar se um modelo desta natureza poderia ser aplicado, o presente trabalho tem por objetivo a determinação de parâmetros que possam ser empregados numa futura análise, que sejam sensíveis e robustos quanto às variações de fenômenos observados no espaço e no tempo.

3. Material e métodos

Para este estudo foram selecionadas as bandas TM3, TM4 e TM5 do Landsat-5 para o reservatório de Tucuruí, no Estado do Pará, formado em novembro de 1984. As imagens foram obtidas no período de máximo crescimento de plantas aquáticas, referentes a junho-agosto. Os anos estudados foram 1986, 1988, 1990, 1992, 1994, 1999 e 2000.

Dois métodos foram aplicados para a obtenção de parâmetros. O primeiro baseia-se na Análise de Campo Gradiente, através do operador de fragmentação assimétrica F_A (Rosa et al., 1999). O operador F_A baseia-se na exclusão de vetores simétricos no campo gradiente e na geração de uma triangulação de Delaunay do ponto médio dos vetores resultantes (L). O operador de fragmentação assimétrica é dado por

$$F_A = \frac{C - L}{L}, \quad (1)$$

onde C refere-se ao número de linhas de conectividade vetorial através da triangulação de Delaunay. Para matrizes aleatórias o operador F_A tende assintoticamente ao valor 2 quando L tende ao infinito. Este operador tem sido empregado no estudo da emergência de padrões espaço-temporais em sistemas dinâmicos complexos (Rosa et al., 1999), que operam longe do equilíbrio térmico, ou estruturas dissipativas, o que justifica sua aplicação, tendo em vista a complexidade da dinâmica de sistemas biológicos, os quais também são considerados estruturas dissipativas. Por outro lado, a aplicação do operador F_A tem a premissa de que o sistema seja extenso, isto é, sem influência das condições de contorno. Por este motivo as regiões selecionadas para análise situam-se relativamente distantes das margens do reservatório.

Outro parâmetro avaliado é a Dimensão de Hausdorff-Besicovitch (D), que corresponde à dimensão fractal de formas no espaço n -dimensional. Esta dimensão é definida como aquela em que $D \geq D_T$, onde D_T refere-se à dimensão topológica (Mandelbrot, 1983). Como $D_T = 0$ ou 1, espera-se encontrar valores $0 \leq D < 2$. O método baseia-se no *box counting*, onde o número de elementos (N) que preenchem o espaço é computado para diferentes resoluções (r) e uma regressão linear do logaritmo de $N(r)$ e r fornece o valor de D . Os valores de D foram obtidos através de uma adaptação do método *box counting* (Buchníček et al., s.d.) através das equações

$$\begin{aligned} \ln(N_b(r)) &= \ln(K_b) - D_b \ln(r), \\ \ln(N_w(r)) &= \ln(K_w) - D_w \ln(r), \\ \ln(N_{bw}(r)) &= \ln(K_{bw}) - D_{bw} \ln(r), \end{aligned} \quad (2)$$

onde b e w referem-se à máscara e ao entorno da máscara criada através da seleção de números digitais (ND), onde $ND \geq ND_{critico}$, K_i refere-se à medida fractal (Mandelbrot, 1983). A dimensão fractal refere-se à fronteira entre b e w e é dada por $D = D_{bw}$ (Buchníček et al., s.d.).

Este método está sendo avaliado tendo em vista a geometria fractal e a multifractalidade observada em redes de drenagem (Turcotte, 1997) e em outros tipos de fluxos, como lavas vulcânicas (Lafarriére e Gaonac'h, 1999), sendo possível que a auto-similaridade ou invariância na escala do reservatório apresente uma influência espacial na dinâmica de ocupação das plantas.

Para ambos os métodos, imagens intensidade ou envelope de energia ($I = 0.299TM5 + 0.587TM4 + 0.114TM3$) foram empregadas para três séries temporais em diferentes regiões do reservatório.

4. Resultados

A Figura 1 apresenta a variação do envelope de energia I no espaço e no tempo para as três séries, formadas por matrizes de 36 x 36, 40 x 40 e 44 x 44 pixels. Os resultados do operador F_A e da determinação de D para as séries são apresentados na Figura 2. Ambos parâmetros decrescem com o tempo, tendo em vista a redução na amplitude e número de estruturas. O parâmetro D apresentou sensibilidade às variações de grandes mudanças nas estruturas do padrão

global. O operador F_A para as matrizes utilizadas apresenta um limiar de sensibilidade de ~ 0.0016 (Rosa et al., 1999) e permite a verificação da mudança de sub-padrões que compõem o padrão global. A média das diferenças de F_A para as três séries foi de 0,0167, evidenciando uma grande variabilidade temporal de picos assimétricos e de amplitudes laminares (paredes), bem como de uma quebra de simetria espaço-temporal, característica de sistemas dinâmicos complexos. Entre as datas existem variações inerentes na radiação eletromagnética refletida, na geometria de aquisição, da eletrônica do sensor e de registro espacial. Para minimizar parte desses efeitos, uma retificação radiométrica (Hall et al., 1991) poderia ser testada no futuro. Apesar de resultados preliminares, aparentemente D e F_A são complementares na identificação das forças físicas e biológicas envolvidas na formação destes padrões e deverão corroborar na criação e análise de simulações deste fenômeno com equações de percolação-difusão.

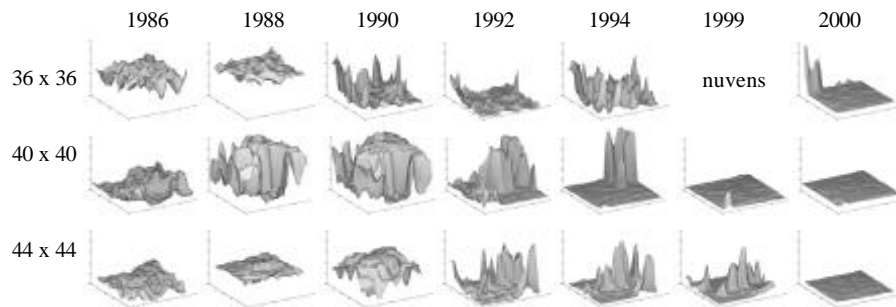


Figura 1. Evolução do envelope de energia I das matrizes filtradas e normalizadas.

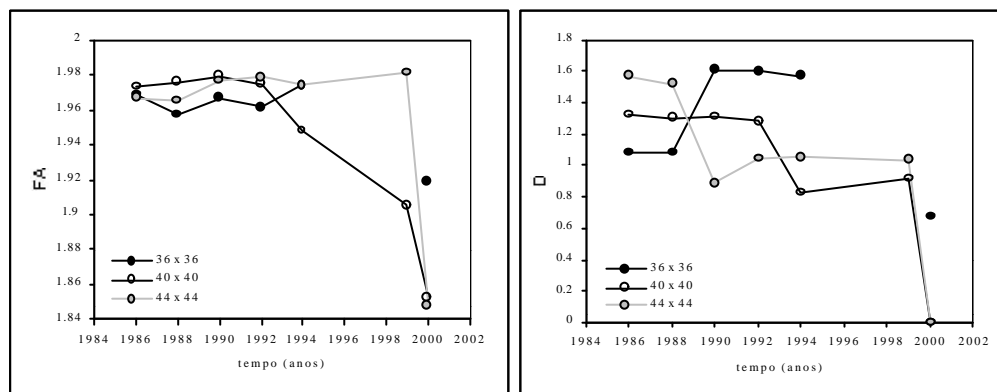


Figura 2. Variação dos valores de F_A e D para regiões de plantas aquáticas em Tucuruí.

Referências

- Buchníček, M.; Nezádal, M.; Zmeskal, O. Numeric calculation of fractal dimension. <http://debussy.fch.vutbr.cz/lectures/imagesci/>.
- Green, D. Emergent behaviour in biological systems. **Complexity International**, vol. 1, 1994. <http://www.csu.edu.au/ci>.
- Hall, F.G.; Strebel, D.E.; Nickeson, J.E.; Goetz, S.J. Radiometric rectification: towards a common radiometric response among multirate, multisensor images. **Remote Sensing of Environment**, 35(1):11-27, 1991.
- Lafarriere, A.; Gaonac'h, H. Multifractal properties of visible reflectance fields from basaltic volcanoes. **J. Geophys. Res.** 104(B3):5155-5126, 1999.
- Mandelbrot, B. **The fractal geometry of nature**. New York, Freeman, 1983.
- Rosa, R.R.; Sharma, A.S.; Valdivia, J.A. Characterization of asymmetric fragmentation patterns in spatially extended systems. **Int. J. Modern Phys.** 10:147-163, 1999.
- Turcotte, D.L. Fractals and chaos in geology and geophysics. London, Cambridge, 1997.