

INFLUÊNCIA DA RESOLUÇÃO ESPACIAL NA ESTIMATIVA DA DIMENSÃO FRACTAL DE FRAGMENTOS DE MATAS CILIARES

MARCOS CÉSAR FERREIRA¹
THIAGO SALOMÃO DE AZEVEDO²

¹Instituto de Geociências – UNICAMP
macferre@ige.unicamp.br

²Curso de Pós-Graduação em Geografia, UNESP, Rio Claro – SP
thiagosa@rc.unesp.br

Abstract. This paper presents an analysis of the influence of spatial resolution in fractal dimension estimation for riparian forests. The results show that spatial resolution may cause problems in estimation of D, mainly at low resolution. It is suggested to use at maximum of 50 meters resolution to the estimation of fractal dimension using images or raster maps in GIS.

Keywords. Fractal dimension, spatial resolution, satellite image, raster maps, riparian forests

1.Introdução

Uma das principais conseqüências do desmatamento é a fragmentação da paisagem, que transforma-se em mosaicos de vegetação nativa, estruturados em fragmentos florestais de diferentes áreas e formas. Dentre as formações vegetais que mais sofreram com o fragmentação provocado pela ação antrópica no Estado de São Paulo, encontram-se a vegetação de galeria. A vegetação ciliar ou de galeria, formação típica de margens de rios, córregos e lagos, ocorrem em porções de terreno que incluem tanto a ribanceira de um curso d'água como também a planície de inundação (Rechart, 1989).

As matas ciliares são reguladoras de fluxos de água superficial e de sedimentos, que transportam nutrientes das áreas mais altas da bacia hidrográfica para o ecossistema aquático. Além disto, atuam como filtros, desempenhando o papel de sistema tampão, além de importante refúgio para populações de aves e mamíferos.

Em ecologia da paisagem, a geometria fractal tem sido utilizada como um método analítico para identificar estruturas hierárquicas e comportamentos caóticos da dinâmica espacial e temporal de paisagens (Lam, 1990). A capacidade de quantificar a complexidade e a heterogeneidade da dinâmica dos fenômenos espaciais e temporais em um único índice, independente da escala, fez com que a geometria fractal tivesse se difundido em várias áreas das ciências ambientais (Leduc, et al. 1994).

Entretanto, trabalhos recentes que utilizaram a geometria fractal para comparar unidades de paisagem e avaliar o grau de perturbação sofrido por fragmentos florestais, demonstraram que a dimensão fractal (D) sofre influência da resolução espacial das imagens orbitais e mapas (Leduc et al. 1994). Considerando esta constatação, acreditamos que o estudo da fragmentação florestal com base no índice D deve ser conduzido com cuidado quando utiliza-se produtos de sensoriamento remoto.

Como contribuição às metodologias que utilizam a dimensão fractal como indicador dos impactos do desmatamento na fragmentação florestal, desenvolvemos um trabalho cujo objetivo principal é avaliar a influência da resolução espacial de imagens de sensoriamento remoto na estimativa dos valores da dimensão fractal de fragmentos de matas ciliares. Como objetivo secundário, a presente pesquisa busca identificar a resolução mais adequada para utilização da dimensão fractal em estudos de matas ciliares. Esta preocupação surgiu a partir de resultados obtidos por outros autores,

indicando que o tamanho do pixel de imagens e mapas em formato raster, tem efeitos nos valores de D, principalmente para objetos geográficos como matas ciliares e demais fragmentos lineares de florestas em formato de corredores.

2. Revisão da Literatura

O estudo das alterações nos elementos geométricos da paisagem é fundamental para os estudos ambientais. A supressão ou o aparecimento de novos arranjos espaciais na paisagem podem ser responsáveis por conseqüências ecológicas importantes, tais como a alteração dos padrões e diversidade de habitats, modificação na distribuição espacial de espécies, nutrientes e no fluxo de organismos (Young e Chopping, 1996). A resolução espacial utilizada para representar as formas geométricas dos fragmentos florestais, bem como, a amplitude espacial ou janela de recorte da paisagem adotada para delimitar a área estudada, são fatores relevantes em ecologia.

As variações do nível de detalhe destes parâmetros podem mascarar ou superestimar processos ecológicos atuantes nos fragmentos florestais (Turner, et al. 1990). Por exemplo, a amplitude espacial utilizada para estudar um processo ecológico, influencia na quantificação da estrutura da paisagem, devido ao efeito de truncamento responsável pela superestimativa do tamanho, do número, e da diversidade de fragmentos existentes na paisagem (Turner et al. 2001). A medida que aumenta a área da janela, aumenta o número de amostras dos fragmentos componentes da paisagem, propiciando a identificação de novos arranjos espaciais. Quando a paisagem contém grande diversidade de tipos de uso e cobertura do solo, o aumento da amplitude espacial propicia a amostragem mais adequada destes objetos.

Turner et. al. (1989) estudaram o comportamento dos índices de diversidade, dominância e contágio, em função de diferentes resoluções espaciais. Os resultados mostraram que os índices variam com a resolução. A medida que diminui a resolução espacial, o índice de diversidade da paisagem também diminui. Os índices de contágio e de dominância apresentam um comportamento oposto. Resultados semelhantes foram observados por Benson e Mackenzie (1995) estudando os efeitos da resolução espacial em parâmetros geométricos de paisagens com base em imagens orbitais dos sensores SPOT, LANDSAT e NOAA. Os resultados mostram à medida que aumenta a resolução espacial, valores médios de área, perímetro e dimensão fractal também aumentam.

As fontes de variação da dimensão fractal dependem do nível de detalhamento dos objetos contidos na paisagem (Goodchild e Mark, 1987; Lam, 1990 e Leduc, et al., 1994). Os processos ecológicos em diferentes níveis hierárquicos de organização, exibem padrões que modificam a geometria da paisagem e conseqüentemente alteram a dimensão fractal.

Leduc et al. (1994) o efeito da resolução espacial na estimativa da dimensão fractal de paisagens localizadas ao sul de Quebec, Canadá. Os resultados mostram que com o aumento no tamanho do pixel, há uma queda nos valores de D, embora esta relação não seja regularmente distribuídas. A variação da resolução, ou do nível de detalhe das feições espaciais contidas em um mapa, é responsável por distorções nos valores de área, perímetro, número e forma dos objetos (Lawrence e Ripple, 1996 e Mladenoff, 1997), e por isto, podem influenciar na estimativa da dimensão fractal dos fragmentos florestais.

2. Metodologia e Material

Com o objetivo de avaliar o efeito da resolução de imagens e mapas, na estimativa da dimensão fractal de fragmentos de matas ciliares, adotou-se uma metodologia baseada técnicas de manipulação de dados espaciais disponíveis em sistema de informação geográfica. Para testar esta metodologia, foi escolhida uma área localizada na alta bacia do Rio Passa Cinco, afluente do médio Piracicaba, situada no centro leste do Estado de São Paulo.

Inicialmente, os fragmentos de matas ciliares remanescentes na área de estudo no ano de 1995 foram mapeados a partir de imagem HRV-SPOT e fotografias aéreas na escala 1:25.000. O mapa temático resultante foi convertido para o formato raster no sistema de informação geográfica IDRISI (Eastman, 1999). A partir deste mapa foram simulados novos mapas com resoluções de 30, 50, 100, 500 e 1.000 metros (**Figura 1**), utilizando-se os módulos Data Entry>Initial, e Reformat>Raster-Vector Conversion .

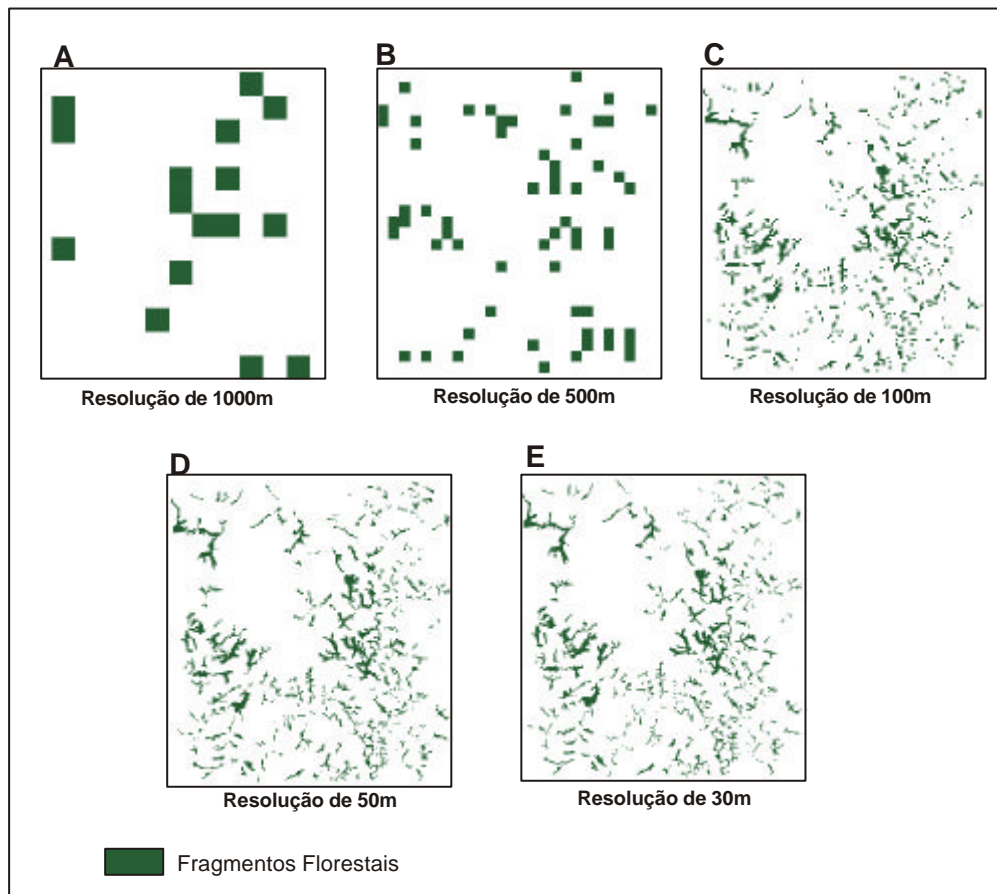


Figura 1 - Mapas dos fragmentos florestais de mata ciliar obtidos pela simulação numérica de diferentes resoluções espaciais.

Em seguida foram calculados os valores de área e perímetro dos fragmentos de matas ciliares para as cinco resoluções mencionadas, utilizando-se a seqüência de funções do SIG Analysis > Database Query. Nesta análise foram considerados apenas fragmentos com área superior a 10 há., seguindo-se o mesmo procedimento adotado por Silva (2002) no estudo de fragmentos florestais do médio vale do Rio Paraíba do Sul.

Para o cálculo da dimensão fractal (D), foram utilizados quatro métodos, todos baseados na relação área/perímetro. Destes métodos, três calculam a dimensão fractal

para cada fragmento florestal da paisagem, e um deles, a dimensão fractal média da paisagem.

O método 1, desenvolvido por Mandelbrot (1983) e baseia-se na seguinte relação:

$$D = \ln(A) / \ln(P) \quad (1)$$

onde: D é a dimensão fractal, A e P são respectivamente a Área e o Perímetro do fragmento florestal. O método 2, também desenvolvido por Mandelbrot (op.cit.), diferencia-se do primeiro pela inclusão de uma constante K. Esta constante é responsável pela homogeneização dos padrões de invariância escalar de fragmentos, mantendo a proporção da dimensão fractal entre pequenos e grandes fragmentos. O cálculo de D por meio deste método, é efetuado pela seguinte relação:

$$D = \ln(A) / \ln(P) + \ln(K) \quad (2)$$

O método 3, proposto por Clark (apud McGarigal, 1995), é definido pela relação abaixo:

$$D = 2 \ln(0,25P) / \ln(A) \quad (3)$$

Por fim, o método 4, desenvolvido por Lovejoy (1982), baseia-se na seguinte expressão:

$$D = 2 / \infty \quad (4)$$

onde ∞ é coeficiente angular reta de regressão entre $\log A$ e $\log P$.

Os valores de D obtidos para fragmentos estudados, com base nos métodos 1, 2 e 3, foram exportados para o Software Statistica, onde foram efetuadas análises de variância (ANOVA) para se estimar a variabilidade originada de diferentes fontes de variação, permitindo assim a verificação da influência do tamanho da resolução espacial na estimativa de D.

No caso do método 4, para se avaliar a relação entre a resolução espacial e a dimensão D, foram efetuadas comparações entre os valores de D e do coeficiente de determinação da análise de regressão linear. Cressie (1993) e Krebs (1994) argumentam que estes procedimentos estatísticos podem ser utilizados somente se os dados apresentam comportamento gaussiano. Para isto, testes estatísticos de normalidade foram aplicados aos valores para se verificar a existência de tal condição.

4. Resultados e Discussão

A **Tabela 1** apresenta os valores da dimensão fractal segundo a resolução espacial. A visualização gráfica destes resultados pode ser confirmada pela Figura 3. Os dados mostram que a resolução espacial pode interferir nos valores de D, para todos os métodos avaliados.

Tabela 1 - Valores da dimensão fractal (D) segundo o método de cálculo e a resolução espacial.

Método Para Cálculo de D	Resolução					CV (%)
	30 m	50 m	100 m	500 m	1000 m	
1	1,39	1,40	1,44	1,62	1,66	8,5
2	1,33	1,34	1,37	1,54	1,58	8,2
3	1,20	1,19	1,15	1,01	1,00	8,8
4	1,78	1,76	1,73	1,68	1,17	15,7

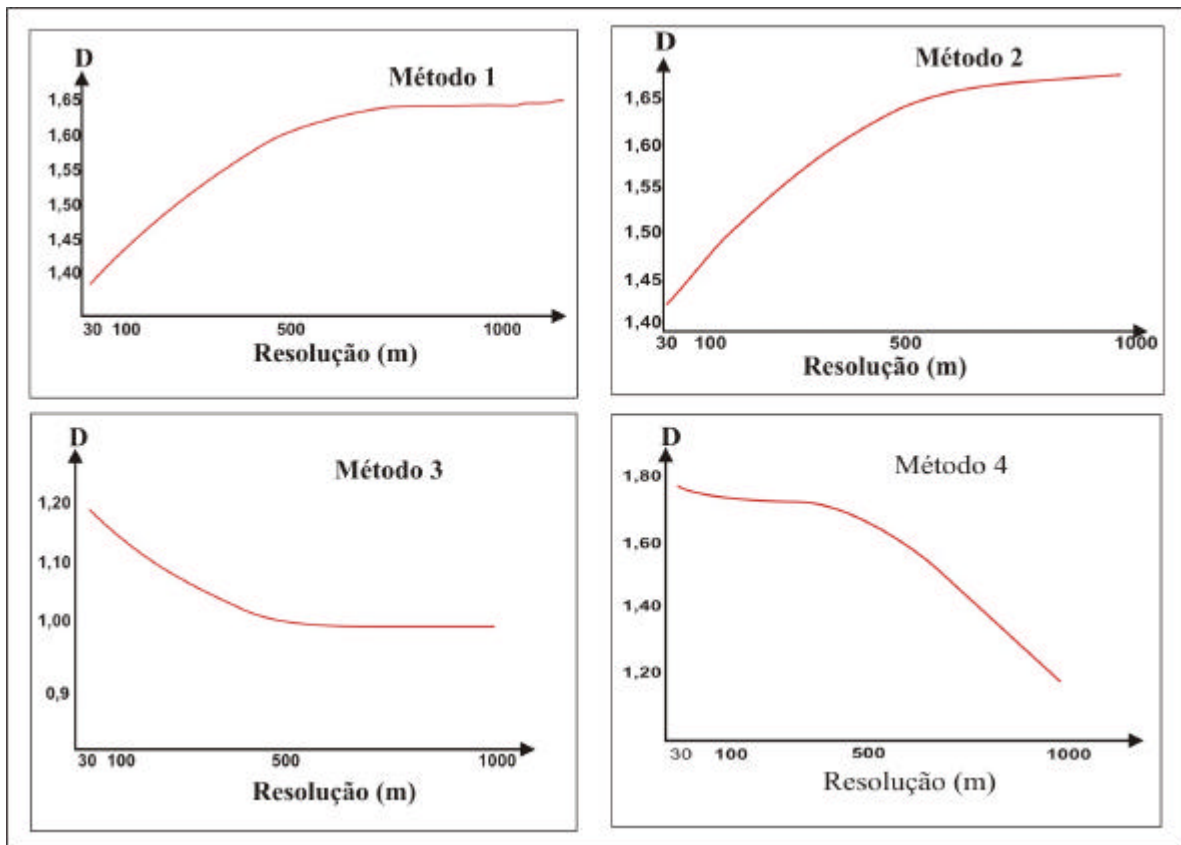


Figura 2 – Relação entre a resolução espacial e a dimensão fractal de fragmentos de mata ciliar.

Analisando-se a **Figura 2** que mostra o desempenho dos métodos de cálculo de D, nota-se que todos sofrem os efeitos da variação da resolução espacial. O método 3, apresenta valores de D sempre superiores aos demais, variando de 1,78 a 1,68 entre as resoluções de 30 a 500 m. A partir de 500 m, D cai rapidamente atingindo 1,17. Isto se explica pelas características do método, que baseia-se em todos fragmentos da área. Nas

baixas resoluções, simula uma regularidade geométrica, ocasionando a generalização das formas dos fragmentos florestais

O método 2 também é influenciado pela resolução, mas de forma inversa aos métodos 1 e 3. Na resolução de 30 metros, o método 2 indica um valor para D da ordem de 1,20; enquanto a 1000 metros, assume valor próximo de 1,0; destacando-se que há uma estabilização entre 50 e 100 metros de resolução. Os métodos 3 e 4 apresentam valores próximos a 1,0 para os fragmentos com formas mais simples (regulares), enquanto para os de forma mais complexa, (maior irregularidade), a dimensão fractal situa-se próxima a 2,0.

O métodos 1 e 2 calculam valores de D muito próximos. O método 1 varia de 1,39 a 1,66 e o método 2, de 1,33 a 1,58, respectivamente para altas e baixas resoluções. Analisando-se a Figura 3, constata-se que a partir da resolução de 50 metros, os valores de D alteram rapidamente, independente do método utilizado para o cálculo. Comparando-se os valores do coeficiente de variação para os métodos avaliados, conclui-se que o método 4, com CV=15,5, é o que sofre maior influência da resolução espacial, enquanto o método 2, é aquele menos influenciado pelos efeitos do uso da grade raster para se estimar a dimensão fractal de matas ciliares.

Os resultados dos testes estatísticos mostram que, para os métodos 1 2 e 3, as resoluções de 30 e 50 m não apresentam diferenças significativas entre si. Para resoluções mais altas que 50 m, os valores da dimensão fractal não apresentam variabilidade significativa. Por outro lado, nas resoluções mais baixas que 50 m (1000, 500 e 100 m), ocorrem diferenças significativas na estimativa de D. Os resultados dos testes estatísticos de ANOVA indicaram que a resolução de 50 m é a resolução mais adequada para se estimar os valores da dimensão fractal.

5. Conclusões

De maneira geral, para o caso das matas ciliares, pelos resultados da análise da influência da resolução na estimativa da dimensão fractal, podemos concluir que D é influenciada pela resolução espacial das imagens orbitais e de mapas. Concluímos através das análises estatísticas que as resoluções espaciais mais detalhadas que 50 metros apresentam menor influência na estimativa da dimensão fractal.

Concluímos também que, independente do método baseado na relação perímetro-área adotado para a estimativa de D, devem-se ser utilizadas imagens provenientes de sistemas sensores com resolução de até 50 metros, entre os quais indica-se o TM-Landsat, o HRV-SPOT, Ikonos, entre outros.

Referências

- Benson, B. & Mackenzie, M. Effects of sensor spatial resolution on landscape structure parameters. *Landscape Ecology*, 10: 113 – 120, 1994.
- Cressie, N. *Statistics for spatial data*. John Wiley & Sons, 1993, 897 p.
- Eastman, J. R. *Idrisi for Windows: user's guide*, vols. I and II. Dept. of Geography of Clark University, Worcester, MA, EUA, 1999.
- Goodchild, M. & Mark, D. The fractal nature of geographic phenomena. *Annals of Association of American Geographers*, 77: 265 – 278, 1987.
- Krebs, C. *Ecological methodology*. Benjamin & Cummings. 1999, 620 p.
- Lam, N. S. N. Description and measurement of Landsat TM images using fractals. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 56: 187 – 198, 1990.

- Lam, N. S. N.; De Cola, L. *Fractals in Geography*. New Jersey. Edit. PTR Prentice-Hall, Inc., 1993, 308 p.
- Lawrence, R. & Ripple, W. Determining patch perimeters in raster image processing and geographic information systems. *International Journal of Remote Sensing*, 17: 1255 – 1259, 1996.
- Leduc, A.; Prairie, Y. T.; Bergeron, Y. Fractal dimension estimatives of a fragmented landscape: sources of variability. *Landscape Ecology*, 9: 279 – 286, 1994.
- Lovejoy, S. Area-perimeter relation for rain and cloud areas. *Science*, 216: 185 – 187, 1982.
- Mandelbrot, B. B. *The fractal geometry of nature*. San Francisco, Freeman, 1983, 468 p.
- McGarigal, K, et al. *Fragstats*: Spatial pattern analysis program for quantifying structure. Portland, OR: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 1995, 122 p.
- Mladenoff, D. Gerald, J. N.; Mark, A. W. Effects of changing landscape pattern and U.S.G.S. land cover data variability on ecoregion discrimination across a forest-agriculture gradient. *Landscape Ecology*, 12: 379 – 396, 1997.
- Reichardt, K. Relações água-solo-planta em mata ciliar. *In: SIMPÓSIO SOBRE MATAS CILIARES*, 1.;1989, Campinas. *Anais*. Campinas, 1989. pg 20-24.
- Silva, V. V. *Médio Vale do Paraíba do Sul: fragmentação e vulnerabilidade dos remanescentes da Mata Atlântica*. Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense, 2002. Dissertação de Mestrado. 109 p.
- Turner, M. G; O'Neill, R. V.; Gardner, R. H.; Milne, B. T. Effects of changing spatial scale on analysis of landscape pattern. *Landscape Ecology*, 3: 153 – 162, 1989.
- Turner, M. G.; Gardner, R. H. Quantitative methods in landscape ecology: an introduction. *In: Quantitative methods in landscape ecology: The analysis and interpretation of landscape heterogeneity*. Turner, M.; Gardner, R. (ed.), New York: Springer Verlag. p. 3 – 14. 1990.
- Young, R.; Chopping, M. Quantifying landscape structure: a review of landscape indices and their application to forested landscapes. *Progress in physical geography*, 20: 418 – 445, 1996.