

EFEITOS DA RESOLUÇÃO ESPACIAL NA QUANTIFICAÇÃO DE MÉTRICAS UTILIZADAS EM ECOLOGIA DA PAISAGEM: UM CASO DE ESTUDO PARA PAISAGENS RIPÁRIAS

Thiago Salomão de AZEVEDO¹

Marcos César FERREIRA²

Resumo

Este artigo apresenta um caso de estudo sobre a influencia da resolução na estimativa da dimensão fractal (D) de paisagens ripárias. Os resultados mostram que a resolução espacial interfere na estimativa de D das paisagens ripárias, ou seja, a dimensão fractal é sensível a variações da resolução espacial.

Palavras Chaves: Dimensão Fractal, Resolução, Métricas, Paisagens Ripárias

Abstract

Effects of spatial resolution on quantification of the landscape metrics used in ecology studies: A study case to riparian landscapes

This paper presents a case study involving the influence of resolution of the Fractal Dimension (D) of riparian landscapes. Four fractals methods were selected to analyze such influence. To compare the influence of resolution on D, statistical inference we used. The results showed that the resolution altered the fractal estimate of riparian landscapes, i. e. the fractal indices are sensitive to the resolution change.

Key words: Fractal Dimension; Resolution; Metrics; Riparian Landscapes.

¹ Ecólogo, Ms. Em Geografia, Unesp Rio Claro – SP. e-mail: azevedots@bol.com.br

² Instituto de Geociências, Unicamp, Campinas – SP. e-mail: macferre@ige.unicamp.br

INTRODUÇÃO

Os fractais têm sido utilizados para comparar paisagens simuladas e reais, para comparar a geometria de diferentes paisagens e para os benefícios relativos, adquiridos por mudanças de escala em um modelo ou em um conjunto de dados (TURNER et al., 1989).

Muitos autores têm sugerido que as paisagens antrópicas exibem padrões mais simples que paisagens naturais quando medidas pela dimensão fractal. Para Burrough (1981), este fenômeno ocorre devido ao aumento da complexidade da paisagem. Krummel et al. (1987), sugerem que a utilização da geometria fractal na quantificação da heterogeneidade espacial da paisagem pode ajudar a formular hipóteses sobre a dinâmica das interações espaciais dos padrões dos processos ecológicos.

Para Ferreira (1997) a quantificação da heterogeneidade espacial da paisagem, pode ser considerada como um desafio quantitativo para os cientistas ambientais, pois os processos de transformação da estrutura espacial da paisagem requerem níveis de informação cada vez mais detalhados.

Para Turner e Gardner (1990), foi com o desenvolvimento da informática, principalmente dos sistemas de informação geográfica (SIG) e do sensoriamento remoto, que as novas metodologias de análise e interpretação dos processos ecológicos, no nível de paisagem, puderam ser realizadas com acurácia.

A incorporação dos sistemas de informação geográfica em estudos de ecologia da paisagem contribuiu significativamente na realização e na integração de análises complexas de dados. Estas características dos SIG's oferecem também oportunidades de efetuarmos a análise temporal dos processos ecológicos, além de uma importante ferramenta para o desenvolvimento de modelos que podem ser usados para quantificar a heterogeneidade espacial das paisagens no tempo (QUATTROCHI; PELLTIER, 1990).

A organização e a representação computacional de mapas, em sistemas de informação geográfica, é composta basicamente por duas classes: a vetorial e a matricial.

Na classe vetorial, a representação de um elemento ou objeto é uma tentativa de reproduzi-lo o mais exatamente possível. Qualquer entidade ou elemento gráfico de um mapa é reproduzido por três formas básicas: pontos, linhas e polígonos (CÂMARA; MEDEIROS, 1998). A representação matricial ou raster consiste no uso de uma malha quadriculada regular sobre a qual se constrói, célula a célula, o elemento que está sendo representado. A cada célula, atribui-se um código referente ao atributo estudado de tal forma que o computador saiba que um elemento ou objeto pertence à determinada célula (CÂMARA; MEDEIROS, 1998; JOHNSTON, 1998).

Neste tipo de estrutura, o espaço é representado como uma matriz A_{mn} composta de m colunas e n linhas, onde cada célula possui um número de linha, um número de coluna e um valor correspondente ao atributo estudado e cada célula é individualmente acessada pelas suas coordenadas. Desta forma a representação matricial supõe que o espaço pode ser tratado como uma superfície plana, onde cada célula é associada a uma porção do terreno. A resolução do sistema é dada pela relação entre o tamanho da célula no mapa e a área por ela coberta no terreno (CÂMARA; MEDEIROS, 1998). Assim, à medida que aumentamos a resolução, melhoramos o nível de detalhe das feições do mapa, tornando as avaliações de áreas e de distâncias mais exatas.

Considerando esta constatação, acreditamos que o estudo da dinâmica espacial da paisagem com base na dimensão fractal deve ser considerado 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.

REVISÃO DA LITERATURA

O estudo das alterações das características geométricas da paisagem é fundamental em estudos ambientais, pois a supressão ou o aparecimento de novos arranjos espaciais na paisagem pode ser responsável por importantes conseqüências ecológicas, tais como a alteração dos padrões de diversidade de habitats, de distribuição de espécies, de nutrientes e do fluxo de organismos (YOUNG; CHOPPING, 1996).

vez que se este parâmetro é alterado, diferentes estruturas podem surgir (BENSON; MaCKENZIE, 1995). Esta alteração influencia diretamente nos valores dos índices utilizados na quantificação dos padrões espaciais da paisagem, sendo responsável pela alteração da configuração espacial de sua estrutura (TURNER et al., 2001).

Segundo Moody; Woodcock, (1995), as mudanças de resolução estão relacionadas à variação do número de pixels, responsáveis pela modificação nas proporções de forma, tamanho, densidade e diversidade dos elementos que compõem a paisagem. Estas alterações alteram as configurações geométricas dos elementos que compõem a paisagem (TURNER et al., 2001).

Segundo Lawrence; Ripple (1996); Mladenoff et al. (1997), tais alterações são responsáveis por distorções nos valores de área, perímetro, número e forma dos objetos. Conseqüentemente, estas distorções podem provocar variações também na estimativa da dimensão fractal (D) dos fragmentos florestais, já que a maioria dos métodos utilizados na estimativa de D estão baseados na razão de área e perímetro.

Estas constatações puderam ser constatadas em trabalhos, que utilizaram a geometria fractal como método para comparar paisagens distintas. Estes estudos demonstraram que os valores da dimensão fractal sofrem alterações devido à resolução espacial das imagens e mapas. (KRUMMEL et al. 1987; LEDUC et al. 1994; LI, 2000).

Benson; Mackenzie (1995), estudaram os efeitos da resolução espacial em parâmetros espaciais de paisagens. Estes autores compararam três imagens de satélite provenientes respectivamente dos sensores SPOT, LANDSAT e NOAA, com resoluções de 20m, 30m e 1.100m. A metodologia empregada neste estudo baseou-se primeiramente na classificação de cada cena em duas categorias: lagos e terra. Após este procedimento, foram calculados os parâmetros espaciais da estrutura da paisagem, que serviram como indicadores de variação de resolução espacial.

A tabela 1 apresenta a variação dos valores dos elementos espaciais em diferentes resoluções.

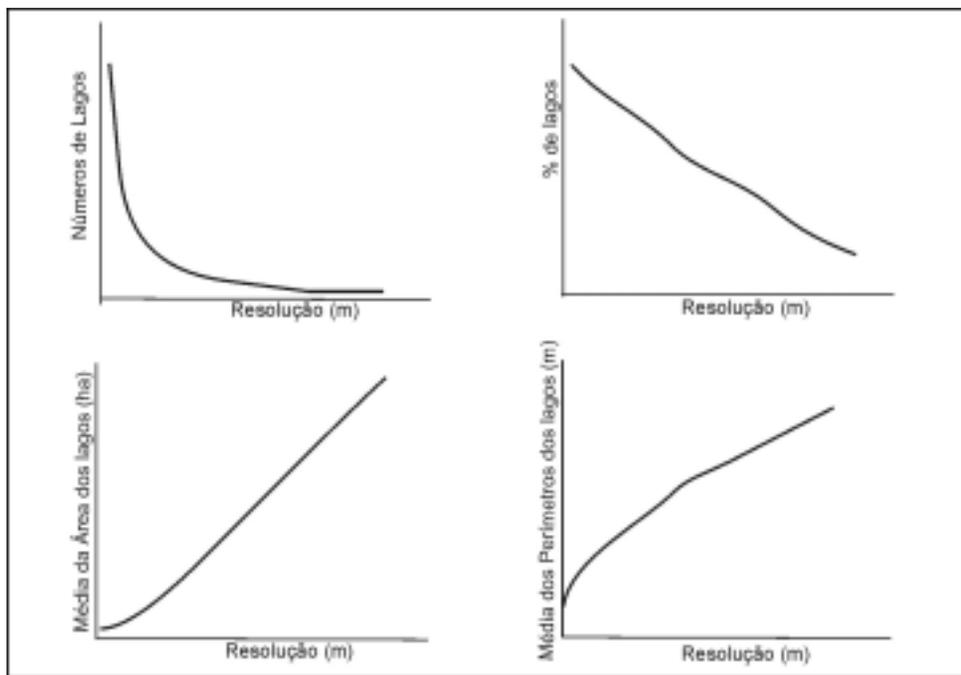
Os resultados mostram que com a diminuição da resolução espacial, a porcentagem e o número de lagos existentes na paisagem diminuem. Já os valores médios de área, de perímetro e a dimensão fractal possuem um comportamento inverso, ou seja, à medida que aumentamos a resolução espacial, os valores destes parâmetros também aumentam (Figura 1 e Tabela 1).

Tabela 1 - Valores de índices de paisagem em função da resolução espacial de imagens orbitais.

SENSORES	SPOT	LANDSAT	NOAA
	20 m	30 m	1.100 m
Resolução			
% de Lagos	11,9	10,9	6,7
Número de Lagos	3.428	2.829	63
Área Média dos Lagos (ha)	11,7	7,8	360
Perímetro Médio dos Lagos (m)	1.324	1.123	8.600
Dimensão Fractal	1,23	1,25	1,36

Fonte: Benson; Mackenzie (1995)

Figura 1 – Relação entre a resolução espacial de imagens e índices de paisagem



Fonte: Benson; Mackenzie (1995)

À medida que a resolução dos arranjos espaciais diminui, o número de pixels dos fragmentos que compõem a paisagem também diminui. As alterações nas feições da estrutura do mosaico de fragmentos da paisagem são responsáveis por alterações nos valores da dimensão fractal destes fragmentos.

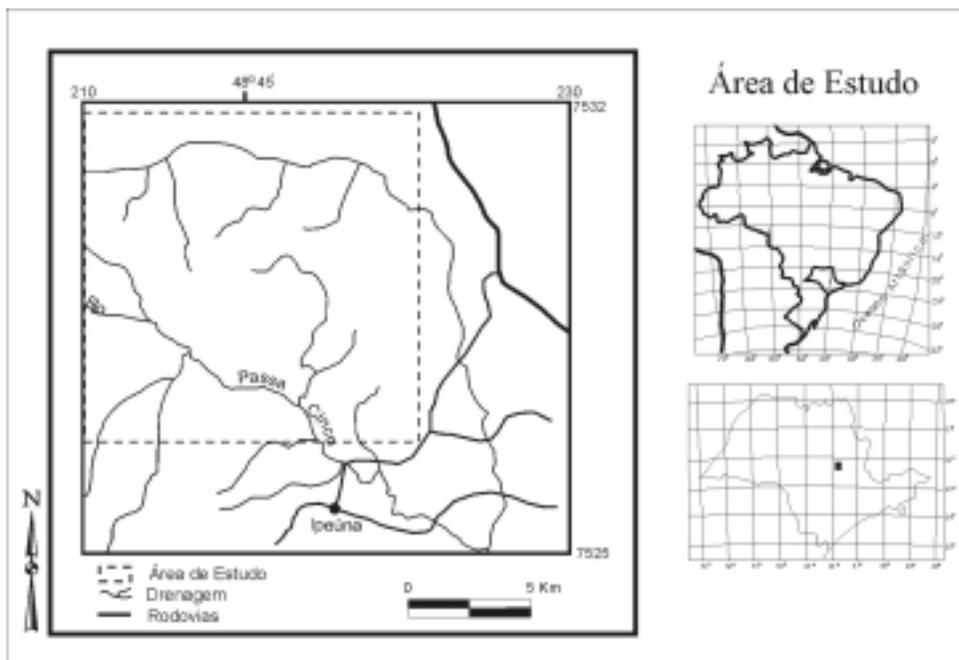
Lam (1990), estudou o comportamento espacial da dimensão fractal (D) de 3 imagens TM (LANDSAT-5), de três paisagens localizadas no Estado da Lousiana, EUA. Neste estudo, a autora salienta que os valores de D possuem comportamentos diferentes segundo as bandas espectrais do sistema. A banda 6 apresenta os menores valores de D se comparados às demais, devido à baixa resolução espacial desta banda do sensor.

Leduc et al. (1994), estudaram as fontes de variabilidade da resolução na estimativa da dimensão fractal (D) de paisagens localizadas ao sul de Quebec, Canadá. A metodologia empregada baseou-se na comparação da estimativa de D em diferentes resoluções. Os resultados mostram que o aumento no tamanho do pixel (baixa resolução), produz uma queda nos valores da dimensão fractal, embora estas diferenças não sejam regularmente distribuídas.

MATERIAL E MÉTODOS

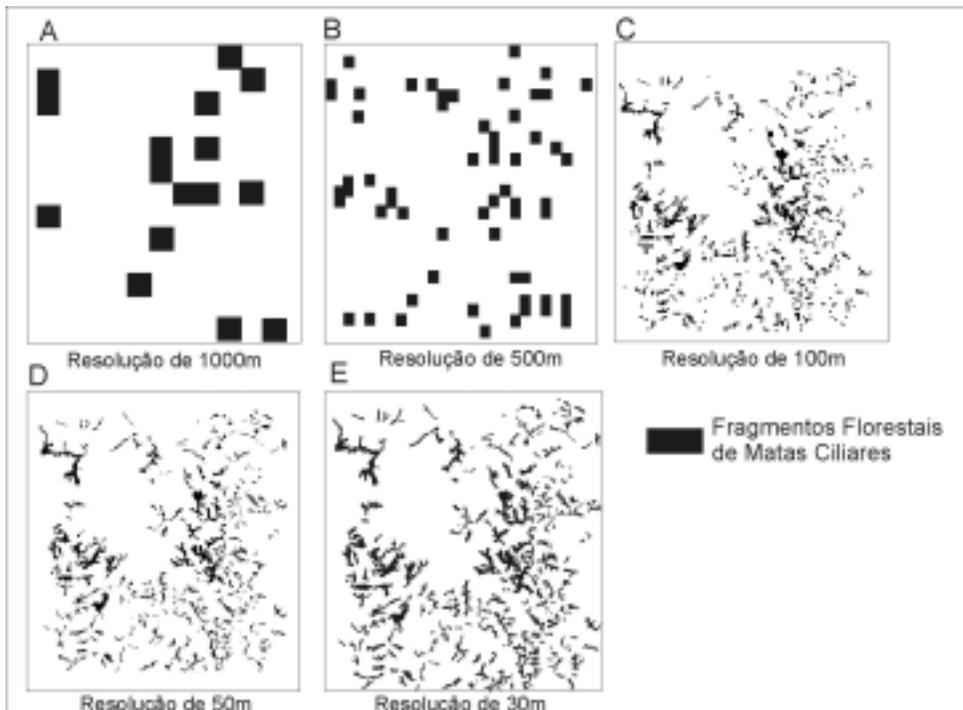
Com o objetivo de avaliar o efeito da resolução de imagens e mapas, na estimativa da dimensão fractal de fragmentos de matas ciliares, adotou-se uma metodologia baseada em técnicas de manipulação de dados espaciais disponíveis em sistema de informação geográfica. Para testar esta metodologia, foi escolhida uma área localizada na alta bacia do Rio Passa Cinco, situada no centro leste do Estado de São Paulo, nas seguintes coordenadas $48^{\circ} 35' - 48^{\circ} 55' W$ e $22^{\circ} 15' - 22^{\circ} 35'$ (Figura 2).

Figura 2 – Localização da Área de Estudo



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 3), utilizando-se a seguinte seqüência de funções: *Data Entry > Initial*, e *Reformat > Raster-Vector Conversion*.

Figura 3 – Mapas dos fragmentos florestais de mata ciliar obtidos pela simulação numérica de diferentes resoluções espaciais



Em seguida foram calculados valores de área e perímetro dos fragmentos de matas ciliares para as cinco resoluções mencionadas, utilizando-se respectivamente a seqüência de funções do SIG: *Analysis > Database Query > Area* e *Analysis > Database Query > Perimeter*. Nesta análise foram considerados apenas fragmentos com área superior a 10 ha. Este procedimento foi utilizado por Silva (2002) na avaliação dos fragmentos florestais do médio vale do Rio Paraíba do Sul. Segundo Tabarelli et al. (1999), este procedimento faz-se necessário, pois 10 ha (hectares) é área mínima para que um fragmento apresente significativas variações de complexidade de forma.

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

fractal individual para cada fragmento florestal da paisagem, enquanto o quarto método, calcula a dimensão fractal média da paisagem.

O primeiro método utilizado foi desenvolvido por Mandelbrot (1983) e baseia-se na relação:

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

onde: D = Dimensão Fractal

ln (A) = logaritmo neperiano da Área

ln (P) = logaritmo neperiano do Perímetro

O segundo método, também desenvolvido por Mandelbrot (1983), 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.

Este método é descrito pela seguinte relação:

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

onde: D = Dimensão Fractal

ln (A) = logaritmo neperiano da Área

ln (P) = logaritmo neperiano do Perímetro

K = constante

O terceiro método foi proposto por Clark (McGARIGAL; MARKS, 1995), é definido pela relação:

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

onde: D = Dimensão Fractal

ln (A) = logaritmo neperiano da Área

ln (P) = logaritmo neperiano do Perímetro

O último método, desenvolvido por Lovejoy (1982), é definido pela expressão:

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

onde: D = Dimensão Fractal

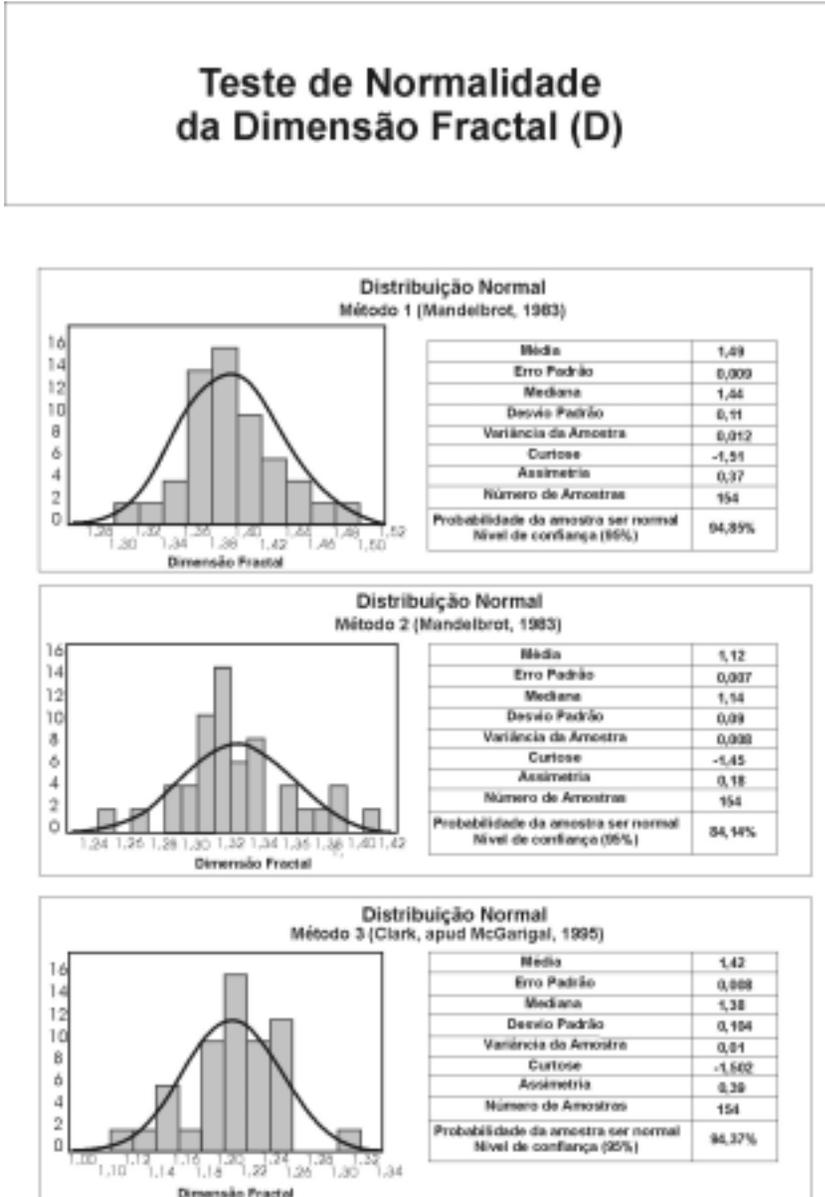
α = coeficiente angular da reta de regressão entre log. P e log. A.

Os valores da dimensão fractal obtidos pelos métodos 1, 2 e 3 foram exportados para o Software *Statistica* (SATSOFIT INC, 1995), onde foram efetuadas análises de variância (ANOVA). Segundo Zar (1999), a ANOVA é utilizada para se estimar a variabilidade originada de diferentes fontes de variação, permitindo a verificação da influência do tamanho da resolução espacial na estimativa da dimensão fractal.

Para avaliar a influência da resolução espacial na estimativa de D pelo método de Lovejoy (1982), foram efetuadas comparações entre os valores de D e do coeficiente de determinação da regressão (R^2). Mandelbrot (1983); Cressie (1993); Krebs (1994); e Zar (1999), argumentam que estes procedimentos estatísticos podem ser utilizados a priori somente se o conjunto de dados estudados apresenta comporta-

mento gaussiano. Por isto, testes estatísticos de normalidade foram aplicados aos valores para se verificar tal condição (Figura 4).

Figura 4 – Curva de comportamento gaussiano dos valores de dimensão fractal para os métodos 1, 2 e 3



RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 2 apresenta os valores de perímetro, área e dimensões fractais, segundo a resolução espacial. A visualização gráfica destes resultados pode ser confirmada pela figura 5. Os dados mostram que a resolução espacial pode interferir nos valores de D, para todos os métodos avaliados.

Tabela 2 - Valores da dimensão fractal (D) segundo o método de cálculo e a resolução espacial

	30 m	50 m	100 m	500 m	1000 m	CV (%)
Número de Fragmentos	32	33	33	40	15	
Perímetro (Km)	266	254	201	110	61	
Área (Km²)	949	960	962	1535	1553	
Dimensão Fractal - Método 1	1,39	1,40	1,44	1,62	1,66	8,5
Dimensão Fractal - D Método 2	1,33	1,34	1,37	1,54	1,58	8,2
Dimensão Fractal - D Método 3	1,20	1,19	1,15	1,01	1,0009	8,8
Dimensão Fractal - D Método 4	1,78	1,76	1,73	1,68	1,17	15,7

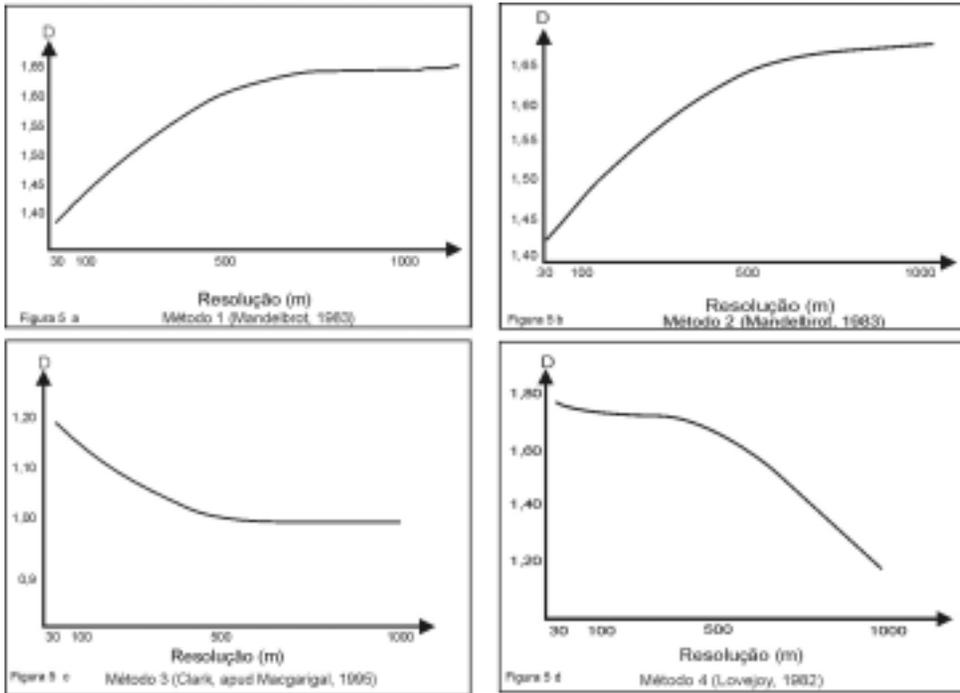
Nota-se que os parâmetros, perímetro e área sofrem os efeitos do tamanho do pixel, de forma diferente. Nas resoluções mais baixas, ou seja, em mapas digitais com pixels de tamanho maior, o perímetro das matas ciliares apresenta valores muito baixos, se comparados às altas resoluções.

Por exemplo, a uma resolução de 30 metros, o perímetro das matas é 266 km, enquanto a resolução de 1000 metros, este parâmetro atinge apenas 61 km. Conclui-se então que a irregularidade da borda dos fragmentos é seriamente atingida pela variação da resolução espacial, uma vez que nas baixas resoluções, há uma tendência a retilinização das formas, e, por conseguinte, à formação de figuras geométricas simples (Figura 5).

O parâmetro área comporta-se de forma inversa. Nas resoluções mais altas (30 m), quando os valores tendem a se aproximar mais do valor real da área do fragmento, equivale a 949 km², enquanto nas resoluções mais baixas (1000 metros), totaliza 1553 km². A superestimativa dos valores também pode ser constatada na Figura 3. Nota-se nesta figura que a partir da resolução de 500 metros, os fragmentos menores começam a desaparecer e englobarem-se em fragmentos maiores, formados a partir da adição de fragmentos vizinhos.

Analisando-se o desempenho dos métodos testados para o cálculo da dimensão fractal, nota-se que todos sofrem os efeitos da variação da resolução espacial. O método 3 apresenta valores de D sempre mais elevados que os demais, variando de 1,78 a 1,68, nos intervalos de resolução entre 30 a 500m. A partir deste valor, D cai rapidamente atingindo 1,17 (Figura 5 d). Isto se explica pela própria natureza do método, que trabalha com todos os fragmentos da área, e nas baixas resoluções simula uma situação de regularidade dos fragmentos, devido à generalização das formas dos mesmos.

Figura 5 – Efeito da resolução espacial na estimativa da dimensão fractal



Com relação ao método 2, podemos dizer que também é influenciado pela resolução, de forma inversa, tal como o método 1. Na resolução de 30 metros, estes métodos indicam valor para D na ordem de 1,20, e na resolução de 1000 metros, assume valor próximo de 1,0 (Figura 5 c). Entretanto, deve-se destacar que há uma estabilização na queda dos valores de D 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 que os fragmentos de forma mais complexa, com maior irregularidade, apresentam dimensão fractal próxima a 2,0.

Os métodos 1 e 2 (Figura 5 a e 5 b), possuem comportamento inverso aos métodos 3 e 4, já que os fragmentos com formas mais simples (regulares) apresentam valores próximos a 2,0 e fragmentos mais complexos apresentam valores mais próximos a 1,0.

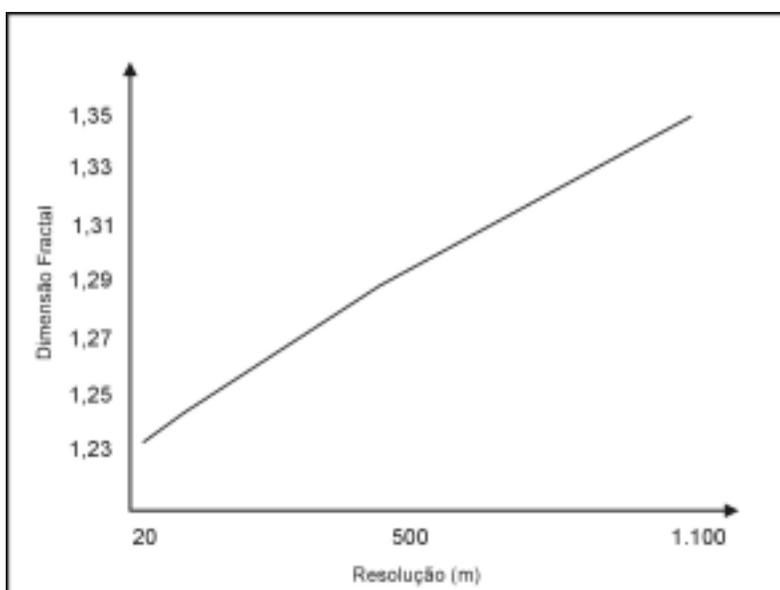
Os métodos 1 e 2 calculam valores de D para os fragmentos de matas ciliares muito parecidos. O método 1 varia de 1,39 a 1,66 e o método 2, de 1,33 a 1,58, respectivamente para altas e baixas resoluções. Analisando-se a figura 5, constata-se que a partir da resolução de 50 metros, os valores de D alteram 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 mais influenciado pela resolução espacial, enquanto que o método 2 sofre menos os efeitos do uso da grade raster para se estimar a dimensão fractal de matas ciliares.

Os resultados dos métodos 3 e 4, aqui contemplados, estão em concordância com os resultados de O'Neill et al. (1996). Os autores afirmam que os arranjos espaciais de elementos geometricamente regulares (formas mais simples como quadrados, hexágonos, etc) possuem valores de dimensão fractal próximo a 1,0.

Com relação ao comportamento dos métodos 1 e 2 em relação à dimensão fractal, nossos resultados assemelham-se aos obtidos por Benson e Mackenzie (1995), (Tabela 1 e Figura 5). Os autores mostram que os valores de D aumentaram à medida que diminuimos a resolução (aumento do tamanho do pixel). Isto é explicado pelos autores pelo fato de objetos espaciais geometricamente regulares (Figura 5 a e 5 b, e Figura 6), como quadrados, hexágonos ou retângulos, assumirem valores de D próximos a 2,0.

Figura 6 – Variação da dimensão fractal (D) em função da resolução espacial

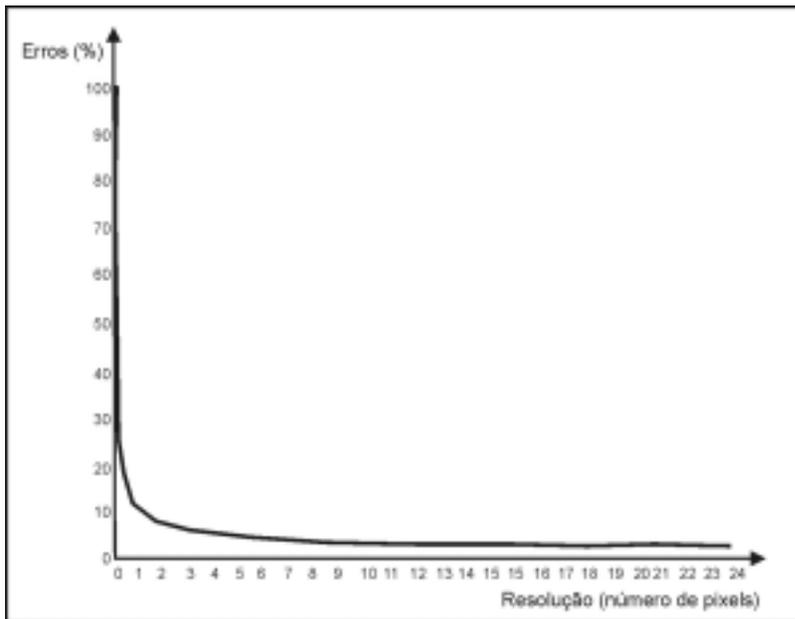


Fonte: Adaptado de Benson; Mackenzie (1995)

Estudos efetuados por Leduc et al. (1994), mostraram que os efeitos combinados da variação da resolução podem produzir oscilações de até 10% nos valores de D. Os nossos resultados indicam que as oscilações para os métodos analisados situam-se entre 8,2 % e 15,7 %, confirmando os dados publicados por estes autores.

Lawrence; Ripple (1996), explicam estas variações geométricas relacionadas à dimensão fractal, afirmando que com o aumento do número de pixels correspondente a um fragmento posicionado na matriz de dados rasterizada. Aumenta-se também o nível de detalhamento dos objetos e, por conseguinte, diminuem os erros associados à estimativa do perímetro e da área dos objetos (Figura 7).

Figura 7 – Relação entre o número de pixels de um fragmento florestal estruturado no formato raster e o erro percentual associado à estimativa do seu perímetro



Fonte: Adaptado de Lawrence; Ripple (1996).

As observações acima comentadas indicam que os índices utilizados para quantificar a estrutura da paisagem, baseados nas proporções de forma, como por exemplo, a dimensão fractal, pode conter informações não confiáveis quando utilizamos mapas ou imagens com baixa resolução espacial. Segundo O'Neill et al. (1996), quando o foco de interesse da pesquisa é o estudo de ecossistemas ripários ou de áreas de transição entre diferentes tipos de habitats, as resoluções mais adequadas para estes estudos são aquelas que apresentam menor grau de incerteza possível.

A generalização dos arranjos espaciais consiste na perda de detalhes, ou seja, a generalização nada mais é que a simplificação dos detalhes dos objetos, à medida que diminuimos a resolução (WOODCOCK; STRALER, 1987; MARCEAU et al., 1994).

Neste nível de compreensão, à medida que aumentamos o tamanho do pixel dos fragmentos de matas ciliares, por meio de simulação da resolução em sistemas de informação geográfica, estamos transformando os fragmentos florestais, tornando-os ortogonais através da perda da irregularidade (Figura 8).

Segundo Woodcock; Strahler (1987); Moody; Woodcock (1994), a generalização dos objetos através da simplificação de suas formas, reduz o número de pixels da imagem limitando a amplitude da resolução espacial.

Woodcock; Strahler (1987), simularam resoluções espaciais de imagens TM de áreas de florestas localizadas na Califórnia, EUA, comparando-as com a variância dos pixels (Figura 9).

Figura 8 – Variações geométricas de um fragmento de mata ciliar em função da resolução espacial e da dimensão fractal

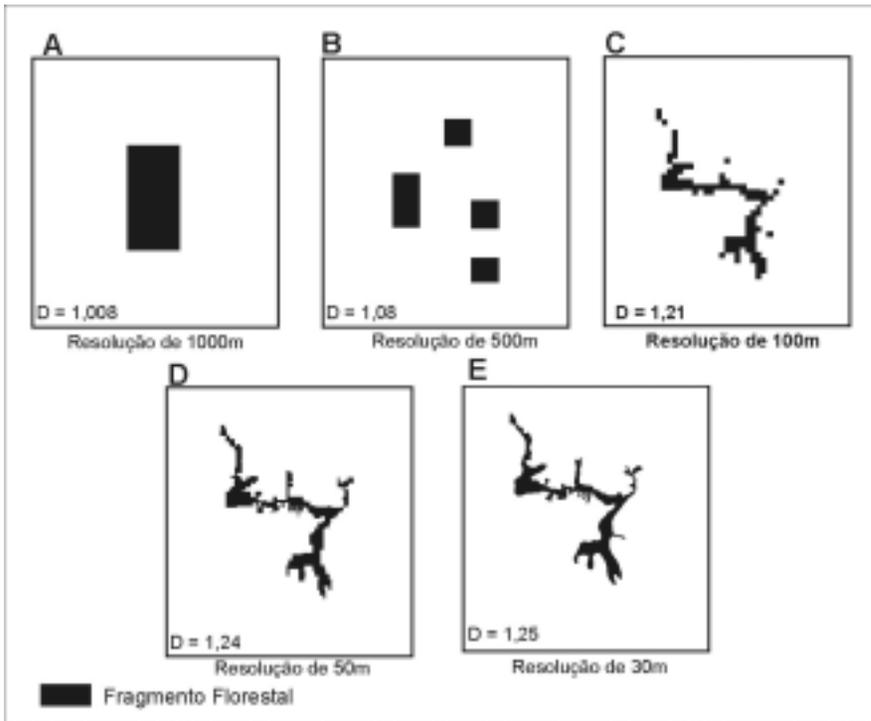
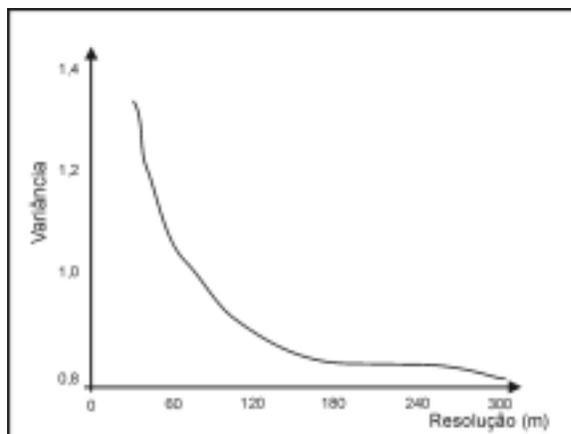


Figura 9 – Relação entre a variância dos níveis de cinza dos pixels em função da resolução de imagens TM de áreas florestadas

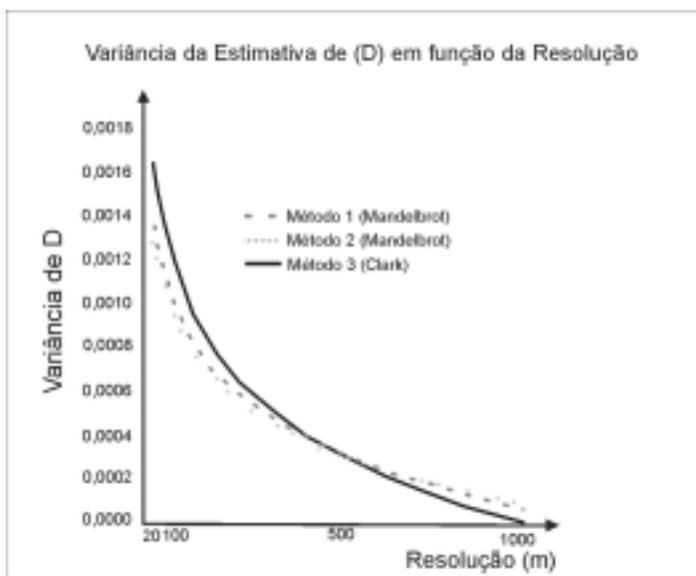


Fonte: Woodcok; Strahler (1987)

Segundo Moody; Woodcock (1994); O'Neill et al. (1996), resoluções simuladas com dimensões maiores que a resolução mínima do sistema imageador, podem provocar super estimação dos índices utilizados em ecologia de paisagem. Para estes autores, há uma região de resolução ótima dentro da qual podemos estimar os valores dos índices, com menor chance de erro de super ou subestimativa. Esta região ótima, segundo estes autores está entre duas a sete vezes a resolução mínima, na qual, o sistema imageador pode capturar um objeto.

A figura 10 mostra o pico de amplitude da variância na estimativa da dimensão fractal de paisagens ripárias, obtida através da simulação realizada.

Figura 10 – Variância da dimensão fractal, segundo o método de estimativa de D e a resolução espacial



Observando a figura 10, notamos que o pico da variância máxima da dimensão fractal está próximo de 20m, mesmo valor da resolução do sensor SPOT. Com base em nossos resultados e de acordo com a sugestão de O'Neill et al. (1996), constatamos que a resolução adequada para se estimar a dimensão fractal de fragmentos de matas ciliares está situada entre 20 a 140 metros.

Para se verificar a influência da resolução, na estimativa da dimensão fractal, foram levantadas duas hipóteses:

- H_0 : as amostras têm médias iguais, não existindo diferenças significativas entre elas.
- H_1 : as amostras têm médias diferentes, existindo diferenças significativas entre elas.

Ao tecer as considerações relativas à análise de variância para os métodos 1, 2 e 3, procurou-se considerar somente a influência da resolução espacial na determinação da dimensão fractal e não dos métodos utilizados para estimá-la.

Definida a unidade experimental e a variável de análise, o próximo passo foi definir o planejamento experimental (CHRISTENSEN, 1996). Assim, definimos os delineamento de *Blocos ao Acaso* como o mais adequado, pois segundo Vieira (1999), os blocos são construídos para controlar uma causa de variação. A grande vantagem deste delineamento é o fato de se poder trabalhar com material heterogêneo e por poder ampliar a validade da conclusão. Neste procedimento as unidades experimentais (Fragmentos de matas ciliares) foram agrupadas em blocos (métodos de dimensão fractal), onde foi efetuado o sorteio dos tratamentos (resoluções) dentro de cada bloco. A figura 11 mostra a representação gráfica deste delineamento.

Figura 11 – Representação do Experimento em Blocos ao Acaso



Através dos resultados desta análise o teste F mede a grandeza da variabilidade dos tratamentos, descontada a variabilidade devida à heterogeneidade do material, em relação à grandeza da variabilidade do fenômeno. Desta forma, verificamos que existem diferenças relevantes entre as médias das amostras, pois os valores de F são significativos (Tabela 3). Desta forma rejeitamos a hipótese nula (H_0) e aceitamos a hipótese alternativa (H_1).

Tabela 3 - Resultados da Análise de Variância dos valores de D segundo os métodos desenvolvidos por Mandelbrot (métodos 1 e 2) e o método desenvolvido por Clarck (método 3)

Métodos	Valor de F (Calculado) das Amostras	Valor de F (crítico)
Método 1	277,88	7,245
Método 2	184,34	7,246
Método 3	160,51	7,239

Verificadas as diferenças entre as médias, a próxima etapa baseou-se na identificação das médias que diferem entre si. Foi aplicado um teste de comparação de médias: o teste de Scheffé (Tabelas 4, 5 e 6). Este teste foi utilizado, pois admitimos que pelo menos, uma das médias é diferente das demais. Contudo, segundo as afirmações de Christensen (1996) e Zar (1999), este teste é utilizado quando as amostras possuem tamanhos diferentes.

**Tabela 4 - Teste de Scheffé, para o método 1
(MANDELBROT, 1983)**

Resoluções	Teste Scheffé				
	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
	1,39	1,40	1,45	1,62	1,66
30 {1}		0,99	1,12E-05	0	0
50 {2}	0,99		0,0006	0	0
100 {3}	1,12E-05	0,0006		0	0
500 {4}	0	0	0		0,07
1000 {5}	0	0	0	0,07	

**Tabela 5 - Teste de Scheffé, para o método 2,
(MANDELBROT, 1983)**

Resoluções	Teste Scheffé				
	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
	1,33	1,34	1,38	1,52	1,58
30 {1}		0,99	7,77E-05	0	0
50 {2}	0,99		0,002	0	0
100 {3}	7,77E-05	0,002		0	0
500 {4}	0	0	0		0,001
1000 {5}	0	0	0	0,001	

**Tabela 6 - Teste de Scheffé, para o método 3
(CLARK, apud McGARIGAL, 1995)**

Resoluções	Teste Scheffé				
	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
	1,21	1,19	1,15	1,01	1,004
30 {1}		0,98	1,12E-05	0	0
50 {2}	0,98		0,024	0	0
100 {3}	0,0006	0,024		0	0
500 {4}	0	0	0		0,99
1000 {5}	0	0	0	0,99	

Os resultados destes testes mostram que, para os três métodos, as resoluções de 30 e 50m, não apresentam diferenças significativas entre si (valores em preto), ou seja, abaixo da resolução de 50m, os valores da dimensão fractal apresentam pouca variação.

Por outro lado, as resoluções de 1000, 500, 100 e 50m, apresentam diferenças significativas na estimação de D. Baseado nestes resultados, a próxima etapa consistiu em identificar a resolução mais adequada. A escolha da resolução mais representativa para a estimativa de D, baseou-se no princípio de que a melhor resolução seria a que apresentasse maior variabilidade de D. Partindo deste princípio, foram calculadas as variâncias de cada amostra (Tabela 7).

Tabela 7 - Variâncias das amostras segundo o método de cálculo de D e a resolução espacial

Métodos	Variância das Amostras			
	1000m	500m	100m	50m
Método 1	$2,55 \times 10^{-7}$	0,00045531	0,00096696	0,00130071
Método 2	$1,99 \times 10^{-6}$	0,00030726	0,00072448	0,00104586
Método 3	$4,36 \times 10^{-6}$	0,00050778	0,00139968	0,00167502

Pela tabela 7, constata-se que a resolução de 50m apresenta maior variância para os três métodos. Este resultado permitiu-nos estipular que esta é a resolução mais adequada para se estimar os valores da dimensão fractal.

Com relação ao método 4, a análise de variância não pode ser utilizada, pois este método calcula a dimensão fractal média da paisagem, impossibilitando a realização da análise de variância. Desta forma, utilizamos como base as afirmações de Lam e De Cola (1993), que dizem ser a resolução mais adequada a que apresentar ao mesmo tempo o maior valor da dimensão fractal (D) e o maior valor do coeficiente de determinação (R^2) (Tabela 8).

Tabela 8 - Valores do coeficiente de determinação e do índice de significância, segundo a dimensão fractal (D) e a resolução espacial, com base no método 4

Resolução	Números de fragmentos	Dimensão Fractal	Coefficiente de Determinação (R^2)	Índice de significância do R^2	Erro tipo II (Beta) de significância
1000m	15	1,1726	92,25 %	8 %	66 %
500m	40	1,6890	80,38 %	28 %	61 %
100m	33	1,7372	84,23 %	56 %	43 %
50m	33	1,7672	79,88 %	63 %	38 %
30m	32	1,7817	77,39 %	63 %	38 %

Analisando-se a Tabela 8 concluímos que a resolução que se ajusta melhor é a de 50 metros, pois apresenta um coeficiente de determinação da ordem de 79,88 %, com índice de significância de 63 % e valor de $D = 1,7672$. Os resultados dos testes estatísticos nos mostram que a resolução mais adequada para estimar a dimensão fractal, para os quatro métodos utilizados, para as matas ciliares localizadas na alta bacia do Rio Passa Cinco, é a resolução de 50m.

CONCLUSÕES

De maneira geral, através dos resultados da análise da influência da resolução na estimativa da dimensão fractal, podemos concluir que a dimensão fractal é influenciada pela resolução espacial das imagens orbitais e de mapas, pois dependendo do tamanho do nível de detalhe de um conjunto de objetos a dimensão fractal apresenta valores diferentes.

Concluímos, através de análises estatísticas, que os parâmetros espaciais que apresentam menos influência na estimativa da dimensão fractal, possuem uma resolução 50m.

Estes resultados nos alertam para a importância da resolução espacial e da extensão da área estudada em estudos de ecologia da paisagem, pois a utilização de um destes parâmetros de forma incorreta, desencadearia seqüência de erros que impossibilitariam que estudos relacionados a essa temática apresentem resultados confiáveis que sucumbiriam em previsões erradas e inadequadas dos processos geocológicos.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP (PROCESSO 00/08517-2)

REFERÊNCIAS

- BENSON, B.; MaCKENZIE M. D. Effects of sensor spatial resolution on landscape structure parameters. **Landscape Ecology**, Hague, v. 10, n. 2, p. 113–120, 1994.
- BURROUG, P. A. Fractal dimensions of landscapes and other data. **Nature**, New York, v. 294, n. 5838, p. 240-242, 1981.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Mapas e suas representações computacionais. In: ASSAD, E. D.; SANO E. E. (Ed.). **Sistemas de Informação Geográfica: aplicações na agricultura**. Brasília: Embrapa, 1998. p. 13–30.
- CHRISTENSEN, R. **Analysis of variance, design an regression: applied statistical methods**. London: Chapman & Hall. 1996. 146 – 165 p.
- CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. New York: John Wiley & Sons, 1993. 897p.
- EASTMAM, J. R. **Idrisi for Windows: user's guide**. Worcester: Department of Geography of Clark University, 1999. 2v.

- FERREIRA, M. C. Mapeamento de Unidades de Paisagem em Sistemas de Informação Geográfica. **Geografia**, Rio Claro, v. 22, n. 1, p. 23-35, 1997.
- JOHNSTON, C. A. **Geographic information systems in ecology**. Oxford: Blackwell Science, 1998. 239p.
- KREBS, C. **Ecological methodology**. Melo Park: Benjamin & Cummings, 1999. 620 p.
- KRUMMEL, J. R.; GARDNER, R. H.; SUGIHARA, G.; O'NEILL, R. V.; COLEMAN, P. R. Landscape patterns in a disturbed environment. **Oikos**, Copenhagen, v. 48, p. 321-324, 1987.
- LAM, N. S. N. Description and measurement of Landsat TM images using fractals. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v. 56, n. 2, p. 187-198, 1990.
- LAM, N. S. N.; DE COLA, L. **Fractals in Geography**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1993. 308p.
- LAWRENCE, R.; RIPPLE, W. Determining patch perimeters in raster image processing and geographic information systems. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 17, n. 6, p. 1255-1259, 1996.
- LEDUC, A.; PRAIRIE, Y. T.; BERGERON, Y. Fractal dimension estimatives of a fragmented landscape: sources of variability. **Landscape Ecology**, Hague, v. 9, n. 4, p. 279-286, 1994.
- LI, BAI-LAN. Fractal geometry applications in description and analysis of patch patterns and patch dynamics. **Ecological Modeling**, Copenhagen, v. 132, p. 33-50, 2000.
- LOVEJOY, S. Area-perimeter relation for rain and cloud areas. **Science**, Washington DC, v. 216, n. 4542, p. 185-187, 1982.
- MANDELBROT, B. B. **The fractal geometry of nature**. San Francisco: Freeman, 1983. 468 p.
- MARCEAU, D. J.; GRATTON, D. J.; FOURNIER, R. A.; FORTIN, J. P. Remote sensing and the measurement of geographical entities in a forested environment. 2. The optimal spatial resolution. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 49, p. 105-117, 1994.
- McGARIGAL, K.; MARKS, B. J. **Fragstats**: Spatial pattern analysis program for quantifying structure. Portland: 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**, Amsterdam, v. 12, p. 379-396, 1997.
- MOODY, A.; WOODCOCK, C. E. Scale dependence errors in the estimation of land-cover proportion: implications for land-cover data sets. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Bethesda, v. 60, n. 5, p. 584-594, 1994.
- MOODY, A.; WOODCOCK, C. E. The influence of scale and the spatial characteristics of landscapes on land-cover mapping using remote sensing. **Landscape Ecology**. Amsterdam v. 10, n. 6, p. 363-379, 1995.
- O'NEILL, R. V.; HUNSAKER, C. T.; TIMMINS, S. P.; JACKSON, B. L.; JONES, K. B.; RIITERS, K. H.; WICKHAM, J. D. Scale problems in reporting landscape pattern at the regional scale. **Landscape Ecology**, Amsterdam, v. 11, n. 3, p. 169-180, 1996.

QUATTROCHI, D. A.; PELLETIER, R. E. Remote sensing for analysis of landscapes: an introduction. In: TURNER, M.; GARDNER, R. (Ed.) **Quantitative Methods in Landscape Ecology: the Analysis and Interpretation of Landscape Heterogeneity**. New York: Springer Verlag. p. 51-76. 1990.

SATSOFT INC. **Statistica for Windows**: computer program manual. Tulsa, 1995. Disponível em: <<http://www.statsoft.com>> Acesso em: 15 dez. 2001.

SILVA, V. V. **Médio Vale do Paraíba do Sul**: fragmentação e vulnerabilidade dos remanescentes da Mata Atlântica. 2002. 109f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2002.

TABARELLI, M.; MANTOVANI, W.; PERES, C. A. Effects of habitat fragmentation on plant guild structure in the montane Atlantic forest of southeastern Brasil. **Biological Conservation**. New York, v. 91, p. 119–127, 1999.

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**, Amsterdam, v. 3, p. 153–162, 1989.

TURNER, M. G.; GARDNER, R. H. Quantitative methods in landscape ecology: an introduction. In: TURNER, M. G.; GAEDNER, R. H. (Ed.), **Quantitative methods in landscape ecology**, New York: Springer Verlag, 1990. p. 3–14.

TURNER, M. G.; GARDNER, R. H.; O'NEILL, R. V. **Landscape ecology in theory and practice**: pattern on process. New York: Springer Verlag, 2001. 401p.

VIEIRA, S. **Estatística experimental** São Paulo: Atlas, 2ª Edit. 1999, 185p.

YOUNG, R.; CHOPPING, M. Quantifying landscape structure: a review of landscape indices and their application to forested landscapes. **Progress in Physical Geography**, London, v. 20, n. 4, p. 418–445, 1996.

WOODCOCK, C. E.; STRAHLER, A. H. The factor of scale in remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 21, p. 311–332, 1987.

ZAR, J. **Bioestatistical analysis** Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999, 663p.

Recebido em fevereiro de 2004

Revisado em setembro de 2004

Aceito em novembro de 2004