

## **PADRÕES DA FRAGMENTAÇÃO DO HABITAT NA CUESTA DE BOTUCATU (SP)**

### **PATTERNS OF HABITAT FRAGMENTATION IN THE BOTUCATU – SP CUESTA**

Luiz Alberto Blanco Jorge<sup>1</sup> Marcelo Paustein Moreira<sup>2</sup>

#### **RESUMO**

O objetivo global do presente trabalho foi dar prosseguimento aos estudos sobre fragmentação do habitat na Cuesta de Botucatu (SP), em uma área de 18.422 ha. A pesquisa teve os seguintes objetivos específicos : 1) mapear os fragmentos de vegetação natural que ocorrem em uma área de estudo na Cuesta de Botucatu (SP), valendo-se de imagens multiespectrais TM do satélite Landsat-5 tomadas em dois períodos (1986 e 1993); 2) avaliar a estabilidade da fragmentação do habitat, com o auxílio de um sistema de informações geográficas (SIG), comparando os mapas temáticos de ocorrência de vegetação natural de 1986 e 1993; 3) descrever os padrões da fragmentação da vegetação natural na depressão periférica da Cuesta de Botucatu (SP). A análise dos dados espaciais de 1986 e 1993 revelou que o fenômeno de fragmentação da vegetação natural é instável. O processo apresenta distinção de escala: 1) o subconjunto de fragmentos maiores não é fractal, levando à observação de que as manchas de vegetação dessa classe não se dividem, simplesmente diminuem de tamanho obedecendo a uma tendência linear; 2) o subconjunto de fragmentos de tamanhos intermediários foi detectado como não sendo fractal, levando à observação de que, no processo de fragmentação, as manchas de vegetação dessa classe não se dividem, simplesmente diminuem de tamanho, obedecendo a uma progressão geométrica crescente; 3) o subconjunto de dados relativos aos fragmentos de menor tamanho é fractal, permitindo afirmar que o processo de fragmentação relacionado a esse grupo ocorre com uma divisão dos fragmentos que obedece a uma progressão geométrica uniforme.

**Palavras-chave:** Padrões da fragmentação do habitat, fractais, sensoriamento remoto, sistema de informações geográficas.

#### **ABSTRACT**

The overall goal of the present work was to continue studying habitat fragmentation in the Botucatu Cuesta, SP, Brazil, in a 18422-ha study. Landsat-5 TM images were used and a technique was developed to subtract data other than vegetation data from the scene. Thus natural vegetation thematic maps for different dates (1986 and 1993) were generated. The analysis of 1986 and 1993 spatial data revealed that habitat fragmentation in the study area was unstable. The process

---

1. Engenheiro Florestal, Dr. Professor do Departamento de Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de São Paulo, Fazenda Experimental Lageado, Caixa Postal 237, CEP 18603-970, Botucatu (SP).

2. Engenheiro Florestal, Instituto Nacional de Pesquisas do Amazonas Manaus (AM).

presented scale distinction, i.e., 1) in the largest patches subset the phenomenon was non-fractal and patch size decreased following a linear tendency; 2) in the intermediary size subset of patches, the phenomenon was non-fractal and patches size decreased in an increasing geometric progression; 3) in the smallest patches subset, the phenomenon was fractal, divided patches tending to follow a geometric progression.

**Key words:** Patterns of habitat fragmentation, fractals, remote sensing, geographic information system.

## INTRODUÇÃO

Os remanescentes de vegetação natural ocorrem na maior parte do estado de São Paulo de forma fragmentada, sendo esse quadro decorrente, fundamentalmente, da ação antrópica calcada em um modelo de colonização de caráter exploratório. Dentro dessa realidade, os fragmentos de vegetação natural constituem-se hoje, quando analisados de maneira integrada à paisagem, de vital importância para conservação de solo e água, assim como para conservação da biodiversidade, dependendo, nesse caso, do grau de fragmentação do habitat. Há necessidade, então, de diagnosticar-se o estado dessa fragmentação, de tal forma que os levantamentos realizados contribuam para subsidiar o planejamento de estratégias de recomposição da cobertura da vegetação natural, e se possível, em um outro nível a restauração das funções dos ecossistemas. Nesse sentido, a presente pesquisa visou a dar prosseguimento aos estudos de JORGE (1995), JORGE & GARCIA (1997) e JORGE (1998) sobre fragmentação do habitat na Cuesta de Botucatu (SP), utilizando sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas como instrumental para detecção de fenômenos naturais relacionados ao tema. Em linhas gerais, os estudos citados abordaram os seguintes aspectos relativos à ecologia da paisagem: mapeamento do uso do solo, de tal maneira a caracterizar a vizinhança dos fragmentos de vegetação natural; análise do grau de fragmentação do habitat pelo levantamento de variáveis como área e perímetro médio de fragmentos, número e densidade de fragmentos, razão perímetro – área, dimensão fractal para forma, distância entre fragmentos e índice de dispersão; modelagem da distribuição de tamanhos de fragmentos, das relações perímetro – área e número – área, assim como do efeito de borda. Como desdobramento, este trabalho teve os seguintes objetivos específicos:

1) Mapear os fragmentos de vegetação natural que ocorrem em uma área de estudo na Cuesta de Botucatu-SP, valendo-se de imagens multiespectrais TM do satélite Landsat-5 tomadas em dois períodos (1986 e 1993).

2) Avaliar a estabilidade da fragmentação do habitat, com o auxílio de um sistema de informações geográficas (SIG), comparando os mapas temáticos de ocorrência de vegetação natural de 1986 e 1993.

3) Descrever os padrões da fragmentação da vegetação natural na depressão periférica da Cuesta de Botucatu (SP).

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de Estudo

Foi selecionada uma área de estudo de 18.422 ha na Cuesta de Botucatu (SP), em que ocorrem fragmentos de floresta estacional semidecidual, cerrado, mata ciliar e de formações florestais secundárias mais abertas, com predominância de vegetação de cerrado. Essa área se sobrepõe e se amplia à referenciada por JORGE (1995) e JORGE & GARCIA (1997).

O município de Botucatu (SP) (coordenadas da sede S 22° 52' e W 48° 27') tem suas terras compreendidas em três regiões fisiográficas distintas : 1. reverso da Cuesta (início do Planalto Ocidental), com altitudes entre 700 e 950m; 2. frente da Cuesta (escarpa arenítica-basáltica); 3. depressão periférica, com altitudes entre 400 e 600m. Diferentes compartimentos vão refletir variações na natureza das formações superficiais, como os solos, tendo aí consignadas diferentes unidades de mapeamento, mesmo em levantamentos pouco detalhados, como o nível de reconhecimento. Na área do reverso, latossolos dessaturados, caulínicos e de textura média testemunham a superfície regional mais antiga do Terciário. Na depressão, predominam areias quartzosas, relacionadas a uma superfície Pliopleistocênica, enquanto na escarpa, há maior diversidade de solos, principalmente solos litólicos, numa superfície Pleistocênica-Holocênica que vem sendo intensamente dissecada. A rede de drenagem acompanha também a variabilidade, uma vez que a sua evolução, a dos solos e a do relevo estão intimamente relacionadas. As três unidades geomórficas representam etapas da própria evolução da paisagem, sendo resultantes de processos ocorridos no Terciário e Quaternário, de acordo com interpretações sobre a cronologia de alterações dos solos e suas correlações com as superfícies geomorfológicas associadas (ESPÍNDOLA & CARVALHO, 1986).

A maior parte da área de estudo localiza-se na depressão periférica da Cuesta de Botucatu, ocorrendo, segundo JORGE (1995), maior incidência de terrenos pouco inclinados (declividade entre 3 e 9%) e regularmente inclinados (declividade entre 9 e 17%). A pastagem constitui-se como o uso do solo, de maior peso na composição da paisagem (aproximadamente 60%).

### Processamento de imagens TM do Landsat -5

Objetivando avaliar a estabilidade do fenômeno de fragmentação da vegetação natural entre um intervalo de tempo de 7 anos (1986 e 1993), trabalhou-se com imagens digitais TM do satélite Landsat-5 que registraram os efeitos de final de estação seca, correspondente ao final do inverno na região (passagem do satélite : 14 de setembro de 1986 e 03 de outubro de 1993). A área de estudo foi selecionada valendo-se de imagens tomadas no quadrante W do ponto 76, órbita 220 do Landsat. Foram obtidos dados do TM para três bandas espectrais : TM3 ( 0,63 a 0,69  $\mu\text{m}$ ), TM4 (0,76 a 0,90  $\mu\text{m}$ ) e TM5 (1,55 a 1,75  $\mu\text{m}$ ).

O processamento digital das imagens foi feito com a utilização do software SITIM/INPE versão 2.4. Para as imagens adquiridas nos dois períodos, o processamento digital constou de operações rotineiras de eliminação de ruídos e aumento de contraste, composição colorida falsa cor RGB das imagens, com objetivo de apresentar as características da área de estudo. Além disso, as

imagens foram registradas uma em relação a outra e, posterior e geograficamente, referenciadas com a carta planialtimétrica do IBGE (Folha de Botucatu, escala – 1:50000, projeção UTM Córrego Alegre). Com base nas composições coloridas, gerou-se os mapas temáticos da vegetação natural para os dois períodos estudados.

### **Avaliação da estabilidade da fragmentação da vegetação natural**

Utilizou-se a metodologia, baseada em HASTINGS *et al.* (1982) e MELTZER & HASTINGS (1992), para avaliar a estabilidade das manchas de vegetação natural da área de estudo na Cuesta de Botucatu, aplicando-a às informações obtidas nos mapas de vegetação natural dos dois períodos estudados (1986 e 1993). Essa metodologia aborda a dinâmica de fragmentos de vegetação natural em termos de estabilidade.

A dinâmica da modelagem de tais fragmentos de vegetação pode ser tratada de duas maneiras, abordagem Markoviana e não-Markoviana. Por meio de modelos Markovianos, a existência de um fragmento, no tempo  $t + 1$ , depende somente do que existia no tempo  $t$ . HASTINGS *et al.* (1982) estenderam esses modelos, permitindo que a taxa local de extinção não fosse acentuadamente dependente da história (os modelos tornam-se não-Markovianos). A fórmula, ligando a taxa de declínio de um fragmento a sua história passada, depende da classe de modelos que está sendo considerada. Em um caso simples, a taxa local de extinção  $r(t)$  é dada por:

$$r(t) = (\text{constante}) \cdot t^{1-2H} \quad (1)$$

Sendo:  $t$  = período de tempo de ocupação contínua dos fragmentos de vegetação natural;  
 $H$  = expoente que mede o comportamento assintótico de  $r(t)$ .

Em concordância com MANDELBROT (1977), HASTINGS *et al.* (1982) consideram o valor  $H = 1/2$  como sendo um ponto neutral, equivalente ao modelo Markoviano. O valor de  $H$  aumenta com o aumento da persistência. A relação é sumarizada por :

- $H > 1/2$  processo persistente ou estável;
- $H = 1/2$  processo aleatório;
- $H < 1/2$  processo não-persistente ou instável.

Para poder-se estimar o coeficiente  $H$ , foram usadas as informações de áreas de fragmentos, completamente, inclusos nos mapas temáticos de vegetação natural dos dois períodos estudados (1986 e 1993), áreas essas cujas medidas foram tomadas no ambiente do sistema de informações geográficas SGI/INPE. Segundo HASTINGS *et al.* (1982), as frequências acumuladas de tamanhos de fragmentos de vegetação seguem uma distribuição hiperbólica. Então, para cada ano de observação da área de estudo, a distribuição foi ajustada utilizando-se o seguinte modelo:

$$N(A \geq a) = (\text{constante}) \cdot a^{-B} \quad (2)$$

Sendo:  $N(A \geq a)$  = Número de fragmentos de área  $A$  maior ou igual do que  $a$ ;  
 $B$  = Expoente determinado pelo ajuste da equação;  
 $A$  = Área do fragmento, ha.

O ajuste da equação foi feito por regressão linear, após transformação logarítmica do modelo [2], ou seja:

$$\ln N(A \geq a) = \ln(\text{constante}) - B \ln a \quad (3)$$

Sendo:  $\ln N(A \geq a)$  = Logaritmo neperiano do número de fragmentos de área A maior ou igual do que a;

$\ln a$  = Logaritmo neperiano da área do fragmento, ha.

O expoente H foi calculado de acordo com MANDELBROT (1983) por:

$$H = 2 - 2B \quad (4)$$

forneido  $0 \leq H \leq 1$ , então  $\frac{1}{2} \leq B \leq 1$ . Ocorre uma ligação entre o conceito de estabilidade ao longo do tempo, medida por H, ao coeficiente que mede a distribuição de probabilidade das áreas de fragmentos (B). Visto que é possível medir a área dos fragmentos, é possível considerar a sua estabilidade, em termos de declínio ou aumento ao longo do tempo.

As equações apresentadas, nesse tópico da metodologia, têm suporte no conceito de fractais, que estão sendo largamente utilizados para medir formas e processos. Sua utilização é interessante como ferramenta analítica nas ciências que trabalham com mapeamento. Os fractais originaram-se em razão da dificuldade de analisar-se formas e processos com a geometria clássica. Na geometria fractal (MANDELBROT, 1977; MANDELBROT, 1983), a dimensão fractal (D) de uma curva pode assumir qualquer valor entre 1 e 2, dependendo de sua complexidade. O conceito chave relacionado aos fractais é o da auto-similaridade. Muitas curvas e superfícies são auto-similares, significando que são constituídas de cópias de si mesmo em uma escala reduzida (QUATTROCHI & LAM, 1991). A auto-similaridade é utilizada como uma forma de quantificar relações de escala na estrutura da paisagem e para determinar os limites de comprimentos de escala em que os padrões são fractais. A dimensão fractal de um fragmento ou grupo de fragmentos auto-similares, pode ser conectada a sua estabilidade. No espaço bidimensional, a dimensão fractal D e o coeficiente de estabilidade H são relacionados por:

$$D = 2 - H \quad (5)$$

forneido  $0 \leq H \leq 1$ . Essa relação foi utilizada, nesta pesquisa, para comparar diretamente a complexidade da forma de vários fragmentos de vegetação natural na área de estudo, bem como o impacto de tal complexidade sobre a estabilidade desses fragmentos nos quais a estabilidade é definida pelo coeficiente H.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Alterações na ocorrência da vegetação natural

Os mapas temáticos, referentes à ocorrência da vegetação natural nos dois períodos avaliados, podem ser observados nas Figuras 1 e 2. Na Tabela 1, são apresentados os valores em área (hectare) relacionados as mudanças na ocorrência da vegetação entre o intervalo de tempo de 7

anos. Observa-se uma dinâmica na ocorrência da vegetação natural, apesar do curto intervalo de tempo entre os períodos observados. As informações relativas às áreas contidas na Tabela 1, permitem afirmar que existe um balanço positivo na ocorrência da vegetação natural em 1993, comparada com a de em 1986, sugerindo agregação de novas áreas. A fiscalização do recurso natural na área de estudo, cuja matriz tem na pastagem o componente principal, vem surtindo alguns efeitos positivos, principalmente porque, pela legislação atual, quando ocorre regeneração da vegetação natural na área de pasto, ela não pode mais ser removida.

TABELA 1: Valores em área relacionados as mudanças na ocorrência da vegetação entre o intervalo de tempo de 7 anos.

CLASSE	ÁREA (ha)
Ocorrência de vegetação natural em 1986 e 1993	2508,02
Ocorrência de vegetação natural em 1986	366,39
Ocorrência de vegetação natural em 1993	1247,22
Matriz (outros usos do solo)	14300,37
TOTAL	18422,00

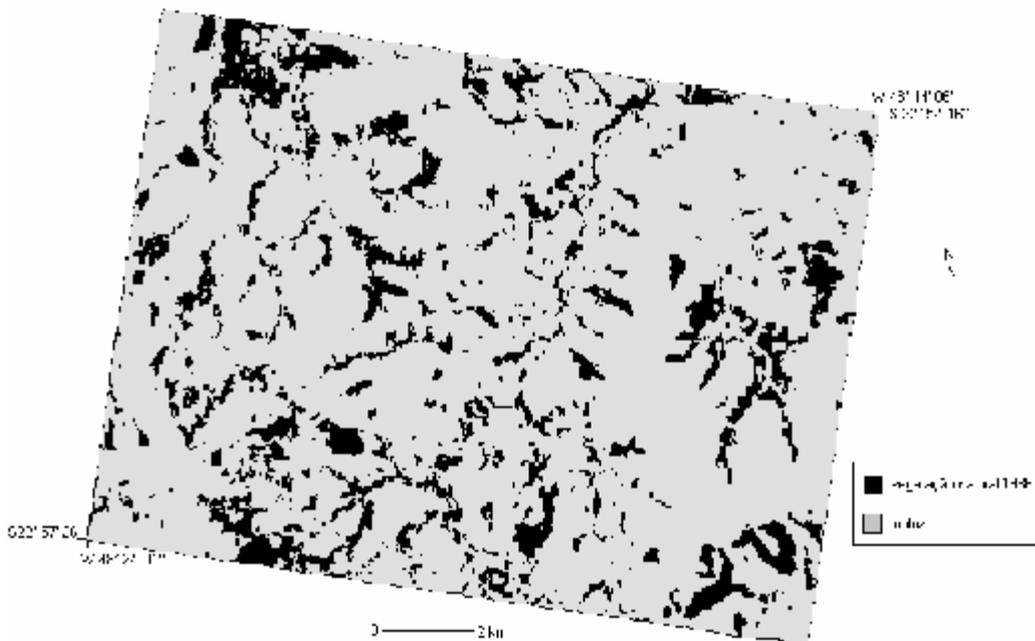


FIGURA 1: Ocorrência da vegetação natural na área de estudo em 1986.

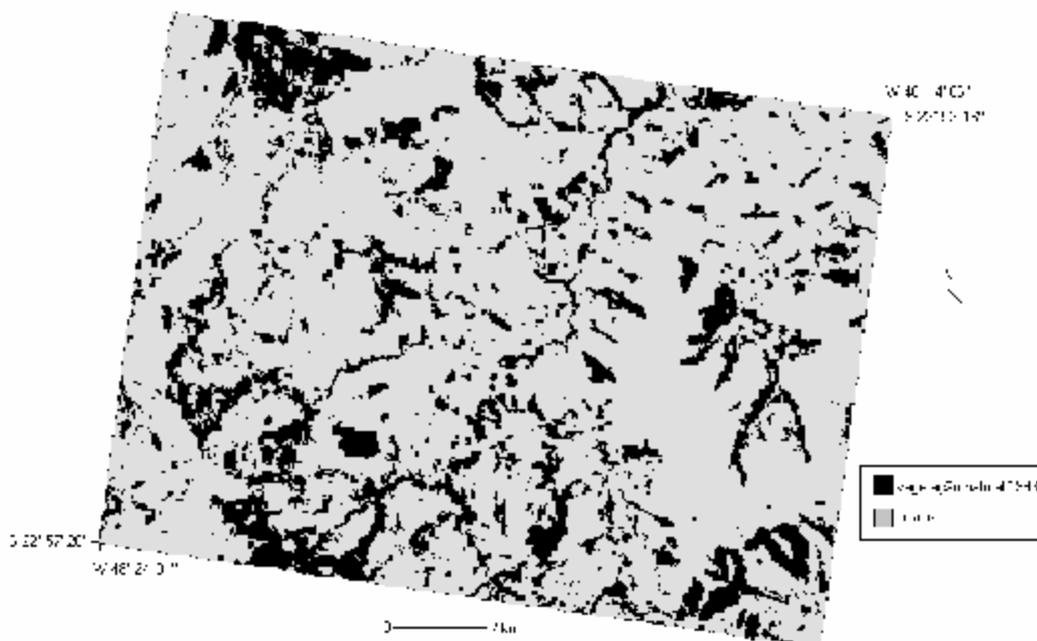


FIGURA 2: Ocorrência da vegetação natural na área de estudo em 1993.

### Estabilidade e padrões da fragmentação da vegetação natural

As Figuras 3 e 4 possibilitam verificar, por meio dos dados observados respectivamente de 1986 e 1993, a tendência da relação do número acumulado de fragmentos ( $N(A \geq a)$ ) por causa da sua área ( $a$ ). Visto que a área de estudo se sobrepõe e se amplia, em 2.648 ha, àquela referenciada em JORGE & GARCIA (1997), é importante esclarecer que a diferença do número de fragmentos mostrados no presente trabalho, em relação aos encontrados naquela publicação, se deve, afora o aumento da área de estudo, nessa pesquisa, à inclusão de vegetação classificada como formações florestais secundárias mais abertas, além da abrangência de áreas de vegetação muito pequenas. O ajuste do modelo de equação[3] permite avaliar o comportamento da regressão do  $\ln N(A \geq a)$  em função de  $\ln a$ , assim como possibilita inferir sobre a estabilidade do processo de fragmentação da vegetação natural (vide Tabela 2). Os valores do expoente  $H$  indicam, para 1986 e 1993, que a fragmentação da vegetação natural se constitui em um processo instável. Os valores da dimensão fractal ( $D$ ) estão coerentes (valores entre 1 e 2, vide MANDELBROT(1977) e MANDELBROT (1983)), e mostram que o conjunto dos dados, tanto para 1986 como para 1993, quando analisado no todo, é fractal.

TABELA 2: Análise de regressão na relação  $\ln N(A \geq a)$  em função do  $\ln (a)$ .

Modelo : $\ln N(A \geq a) = \ln (\text{constante}) - B \ln a$							
Ano	$\ln$ constante	B	H	D	$R^2$	Syx	syx%
1986	5,73722	0,83539	0,33	1,67	0,91098	0,34624	8,32
1993	5,77062	0,84719	0,31	1,69	0,96105	0,23809	5,73

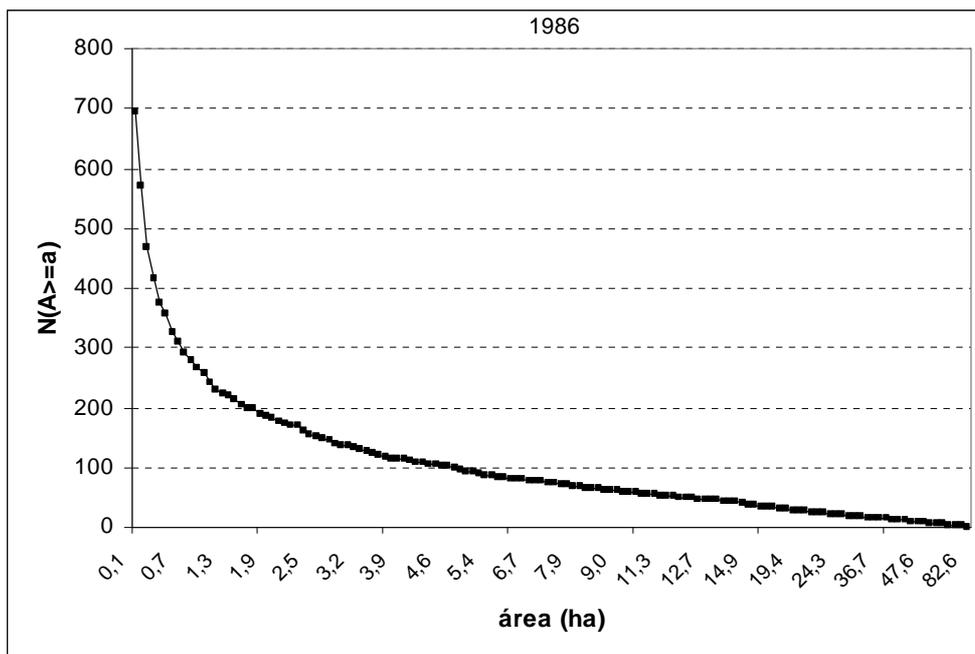


FIGURA 3: Distribuição do tamanho de fragmentos de vegetação natural observada para o período de 1986.

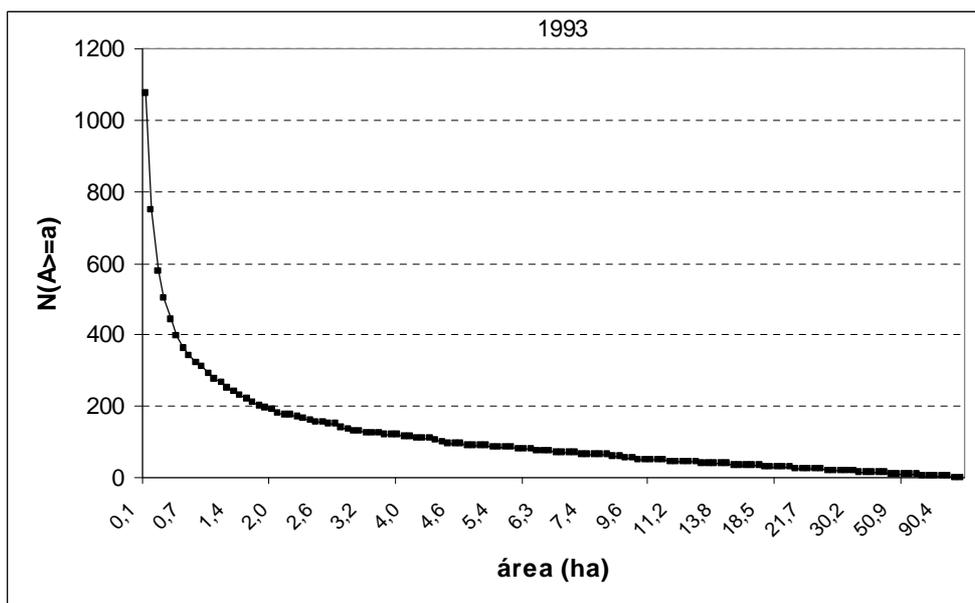


FIGURA 4: Distribuição do tamanho de fragmentos de vegetação natural observada para o período de 1993.

A análise dos resíduos das equações, apresentadas na Tabela 2, indica que esses são auto-

correlacionados, visto que não estão distribuídos aleatoriamente (ver Figuras 5 e 6). Muitos fenômenos naturais apresentam essa característica de autocorrelação, evidenciando que obedecem

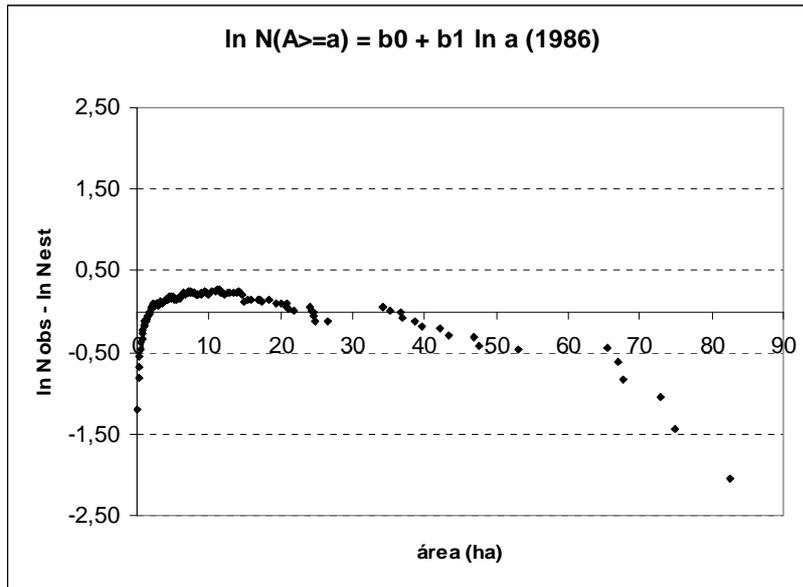


FIGURA 5: Distribuição de resíduos da equação ajustada valendo-se do modelo [3] em relação à área (ha) (1986).

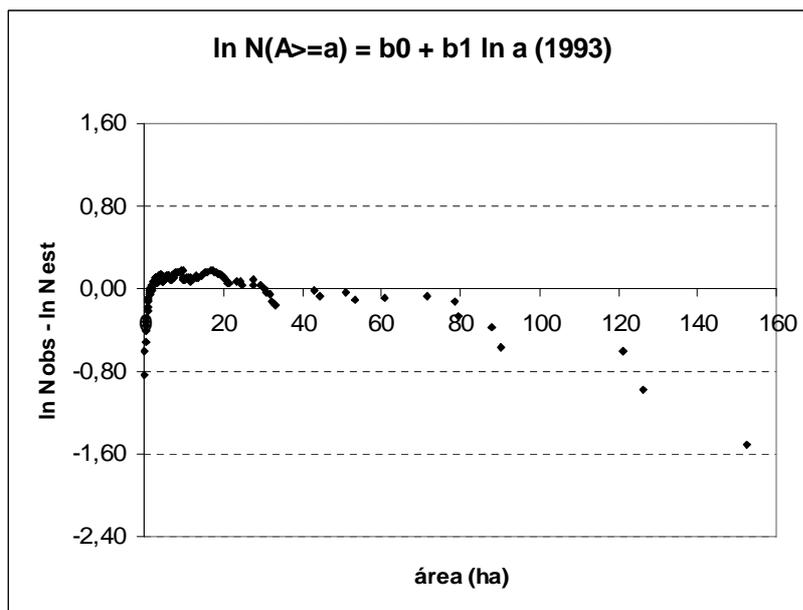


FIGURA 6: Distribuição de resíduos da equação ajustada valendo-se do modelo [3] em relação à área (ha) (1993).

a leis de potência. Verifica-se, pela distribuição gráfica dos resíduos, que existe distinção de escala na fragmentação da vegetação natural, e que, tanto para 1986 como para 1993, é possível separar três conjuntos de tamanhos de fragmentos (reportar-se as Figuras 5 e 6). O que distingue os dados de 1986 e 1993 é a amplitude de tamanhos verificada entre as três classes. Por outro lado, na interface entre os três conjuntos de dados, não se observa a ocorrência de determinados tamanhos de fragmentos.

Em face da existência de três grupos de tamanhos de fragmentos que se comportam diferenciadamente, ajustou-se o modelo de equação [3] para cada conjunto de dados, gerando-se três equações para cada período (1986 e 1993), conforme pode ser observado na Tabela 3. Os valores obtidos, para o expoente H e dimensão fractal (D), indicam que o conjunto de dados constituído de fragmentos menores é fractal, e os outros dois conjuntos de fragmentos maiores não são fractais.

TABELA 3. Análise de regressão para os grupos de tamanhos de fragmentos.

Ano	Classe (ha)	Modelo	ln constante	B	H	D	R <sup>2</sup>	syx	Syx%
1986	0,09-26,46	[3]	5,623201	0,95087	0,10	1,90	0,84064	0,47458	11,56
		[7]	5,452981	0,16957	-	-	0,94811	0,27080	6,59
		[9]	4,830923	0,00665	-	-	0,83418	0,48410	11,79
	34,11-53,10	[3]	21,033011	5,23694	-8,47	10,47	0,96572	0,14543	9,14
		[7]	6,721409	0,12414	-	-	0,98101	0,10822	6,80
		[9]	4,100537	0,00144	-	-	0,98844	0,08443	5,31
	65,34-82,62	[3]	33,048141	7,48380	-13,00	15,00	0,98316	0,09613	8,77
		[7]	8,395764	0,10178	-	-	0,98327	0,09581	8,74
		[9]	4,657265	0,00069	-	-	0,98103	0,10202	9,30
1993	0,09-33,30	[3]	5,730848	0,98885	0,02	1,98	0,89834	0,39631	9,65
		[7]	5,338895	0,13944	-	-	0,90948	0,37397	9,11
		[9]	4,736344	0,00422	-	-	0,74972	0,62183	15,14
	43,20-90,36	[3]	11,461731	2,39374	-2,79	4,79	0,82753	0,32288	21,38
		[7]	4,052018	0,03844	-	-	0,87393	0,27606	18,28
		[9]	2,880400	0,00029	-	-	0,91055	0,23253	15,39
	121,32-152,55	[3]	22,348999	4,44971	-6,90	8,90	0,95807	0,16088	26,94
		[7]	4,908655	0,03232	-	-	0,95123	0,17351	29,05
		[9]	2,698990	0,00012	-	-	0,94440	0,18526	31,02

Os gráficos, mostrando os valores da razão (q) entre os números acumulados de tamanhos de fragmentos tomados 2 a 2 em seqüência, ajudam-nos a visualizar essas diferenças no processo de fragmentação para os três conjuntos (ver Figuras 7 e 8). Para o grupo de dados detectado como fractal, a razão  $q = N(A \geq a)/N(A \geq a)_{n-1}$  é constante, enquanto para os outros dois conjuntos decresce. Esse fato levou a testar outros modelos exponenciais na relação  $N(A \geq a) = f(a)$  que não o modelo [3], na busca de se determinar a lei de potência que ocorre no processo de fragmentação para cada classe de tamanho de fragmentos. Os modelos testados foram:

1. Função decrescente tipo I (decrece em uma progressão geométrica uniforme), em que:

$$N(A \geq a) = (\text{constante}) \cdot e^{-B \cdot a} \quad (6)$$

ou linearizando-se o modelo [6], tem-se:

$$\ln N(A \geq a) = \ln(\text{constante}) - B \cdot a \quad (7)$$

2. Função decrescente tipo II (decrece em uma progressão geométrica crescente), em que:

$$N(A \geq a) = (\text{constante}) \cdot e^{-B \cdot a^2} \quad (8)$$

ou linearizando-se o modelo [8], tem-se:

$$\ln N(A \geq a) = \ln(\text{constante}) - B \cdot a^2 \quad (9)$$

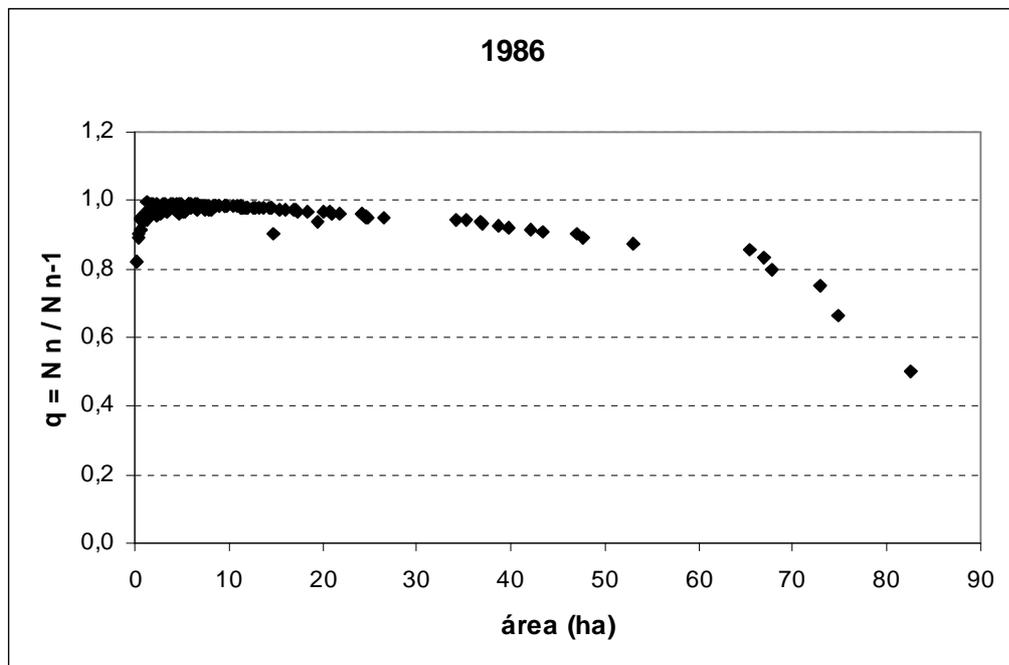


FIGURA 7: Comportamento da razão  $q = N(A \geq a)n / N(A \geq a)n-1$  em relação à área dos fragmentos (1986).

No que se refere ao primeiro grupo de tamanhos de fragmentos, ou seja, os menores, a observação dos resultados de ajuste ( $R^2$ ) e precisão ( $s_{yx}$  e  $s_{yx}\%$ ) das equações, apresentados na Tabela 3, indicam para os dados de 1986 e 1993 que a função decrescente tipo I (modelo [7]) teve melhor ajuste do que os modelos de equação [3] e [9]. O ajuste da equação e a constatação de que se trata de um conjunto de dados que é fractal, permitem afirmar que o processo de fragmentação, relacionado a esse grupo de fragmentos menores, ocorre com uma divisão dos fragmentos que obedece a uma progressão geométrica uniforme.

A função decrescente tipo II (modelo [9]) ajustou melhor os dados, tanto para 1986 como para 1993, do grupo de fragmentos de tamanhos intermediários do que os modelos de equação [3] e

[7] (vide Tabela 3). O conjunto dos dados foi detectado como não sendo fractal, o que levou à observação de que no processo de fragmentação, as manchas de vegetação dessa classe não se dividem, simplesmente diminuem de tamanho, obedecendo a uma progressão geométrica crescente. É bem verdade que essa diminuição, com uma tendência que obedece a uma progressão geométrica crescente, se configura de forma mais nítida com o conjunto de dados de 1993.

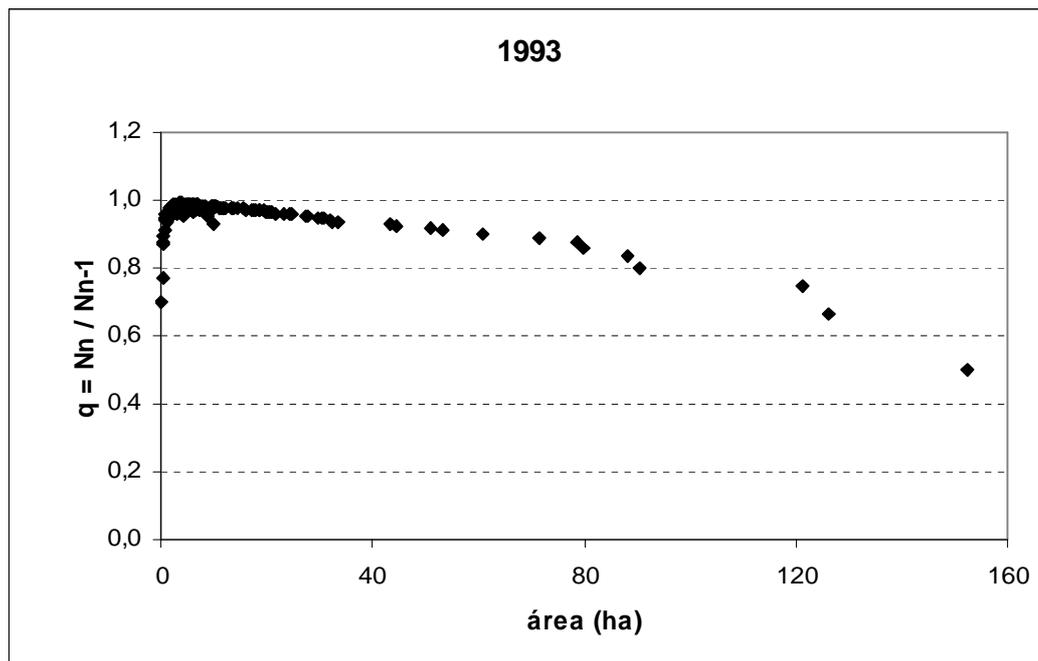


FIGURA 8: Comportamento da razão  $q = N(A \geq a)_n / N(A \geq a)_{n-1}$  em relação à área dos fragmentos (1993).

Após o ajuste dos três modelos exponenciais (modelos [3], [7] e [9]) para observar-se o comportamento do grupo de fragmentos de maior tamanho, verificou-se, para 1986, que as equações originadas dos modelos [3] e [7] se equivaleram (ver Tabela 3). Entre as equações ajustadas com os dados de 1993, a originada do modelo [3] apresentou uma maior precisão do que a ajustada com base nos modelos [7] e [9]. Pode-se afirmar que a equação originada com base nos modelos [3] ou [7] poderia ser utilizada, com uma tendência a se trabalhar com aquela derivada do modelo [3]. O conjunto dos dados não é fractal, o que levou à observação de que, no processo de fragmentação, as manchas de vegetação dessa classe não se dividem, simplesmente diminuem de tamanho obedecendo a uma tendência linear.

Baseado nos resultados obtidos, a Figura 9 apresenta os padrões de fragmentação da vegetação natural na depressão periférica da Cuesta de Botucatu (SP). Os padrões mostrados, na Figura 9, levam a observação de dois movimentos contrários no que se refere a ocorrência da vegetação natural na área de estudo: 1) fragmentação do habitat, havendo uma distinção de escala dependente do tamanho dos fragmentos; 2) agregação de áreas, observada pelas diferenças de amplitude nas classes de tamanho dos fragmentos entre 1986 e 1993. É importante ressaltar que

esses movimentos puderam ser captados em uma matriz em que o uso do solo predominante é a pastagem. Provavelmente, em outras áreas do Município de Botucatu, em que a atividade principal está relacionada à cana-de-açúcar, o comportamento dos fragmentos de vegetação natural ocorra de maneira diversa.

Ano	Classe de tamanho (ha)	Padrão	Processo
1986	0,09 - 26,46		fractal (divisão de fragmentos obedecendo a uma progressão geométrica uniforme)
1993	0,09 - 33,30		
1986	34,11 - 53,10		não-fractal (diminuição de tamanho obedecendo a uma progressão geométrica crescente)
1993	43,20 - 90,36		
1986	65,34 - 82,62		não-fractal (diminuição de tamanho obedecendo a uma tendência linear)
1993	121,32 - 152,55		

FIGURA 9: Padrões de fragmentação da vegetação natural na depressão periférica da Cuesta de Botucatu (SP).

Poderia surgir alguma dúvida em relação aos fragmentos maiores, pois, pelos resultados obtidos, esses não se subdividem (em decorrência por exemplo de venda ou partilha das propriedades rurais), mas, sim, diminuem de tamanho em consequência das pressões provocadas pelo uso do solo predominante. Faz-se necessário observar a área e o período estudado, em que a malha fundiária é possivelmente mais estável do que em outros locais e outras épocas.

A metodologia utilizada no presente trabalho permite uma inferência sobre alguns aspectos do fenômeno de fragmentação do habitat em uma escala ao nível da paisagem. Outros estudos ao nível da paisagem, da comunidade, das populações de plantas e animais e ao nível genético devem ser implementados, trabalhando-se, para isso, com equipes multidisciplinares, de tal maneira que se possa ter uma visão mais abrangente do fenômeno.

Como existe uma diferenciação de escala no processo de fragmentação do habitat, na depressão periférica da Cuesta de Botucatu (SP), foi ajustado um modelo genérico que descreve a distribuição de tamanhos de fragmentos para 1986 e 1993, e que leva em consideração o comportamento da relação nos três conjuntos de manchas de vegetação natural. Para isso, foram utilizadas variáveis 'dummy', ficando o modelo definido por:

$$\ln N(A \geq a) = b_0 + b_1 \cdot a + b_2 \cdot a^2 + b_3 \cdot \ln a + a_1 \cdot z_1 + a_2 \cdot z_2 \quad (10)$$

sendo  $z_1$  e  $z_2$  variáveis 'dummy', em que:  $(z_1, z_2) = (1,0)$  para nível de amplitude de escala 1 (fragmentos menores);  $(0,1)$  para nível de amplitude de escala 2 (fragmentos de tamanhos intermediários);  $(0,0)$  para nível de amplitude de escala 3 (fragmentos maiores).

A Tabela 4 apresenta os resultados das regressões realizadas para 1986 e 1993, com base no modelo genérico que utiliza variáveis 'dummy' (modelo [10]). Comparando os resultados com os obtidos mediante o ajuste do modelo [3] (ver Tabela 2), avaliados o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e erro padrão de estimativa (syx e syx%), observa-se que a equação originada do modelo [10] teve um comportamento melhor do que a decorrente do modelo [3] para o conjunto de dados de 1986. Inversamente, para os dados de 1993, a equação obtida com base no modelo [3] se comportou melhor, apesar do bom ajuste daquela oriunda do modelo [10].

TABELA 4: Análise de regressão para o modelo genérico que utiliza variáveis 'dummy'.

Modelo: $\ln N(A \geq a) = b_0 + b_1 \cdot a + b_2 \cdot a^2 + b_3 \cdot \ln a + a_1 \cdot z_1 + a_2 \cdot z_2$									
Ano	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$R^2$	Syx	syx%
1986	33,04808	-0,10985	-0,00056	-7,48379	-27,69823	-29,63354	0,94515	0,27601	6,64
1993	22,34905	-0,09567	-0,00016	-4,44972	-17,08327	-19,52234	0,89867	0,38402	9,25

A distribuição gráfica dos resíduos das equações apresentadas na Tabela 4, pode ser visualizada nas Figuras 10 e 11, respectivamente para 1986 e 1993. Os resíduos têm um comportamento aleatório para os conjuntos de dados de fragmentos intermediários e maiores, indicando que as equações estão estimando sem tendenciosidade a variável dependente nessas duas amplitudes de escala. Para o grupo de fragmentos de tamanhos pequenos entretanto, ocorre autocorrelação dos resíduos. A maneira como os resíduos estão distribuídos, possibilita o entendimento de que a linha da equação divide o conjunto de fragmentos menores em três subconjuntos, dois nos limites em que ocorre essa classe de fragmentos, ou seja os muito pequenos e próximos da extinção, e os maiores da classe, vizinhos a região de interface entre o grupo e o de fragmentos de tamanhos intermediários. O terceiro subconjunto é aquele que apresenta tamanhos entre os dois limites descritos.

A Tabela 5 mostra os valores médios observados da razão  $q$  ( $q = N(A \geq a)_n / N(A \geq a)_{n-1}$ ) para os três subconjuntos do grupo de fragmentos menores. Tanto para 1986 como para 1993, os subconjuntos, que se encontram nos limites da classe, apresentam iguais valores de  $q$ , sendo ligeiramente menores do que essa razão para o subconjunto intermediário. Isso é indicativo de que os fragmentos, que se encontram nos limites dessa classe, respondem às influências das alterações de comportamento no fenômeno da fragmentação do habitat que ocorrem nas regiões de transição do processo. Por isso, a razão  $q$  indica que a instabilidade é maior nos limites da classe.

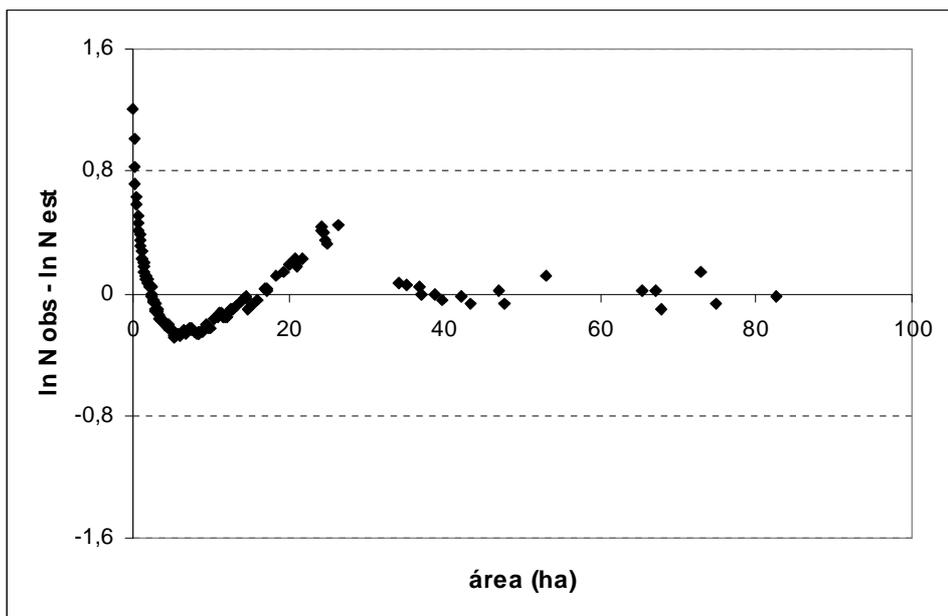


FIGURA 10: Distribuição de resíduos da equação ajustada com base no modelo [10] em relação à área (ha) (1986).

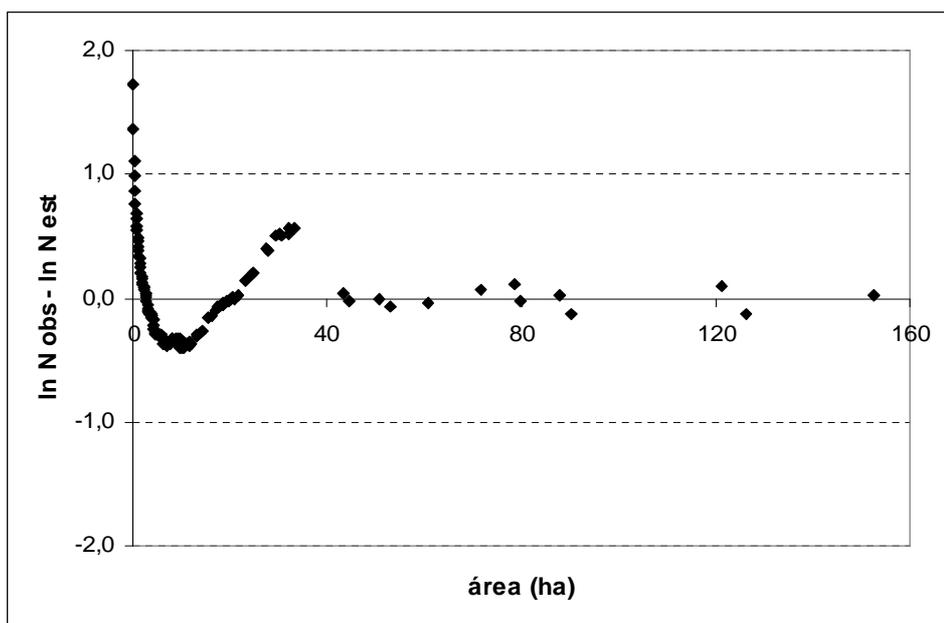


FIGURA 11: Distribuição de resíduos da equação ajustada com base no modelo [10] em relação à área (ha) (1993).

TABELA 5: Valores médios observados da razão  $q$  ( $q = N(A \geq a)_n / N(A \geq a)_{n-1}$ ) para os três subconjuntos do grupo de fragmentos menores.

Ano	Tamanho (ha)	$q = N(A \geq a)_n / N(A \geq a)_{n-1}$
1986	0,09 – 2,52	0,96
	2,61 – 16,83	0,98
	17,10 – 26,46	0,96
1993	0,09 – 2,88	0,95
	2,97 – 21,69	0,98
	23,31 – 33,30	0,95

## CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos no presente trabalho, conclui-se que :

a) Os padrões, que foram descritos, refletem o processo de fragmentação desde o seu início até o momento em que o estado da vegetação natural foi captado pelo sensor TM do Landsat.

b) As alterações da vegetação natural, na área de estudo entre os dois períodos (1986 e 1993), mostram que existe uma dinâmica que pôde ser observada mesmo em um intervalo curto de tempo (7 anos).

c) O balanço positivo, na ocorrência da vegetação natural para o período de 1993, evidencia que houve uma agregação de áreas. Isso indica que, ao lado do processo de fragmentação, existe um movimento contrário de regeneração de áreas de vegetação natural.

d) Os resíduos da equação, ajustada por meio do modelo genérico que utiliza variáveis ‘dummy’ para descrever a distribuição de tamanhos, apresentaram ainda autocorrelação para o conjunto de fragmentos menores, grupo em que o fenômeno da fragmentação do habitat foi detectado como sendo fractal.

e) Além da distinção de escala no processo como um todo em 3 níveis, analisando-se a autocorrelação de resíduos, entende-se que o grupo de fragmentos menores pode ser dividido em três subconjuntos: 1) um de tamanhos intermediários dentro do grupo, 2) dois nos limites da classe. Os dois subconjuntos de tamanhos de fragmentos, localizados nos limites da classe, são mais instáveis, pressionados, por um lado, pela possibilidade de extinção (menores da classe), e de outro, por encontrarem-se próximos a uma região de transição, em que o processo de fragmentação sofre mudanças.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ESPÍNDOLA, C.R.; CARVALHO, W.A. Relação entre a natureza dos solos e suas posições na paisagem na Bacia do Capivara (Botucatu – SP). *Científica*, v.14, n.1/2, p.29-37, 1986.

- HASTINGS, H.M.; PEKELNEY, R.; MONTICCILOLO, R. *et al.* Time scales, persistence and patchiness. **Biosystems**, v.15, p.281-289, 1982.
- JORGE, L.A.B. **Estudo de fragmentos de florestas naturais na região de Botucatu-SP através de técnicas de geoprocessamento**. Rio Claro: UNESP, 1995. 109p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, 1995.
- \_\_\_\_\_. **Análise temporal da fragmentação da vegetação natural na Cuesta de Botucatu-SP utilizando sensoriamento remoto, sistema de informações geográficas e fractais**. Botucatu: Departamento de Ciências Florestais, Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, 1998. 48p. (Relatório de Pesquisa).
- JORGE, L.A.B.; GARCIA, G.J. A study of habitat fragmentation in Southeastern Brazil using remote sensing and geographic information systems (GIS). **For. Ecol. Manage.**, v.98, p.35-47, 1997.
- MANDELBROT, B.B. **Fractal form, chance and dimension**. New York : Freeman, 1977. 365p.
- \_\_\_\_\_. **The fractal geometry of nature**. New York : Freeman, 1983. 468p.
- MELTZER, M.I.; HASTINGS, H.M. The use of fractals to assess the ecological impact of increased cattle population : case study from Runde Communal Land, Zimbabwe. **Journal of Applied Ecology**, v.29, p.635-646, 1992.
- QUATTROCHI, D.A.; LAM, N. S-N. Perspectives on integrating multiscale, multitemporal remote sensing data with geographic information systems. In : THE INTEGRATION OF REMOTE SENSING AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS, 1991, Baltimore. **Proceedings...** Bethesda : American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 1991. p.151-165.