

CAPÍTULO 1

USO DE GEOTECNOLOGIAS PARA ESTUDO DA FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL COM BASE EM PRINCÍPIOS DE ECOLOGIA DA PAISAGEM

**Daiani Bernardo Pirovani
Aderbal Gomes da Silva
Alexandre Rosa dos Santos
Roberto Avelino Cecílio
Sebastião Venâncio Martins
José Marinaldo Gleriani**

1 Introdução

A ecologia de paisagens surgiu a partir da premissa de que as questões ambientais, em geral, extrapolam as áreas de atuação de várias ciências, o que torna necessário para sua compreensão que se tenha uma visão integrada de ambos os aspectos físicos e ecológicos de sistemas naturais.

O termo “ecologia de paisagens” foi empregado pela primeira vez em 1939, pelo biogeógrafo alemão Carl Troll, apenas quatro anos depois de Tansley (1935) ter introduzido o conceito de “ecossistema” e, o ponto de partida da ecologia da paisagem é muito semelhante ao da ecologia de ecossistema, porém, a definição de paisagem difere grandemente da definição de ecossistema. Enquanto Tansley, ao definir ecossistema, deixa claro que se trata de um “sistema”, onde há interdependência de seus componentes, existência de um ciclo de matéria e de mecanismos de auto-regulação (TROPMAIR, 2000), para Troll (1971) a noção básica de paisagem é a espacialidade, a heterogeneidade do espaço onde o homem habita.

Em comparação com demais áreas, a ecologia da paisagem pode ser considerada uma área emergente. Esta possui duas abordagens distintas apresentadas por Risseret et al. (1984): uma nascida na Europa, em meados do século passado (abordagem geográfica), e outra mais jovem, que surgiu a partir de um *workshop* norte americano em Illinois (abordagem ecológica). Existem várias definições para o termo ecologia da paisagem, dependendo do tipo de abordagem e autores.

A principal diferença entre a ecologia da paisagem e a ecologia tradicional está no fato de que a ecologia abrange o estudo das inter-relações verticais entre plantas, animais, ar, água e solo dentro de uma unidade espacial homogênea, enquanto a

ecologia da paisagem envolve o estudo das inter-relações horizontais entre as diversas unidades espaciais presentes em determinada área de estudo.

Para Forman e Godron (1986) a ecologia de paisagens é entendida como o estudo da estrutura, função e dinâmica de áreas heterogêneas compostas por ecossistemas interativos. Segundo Turner (1989), trata-se de uma área de conhecimento que dá ênfase às escalas espaciais amplas e aos efeitos ecológicos do padrão de distribuição espacial dos ecossistemas. Risser et al. (1984), a define como uma área de conhecimento que considera o desenvolvimento e a dinâmica da heterogeneidade espacial, as interações e trocas espaciais e temporais por meio de paisagens heterogêneas, as influências da heterogeneidade espacial nos processos bióticos e abióticos e o manejo da heterogeneidade espacial.

A ecologia de paisagens segundo Naveh e Lieberman (1994) é uma ciência interdisciplinar que lida com as interações entre a sociedade humana e seu espaço de vida, natural e construído. Esta última definição aponta para uma ecologia humana de paisagens, representando a abordagem geográfica. As demais definições apontam para uma ecologia espacial de paisagens preocupada com a consequência dos padrões espaciais e a forma pela qual a heterogeneidade se expressa nos processos ecológicos, representando assim a abordagem ecológica.

O sensoriamento remoto e os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) são as técnicas de geotecnologias mais empregadas em estudos de ecologia da paisagem (YOUNG e MERRIAM, 1994). Para Turner e Carpenter (1998) essas técnicas tornaram-se essenciais em ecologia da paisagem, porque têm a capacidade de caracterizar no espaço e no tempo, os padrões de uso e cobertura da terra, que são a base para posterior quantificação da estrutura e definição dos padrões da paisagem.

Para a ecologia da paisagem os SIGs são uma ferramenta fundamental, especialmente quando permitem a manipulação de modelos e dados reais e a transferência de informações implícitas para análises explícitas (FARINA, 1998), como é o caso da caracterização quantitativa da estrutura de uma paisagem a partir de seu mapa de uso e cobertura da terra.

Para aplicação de índices de ecologia da paisagem é necessário que se possua um mapeamento das classes de uso e ocupação da terra, obtido pela classificação de imagens ou por técnicas de fotointerpretação.

Segundo Lang e Blaschke (2009) nos últimos anos, ao lado de uma pesquisa intensa sobre os comportamentos de índices e de sua relevância ecológica, foram produzidos diversos pacotes de aplicativos computacionais que disponibilizam, de formas diferentes, métricas descritoras de estruturas. Esses programas caracterizam a fragmentação de uma paisagem, fornecendo valores quantitativos de extensão de área e

de distribuição espacial dos diferentes tipos de fragmentos que compõem uma paisagem (HESSBRURG et al., 2000).

Para Blaschke (2000) o programa *Fragstats* de MacGarigal e Marks (1995), trata-se da ferramenta mais abrangente para a análise quantitativa da estrutura da paisagem. No entanto, deve-se ressaltar que devido ao seu direcionamento propositalmente universal e apesar da grande documentação, não facilita ao usuário o processo de escolha, em razão da enorme quantidade de possíveis valores de medição, então, entre outros motivos alguns produtos alternativos foram desenvolvidos.

O aplicativo computacional *ArcGIS* da empresa *ESRI* é, pela medição das licenças, o mais difundido de *SIGs* no mundo inteiro, e encontra-se na versão 10, reunindo um grande número de métodos de análise. Para a avaliação de métricas da paisagem é muito utilizado a extensão gratuita para o *ArcGIS Patch Analyst* (REMPEL, 2003). Segundo Lang e Blaschke (2009), essa extensão fornece essencialmente métricas do *Fragstats*, porém em forma comprimida.

2 Principais conceitos em ecologia da paisagem

2.1 Estrutura da paisagem

O termo paisagem apresenta grande diversidade de conceitos. Contudo, na maioria deles, menciona-se a noção de espaço aberto, espaço “vivenciado” ou de espaço de inter-relação do homem com o seu ambiente. Considerando a paisagem simplesmente como uma área heterogênea composta por diferentes classes de uso da terra, esta apresenta três características fundamentais que devem ser estudadas: estrutura; função e; alterações.

Os autores Forman e Godron (1986) definem cada uma dessas características a serem estudadas na paisagem:

(1) estrutura: relação espacial entre diferentes ecossistemas ou elementos presentes na paisagem, ou seja, é a distribuição da energia, dos materiais e espécies em relação ao tamanho, forma, número, tipo e configuração dos ecossistemas;

(2) função: refere-se à interação entre os elementos espaciais, que são o fluxo de energia, materiais e organismos dos ecossistemas componentes e;

(3) alterações: mudanças na estrutura e função do mosaico ecológico, ocorridas na paisagem ao longo do tempo.

As alterações ocorridas em uma paisagem durante certo intervalo de tempo podem ser obtidas simplesmente com um estudo de evolução temporal por meio do mapeamento das classes de uso e ocupação da terra. No entanto quando se quantifica a estrutura da paisagem, obtêm-se maior detalhamento das alterações ocorridas e da função da paisagem. Assim sendo, fica evidenciada a importância da característica estrutura dentro da ecologia da paisagem sendo esta, composta pelos elementos fragmento, corredor e matriz.

Os fragmentos são os menores elementos observáveis da paisagem e a mais importante unidade espacial a ser estudada e descritos por alguns autores como *patches* ou manchas.

A matriz pode ser considerada como o meio onde estão contidas as outras unidades, representando um estado atual do habitat intacto e alterado ou antropizado. Neste contexto, a matriz representa o tipo de elemento com maior conectividade e que ocupa a maior extensão na paisagem incluindo manchas e corredores de diferentes tipos.

De maneira geral, quando se realiza estudos em paisagens antropizadas, onde houve a remoção da vegetação natural, as manchas são os fragmentos florestais, que estão inseridos em uma matriz que abrange a maior parte da paisagem. Neste caso os usos antrópicos (pastagem, agricultura, área urbana, entre outras). Este é um exemplo convencional, ou seja, o que normalmente se encontra, mas não se deve tomar como regra que sempre as manchas de uma paisagem serão os fragmentos florestais e a matriz o ambiente antropizado que o envolve. Pode-se tomar como base outro exemplo: imagine uma paisagem extensa de floresta na região amazônica onde alguns locais estão sendo desmatados para formação de pastagem, neste caso, as manchas da paisagem são os pontos de desmatamento e a extensa área florestal que os envolve é a matriz.

Os componentes da estrutura da paisagem, mancha, corredor e matriz, estão representados na Figura 1.

Via de regra, o que interessa na ecologia da paisagem são os fragmentos florestais. Nesse caso, os corredores são representados como estruturas lineares, conectando as manchas, desempenhando um importante papel para espécies de animais migratórios, contribuindo significativamente para o aumento da variedade de espécies e do conjunto de indivíduos.

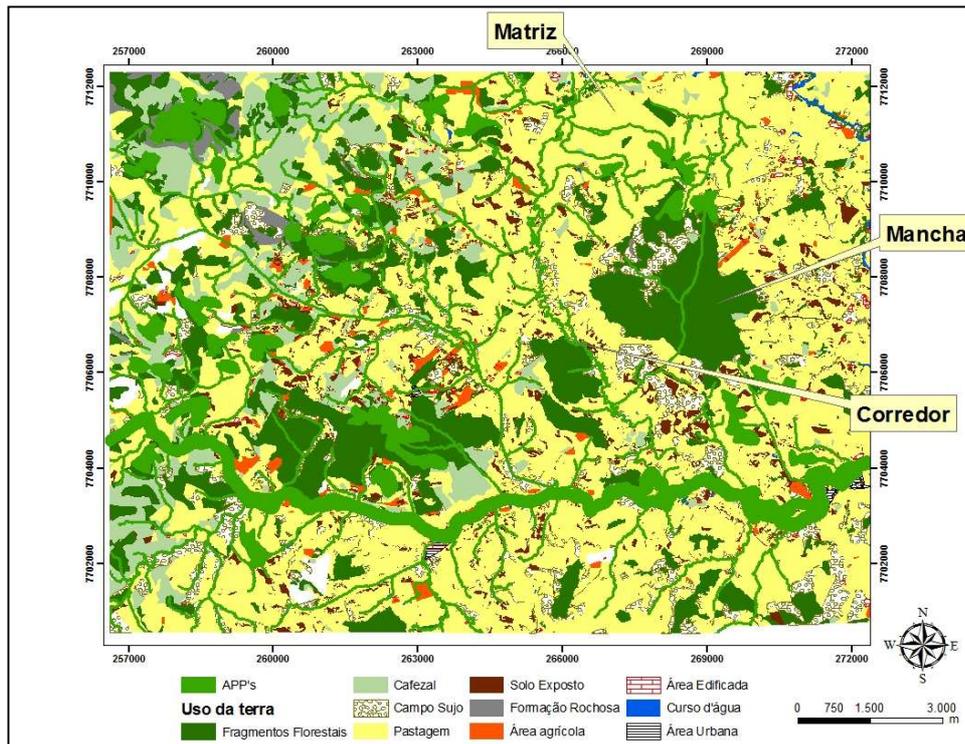


Figura 1. Exemplo de mancha, corredor e matriz.

2.2 Por que e como quantificar paisagens?

A capacidade de quantificar a estrutura da paisagem é um pré-requisito para o estudo da função e mudança de paisagem. Por este motivo, tem-se desenvolvido métodos de quantificação dessa.

Os índices utilizados em ecologia da paisagem representam novos métodos para a quantificação dos padrões espaciais e para a comparação entre paisagens, permitindo a identificação de suas principais diferenças ou mudanças em escala temporal e determinando as relações entre os processos funcionais e os padrões das paisagens.

A variedade de índices ou métricas existentes em ecologia da paisagem levou autores como McGarigal e Marks (1995) a agruparem esses índices nas seguintes categorias: índices de área; índices de densidade, tamanho e variabilidade métrica dos fragmentos; índices de forma; índices de borda; índices de área central; índices de proximidade; índices de diversidade e; índices métricos de contágio e espalhamento.

Algumas das métricas descritivas da estrutura da paisagem são calculadas em função de cada mancha ou fragmento enquanto outras, são obtidas ao nível de toda a paisagem para uma dada região amostral. No geral, a análise de uma só métrica não é adequada para caracterizar a estrutura de uma paisagem. Assim, se apresentará uma breve revisão das métricas encontradas na literatura.

2.2.1 Índices de área

Os índices ou métricas de área quantificam o tamanho dos fragmentos e, no geral, são a base do conhecimento da paisagem, isto porque são métricas utilizadas por muitas outras, sendo úteis para estudos ecológicos.

A seguir são apresentadas as fórmulas dos índices de área propostas por McGarigal e Marks (1995):

a) Área da classe (CA)

$$CA = \sum_{i=1}^n ci \quad (\text{eq.1})$$

Em que,

CA : soma das áreas de todas as manchas que pertencem a uma determinada classe e;

ci : área da i -ésima mancha correspondente à classe avaliada.

b) Área da paisagem (TLA)

$$TLA = \sum_{i=1}^n Ai \quad (\text{eq.2})$$

Em que,

TLA : soma das áreas de todas as manchas na paisagem e;

A_i : área da i -ésima mancha dentro da paisagem total.

2.2.2 Índices de densidade e tamanho

Os índices de densidade, tamanho e variabilidade métrica são medidas da configuração da paisagem. Como exemplo, têm-se: o número de fragmentos; o tamanho médio dos fragmentos nas suas respectivas classes; o desvio padrão e; o coeficiente de variação do tamanho.

A seguir, são apresentadas as fórmulas dos índices de densidade e tamanho propostas por McGarigal e Marks (1995):

a) Número de manchas ($NUMP$)

Quantifica o número de fragmentos ou manchas existentes em cada classe ou na paisagem.

$$NUMP = \sum_{i=1}^n ni \quad (\text{eq.3})$$

Em que,

NUMP: número total de fragmentos dentro da paisagem e;

ni: número de fragmentos da classe *i*.

b) Tamanho médio dos fragmentos (*MPS*):

É calculado com base na área total da classe e de seu respectivo número de fragmentos, o que permite estimar o tamanho médio para seus fragmentos.

$$MPS = \frac{\sum_{j=1}^n aij}{ni} \quad (\text{eq.4})$$

Em que,

aij : área do fragmento *i* na classe *j*;

j : 1 a *n* número de fragmentos e;

ni: número de fragmentos da classe.

c) Desvio padrão do tamanho médio de fragmentos (*PSSD*)

É uma medida de variação absoluta. Para o tamanho, expressa, em média, o quanto os valores observados variam em relação à sua média.

$$PSSD = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n aij^2 - \frac{(\sum_{j=1}^n aij)^2}{ni}}{ni}} \quad (\text{eq.5})$$

Em que,

aij : área do fragmento *i* na classe *j*;

j : 1 a *n* número de fragmentos e;

ni: número de fragmentos da classe *i*.

d) Coeficiente de variação do tamanho médio de fragmentos (*PSCoV*)

É uma medida de variação relativa. Dessa maneira, quantifica a variação dos dados em função da média.

$$PSCoV = \frac{PSSD}{MPS} \times 100 \quad (\text{eq.6})$$

Em que,

PSSD : desvio padrão do tamanho dos fragmentos e;

MPS : tamanho médio dos fragmentos.

2.2.3 Índices de borda

O aumento na proporção de bordas eleva a temperatura do ar e o déficit de pressão de vapor, estendo-se por muitos metros para dentro dos fragmentos. Esse processo promove um conjunto de mudanças no equilíbrio do ambiente, alterando as relações ecológicas entre populações da fauna, flora e meio abiótico (RIBEIRO e MARQUES, 2005).

Os índices de borda usualmente são considerados como representantes da configuração da paisagem, porém nem sempre sua distribuição espacial é explícita. A seguir são apresentadas as fórmulas dos índices de borda propostas por McGarigal e Marks (1995):

a) Total de Bordas (*TE*)

$$TE = \sum_{i=1}^n ei \quad (\text{eq.7})$$

Em que,

TE: soma de todas as bordas da classe ou paisagem;

ei: borda da *i*-ésima mancha.

b) Densidade de bordas (*ED*)

Representa a quantidade de bordas relativa à área da classe ou paisagem em metros por hectare.

$$ED = \frac{TE}{TLA} \quad (\text{eq.8})$$

Em que,

ED : densidade de bordas;

TE : total de bordas e;

TLA : área total da paisagem.

2.2.4 Índices de forma

Quanto aos índices de forma, são responsáveis pela configuração da paisagem. Para quantificação desta variável, é necessário adotar-se uma paisagem padrão para efeito de comparação.

A relação entre o perímetro e a área de um fragmento de habitat está diretamente ligada à forma desse fragmento. Quanto menor for essa relação, menor também será a borda e vice-versa. A seguir são apresentadas as fórmulas dos índices de forma propostas por McGarigal e Marks (1995):

a) Índice de forma média (*MSI*):

Expressa a forma média dos fragmentos da classe avaliada, em função da razão média perímetro/área de seus fragmentos, comparada a uma forma padrão. Quando se utiliza o formato vetorial poligonal para os mapas, a forma padrão é representada por um círculo. Quando se utiliza o formato matricial ou *raster*, essa forma padrão se constitui em um quadrado. Dessa maneira, o índice de forma médio é igual a 1 quando todas as manchas ou fragmentos forem circulares (para polígonos) ou quadrados (para *raster*) e aumenta com a irregularidade de forma de mancha crescente.

$$MSI = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{0,25p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}}}{n_i} \quad (\text{eq.9})$$

Em que,

a_{ij} : área do fragmento i na classe j ;

p_{ij} : perímetro do fragmento ij ;

j : 1 a n número de fragmentos e;

n_i : número de fragmentos da classe i .

b) Índice de forma média ponderado pela área (*AWMSI*):

É calculado de maneira semelhante ao índice de forma média (*MSI*). No entanto, a média é ponderada de acordo com a área dos fragmentos. Dessa maneira, fragmentos de maior tamanho recebem um peso maior.

$$AWMSI = \sum_{j=1}^n \frac{0,25 p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \times \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (\text{eq.10})$$

Em que,

a_{ij} : área do fragmento i na classe j ;

p_{ij} : perímetro do fragmento ij e;

j : 1 a n número de fragmentos.

c) Dimensão fractal da mancha média ($MPFD$):

A dimensão fractal também é uma medida do índice de forma, sendo obtida multiplicando por 2 vezes o logaritmo do perímetro do fragmento e dividindo pelo logaritmo da área do fragmento. A métrica dimensão fractal ($MPFD$) se diferencia do índice de forma média (MSI) por variar de 1 a 2, tornando-se uma melhor alternativa de representação, sendo que MSI varia de 1 ao infinito.

$$MPFD = \frac{2 \ln(0,25 p_{ij})}{\ln a_{ij}} \quad (\text{eq.11})$$

Em que,

a_{ij} : área do fragmento i na classe j e;

p_{ij} : perímetro do fragmento ij .

2.2.5 Índices de proximidade

Estas métricas quantificam a configuração da paisagem. A proximidade entre os fragmentos é importante para os processos ecológicos, e tem implícito em seus resultados o grau de isolamento dos fragmentos (VOLOTÃO, 1998; FORMAN e GODRON, 1986).

A métrica de distância do vizinho mais próximo tem como limitação o fato de não considerar a heterogeneidade da vizinhança, visto que, ao nível de classe, só são computadas manchas da mesma classe. As fórmulas dos índices de proximidade propostas por McGarigal e Marks (1995) são apresentadas a seguir:

a) Distância média do vizinho mais próximo entre fragmentos (*MNN*):

Quantifica a distância média entre os fragmentos de mesma classe. Pode ser calculado pela fórmula:

$$MNN = \frac{\sum_{j=1}^n hij}{n'i} \quad (\text{eq.12})$$

Em que,

hij: distância (m) do fragmento *ij* ao vizinho mais próximo de mesma classe e;

n'i: número de fragmentos da classe *i* na paisagem, que tenha vizinho próximo.

b) Índice de proximidade média (*MPI*):

Quantifica a distância média entre fragmentos, tendo por base um raio previamente determinado. O índice de proximidade média é obtido pela soma de cada área dos fragmentos de mesma classe, divididos pela distância euclidiana borda-a-borda respectiva, considerando somente os fragmentos dentro do raio de busca.

$$MPI = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^n \frac{aijs}{hij}}{ni} \quad (\text{eq.13})$$

Em que,

s: número de fragmentos dentro de uma vizinhança específica;

aijs: área (m²) do fragmento dentro de uma vizinhança específica de fragmento *ij*;

hij: distância entre fragmentos *ijs* e fragmentos *ij*;

j: 1 a *n* número de fragmentos e;

ni: número de fragmentos da classe *i*.

Para o índice de proximidade dos fragmentos, quanto maior o valor do índice, maior será a distância entre fragmentos, isto é, maior será o grau de isolamento entre os fragmentos do raio de busca.

2.2.6 Índices de área central

Os índices de área central ou área nuclear refletem tanto a composição quanto a configuração de uma paisagem e, na maioria dos casos, dependem de outros índices

(densidade, número de fragmentos, índices de borda e de forma) para serem melhor interpretados. As métricas relacionadas aos índices de área central podem ser obtidas conforme proposta de McGarigal e Marks (1995):

a) Índice de área nuclear total (*TCAI*):

Quantifica a porcentagem da classe ocupada com área nuclear, desconsiderando a faixa referente a borda. Para os índices de área nuclear, deverá ser adotada uma faixa com largura de *buffer*, representando o efeito de borda. O *TCAI* é expresso pela fórmula:

$$TCAI = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}^e}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \times 100 \quad (\text{eq.14})$$

Em que,

a_{ij}^e : área interior do fragmento ij ;

a_{ij} : área do fragmento i na classe j e;

$j = 1$ a n número de fragmentos.

b) Número de fragmentos com área nuclear (*NCA*):

Expressa o número de fragmentos que possuem área nuclear, desconsiderando o efeito de borda, para cada classe. É determinado pela fórmula:

$$NCA = \sum_{j=1}^n n^e_{ij} \quad (\text{eq.15})$$

Em que,

n^e_{ij} : número de áreas interiores dos fragmentos e;

j : 1 a n número de fragmentos.

3 Metodologia

A seguir, será apresentado um exemplo de trabalho realizado em ambiente florestal fundamentado em conceitos de ecologia da paisagem apoiado em geotecnologias.

3.1 Análise espacial de fragmentos florestais na bacia do rio Itapemirim, ES

Neste estudo, realizado por Pirovani et al. (2010), foram mapeados os fragmentos florestais em uma área pertencente à bacia do rio Itapemirim e realizada a análise da paisagem florestal por meio de métricas da paisagem.

A área desta pesquisa refere-se às interbacias 77161, 77163 e 77165 do nível 5 do método de Otto Pfafstetter (PFAFSTETTER, 1989), pertencentes à bacia do rio Itapemirim, no Sul do estado do Espírito Santo. Esta área representativa da bacia, situa-se entre os meridianos 40°48'e 41°32' de longitude Oeste e entre os paralelos 20°43' e 20°59' de latitude Sul. Possui área de 1600 km², abrangendo 8 dos 17 municípios que compõem a bacia (Figura 2).

O mapeamento dos fragmentos foi obtido utilizando técnicas de fotointerpretação na escala de 1:1500 de ortofotomosaico do ano de 2007, cedido pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA).

Para o cálculo dos índices de ecologia foi utilizada a extensão *Patch Analyst* dentro do aplicativo computacional *ArcGIS 9.3*. As métricas foram calculadas utilizando a versão para dados vetoriais (*Patch.*) para o arquivo de fragmentação obtido com o mapeamento pela fotointerpretação dos fragmentos.

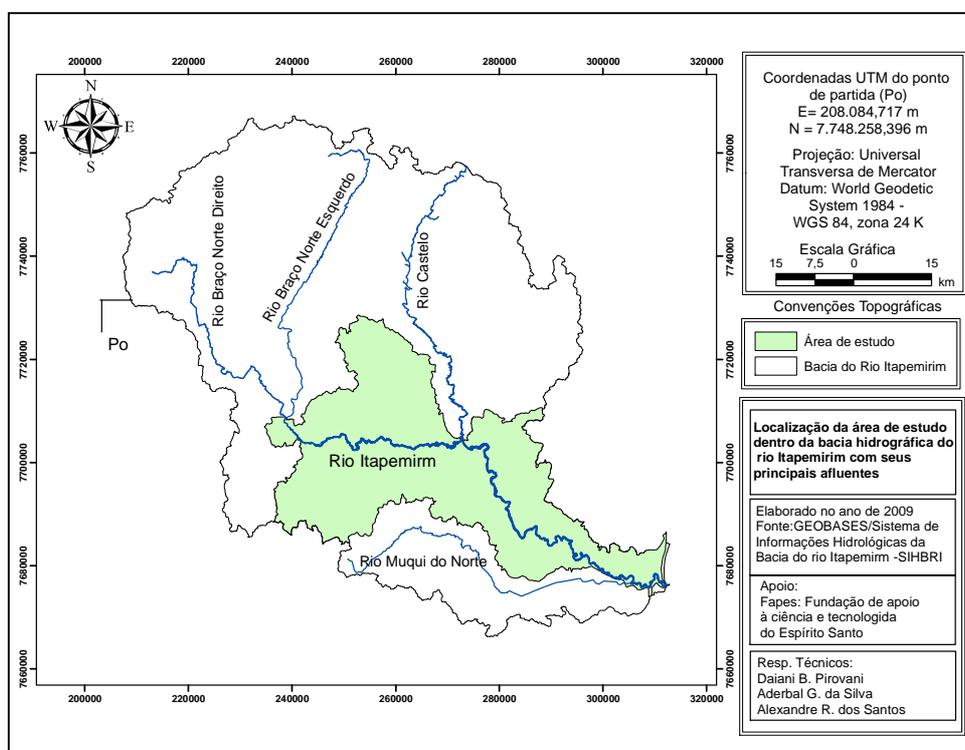


Figura 2. Localização da área de estudo, bacia do rio Itapemirim, ES.

4 Resultados e discussão

Ao todo, foram encontrados 3.285 fragmentos, representando 17% de cobertura florestal. Os fragmentos mapeados foram divididos em classes de tamanho, sendo considerados: fragmentos pequenos, menores que 5 ha; de tamanho médio, entre 5 e 50 ha e; grandes, maiores que 50 ha (Figura 3).

Na Figura 4, tem-se que os fragmentos pequenos foram encontrados em maior número (2.236), seguidos pelos fragmentos de tamanho médio (749) e por último, pelos fragmentos grandes, que compreenderam apenas 100 manchas. O número de fragmentos de cada classe de tamanho possui relação inversa com a contribuição em área, o que diversos trabalhos apontam ser um fato comum em paisagens de floresta Atlântica (Almeida (2008); Valente e Vettorazzi (2005); Rodrigues (1993); Lima (1997); Ranta et al. (1998) e; Pires et al. (1998).

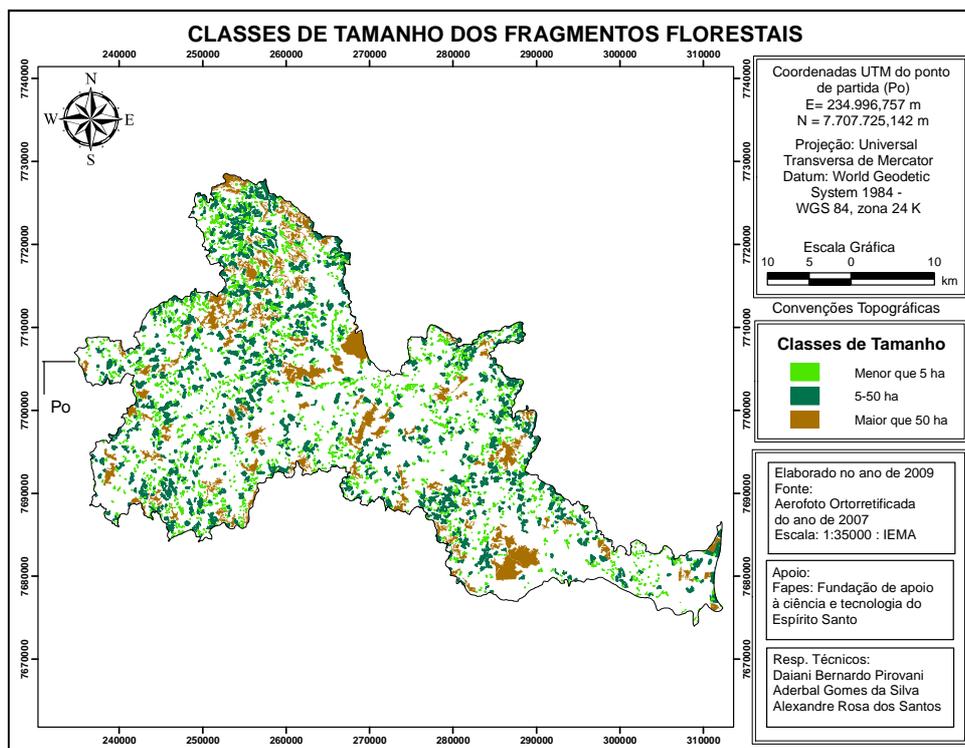


Figura 3. Distribuição das classes de tamanho dos fragmentos florestais na bacia do rio Itapemirim, ES.

A partir desses resultados, obtidos com o mapeamento dos fragmentos florestais e apoiados por geotecnologias, as caracterizações quantitativas por meio de métricas da paisagem foram feitas com os grupos de índices de área; densidade e tamanho, forma e proximidade. Os valores das métricas calculadas encontram-se na Tabela 1.

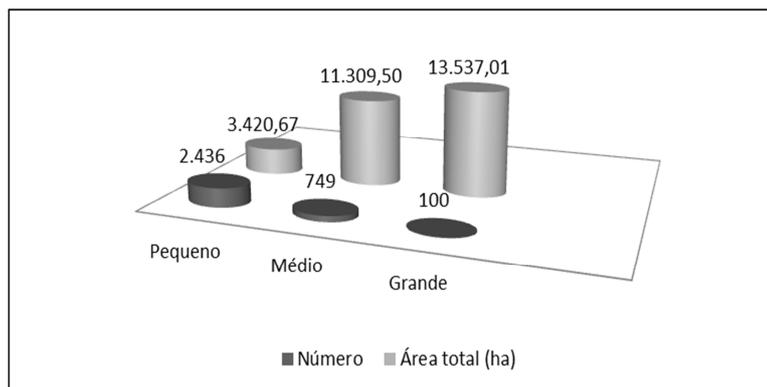


Figura 4. Relação entre o número de fragmentos florestais e as suas respectivas áreas das classes de tamanho na bacia do rio Itapemirim, ES.

Tabela 1. Índices de ecologia da paisagem calculados para as diferentes classes de tamanho dos fragmentos florestais na bacia do rio Itapemirim, ES.

Grupo	Índices*	Unidade	Classes de Tamanho			
			Pequeno (< 5 ha)	Médio (5 – 50 ha)	Grande (> 50 ha)	Todos (0 a >50 ha)
Área	CA	Hectares (ha)	3.420,67	11.309,50	13.537,01	28.267,18
	MPS	Hectares (ha)	1,40	15,10	135,37	8,61
Densidade e tamanho	NUMP	Adimensional	2436	749	100	3.285
	PSSD	Hectares (ha)	1,21	10,63	164,84	37,35
	PSCoV	Porcentagem	85,54	70,25	122,79	433,85
Borda	TE	Metros (m)	1.801.330,95	2.568.015,5	1.732.072,3	6.093.977,15
	ED	m/ha	523,14	226,66	127,75	215,48
Forma	MSI	Adimensional	1,85	2,50	4,29	2,07
	AWMSI	Adimensional	1,99	2,75	4,81	3,65
	MPFD	Adimensional	1,41	1,36	1,38	1,40
Proximidade	MNN	Metros (m)	1.328	1.594	1.331	793,5

* CA (Área de todas as manchas da classe); MPS (Tamanho médio da mancha); NUMP (Número de manchas); PSCoV (Coeficiente de variação do tamanho da mancha); PSSD (Desvio padrão do tamanho da mancha); MSI (Índice de forma médio); AWMSI (Índice de forma de área média ponderada); MPFD (Dimensão fractal da mancha média); TE (Total de bordas); ED (Densidade de borda); MNN (Distância média do vizinho mais próximo).

O índice de tamanho médio (MPS) das classes de fragmentos florestais apresentou um valor de área média para os fragmentos grandes de 135,37 ha, porém

através do alto valor do desvio padrão do tamanho da mancha ($PSSD = 164,84$ ha) percebeu-se a alta variabilidade nos valores de área dos fragmentos desta classe, mostrando que entre os fragmentos grandes pode-se encontrar valores variando de 50 até 1306 ha.

A média de tamanho para todos os fragmentos quando analisados conjuntamente, ou seja, sem distinção de diferentes classes de tamanho, possui valor de 8,61 ha. No entanto, o valor elevado do coeficiente de variação do tamanho da mancha ($PSCoV = 433,85\%$) indica a existência de fragmentos com valores de área muito acima e/ou muito abaixo do valor médio, pois, segundo Pereira et al. (2001) o tamanho médio dos fragmentos deve ser analisado, examinando-se o desvio padrão. Se o desvio padrão for muito grande, é possível que haja grandes fragmentos, mesmo com um tamanho médio relativamente baixo.

As métricas de borda revelaram menor valor do total de borda (TE) para a classe dos fragmentos grandes (1.732.072 m). Já os fragmentos médios apresentaram o maior valor total de bordas (2.568.015,5 m), e a classe de fragmentos pequenos foi constituída de menor total de borda (1.801.330,95 m) do que os fragmentos médios. Porém ao comparar esse valor de borda com sua contribuição em área, que é bem menor do que os fragmentos médios, percebeu-se maior proporção borda/área nos fragmentos menores.

Os fragmentos pequenos apresentaram, comparativamente, maior densidade de bordas (ED), 523,14 m/ha, contra 226,66 m/ha dos médios e 127,75 m/ha dos grandes. Essas diferenças, devem-se aos valores de área ocupados por cada classe de tamanho dos fragmentos, sendo a densidade de bordas inversamente proporcional à área ocupada por cada classe.

Estes resultados apontam para um menor efeito de borda nos fragmentos grandes indicando maior grau de conservação, pois de acordo com Fleury (2003) a transição entre o fragmento florestal e o ecossistema adjacente é muito abrupta, criando uma borda que expõe a floresta às condições encontradas na matriz adjacente. A porção externa da mata adjacente à borda torna-se parte da zona de transição, ocasionando mudanças microclimáticas, como aumento da temperatura e ressecamento próximo a borda, acarretando alterações na composição de espécies e na estrutura da vegetação.

Ao analisar as métricas de borda para os fragmentos da área obteve-se como valor total de bordas (TE) a soma do perímetro das três classes de tamanho e, o valor da densidade de bordas (ED) aproxima-se da densidade de bordas para os fragmentos de tamanho médio (215,48 m/ha). Isso se deve ao fato de que a média de tamanho dos fragmentos (MPS) do grupo ser mais próxima da média de tamanho encontrada para os fragmentos do conjunto.

A comparação dos valores de índice de forma (MSI) das classes de tamanho dos fragmentos revela que os pequenos apresentam formato mais regular (MSI =1,85) quando comparados com os fragmentos médios e grandes que apresentam valores de MSI de 2,50 e 4,29, respectivamente. Assim, os formatos vão ficando mais irregulares (não-circular) com o aumento de tamanho dos fragmentos.

Os valores do índice de forma médio ponderado pela área (AWMSI) para as três classes de tamanho dos fragmentos são superiores ao observado para o índice de forma médio (MSI), indicando que os fragmentos de maior área têm forma mais irregular que a média (McGarigal e Marks, 1995). Essa relação existe porque, para o cálculo do índice de forma médio ponderado pela área (AWMSI), os fragmentos recebem pesos em função de seu tamanho.

Apesar dos índices de forma indicar formatos mais irregulares para os fragmentos grandes e regulares para os fragmentos pequenos, o tamanho e a forma do fragmento natural (que surge com a regeneração) ou não natural (área de floresta que foi fragmentada) podem estar intrinsecamente ligados à borda. Quanto menor o fragmento ou mais alongado, mais forte será o efeito de borda, pois a razão interior margem diminui (PÉRICO et al., 2005), sendo assim, mesmo apresentando formatos mais irregulares, os fragmentos maiores estão sob menor efeito de borda que os menores.

O grau de isolamento dos fragmentos, expresso pela distância média do vizinho mais próximo (MNN) apresentou resultado semelhante para as três classes de tamanho consideradas, estando apenas os fragmentos de tamanho médio com isolamento um pouco maior que os demais, apresentando 1.594 m de distância do fragmento mais próximo contra 1.328 m de distância entre os fragmentos pequenos e 1.331 m de distância entre os fragmentos grandes.

Ao analisar a distância entre todos os tamanhos de fragmentos (MNN=793,5 m), o grau de isolamento decresce. Assim, é importante considerar os fragmentos de menor tamanho como trampolins ecológicos dentro da paisagem. Porém, de maneira geral, pode-se considerar que os fragmentos dessa área representativa da bacia possuem alto grau de isolamento, dificultando diversas interações ecológicas, tanto para a flora quanto para a fauna. Awade e Metzger (2008), por exemplo, observaram que algumas espécies de aves de sub-bosque evitam cruzar áreas abertas com distâncias superiores a 40 m e ainda, segundo Janzen (1988) citado por Guisard (2006), em determinadas situações o limite de dispersão de sementes pelo vento gira em torno de 180 m.

5 Conclusões

A aplicação de índices de ecologia da paisagem requer considerar a interdependência e a eficiência dos mesmos. O ideal na quantificação da estrutura das paisagens é que se tenha uma pequena variedade de índices, compreendendo todos os grupos, os quais permitam obter em curto espaço de tempo, o mais importante da estrutura e do padrão de uma paisagem.

Há a necessidade de selecionar os índices em menor grupo que seja suficiente para descrever os aspectos mais importantes da heterogeneidade da paisagem. As diversas pesquisas que vêm sendo desenvolvidas com a aplicação dos índices de ecologia da paisagem devem ser consideradas nessa seleção.

Uma vantagem na aplicação dos índices ou métricas que estudam a estrutura da paisagem é que estes minimizam a necessidade de informação adquirida no campo. Logo, sua utilização é uma perspectiva do uso de geotecnologias em estudos da paisagem, possibilitando estudos a níveis regionais, bem como o de mudanças ao longo do tempo na estrutura da paisagem por meio de dados de imagens de satélite e fotografias aéreas.

6 Referências bibliográficas

- ALMEIDA, C.G. **Análise espacial dos fragmentos florestais na área do Parque Nacional dos Campos Gerais, Paraná.** Dissertação (Mestrado em Gestão do território), Universidade Estadual de Ponta Grossa, Paraná, 2008.
- AWADE, M.; METZGER, J.P. Importance of functional connectivity to evaluate the effect of habitat fragmentation for three Atlantic Rainforest birds. **Austral Ecology**, n.33,. 2008.
- BLASCHKE, T. Landscape Metrics: Konzept eines jungen Ansatzes der Landschaftsökologie und Anwendungen in Naturschutz und Landschaftsforschung. **Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung**, 267-299, 2000.
- FARINA, A. **Principles and methods in landscape ecology.** Londres: Chapman e Hall. 1998. , 235 p
- FLEURY, M. **Efeito da Fragmentação Florestal na predação de sementes da Palmeira Jerivá (Syagrus Romanzoffiana) em florestas semidecíduas do estado de São Paulo.** Dissertação (Mestrado) – USP/SP. Piracicaba. 2003
- FORMAN, R.T.T; GODRON, M. **Landscape Ecology.** New York, John Willy e Sons. 619p. 1986.
- GUISARD, D.M.P. **Relatório de projeto de Iniciação Científica – bolsa PIBIC/CNPq do período de Agosto de 2005 à Julho de 2006,** sob orientação de Dra. Tatiana Mora Kuplich, à Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR). INPE, São José dos Campos, 2006.
- HESSBURG, P.F.; SMITH, B.G.; SALTER, R.B.; OTTMAR, R.D.; ALVARADO, E. Recent changes (1930s-1990s) in spatial patterns of interior northwest forest, USA. **Forest Ecology and Management**, v. 136, p.53-83, 2000.
- LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG.** Tradução: Hermann Kux, São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- LIMA, E.A.C.F. **Estudo da paisagem do município de Ilha Solteira-SP: subsídios para planejamento físico-ambiental. São Carlos.** 112 p. Tese (Doutorado) Universidade Federal de São Carlos. 1997.
- MCGARIGAL AND MARKS. **Fragstats: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure.** Reference manual. For. Sci. Dep. Oregon State University. Corvallis Oregon. 1995. 59 p.+ Append
- NAVEG, Z. e LIEBERMAN, A. **Landscape ecology: theory and application.** Springer-Verlag, New York, 1994.
- PEREIRA, J.L.G.; BATISTA, G.T.; THALÊS, M.C.; ROBERTS, D.A.; VENTURIERI, A.V. Métricas da paisagem na caracterização da evolução da ocupação da Amazônia. **Geografia**, v. 26, n. 1, p. 59-90, abr. 2001

- PÉRICO, E.; CEMIN, G.; LIMA, D. F. B. DE; REMPEL, C. Efeitos da fragmentação de habitats sobre comunidades animais: utilização de Sistema de Informações Geográficas e de métricas de paisagem para seleção de áreas adequadas a testes. **Anais...** XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril, INPE, p. 2339-2346. 2005.
- PFAFSTETTER, O. **Classificação de bacias hidrográficas: metodologia de codificação**. Rio de Janeiro, RJ: Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS), 1989. 19 p.
- PIRES, J.S.R.; SANTOS, J.E.; PIRES, A.M.Z.C. e HENKE-OLIVEIRA, C. Abordagem metodológica para a identificação e manejo de fragmentos de áreas naturais. In: **Anais...** VIII Seminário Regional de Ecologia, vol. VIII – Programa de pós graduação em Ecologia e Recursos Nturais, UFSCAR, São Carlos, 571-584, 1998.
- PIROVANI, D.B. **Fragmentação florestal, dinâmica e ecologia da paisagem na bacia hidrográfica do rio Itapemirim, ES**. 106 f., Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Espírito Santo, 2010.
- RANTA, P. et al. The fragmented Atlantic rain forest of Brazil: size, shape and distribution of forest fragments. **Biodiversity and Conservation**, Amsterdam, v. 7, p. 385-403, 1998
- REMPEL, R. **Patch Analyst v.3.0**. 2003. <<http://flash.lakeheadu.ca/~rempel/patch/>>. Acesso em 12 de Fev. de 2009.
- RISSER, P.G.; KAR, J.R.; FORMAN, R.T.T. Landscape ecology, directions and approaches. Illinois Natural History Surveys. **Special Publications**, 2: 1-18, 1984.
- RODRIGUES, E. **Ecologia de fragmentos florestais no gradiente de urbanização de Londrina – Pr**. São Carlos, 102p. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1993.
- TROPPEMAIR, H. Ecologia da paisagem: uma retrospectiva. **Anais do I Fórum de debates “Ecologia da Paisagem e Planejamento Ambiental**. Sociedade de Ecologia do Brasil, Rio Claro, SP, 2000
- TURNER, M.G. Landscape Ecology: The effect of pattern on process. **Annu. Rev. Ecol. Syst.** 20: 171-197. 1989
- TURNER, M. CARPENTER, S.: At last: a journal devoted to ecosystems', **Ecosystems** 1(1), 1–4. 1998.
- VALENTE, R.O.A.; VETTORAZZI, C.A. Análise da estrutura da paisagem na Bacia do Rio Corumbataí. **Scientia Florestalis**, n.62, p. 114-119. 2005.
- VOLOTÃO, C.F.S. **Trabalho de análise espacial: métricas do Fragstats**. São José dos Campos: INPE,. 1998. 45 p
- YONG, A.G.; MERRIAM, H.G. Effects of forest fragmentation on the spatial genetic structure of *Acersacvharum* Marsh. (sugar maple) populations. **Heredity**, v.1, p.277-289, 1994