Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Identificação de Fragmentos Florestais Potencias para a delimitação de Corredores Ecológicos na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim, ES por meio técnicas de Sensoriamento Remoto

Carlos Roberto Lima Thiago¹, Ivo Augusto Lopes Magalhães², Alexandre Rosa dos Santos³

¹ Biólogo, Mestre em Ciências Florestais pela Universidade Federal do Espírito Santo, Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, s/n, CEP 29550-000, Jerônimo Monteiro, ES. tuca119@hotmail.com. ² Engenheiro Ambiental, Doutorando em Geoprocessamento pelo Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade de Brasília, s/n, CEP 70910-900, Brasília, DF. ivosmagalhaes@gmail.com (autor correspondente). ³ Dr. em Meteorologia Agrícola, Professor Titular da Universidade Federal do Espírito Santo, Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, s/n, CEP 29550-000, Jerônimo Monteiro, ES. mundogeomatica@yahoo.com.br.

Artigo recebido em 15/10/2019 e aceito em 01/03/2020

RESUMO

Os corredores ecológicos surgem como alternativa para mitigar os efeitos da fragmentação florestal permitindo entre eles o fluxo gênico de fauna e flora e a recolonização de áreas degradadas. Diante do exposto o presente estudo teve como objetivo, identificar para a bacia hidrográfica do rio Itapemirim, ES, por meio de metodologia desenvolvida em Sistemas de Informações Geográficas, a delimitação de corredores ecológicos que propiciem a interligação de fragmentos florestais, identificados mediante análise das métricas da paisagem como fragmentos florestais com atributos espaciais, que sugerem maior conservação. A metodologia consistiu no mapeamento dos fragmentos florestais por meio de técnicas de classificação supervisionada utilizando imagem do satélite LANDSAT 8 OLI, obtidas junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Realizou-se o cálculo dos índices de ecologia, por meio do software ArcGis 10.2, com a extensão de domínio público V-LATER 2.0. Identificou-se 11.749 fragmentos florestais, que representam 22% de cobertura florestal na bacia hidrográfica. Os fragmentos pequenos (< 5 ha) foram encontrados em maior número, 8.394, seguidos pelos fragmentos de tamanho médio (5 a 50 ha), 2.995, e grandes (> 50 ha), 360. O número de fragmentos apresentaram relação inversa com sua contribuição na área. O bioma Mata Atlântica presente na bacia hidrográfica do rio Itapemirim, é representado, em sua maioria, por fragmentos florestais pequenos, menores que 5 ha, indicando um alto grau de fragmentação.

Palavras-chave: Índices da ecologia da paisagem, Mata Atlântica, Geoprocessamento.

Identification of Forest Fragments Potential for the delimitation of Ecological Corridors in the Itapemirim, ES River Basin through Remote Sensing techniques

ABSTRACT

Ecological corridors emerge as an alternative to mitigate the effects of forest fragmentation, allowing for the gene flow of fauna and flora and the recolonization of degraded areas. Given the above, the present study aimed to identify, for the Itapemirim river basin, ES, through a methodology developed in Geographic Information Systems, the delimitation of ecological corridors that allow the interconnection of forest fragments, identified through the analysis of the metrics. landscape as forest fragments with spatial attributes, which suggest greater conservation. The methodology consisted of mapping forest fragments by supervised classification techniques using LANDSAT 8 OLI satellite imagery, obtained from the National Institute for Space Research. Ecology indices were calculated using the ArcGis 10.2 software, with the public domain extension V-LATER 2.0. A total of 11,749 forest fragments were identified, representing 22% of forest cover in the watershed. Smaller fragments (<5 ha) were found in larger numbers, 8,394, followed by medium sized fragments (5 to 50 ha), 2,995, and large fragments (> 50 ha), 360. The number of fragments was inversely related to their size. contribution in the area. The Atlantic Forest biome present in the Itapemirim river basin is mostly represented by small forest fragments, smaller than 5 ha, indicating a high degree of fragmentation.

Keywords: Indexes of landscape ecology, Atlantic Forest, Geoprocessing.

Introdução

Estima-se que no estado do Espírito Santo, que está em sua totalidade sob domínio do Bioma Mata Atlântica, possui aproximadamente 12,2% de seu território ocupado por fragmentos florestais (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2014).

O processo de fragmentação florestal é impulsionado pela atividade desordenada de uso e ocupação da terra e pelo crescimento populacional. Os aspectos mais graves do processo de fragmentação florestal são a perda da biodiversidade e o efeito de borda (Pirovani, 2010). Segundo Rodrigues (2009) um fragmento florestal é qualquer área de vegetação natural contínua, interrompida por barreiras antrópicas (estradas, cidades, culturas agrícolas, pastagens etc.) ou naturais (montanhas, lagos, outras formações vegetacionais, etc.), capazes de diminuir significativamente o fluxo de animais, pólen e ou sementes.

Com a fragmentação florestal ocorrem modificações nas condições abióticas e bióticas, consequentemente na distribuição dos organismos no espaço. Suas implicações dependem de alterações na área do fragmento florestal, na forma, posição na paisagem e grau de isolamento (Castro, 2004). De acordo com Harris (1984) qualquer diminuição na área de um fragmento florestal pode reduzir o número de espécies e afetar a dinâmica de populações, podendo comprometer a sustentabilidade do ecossistema. Forman et al., (1976) e Saunders et al., (1991) afirmaram que a riqueza das espécies diminui em uma área a medida que esta fica menor do que as áreas mínimas necessárias para a sobrevivência das populações.

A análise dos padrões da estrutura espacial dos fragmentos florestais, por meio das métricas ou índices de paisagem permite a quantificação da composição fisiográfica da paisagem e fornece a respeito dela informações importantes sobre a dinâmica de populações vegetais e animais (Volato, 1998).

Diferentes formas de fragmentos podem ser encontradas na paisagem desde as curvilíneas, compactas ou alongadas, até as arredondadas. O ideal, é que elas sejam o mais próximo possível da forma circular, pois esse formato minimiza a relação borda-área, cujo centro se encontra mais distante das bordas do que qualquer outra forma, especialmente as alongadas (Primack e Rodrigues, 2001). Assim, o principal aspecto da forma do fragmento é a sua relação com o efeito de borda (Volato, 1998).

As características da borda podem afetar os organismos do fragmento, fazendo que eles a evitem, dadas as alterações nas condições bióticas e abióticas. Entre as alterações abióticas estão pronunciados efeitos sobre o microclima, como aumento da temperatura, redução da umidade, aumento da luminosidade, aumento da exposição aos ventos e estresse hídrico. No entanto, espécies oportunistas podem beneficiar-se dessas condições e aumentar a sua densidade nessas áreas, passando a ser elemento de perturbação para a estrutura da comunidade (Murcia, 1995).

As métricas de área-núcleo ou central são consideradas medidas da qualidade de habitats, uma vez que indicam quanto há realmente de área efetiva de um fragmento, após descontar-se o efeito de borda. As métricas de proximidade e isolamento se baseiam na distância entre vizinhos mais próximos (Volato, 1998). Essas métricas são importantes, pois indicam, de forma geral, o grau de isolamento da paisagem e, consequentemente, indicam a existência ou necessidade de implantação de elementos de conexão, como os corredores ecológicos (Vidolin et al., 2011).

As barreiras criadas pela fragmentação dificultam a dispersão entre os fragmentos florestais, diminuindo o fluxo gênico, a variabilidade genética, logo, a capacidade de adaptação das espécies. Esses efeitos podem ser mitigados se as populações não ficarem isoladas. Sendo assim, é de fundamental importância o desenvolvimento de ações direcionadas para promover a conexão entre fragmentos.

Os corredores ecológicos são apontados como uma das soluções viáveis tanto para a ligação de ecossistemas fragmentados como para a manutenção da biodiversidade (Seoane et al., 2010).

Segundo Ayres et al., (2005), corredores ecológicos, referem-se às extensões de terra com manchas contínuas de vegetação que visam permitir o trânsito e o fluxo gênico entre as populações. Dentre as suas principais funções destacam-se a redução da fragmentação das florestas existentes, a restauração da conectividade da paisagem e a manutenção dos recursos hídricos (Mouchalil et al., 2010).

Mediante ao cenário de fragmentação florestal e perda de biodiversidade em todo o bioma Mata Atlântica, compreender as relações espaciais entre os fragmentos florestais, indicar fragmentos com potencial espacial para delimitação de corredores ecológicos e delimitar corredores

ecológicos são atividades essenciais para a manutenção e conservação desse bioma.

Inserido neste contexto, o presente estudo teve como objetivo, identificar fragmentos florestais potenciais para delimitação de corredores ecológicos e análise das métricas da paisagem para a bacia hidrográfica do rio Itapemirim, por meio de metodologias desenvolvidas em Sistemas de Informações Geográficas.

Material e métodos

Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Itapemirim está localizada na região Sul do estado do Espírito Santo, situada entre as latitudes de 20° 10' e 21° 00' Sul e longitude de 41° 00' e 41° 30' Oeste, possuindo uma área de 5.913,69 km² e abrange os municípios de Alegre, Atílio Vivacqua, Cachoeira de Itapemirim, Castelo, Conceição do Castelo, Ibatiba, Ibitirama, Irupi, Itapemirim, Iúna, Jerônimo Monteiro, Muniz Freire, Muqui, Presidente Kennedy, Vargem Alta, Venda Nova do Imigrante (Figura 1).

Figura 1. Localização geográfica da bacia hidrográfica do rio Itapemirim no estado do Espírito Santo.

Metodologia

O fluxograma metodológico contendo as 07 etapas utilizadas para a determinação da fragmentação

florestal para o ano de 2014 é apresentado na Figura 2.

Figura 2. Fluxograma metodológico contendo as etapas para delimitação dos fragmentação florestal para o ano de 2014 na bacia hidrográfica do rio Itapemirim Itapemirim, ES.

Identificação das imagens

A identificação da imagem do sensor *LANDSAT 8* foi realizada por meio do catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), para o ano de 2014, representativo do período de estiagem, com boas condições atmosféricas e cobertura mínima de nuvens (menor que 10%). A imagem que compõe a área de estudo é referente a órbita 216, ponto 74, de 27 de junho de 2014, disponível no sítio <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>.

Registro da imagem

O registro da imagem *LANDSAT 8* referente a área de estudo foi realizado com base no mosaico ortorretificado *GeoCoover 2000* da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), disponível no endereço eletrônico <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/mrsid.pl> (NASA, 2014). Para o registro da imagem, os pontos de controle foram adquiridos na imagem MrSID ortorretificada, por meio da técnica *map to map*. O registro foi obtido com erro médio quadrado (RMS), menor que 0,5 pixels, no qual equivale a 7,5 metros, sendo aceitável para este tipo de estudo (DAI e KHORRAM, 1998).

O registro da imagem foi realizado na projeção *Universal Transverso de Mercator* (UTM-WGS 84) utilizando-se o método de amostragem dos pixels denominando *Nearest Neighbor* com polinômio de primeira ordem (Crósta, 2002).

Correção atmosférica

A presença de pixels espúrios nas imagens, causado por efeitos atmosféricos como poeiras, aerossóis e partículas suspensas entre o sensor e a superfície de captura resultam em valores digitais não equivalentes a diversos alvos presentes na imagem.

Para anular os efeitos atmosféricos, resultando em imagens com números digitais (ND) corrigidos, foi utilizada a técnica de subtração dos pixels escuros ou *Dark Object Subtraction* (DOS) proposto por Chaves (1988).

Conversão dos Níveis Digitais em radiância

Os valores dos níveis digitais contidos nas imagens *LANDSAT 8* foram convertidos para radiância e posteriormente transformados em reflectância.

Os valores utilizados na conversão das imagens foram adquiridos por meio da calibração absoluta dos sensores *LANDSAT 8* após seu

lançamento, sendo expressa por meio das seguintes equações (PRICE, 1987a,b):

$$L\lambda = \left(\frac{L_{\max\lambda} - L_{\min\lambda}}{Q_{\text{calmax}} - Q_{\text{calmin}}} \right) (Q_{\text{cal}} - Q_{\text{calmin}}) + L_{\min\lambda} \quad (\text{eq.1})$$

$$G_{\text{rescale}} = \left(\frac{L_{\max\lambda} - L_{\min\lambda}}{Q_{\text{calmax}} - Q_{\text{calmin}}} \right) \quad (\text{eq.2})$$

$$B_{\text{rescale}} = L_{\min\lambda} - \left(\frac{L_{\max\lambda} - L_{\min\lambda}}{Q_{\text{calmax}} - Q_{\text{calmin}}} \right) Q_{\text{calmin}} \quad (\text{eq.3})$$

Em que,

$L\lambda$: radiância espectral em $\text{W.m}^2 \text{ sr.}\mu\text{m}$;

Q_{cal} : radiância calibrada e rescalonada para o intervalo 0 a 255, em unidades de número digital;

Q_{calmin} : valor mínimo do pixel calibrado correspondente a $L_{\min\lambda}$ (DN);

Q_{calmax} : valor máximo do pixel quantizado calibrado correspondente a $L_{\max\lambda}$ (DN);

$L_{\min\lambda}$: radiância espectral correspondente ao $Q_{\text{cal}}=0$;

$L_{\max\lambda}$: radiância espectral correspondente ao $Q_{\text{cal}}=255$;

G_{rescale} : banda específica rescalonada com o valor de ganho em $\text{W.m}^2 \text{ sr.}\mu\text{m}$; e

B_{rescale} : banda específica rescalonada com o valor de viés em $\text{W.m}^2 \text{ sr.}\mu\text{m}$.

Conversão de radiância para reflectância

em imagem de reflectância por meio da seguinte equação (PRICE, 1987a,b):

Com intuito de determinar a fragmentação florestal para o ano de 2014, a imagem com valores de radiância foi convertida

$$\rho = \frac{(\pi \cdot L\lambda \cdot d^2)}{(E_{\text{Sol}} \lambda \cdot \cos \theta_o)} \quad (\text{eq. 4})$$

Em que,

ρ : reflectância medida ao nível do satélite, adimensional;

$L\lambda$: radiância espectral no detector, em $\text{W.m}^2 \text{ sr.}\mu\text{m}$;

d : distância Terra-Sol, em unidades astronômicas;

$E_{\text{Sol}} \lambda$: irradiância solar exoatmosférica média, em $\text{W.m}^2 \text{ sr.}\mu\text{m}$; e

θ_o : ângulo zenital solar, em graus.

Classificação supervisionada de imagens orbitais

A classificação supervisionada utiliza algoritmos cujo reconhecimento dos padrões espectrais na imagem se faz com base numa amostra de área de treinamento, que é fornecida ao

sistema de classificação pelo analista (MOREIRA, 2011). A seguir são descritas as sub-etapas metodológicas utilizadas para realização da classificação supervisionada. Neste trabalho,

utilizou-se o algoritmo da máxima verossimilhança visando realizar a classificação supervisionada das imagens orbitais referentes ao ano de 2014. Neste algoritmo é possível calcular a probabilidade

estatística de um dado valor de pixel pertencer a uma classe particular de cobertura da terra (Lillesand e Kieffer, 1994) sendo expresso pela seguinte equação:

$$P_c = [-0,5 \log_e(Det(V_c))] - [0,5(X - M_c)^T(V_c)^{-1}(X - M_c)] \quad (\text{eq. 5})$$

Em que,

P_c : probabilidade de o vetor X ser assinalado;

V_c : matriz de covariância da classe c contemplando todas as bandas ($K, \dots, L$);

$Det(V_c)$: determinante da matriz de covariância V_c ;

X : vetor de medidas dos pixels desconhecidos;

M_c : vetor das médias para cada classe c ; e

T : matriz transposta.

Após a classificação supervisionada foi verificada a acurácia a um patamar superior a 85% conforme estabelecido por Jensen (1986), por meio do coeficiente *Kappa*, que considera todos os elementos da matriz de erros ao invés de apenas aqueles que se situam na diagonal principal da mesma, ou seja, estima a soma da coluna e linha marginais (BOLFE et al., 2004; BRITO et al., 2007).

Avaliação dos índices métricos da paisagem florestal para o ano de 2014

O fluxograma metodológico contendo as duas etapas utilizadas para a implementação da metodologia visando avaliar os índices métricos da paisagem florestal para o ano de 2014, na bacia hidrográfica do rio Itapemirim, ES é apresentado na Figura 3.

Figura 3. Fluxograma metodológico das duas etapas de implementação para avaliação dos índices métricos da paisagem florestal para o ano de 2014, na bacia hidrográfica do rio Itapemirim, ES.

Processamento dos índices métricos da paisagem florestal para o ano de 2014

A caracterização e quantificação estrutural referem-se à análise da paisagem que foi realizada utilizando-se o aplicativo computacional ArcGIS 10.2, por meio da extensão de domínio público *V-LATER 2.0*, que analisa as métricas da paisagem com base em vetores (Lang e Tiede, 2003) e (Lang e Blaschke, 2007)

As métricas foram calculadas utilizando os arquivos vetoriais poligonais de fragmentação florestal obtidos na etapa anterior referente ao ano de 2014.

Para melhor comparação entre o potencial espacial para delimitação de corredores e o tamanho dos fragmentos florestais mapeados neste estudo, foram realizadas as análises dos índices de ecologia da paisagem para as seguintes classes de tamanho: (< 5 ha); (5 - 10 ha); (10 - 50 ha); (50 - 100 ha); (100 - 300 ha) e (> 300 ha).

Por meio das métricas de tamanho foi obtida a área de cada fragmento, a área total da classe fragmento florestal, a porcentagem da área da classe em relação a área total analisada, o tamanho médio dos fragmentos, o desvio padrão e coeficiente de variação. Para cálculo das métricas de área central dos fragmentos florestais, foram utilizadas as distâncias de 40, 60, 100, 120, 140 e 200 metros de borda, obtendo diferentes cenários para análises.

O detalhamento das métricas utilizadas neste estudo, juntamente com suas siglas e significados pode ser visualizado no Quadro 2.

A base de dados utilizada para a elaboração do mapa de fragmentos florestais com potencial espacial para delimitação de corredores ecológicos foi composta por seis conjuntos de dados: dimensão fractal, fator de forma, área do fragmento mais próximo, distância do vizinho mais próximo, áreas núcleo e área total do fragmento, obtidos na etapa processamento dos índices métricos da paisagem florestal.

Resultados e discussão

Fragmentação florestal

Foram identificados 11.749 fragmentos florestais em toda área representativa da bacia hidrográfica do rio Itapemirim, ES, que somados correspondem a uma área de 1.292,12 km². Esse valor corresponde a 22% de cobertura florestal

remanescente na área de estudo. Utilizando aerofotos do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA, sem limite de área para inclusão de fragmentos, Pirovani (2010) em trabalho realizado na sub-bacia do rio Itapemirim, que abrange 8 dos 16 municípios da bacia hidrográfica do rio Itapemirim, ES, encontrou resultados similares, 3.285 fragmentos, que representam 17,73% da cobertura florestal original.

A localização dos fragmentos florestais identificados na bacia hidrográfica do rio Itapemirim por meio da metodologia de classificação supervisionada de imagens orbitais pode ser visualizada na Figura 4.

O maior fragmento florestal delimitado apresentou uma área de 8.100,94 ha, localizado entre os municípios de Ibitirama, Iúna e Irupi, correspondente ao Parque Nacional do Caparaó. A mensuração de grandes fragmentos, que possuem uma área superior a 1.000 ha, são raros na área em estudo, desse modo, foram delimitados apenas 07 fragmentos florestais que se enquadram nessa classe. Entretanto, mapeou-se 28 fragmentos florestais com áreas superiores a 500 ha.

A maior parte dos fragmentos mapeados possui área inferior a 5 ha, 72% do número total de fragmentos identificados, entretanto representam 10,3% da cobertura florestal total. Por outro lado, os fragmentos de tamanho grande, maiores que 50 ha, refletem 3% do número total de fragmentos, mas constituem 52,3% da cobertura florestal.

Pirovani (2010), ao realizar a análise espacial dos fragmentos florestais na sub-bacia hidrográfica do rio Itapemirim, ES, obteve resultados semelhantes com este estudo ao constatar que a maior parte dos fragmentos florestais são compostos com área inferior a 5 ha, correspondendo a 74,15% do número de fragmentos da área estudada, apesar do número elevado, a soma das áreas dessa classe de tamanho não ultrapassa 12,1% da área total.

Resultados também semelhantes foram observados por Juvanol (2011) ao analisar os fragmentos florestais no corredor ecológico entre os parques estaduais de Forno Grande e Pedra Azul, ES. Neste estudo o autor comprovou que a maior parte dos remanescentes foi caracterizada por fragmentos menores que 5 ha, correspondendo a 83% do número total de fragmentos florestais encontrados. Na Figura 5 observam-se a localização dos fragmentos distribuídos em classes de área.

Quadro 2. Índices de Ecologia da Paisagem processados por meio da extensão *V-LATE 2.0* ao nível de classe dos fragmentos florestais na bacia hidrográfica do rio Itapemirim, ES. Fonte: (McGarigal e Marks, 1994) e (McGarigal e Marks 1995).

Grupo	Sigla	Métrica	Unid.	Observação
Área	CA	Área da classe	ha	Somatório das áreas de todas as manchas ou fragmentos florestais
Densidade e Tamanho	MPS	Tamanho médio da mancha	ha	Soma do tamanho das manchas dividido pelo número de manchas
	NUMP	Número de manchas	Adim.	Número total de manchas na paisagem ou na classe
	PSSD	Desvio padrão do tamanho da mancha	ha	Razão da variância do tamanho das manchas
	PSCov	Coefficiente de variação do tamanho da mancha	(%)	Desvio padrão do tamanho da mancha dividido pelo tamanho médio da mancha, multiplicado por 100
Borda	TE	Total de bordas	m	Soma de perímetro de todas as manchas
	ED	Densidade de borda	m/ha	Quantidade de extremidades relativa a área da paisagem.
Forma	MSI	Índice de forma	Adim.	É igual a um quando todas as manchas forem circulares e aumenta com a crescente irregularidade da forma da mancha
	MPFD	Dimensão fractal da mancha média	Adim.	Os valores se aproximam de um para formas com perímetro simples e chega a dois quando as formas forem complexas
Área Central	TCA	Área central total	ha	O tamanho total das manchas centrais
	MCA	Área central média	ha	O tamanho médio das manchas de área central
	NCA	Numero de áreas centrais	Adim.	Número total de áreas centrais dentro da paisagem ou dentro de cada mancha ao nível de classe
	CASD	Desvio padrão de área central	ha	Raiz da variância das médias das área centrais
	CACov	Coefficiente de variação de área central	(%)	Representa a variabilidade em tamanho das áreas centrais disjuntas à área central média
	TCAI	Índice de área central total	(%)	Medida relativa de área central da paisagem
Proximidade	MNN	Distância média do vizinho mais próximo	m	Média das distâncias para classes individuais ao nível de classe e a distância média da classe vizinha mais próxima ao nível de paisagem

Figura 4. Fragmentos florestais identificados na bacia hidrográfica do rio Itapemirim por meio da metodologia de classificação supervisionada de imagens orbitais LANDSAT 8 OLI.

Figura 5. Localização geográfica dos fragmentos florestais, distribuídos em classes de tamanho na bacia hidrográfica do rio Itapemirim, ES.

Na Figura 6 é apresentada a relação do número de fragmentos por classe de tamanho, com a área total de cada classe em hectares.

Figura 6. Relação do número de fragmentos por classe de tamanho, com a área total de cada classe em hectares.

Na Figura 7 é apresentada a relação do número de fragmentos por classe de tamanho, com a área total de cada classe em porcentagem.

Figura 7. Relação do número de fragmentos por classe de tamanho, com a área total de cada classe em porcentagem.

Os grandes fragmentos possuem menor percentual em número, porém representam uma parcela maior da área total dos remanescentes florestais mapeados (52,3%), enquanto que, embora os fragmentos da classe de tamanho pequenos possam maior número de unidades, a soma de suas áreas representa o menor percentual da área total de fragmentos florestais mapeados (10,3%).

A relação inversa entre número e área de fragmentos florestais observados neste estudo, também concorda com o trabalho realizado por Almeida (2008) e Pirovane (2010), em que autores constataram que os fragmentos grandes embora em menor número, são responsáveis pela maior cobertura florestal em área.

Nota-se que a fragmentação florestal da área em estudo ocorreu de forma bem intensa, o que é fato notório no bioma Mata Atlântica. Ribeiro et al. (2009), realizando um estudo de

ampla escala para o bioma, revelaram uma séria situação, em que mais de 80% dos fragmentos florestais possuem menos de 50 ha de área.

O principal problema deste padrão é que, quanto mais área florestada estiver contida em pequenos fragmentos, mais intensamente estariam sujeitas ao efeito de borda (Rodrigues, 2009).

De acordo com Forman e Godron (1986) os grandes fragmentos são importantes para a manutenção da biodiversidade e de processos ecológicos em larga escala, no entanto, os pequenos remanescentes também cumprem funções relevantes ao longo da paisagem, podendo funcionar como elementos de ligação, trampolins ecológicos (*stepping stones*) entre grandes áreas. Os autores ressaltam ainda que, enquanto os grandes fragmentos possibilitam a manutenção da biodiversidade e de processos ecológicos em larga escala, os pequenos promovem um aumento no

nível de heterogeneidade da matriz e atuam como refugio para espécies.

Os fragmentos com pequenas áreas merecem uma atenção especial, sob pena de serem extintos com o decorrer dos anos, caso não sejam adotadas propostas de manejo que promovam um aumento de sua área e uma interligação com fragmentos próximos e maiores, pois, segundo Saunders et al., (1991) remanescentes de área pequena apresentam frágeis padrões de sustentabilidade ao longo do tempo.

Dentro dos limites dos municípios inseridos na área de estudo, Vargem Alta destaca-

se com 44,54% de sua área ocupada por fragmentos florestais, totalizando 9.580,91 ha. Entretanto, o município de Castelo com 18.367,63 ha, apresentou a maior área de remanescentes florestais. Presidente Kennedy é o município com menor área, 866,23 ha. Ibitirama possui o maior fragmento florestal da área de estudo, 6.391,29 ha.

Na Tabela 1 é apresentado os resultados da análise da fragmentação florestal nos limites dos municípios inseridos na área de estudo.

Tabela 1. Análise da fragmentação florestal nos limites dos municípios inseridos na bacia hidrográfica do rio Itapemirim, ES

Municípios	Municípios		Fragmentos Florestais		
	Área total (ha)	Área/Fragmentos (%)	Número de fragmentos	Área Total (ha)	Maiores (ha)
Alegre	77298,26	16,12	1658	12459,18	465,14
Átilio Vivacqua	22686,00	19,04	419	4320,07	1232,17
Cachoeira de Itapemirim	87597,27	20,46	1479	17920,39	718,75
Castelo	66879,60	27,46	1494	18367,63	1588,76
Conceição do Castelo	36361,78	31,83	926	11572,75	1393,74
Ibatiba	20976,65	12,35	573	2591,62	314,55
Ibitirama	32995,21	25,89	490	8543,76	6391,29
Irupi	18372,34	12,64	474	2321,70	209,91
Itapemirim	42343,16	11,06	464	4681,88	656,16
Iúna	27863,93	16,87	613	4701,77	1463,25
Jerônimo Monteiro	16230,85	14,62	374	2372,43	99,62
Muniz Freire	67887,06	23,17	1752	15726,40	1700,40
Muqui	26096,66	25,21	526	6579,92	766,15
Presidente Kennedy	6737,70	12,86	120	866,23	262,58
Vargem Alta	21510,11	44,54	436	9580,91	2044,30
Venda Nova do Imigrante	18690,83	34,01	400	6356,19	865,90

Análise dos fragmentos florestais por meio de métricas da paisagem

Os índices de ecologia da paisagem para as classes de tamanho dos fragmentos da área de estudo são apresentados na Tabela 2.

A média de tamanho para todos os fragmentos quando analisados conjuntamente, sem distinção de classes de tamanho, apresentou valor de 10,99 ha, entretanto, o valor do desvio padrão do tamanho da mancha, 98,47 ha e o coeficiente de variação, 895,99%, indicam a existência de fragmentos com valores de área muito acima e/ou muito abaixo do valor médio. Esse mesmo comportamento pôde ser observado para a classe de tamanho muito grande, com média de tamanho de 857,78 ha e PSSD de 1.206,57 ha. O cálculo da densidade de borda para todos os fragmentos contabilizou 162,79 m/ha, resultado este que poderia nos levar a concluir que a área de estudo apresenta bom potencial espacial

para a conservação, todavia, a análise das métricas por classes de tamanho apresentaram resultados antagônicos.

As métricas de borda revelaram menor valor do total de borda (TE) para a classe fragmentos grandes. A densidade de borda (ED) da classe sugere que os fragmentos sofrem menor influência dos efeitos de borda. No entanto, a classe fragmentos muito grandes (> 300 ha) mesmo apresentando (TE) relativamente maior, apresentou menor valor de (ED), 40,93 m/ha. Este resultado é explicado em função da área total da classe, 43.746,87 ha, 30,5% da área total dos fragmentos florestais remanescentes da área de estudo.

A classe fragmentos pequenos (< 5 ha) apresentou a maior (ED), 407,34 m/ha, indicando que esta classe se encontra sob maior influência dos efeitos de borda.

Tabela 2. Índices de ecologia da paisagem calculados para os fragmentos florestais nos limites da bacia hidrográfica do rio Itapemirim, ES

Índice	Unidade	Classes de tamanho					
		Pequeno	Médio		Grande		Muito Grande
		(< 5 ha)	(5 - 10 ha)	(10 - 50 ha)	(50 - 100 ha)	(100 - 300 ha)	(> 300 ha)
CA	(ha)	14.685,80	9.714,48	29.780,87	14.018,19	17.266,22	43.746,87
NUMP	(Adm)	8394	1581	1414	204	105	51
MPS	(ha)	1,71	7,05	21,06	68,72	164,44	857,78
PSSD	(ha)	1,16	1,40	10,27	13,83	54,48	1206,57
PSCoV	(%)	68,13	19,85	48,74	20,12	33,13	140,66
TE	(km)	5982,14	2372,97	5128,93	1985,19	1987,05	3484,74
ED	m/ha	407,34	244,27	172,22	141,62	115,08	40,93
MSI	(Adm)	1,56	1,83	2,23	3,30	4,16	6,60
MPFD	(Adm)l	1,35	1,33	1,33	1,36	1,37	1,39
MNN	(m)	794,88	640,63	424,58	687166,33	1484,819	70170,38

*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); MPFD (Dimensão fractal da mancha média); TE (Total de bordas); ED (Densidade de borda); MNN (Distância média do vizinho mais próximo).

A comparação dos valores de índice de forma (MSI) das classes de tamanho dos fragmentos florestais revelam que os fragmentos pequenos, quando comparados com as demais classes, apresentam formato mais regular, 1,63. Os formatos tornam-se mais irregulares com o aumento de tamanho dos fragmentos, sugerindo que estes sejam mais afetados pelo efeito de borda.

No entanto, apesar dos índices de forma indicar formatos mais irregulares para os fragmentos médios e grandes, e regulares para os fragmentos pequenos, o tamanho e a forma do fragmento podem estar intimamente ligados à borda. Quanto menor o fragmento ou mais alongado, mais intenso será o efeito de borda, sendo assim, mesmo apresentando formatos mais irregulares, os fragmentos médios e grandes estão sob menor efeito de borda em função de suas áreas serem maiores.

O grau de isolamento dos fragmentos, expresso pela distância média do vizinho mais próximo (MNN) apresentou resultado semelhante para as classes de tamanhos pequenos e médios. Os fragmentos de tamanho grandes, subclasse (50 a 100 ha) e muito grandes (> 300 ha) apresentaram maior (MNN), respectivamente 687.166,33 m, 70.170,38 m. Observou-se que os fragmentos para as classes de tamanhos pequenos e médios possuem baixo grau de isolamento, quando comparados com os fragmentos grandes e muito grandes. Assim é importante considerar os fragmentos de menor tamanho, presentes em maior número na matriz da paisagem, como elementos de conexão. Este padrão apresentado possibilita a interligação dos fragmentos por meio de corredores ecológicos.

Os valores das métricas relativos à área central foram expressos nas Tabelas 3, 4, 5 e 6, objetivando investigar qual faixa de borda exerce maior influência na área central dos fragmentos.

Na Tabela 3 observa-se que para uma borda de 40 metros, os fragmentos pequenos apresentaram área central total (TCA) de 1.252,39 ha que correspondem a um índice de área central total (TCAI) de 8,53%. Isto significa que da área total dos fragmentos pequenos, 14.685,80 ha, apenas 8,53% correspondem a área de interior, logo, 91,47 % da área total dos fragmentos pequenos estão sob o efeito de borda. Este

comportamento favorece o desenvolvimento de espécies generalistas, predadoras e parasitas invasoras, que agem principalmente nas bordas dos fragmentos.

Foram encontrados 4.597 áreas centrais (NCA) entre os fragmentos pequenos. Dividindo a área central total por esse número têm-se uma área central média (MCA) com valor muito baixo para fins de conservação que atinge 0,27 ha.

Tabela 3. Valores dos índices de ecologia da paisagem relativos às métricas de área central utilizando diferentes distâncias de faixa sob efeito de borda para a classe de tamanho dos fragmentos florestais pequenos

Distância da Borda (m)	Classe de tamanho dos fragmentos florestais pequenos (< 5 ha)					
	TCA	TCAI	CACoV	CASD	NCA	MCA
200	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,0	0,00000
140	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,0	0,00000
120	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,0	0,00000
100	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,0	0,00000
60	0,00	0,0009	200,51	0,0009	13,0	0,00004
40	211,21	1,4382	356,19	0,1068	1430,0	0,03000
	1252,39	8,5279	217,05	0,2975	4597,0	0,27243

* TCA (Área central total); TCAI (Índice de área central total); MCA (Área central média); NCA (Número de áreas centrais); CACoV (Coeficiente de variação de área central); CASD (Desvio padrão de área central).

Na Tabela 4, a área central total (TCA) dos fragmentos médios, apresenta para o efeito de borda de 40 m, 15.500,12 ha, com valores para o (TCAI), de 26,82% e 43,3%, respectivamente para as subclasses (5 a 10 ha) e (10 a 50 ha). Esses índices indicam um menor efeito de borda para a classe de fragmentos médios, quando comparado

aos fragmentos pequenos. Estes resultados podem ser traduzidos como favoráveis do ponto de vista conservacionista, pois exibem atributos espaciais que sugerem menor influência da matriz da paisagem, uma vez que, as unidades da matriz, podem, muitas vezes, serem fontes de perturbações.

Tabela 4. Valores dos índices de ecologia da paisagem relativos às métricas de área central utilizando diferentes distâncias de faixa sob efeito de borda para a classe de tamanho dos fragmentos florestais médios

Distância da Borda (m)	Classe de tamanho dos fragmentos florestais médios											
	(5 - 10 ha)						(10 - 50 ha)					
	TCA	TCAI	CACoV	CASD	NCA	MCA	TCA	TCAI	CACoV	CASD	NCA	MCA
200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00000	13,54	0,05	1115,20	0,19	35	0,02
140	0,02	0,0003	2693,60	0,0005	3,0	0,00002	543,51	1,83	286,42	1,05	572	0,37
120	3,04	0,0300	956,72	0,0211	60,0	0,00221	1174,46	3,94	217,51	1,59	989	0,73
100	47,42	0,4900	314,90	0,1077	322,0	0,03421	2358,35	7,92	177,7218	2,24	1594	1,26
60	1011,08	10,410	114,76	0,6870	1572,0	0,59863	7805,72	26,21	144,7321	4,03	2795	2,78
40	2605,76	26,8200	98,51	1,2137	2107,0	1,23204	12894,36	43,3	139,38	5,51	3261	3,95

* TCA (Área central total); TCAI (Índice de área central total); MCA (Área central média); NCA (Número de áreas centrais); CACoV (Coeficiente de variação de área central); CASD (Desvio padrão de área central).

Os grandes fragmentos, (50 a 100 ha) e (100 a 300 ha), constantes na Tabela 5, para o efeito de borda de 40 m, exibiram um total de área central (TCA) de 17.530,66 ha, o (TCAI) correspondente

foi respectivamente, 51,36 e 59,84%. A subclasse (100 a 300 ha) apresentou maior valor de área central média (MCA), 12,55 ha. Estes resultados são considerados adequados no contexto dos

índices da ecologia da paisagem, pois, a métrica de área central é considerada medida da qualidade de habitats, uma vez que indicam quanto há realmente

de área efetiva de um fragmento, após descontar-se o efeito de borda.

Tabela 4. Valores dos índices de ecologia da paisagem relativos às métricas de área central utilizando diferentes distâncias de faixa sob efeito de borda para a classe de tamanho dos fragmentos florestais grandes

Distância da Borda (m)	Classe de tamanho dos fragmentos florestais grandes											
	(50 - 100 ha)						(100 - 300 ha)					
	TCA	TCAI	CACoV	CASD	NCA	MCA	TCA	TCAI	CACoV	CASD	NCA	MCA
200	195,10	1,39	289,87	2,68	97	0,92	1039,81	6,02	193,27	11,04	163	5,71
140	895,42	6,39	183,9054	4,96	302	2,70	2543,268	14,73	196,44	7,33	346	7,33
120	1421,18	10,14	174,72	5,86	403	3,35	3410,283	19,75	198,65	16,40	413	8,26
100	2199,89	15,69	180,1091	6,70	589	3,72	4546,621	26,33	207,53	18,43	512	8,88
60	4956,14	35,36	178,45	9,98	886	5,59	7905,077	45,78	224,27	24,12	785	10,76
40	7199,30	51,36	177,61	12,89	992	7,26	10331,36	59,84	241,93	30,37	823	12,55

* TCA (Área central total); TCAI (Índice de área central total); MCA (Área central média); NCA (Número de áreas centrais); CACoV (Coeficiente de variação de área central); CASD (Desvio padrão de área central).

Os melhores resultados de área central para uma borda de 40 metros foram encontrados para os fragmentos muito grandes, (> 300 ha), Tabela 6. A (TCA) apresentou 30.902,64 ha, com

(TCAI) 70,64% e área central média, (MCA) de 28,40 ha. Hill e Curran (2003),

estudando os efeitos da área, forma e isolamento de fragmentos florestais na diversidade de espécies arbóreas, concluíram que a área é a variável mais importante na conservação de espaços silvestres, uma vez que grandes áreas contem o maior número de espécies e possuem a mais elevada proporção de espécies raras.

Tabela 5. Valores dos índices de ecologia da paisagem relativos às métricas de área central utilizando diferentes distâncias de faixa sob efeito de borda para a classe de tamanho dos fragmentos florestais muito grandes.

Distância da Borda (m)	Classe de tamanho dos fragmentos florestais muito grandes					
	(> 300 ha)					
	TCA	TCAI	CACoV	CASD	NCA	MCA
200	8443,12	19,30	413,86	98,71	354	23,85
140	13513,06	30,89	417,74	106,91	528	25,59
120	15858,96	36,25	484,45	120,80	636	24,94
100	18660,82	42,66	510,50	129,43	736	25,35
60	26049,12	59,55	611,96	162,83	979	26,61
40	30902,64	70,64	635,03	180,37	1088	28,40

* TCA (Área central total); TCAI (Índice de área central total); MCA (Área central média); NCA (Número de áreas centrais); CACoV (Coeficiente de variação de área central); CASD (Desvio padrão de área central).

Com o aumento da distância de borda os fragmentos sofreram significativa redução das métricas de áreas central, com destaque para os fragmentos pequenos que, alcançaram para uma distância de borda de 60 metros, TCAI de 1,44% e atingindo resultados nulos para bordas maiores. Os fragmentos grandes apresentaram comportamento semelhante, com decréscimos nos índices de área

central, contudo menos significativos. Na Figura 8 é apresentado o comportamento do índice de área central total com o aumento da distância de borda para as classes de tamanho dos fragmentos florestais.

Figura 8. Comportamento do índice de área central total com o aumento da distância de borda para as classes de tamanho dos fragmentos florestais.

A distância de borda de 100 metros levou as métricas de área central dos fragmentos pequenos a valores nulos, sendo o TCAI de 0,0%. O TCAI para os fragmentos médios, (5 a 10 ha) e (10 a 50 ha) foi de, respectivamente, 0,5% e 7,92%, para a mesma distância de borda. Nos fragmentos grandes (100 a 300 ha), e muito grandes (> 300 ha) a variações nas métricas de áreas centrais foram menores conforme o aumento na distância de borda. Quando considerada uma borda de 200 metros, para estas classes, o aumento da distância de borda não levou à total dominação do efeito de borda como ocorrido com os fragmentos pequenos e médios. Isso significa que, sob estas condições as classes de tamanhos pequenos e médios estariam totalmente dominadas pelo efeito de borda, logo, mais susceptíveis à completa influência da matriz.

A extensão dos efeitos de borda depende das condições do meio, assim como das espécies e dos fatores ecológicos considerados. Por exemplo, Kapos (1989), analisando a floresta amazônica, constatou o aumento das temperaturas e a redução da umidade do ar nos 40 primeiros metros, enquanto a umidade do solo é principalmente mais baixa nos 20 metros iniciais. O problema de parasitismo e de predação dos ninhos nas bordas das florestas decíduas do Leste dos Estados Unidos se amenizam muito depois dos 100 metros iniciais (Gates e Gysel, 1978; Brittingham e Temple, 1983).

Observa-se na Figura 9 que o número de áreas centrais decresce com o aumento da distância

de borda. No entanto, para os fragmentos pequenos esta redução é abrupta, com (NCA) igual a zero, quando considerada uma distância de borda com 100 m. Para fragmentos médios o (NCA) decai proporcionalmente com o aumento das faixas de borda. Os fragmentos grandes apresentaram diminuição nas métricas de áreas centrais mais gradativas, com menores variações.

Na Figura 10 observam-se os fragmentos muito grandes (>300 ha) e grandes (100 a 300 ha) com valores de área central média (MCA) superiores às demais classes de tamanhos. As outras classes de tamanho apresentaram valores relativamente similares, atingindo valores iguais a zero com o aumento da distância de borda. A explicação para os valores apresentados de MCA no grupo dos fragmentos muito grandes está na presença de fragmentos muito superiores em área.

Diversos estudos apontam para diferentes faixas de borda, contudo, neste trabalho, a melhor distância para estimar as áreas centrais dos fragmentos seria uma distância máxima de 40 metros, pois, valores acima deste eliminariam por completo os fragmentos pequenos, os quais predominam na área de estudo.

Os resultados das métricas de área central apontam, neste estudo, para o fato de que quanto maior o tamanho do fragmento, maior será sua área central total (TCA) e menor será o percentual de sua área afetado pelo efeito de borda.

Figura 9. Comportamento do número de áreas centrais com o aumento da distância de borda para as classes de tamanho dos fragmentos florestais.

Figura 10. Comportamento da área central média com o aumento da distância de borda para as classes de tamanho dos fragmentos florestais.

Conclusões

O bioma Mata Atlântica presente na bacia hidrográfica do rio Itapemirim, é representado, em sua maioria, por fragmentos florestais pequenos, menores que 5 ha, indicando um alto grau de fragmentação.

Os fragmentos delimitados como pequenos, embora em maior número, representaram a minoria em termos de contribuição em área dos fragmentos florestais, porém podem estar funcionando como trampolins ecológicos entre maiores, consolidando sua importância.

Para a realização de estudos com fragmentos florestais na bacia hidrográfica do rio Itapemirim, ES, seria indicada uma distância máxima de borda de 40 metros, pois valores acima eliminariam por completo os fragmentos pequenos, os quais predominam na área de estudo.

Quanto mais irregulares os formatos, maior foi o total de bordas dos fragmentos. Quanto maior a área, menor foi a influência do efeito de borda. Assim, para que fragmentos sujeitos a um maior efeito de borda tenham sua biodiversidade protegida, é fundamental aumentar suas áreas ou promover a sua interligação por meio de corredores ecológicos.

A metodologia utilizada por meio de técnicas de Sistemas de Informações Geográficas e sensoriamento remoto mostraram-se eficiente, produzindo de forma automatizada, informações sobre as dimensões e distribuições espaciais na paisagem.

Referências

- Almeida, C.G., 2008. Análise espacial dos fragmentos florestais na área do Parque Nacional dos Campos Gerais, Paraná. Dissertação (Mestrado), Ponta Grossa, UEPG.
- Ayres, J.M.; Fonseca, G.A.; Rylands, A.B.; Queiroz, H.L.; Pinto, L.P.; Masterson, D.; Cavalcanti, R.B., 2005. Os corredores ecológicos das florestas tropicais do Brasil. 1 ed. SCM, Belém.
- Bolfe, E.L.; Pereira, R.S.; Madruga, P.R. A.; Fonseca, E.L.D., 2004. Avaliação da classificação digital de povoamentos florestais em imagens de satélite através de índices de acurácia. Revista Árvore 28. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622004000100011>. Acesso: 28 Ago. 2018.
- Brito, A.D.; Mello, J.M.D.; Carvalho, L.M.T.D.; Toneli, C.A.Z.; Ferreira, M.Z.; Scolforo, J.R.S., 2007. Avaliação da acurácia do “mapeamento da flora nativa e dos reflorestamentos do Estado de Minas Gerais”. in Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1615-1617.
- Brittingham, M.C. Temple, S.A., 1983. Have Cowbirds caused forest songbirds to Decline, Bioscience 33. Disponível: <https://doi.org/10.2307/1309241>. Acesso: 03 Jul. 2019.
- Castro, G.C., 2004. Análise da estrutura, diversidade florística e variações espaciais do componente arbóreo de corredores de vegetação na região do Alto Rio Grande, MG. Dissertação (Mestrado) Lavras, UFLA.
- Chaves, J.P.S., 1988. Na improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. Remote Sensing of Environment 24. Disponível: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90019-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90019-3). Acesso: 09 Nov. 2018.
- Crósta, A.P., 2002. Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto, 1 ed. Rev, Campinas.
- Dai, X.L.; Khorram, S., 1998. The effect of image Misregistration on the Accuracy of Remotely Sensed Change Detection. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing 36. Disponível: <https://doi.org/10.1109/36.718860>. Acesso: 13 Out. 2018.
- Forman, R.T.T.; Godron, M., 1986. Landscape ecology, 1 ed. Wiley & Sons, New York.
- Fundação SOS Mata Atlântica. 2014. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica. São Paulo.
- Gates, J.E.; Gysel, L.W., 1978. Avian nest dispersion and fledging success in field forest ecotones. Ecology 59, 871-883.
- Harris, L.D., 1984. The fragmented forest: island biogeography theory and the preservation of biotic diversity, 1 ed. Chicago.
- Hill, L.J.; Curran, P.J., 2003. Area, shape and isolation of tropical forest fragments: effects on tree species diversity and implications for conservation. Journal of Biogeography 30. Disponível: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2003.00930.x>. Acesso: 23 Set. 2019.
- Juvanhol, R.S., 2011. Análise espacial de fragmentos florestais no corredor ecológico entre os parques estaduais de Forno Grande e Pedra Azul, ES. Monografia (Graduação) Alegre, UFES.
- Kapos, V., 1989. Effects of isolation on the water status of forest patches in the Brazilian Amazon. Journal of Tropical Ecology 2. Disponível:

- <https://doi.org/10.1017/S0266467400003448>. Acesso: 14 Mai. 2018.
- Lang, S.; Tiede, D., 2003. V-LATE Extensão für ArcGIS - vektorbasiertes Ferramenta zur quantitativen Landschaftsstrukturanalyse, ESRI anwenderkonferenz. Innsbruck.
- Lang, S.; Blaschke, T., 2007. Landschaftsanalyse mit GIS, 1 ed. UTB-Reihe, Stuttgart.
- Lillesand, T.M.; Kiefer, R.W., 1994. Remote sensing and image interpretation, 2 ed. John Wiley & Sons, Wisconsin-Madison.
- Mcgarigal, K.; Marks B.J., 1994. Fragstats: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. General Technical Report. Disponível: <https://doi.org/10.2737/PNW-GTR-351>. Acesso: 22 Out. 2019.
- Mcgarigal, K.; Marks, B.J., 1995. Fragstats: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. General Technical Report. Disponível: <https://doi.org/10.2737/PNW-GTR-351>. Acesso: 13 Dez. 2018.
- Moreira, M.A., 2011. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação, 2 ed. UFV, Viçosa.
- Muchailh, M.C.; Roderjan, C.V.; Campos, J.B.; Machado, A.L.T.; Curcio, G.R., 2010. Metodologia de planejamento de paisagens fragmentadas visando a formação de corredores ecológicos. Revista Floresta 40, 147-162.
- Murcia, C., 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. Trends in Ecology and Evolution 10. Disponível: [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(00\)88977-6](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)88977-6). Acesso: 11 Jul. 2018.
- NASA. National Aeronautics and Space Administration, 2014. Merrit.
- Pirovani, D.B., 2010. Fragmentação florestal e dinâmica da ecologia da paisagem na bacia hidrográfica do rio Itapemirim. Dissertação (Mestrado) Alegre, UFES.
- Price, J.C., 1987. Calibration of satellite radiometric and the comparison of vegetation indices, Remote Sensing of Environment 21. Disponível: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(87\)90003-4](https://doi.org/10.1016/0034-4257(87)90003-4). Acesso: 09 Abr. 2019.
- Price, J.C., 1987. Radiometric calibration of satellite sensors in the visible and near infrared: history and outlook. Remote Sensing of Environment 22. Disponível: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(87\)90025-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(87)90025-3). Acesso: 18 Dez. 2018.
- Primack, R.B.; Rodrigues, E., 2001. Biologia da Conservação, 1 ed. CDD, Londrina.
- Ribeiro, M.C.; Metzger, J.P.; Alexandre Camargo Martensen, A.C.; Ponzoni, F.J.; Hirota, M.M., 2009. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. Biological Conservation v 142. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.021>. Acesso: 21 Jul. 2018.
- Rodrigues, R.R., 2009. Pacto pela restauração da mata atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal, 1 ed. LERF, Piracicaba.
- Seoane, C.E.; Diaz, V.S.; Santos, T.L.; Froufe, L.C.M., 2010. Corredores ecológicos como ferramenta para a desfragmentação de florestas tropicais. Pesquisa Florestal Brasileira 30, 207-216.
- Vidolin, G.P.; Biondi, D.W. A. Análise da estrutura da paisagem de um remanescente de floresta com Araucária, Paraná, Brasil. Revista Árvore 35. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000300014>. Acesso: 15 Mai. 2018.
- Volatão, C.F.S., 1998. Trabalho de análise espacial – Métricas do Fragstats. São José dos Campos, INPE.