

O USO DAS MÉTRICAS DE ECOLOGIA DA PAISAGEM PARA ANÁLISE DOS PADRÕES ESPACIAIS DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA BOA VISTA

AMORIM, Amanda Trindade¹
SOUSA, Jocy Ana Paixão de²
PIROLI, Edson Luís³

Recebido (Received): 14-10-2020 Aceito (Accepted): 04-03-2021

Como citar este artigo: AMORIM, A. T.; SOUSA, J. A. P.; PIROLI, E. L. O uso das métricas de ecologia da paisagem para análise dos padrões da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão da Boa Vista. **Formação (Online)**, v. 28, n. 53, p. 625-642, 2021.

Resumo

A análise dos padrões espaciais de uma região é possível a partir da utilização das métricas de ecologia da paisagem que permitem descrever de forma quantitativa a composição estrutural e a configuração espacial da paisagem, fornecendo um suporte científico que evidencia as suas condições funcionais. Diante disso, o presente trabalho objetivou mapear e analisar as métricas da paisagem total e dos fragmentos florestais de uma sub-bacia hidrográfica do estado de São Paulo, utilizando as geotecnologias que permitem o levantamento e o processamento de dados geográficos de maneira ágil. Para isso foi realizado o mapeamento do uso e cobertura da terra e a classificação dos fragmentos florestais. Posteriormente, foram calculadas as métricas de área, tamanho e densidade, borda, forma e área central da paisagem total e dos fragmentos florestais da sub-bacia. Os resultados demonstraram que a paisagem da sub-bacia é bastante fragmentada em termos de uso e cobertura da terra, havendo a predominância de atividades antrópicas, especialmente de cultura temporária e pastagem. Quanto às métricas da paisagem foi possível observar que, no geral, as atividades antrópicas possuem formas menos complexas e com menores quantidades de bordas, evidenciando que quando a sociedade ocupa o território, há uma tendência geométrica de ocupação. Quanto aos fragmentos florestais, se mostraram mais complexos, o que possivelmente é resultante dos processos de supressão da vegetação nativa. Estudos desta natureza auxiliam o estabelecimento de estratégias de conservação e recuperação ambiental, promovendo a manutenção da biodiversidade e o restabelecimento do equilíbrio ecológico.

Palavras-chave: Fragmentação da paisagem. Equilíbrio ecológico. Geotecnologias.

THE USE OF METRICS IN LANDSCAPE ECOLOGY FOR THE ANALYSIS OF SUB-WATERSHED SPATIAL PATTERNS IN RIBEIRÃO DA BOA VISTA

Abstract

The analysis of spatial patterns in a region is possible from the use of metrics of landscape ecology which allow for a quantitative description of the structural composition and spatial configuration, providing evidence-based scientific support of its functional conditions. Given this, the present study aimed to map and analyze the total landscape metrics and the forest fragments of a sub-watershed in the state of São Paulo, using the geotechnologies which enable the survey and processing of spatial data in an agile manner. To this end, we have carried out land use and land cover mapping, and the forest patch classification. Subsequently, area metrics, size & density, edge, shape and total landscape centre area and sub-basin forest fragments had been calculated. The results have shown that the sub-basin landscape is rather fragmented in terms of land use and cover, there being a predominance of anthropogenic activities, especially of temporary crops and pastures. As for landscape metrics, it was possible to note that, on the whole, the anthropic activities have less complicated forms and with smaller edge quantities, highlighting that when society occupies the land, there is geometric occupancy trend. Regarding forest patches

¹ Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente. E-mail: amanda.amorim@unesp.br; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7359-6859>.

² Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba. E-mail: jocy_belem@hotmail.com; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0937-786X>.

³ Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente. E-mail: edson.pirolis@unesp.br; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3350-2651>.

have proven more complex, possibly resulting from suppression of native vegetation. Studies of this kind support the establishment of conservation strategies and environmental restoration by promoting biodiversity maintenance and ecological balance re-establishment.

Keywords: Landscape fragmentation. Ecological balance. Geotechnologies.

EL USO DE LAS MÉTRICAS DE ECOLOGÍA DEL PAISAJE PARA ANALIZAR LOS PATRONES ESPACIALES DE LA SUBCUENCA HIDROGRÁFICA DE RIBEIRAO DE BOA VISTA

Resumen

El análisis de los patrones espaciales de una región se puede realizar a partir de la utilización de las métricas de la ecología del paisaje que permiten describir de forma cuantitativa la composición estructural y la configuración espacial del paisaje, proporcionando un soporte científico que evidencia sus condiciones funcionales. Ante esto, el presente trabajo tuvo como objetivo el mapear y analizar las métricas del paisaje total y de los fragmentos forestales de una subcuenca hidrográfica del estado de San Pablo, utilizando la geotecnología que permite el relevamiento y el procesamiento de datos geográficos de manera ágil. Para esto se realizó el mapeo del uso y cobertura de la tierra y la clasificación de los fragmentos forestales. Posteriormente, se calcularon las métricas de área, tamaño y densidad, borde, forma y área central del paisaje total y de los fragmentos forestales de la subcuenca. Los resultados demostraron que el paisaje de la subcuenca es muy fragmentado en términos de uso y cobertura del suelo, predominando las actividades humanas, especialmente de cultivo temporal y pastoreo. En cuanto a las métricas del paisaje fue posible observar que, en general, las actividades humanas tienen formas menos complejas y con menores cantidades de bordes, poniendo en evidencia que cuando la sociedad ocupa el territorio, hay una tendencia geométrica de ocupación. En relación a los fragmentos forestales, se mostraron más complejos, lo que posiblemente es el resultado de los procesos de supresión de la vegetación nativa. Estudios de esta naturaleza ayudan para establecer estrategias de conservación y recuperación ambiental, favoreciendo la conservación de la biodiversidad y el restablecimiento del equilibrio ecológico.

Palabras clave: Fragmentación del paisaje. Equilibrio ecológico. Geotecnologías.

1 Introdução

O histórico de ocupação do território brasileiro ocorreu de modo intensivo, resultando no desmatamento e no processo de fragmentação da paisagem (CASSETI, 1991). A fragmentação consiste na contínua divisão do habitat em partes menores e isoladas, o que resulta em fragmentos florestais de diversos tamanhos e cada vez mais circundados por diferentes usos e cobertura da terra (TABARELLI; GASCON, 2005; GIULIO et al., 2009; CÓRDOVA-LEPE et al., 2018).

O estado de São Paulo, no sudeste do Brasil, era quase totalmente constituído por vegetação dos biomas Mata Atlântica e Cerrado (INSTITUTO FLORESTAL, 2005), porém atualmente essa vegetação caracteriza-se por ser muito fragmentada, já que grande parte foi suprimida para atender a expansão, principalmente de atividades antrópicas, como agriculturas, pastagens e áreas urbanas.

Fernandes e Fernandes (2017) apresentam que as barreiras provocadas pelo processo de fragmentação da paisagem, contribuem para a diminuição da dispersão e do fluxo gênico dos organismos entre os fragmentos florestais, resultando em alterações nas suas estruturas e

funções. Córdova-Lepe et al. (2018) acrescentam que essa fragmentação é considerada uma grave ameaça à biodiversidade, o que implica principalmente na perda de conectividade florestal, perda de habitat e efeitos de borda, que ameaçam o equilíbrio ecológico das dinâmicas populacionais.

Uma das formas de compreender como esse processo de fragmentação interfere na biodiversidade é utilizar as métricas de ecologia da paisagem. Para Forman e Gordon (1986) a ecologia de paisagem consiste no estudo das relações físicas e biológicas que regem diferentes unidades de espaço de uma região, ou seja, trata-se do estudo da estrutura, da função e da dinâmica de áreas heterogêneas, compostas por diferentes classes de uso e cobertura da terra, que formam os processos ecológicos. Nesse sentido, as métricas da paisagem permitem a quantificação dos padrões espaciais possibilitando a determinação das relações espaciais e de seus processos funcionais.

As métricas de paisagem são equações que descrevem de forma quantitativa a composição estrutural e a configuração espacial da paisagem (YU et al., 2019). McGarigal e Marks (1995) e Rempel et al. (2012) apresentam uma variedade de métricas relacionadas à área, à densidade e tamanho, à borda, à forma e à área central, sendo que algumas são relacionadas à estrutura de manchas e outras são obtidas para toda a paisagem de uma dada região. A importância das métricas se configura principalmente no fato de permitir quantificar a estrutura da paisagem e fornece um suporte científico que evidencia as condições da paisagem, especialmente de fragmentos florestais (FERNANDES; FERNANDES, 2017).

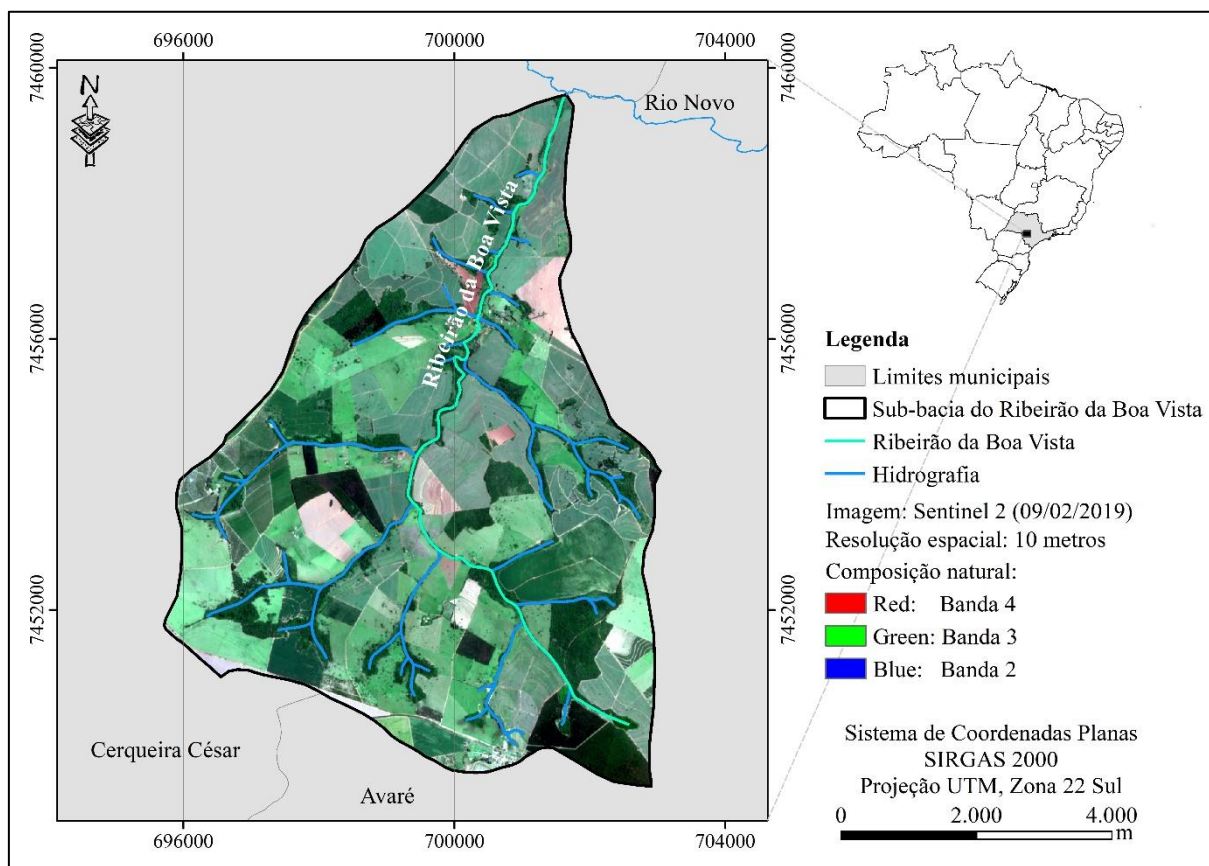
Uma das formas de se obter estas métricas é através das geotecnologias. O sensoriamento remoto em conjunto com os sistemas de informação geográfica (SIG) são largamente empregados em estudos da paisagem, principalmente aqueles relacionados às suas métricas (CARPENTER; TURNER, 1998; SILVA, 2001; NEVES et al., 2014; FERNANDES et al., 2017; SANTOS et al., 2017; REX et al., 2018).

Partindo-se desse pressuposto o presente trabalho objetivou mapear e analisar as métricas da paisagem total e dos fragmentos florestais da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Boa Vista, localizada no centro sul do estado de São Paulo, com o suporte de técnicas de sensoriamento remoto e de SIG.

2 Área de estudo

A sub-bacia do Ribeirão da Boa Vista possui um território de 45,8 km² e está inserida na área rural dos municípios de Cerqueira César e de Avaré e está situada a cerca de 280 km da capital do Estado de São Paulo, Brasil (Figura 1). Faz parte da Décima Sétima Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI-17) do estado de São Paulo e seu rio principal, o Ribeirão da Boa Vista, é um afluente do Rio Novo e um dos contribuintes do Rio Pardo, que por sua vez é um tributário do Rio Paranapanema.

Figura 1 - Localização da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão da Boa Vista.



Fonte: elaborado pelos autores, 2020.

Inserida no bioma Cerrado, a sub-bacia apresenta vegetação característica de Cerrado e de contato com Mata Atlântica, do tipo Floresta Estacional (IBGE, 2019). Possui classificação climática Cwa, com ocorrência entre 50 a 80% (DUBREUIL et al., 2017), caracterizado por ser subtropical com verão úmido e inverno seco, sendo que a precipitação mensal média no verão é acima de 128 mm, com temperaturas entre 22 e 23°C, enquanto no inverno apresenta precipitação mensal média abaixo de 67 mm e temperaturas entre 16 e 19°C (CLIMATE-DATA.ORG, 2020).

Situada no Planalto Ocidental Paulista (ROSS; MOROZ, 1996), esta área possui relevo predominantemente suave e é composta pelas formações Marília, Vale do Rio do Peixe e Serra Geral (CPRM, 2006). O solo predominante é o Latossolo Vermelho (ROSSI, 2017), caracterizados por solos minerais, intemperizados, profundos, bem drenados, friáveis e de fácil preparo (SOUSA; LOBATO, 2007; SANTOS et al., 2018). Estas características físicas mostram que a área da sub-bacia do Ribeirão da Boa Vista é muito propícia a ocupação antrópica, especialmente para as atividades agrícolas.

3 Materiais e métodos

Os procedimentos utilizados para avaliar as métricas da paisagem total e dos fragmentos florestais da sub-bacia do Ribeirão da Boa Vista consistiram no mapeamento do uso e cobertura da terra, classificação dos fragmentos florestais e cálculo das métricas de área, tamanho e densidade, borda, forma e área central.

Para o mapeamento do uso e cobertura da terra foi utilizada uma imagem da superfície, do Sentinel 2 (cena: T22KFV, de 09 de fevereiro de 2019), sensor MSI (*MultiSpectral Instrument*), com resolução espacial de 10 metros, adquirida no portal *Earth Explorer* do serviço geológico dos Estados Unidos (USGS) e reprojeta para o Sistema de Referência Geocêntrico das Américas (SIRGAS 2000) e projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), zona 22 sul. Foi gerada uma composição natural, utilizando as bandas espectrais do vermelho, verde e azul (bandas 4, 3 e 2) nos canais RGB, respectivamente.

Esse mapeamento foi procedido, em escala 1:10.000, por meio de uma das técnicas de classificação de imagem digital, a interpretação visual (PANIZZA; FONSECA, 2011), a partir da sobreposição do limite da sub-bacia na composição natural da imagem do Sentinel 2, utilizando o software ArcGIS 10.3 (ESRI, 2014). Além disso, foram consultadas as imagens de alta resolução do *Google Earth Pro* que permitiram melhor visualização das classes do mapeamento e também foram realizados trabalhos em campo, que possibilitam confirmações e eventuais retificações das classes mapeadas.

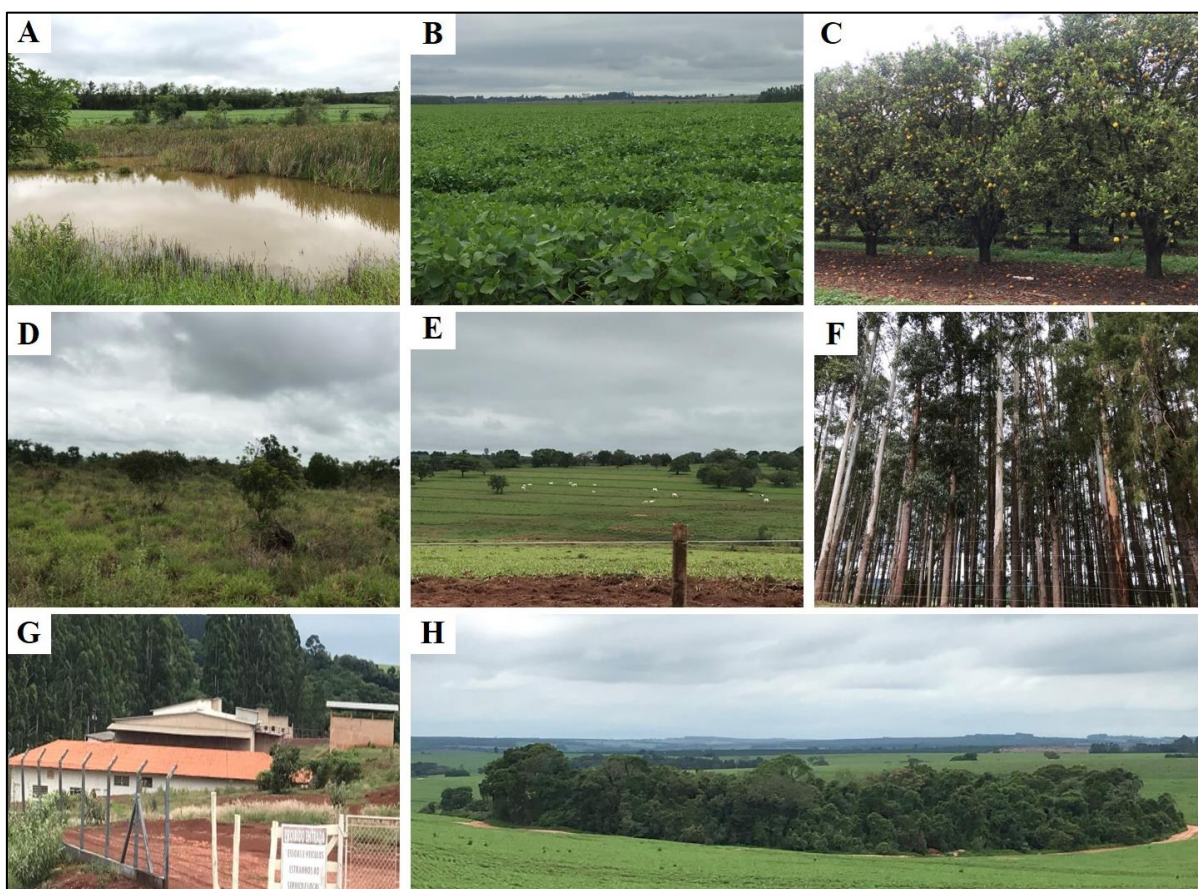
As classes de mapeamento foram adaptadas da classificação do Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013), sendo: água, campestre, cultura permanente, cultura temporária, infraestrutura, mata, pastagem e silvicultura (Quadro 1). A Figura 2 apresenta fotos representativas das classes de uso e cobertura da terra mapeadas e que foram tiradas em trabalho de campo, realizado no ano de 2020.

Quadro 1 - Descrição das classes de uso e cobertura da terra mapeadas.

Classe de uso e cobertura da terra	Descrição
Água	lagos, lagoas e açudes no interior da sub-bacia.
Campestre	predominância de arbustos espaçados sobre estrato gramíneo/lenhoso, formações lacustres arbustivas e herbáceas.
Cultura permanente	cultivos agrícolas de longa duração, que permanecem vinculadas ao solo (plantação de laranja).
Cultura temporária	cultivos agrícolas de curta ou média duração, que após a colheita deixam o terreno disponível para o manejo do solo e novo plantio (cultivo de milho, soja, feijão e cana de açúcar).
Infraestrutura	edificações rurais e vias pavimentadas.
Mata	fragmentos florestais, representados pelas formações arbóreas.
Pastagem	áreas cobertas por vegetação de gramíneas, destinadas ao pastoreio de animais.
Silvicultura	plantios de espécies florestais exóticas (pinus e eucalipto), geralmente relacionadas à comercialização de madeira.

Fonte: Adaptado de IBGE (2013).

Figura 2 - Fotos representativas das classes de uso e cobertura da terra. **A:** água; **B:** cultura temporária; **C:** cultura permanente; **D:** campestre; **E:** pastagem; **F:** silvicultura; **G:** infraestrutura; **H:** mata (fragmento florestal).



Fonte: Acervo pessoal, 2020.

Os fragmentos florestais foram extraídos do mapeamento do uso e cobertura da terra e são correspondentes da classe mata. Estes fragmentos foram classificados e avaliados por três classes de tamanho, sendo estas: pequeno (menores de 5 hectares), médio (de 5 a 40 hectares) e grande (acima de 40 hectares).

As métricas de paisagem foram calculadas utilizando a extensão *Patch Analyst* (REMPEL et al., 2012) incorporada ao ArcGIS, na versão para dados vetoriais. As métricas, suas descrições e equações estão apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Descrição e equações das métricas de paisagem analisadas.

Métricas de área		
Área da classe (CA)	Soma das áreas de todas as manchas pertencentes a uma determinada classe (ha).	$\sum_{j=i}^n A_{ij}$
Área da Paisagem (TLA)	Soma das áreas de todas as manchas na paisagem (ha).	$\sum_{j=i}^n CA_{ij}$
Porcentagem de paisagem (%LAND)	Porcentagem de ocorrência de cada classe (%).	$\frac{\sum_{j=i}^n A_{ij}}{TLA} \times 100$
Métricas de tamanho e densidade		
Número de manchas (NumP)	Número total de manchas de cada classe na paisagem.	$\sum_{j=i}^n n_i$
Tamanho médio da mancha (MPS)	Área média das manchas (ha).	$\frac{\sum_{j=1}^n A_{ij}}{n_i}$
Desvio padrão do tamanho das manchas (PSSD)	Expressa a variação do tamanho das manchas em torno do valor médio para cada classe (ha).	$\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n \left[A_{ij} - \left(\frac{\sum_{j=1}^n A_{ij}}{n_i} \right) \right]^2}{n_i}}$
Métricas de borda		
Total de borda (TE)	Soma de todos os perímetros das manchas (m).	$\sum_{j=i}^n P_{ij}$
Densidade de borda (ED)	Quantidade de bordas em relação à área da classe (m/ha).	TE/TLA
Métricas de forma		
Índice de forma média (MSI)	É igual a 1 quando todos os patches são circulares e aumentam com o aumento da irregularidade da forma do patch.	$\frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{P_{ij}}{2\sqrt{\pi A_{ij}}} \right)}{n_i}$
Índice de forma média ponderada por área (AWMSI)	Difere do MSI por ser ponderado pela área do patch, de modo que os patches maiores pesam mais que os menores.	$\sum_{j=1}^n \left[\left(\frac{P_{ij}}{2\sqrt{\pi A_{ij}}} \right) \times \left(\frac{A_{ij}}{\sum_{j=1}^n A_{ij}} \right) \right]$
Taxa média de área-perímetro (MPAR)	Média da relação perímetro-área (m/ha).	$\frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{P_{ij}}{A_{ij}} \right)}{n_i}$
Métricas de área central		

Área central da classe (CA^c)	Soma das áreas de todas as áreas centrais das manchas pertencentes a uma classe (ha).	$\sum_{j=i}^n Aij^c$
Total de área central (TCA)	Soma das áreas centrais de todas as manchas na paisagem (ha).	$\sum_{j=i}^n CAij^c$
Índice total da área central (TCAI)	Porcentagem de um tipo de mancha na paisagem que é a área central com base em uma largura de borda especificada (%).	$\frac{\sum_{j=i}^n Aij^c}{\sum_{j=i}^n Aij} \times 100$
Número de área central (NCA)	Número de áreas centrais disjuntas.	$\sum_{j=i}^n ni^c$

Legenda: Aij: área da mancha i correspondente a classe j; CAij: área total de cada classe j; ni: número de manchas da classe i; Pij: perímetro da mancha i na classe j; Aij^c: área central da mancha i correspondente a classe j; CAij^c: área central total de cada classe j; ni^c: número de manchas centrais da classe i; j: 1 a n número de manchas.

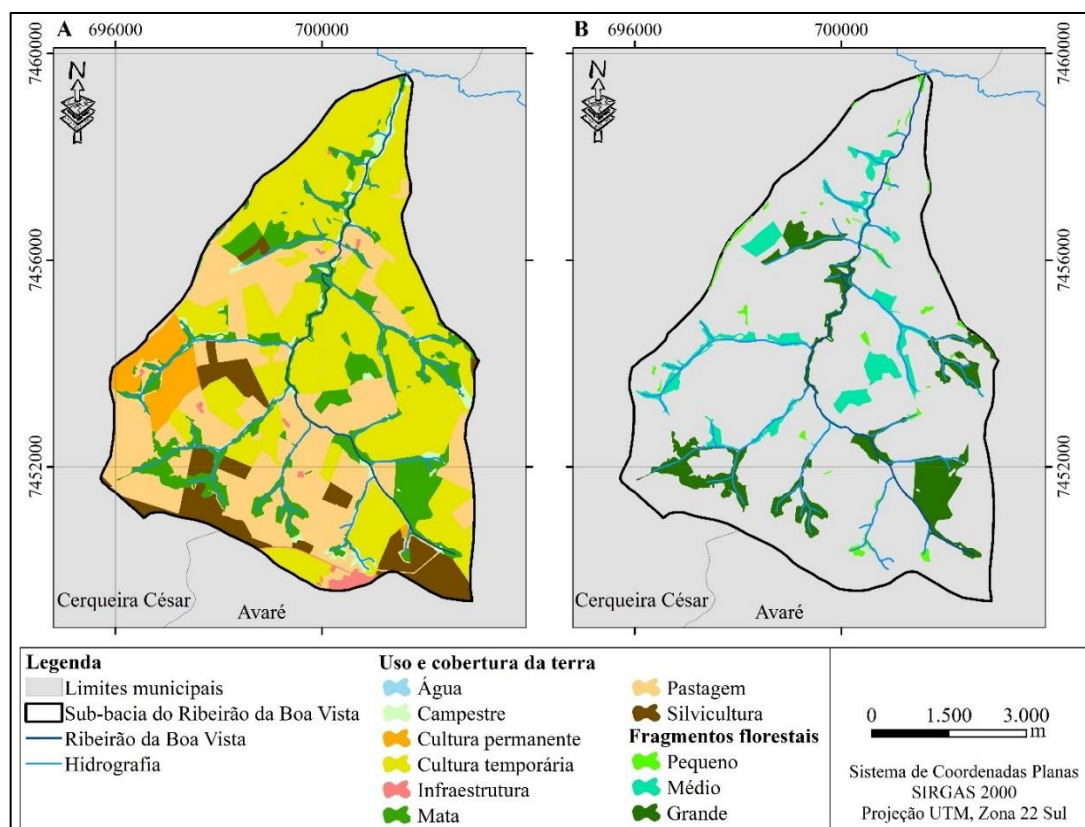
Fonte: Adaptado de McGarigal; Marks, 1995; Rempel et al., 2012.

Para o cálculo das métricas de área central dos fragmentos florestais foram consideradas as distâncias de borda de 20, 40, 60, 80 e 100 metros. Isto foi necessário para investigar qual distância de borda exerce maior influência nos valores de área central dos fragmentos.

4 Resultados e discussão

O mapeamento do uso e cobertura da terra e os fragmentos florestais nas classes de tamanho estão apresentados na Figura 3 (A e B respectivamente).

Figura 3 - Uso e cobertura da terra (A) e Fragmentos florestais (B) da sub-bacia do Ribeirão da Boa Vista.



Fonte: elaborado pelos autores, 2020.

A área total da sub-bacia (TLA) é de 4.584,02 ha e possui maior predominância de cultura temporária e pastagem, que ocupam 70,35% da sua área total, porém somente a cultura temporária representa mais de 40%. As áreas cobertas por silvicultura correspondem a 7,62%, as matas com 14,76% e as menores ocorrências são das classes água, infraestrutura, campestre e cultura permanente, respectivamente, que juntas ocupam 7,27% da sub-bacia hidrográfica.

A Tabela 1 apresenta as métricas da paisagem total da sub-bacia do Ribeirão da Boa Vista.

Tabela 1 - Métricas da paisagem total da sub-bacia do Ribeirão da Boa Vista.

Classe de uso de cobertura	Área		Tamanho e densidade		
	CA (ha)	%LAND (%)	NumP	MPS (ha)	PSSD (ha)
Água	9,58	0,21	15	0,64	0,82
Campestre	120,10	2,62	53	2,27	4,16
Cultura permanente	168,51	3,68	5	33,70	39,37
Cultura temporária	1.883,77	41,09	23	81,90	107,05
Infraestrutura	34,71	0,76	10	3,47	7,40
Mata	676,82	14,76	59	11,47	22,60
Pastagem	1.341,33	29,26	31	43,27	89,54
Silvicultura	349,20	7,62	15	23,28	28,07
Classe de uso de cobertura	Borda		Forma		
	TE (m)	ED (m/ha)	MSI	AWMSI	MPAR(m/ha)
Água	5.404,28	1,18	1,35	1,66	868,53
Campestre	52.317,97	11,41	1,88	2,80	683,58
Cultura permanente	11.225,76	2,45	1,35	1,50	286,98
Cultura temporária	106.162,69	23,16	1,61	1,97	190,88
Infraestrutura	10.784,43	2,35	1,59	3,07	510,57
Mata	132.506,65	28,91	2,05	3,09	517,71
Pastagem	117.573,29	25,65	2,14	2,89	468,47
Silvicultura	33.681,67	7,35	1,65	1,74	381,16

Fonte: elaborado pelos autores, 2020.

Observa-se que a distribuição espacial da fragmentação da paisagem da sub-bacia do Ribeirão da Boa Vista ocorre principalmente devido às suas características físicas relacionadas ao relevo, solo e clima da região. A ocorrência do relevo predominante suave proporciona menores custos para implantação das atividades antrópicas, especialmente da agricultura e pastoril (ABDALLA; CRUZ, 2015). Além disso, os Latossolos Vermelhos são profundos, bem drenados e facilmente corrigidos quanto à sua fertilidade (SOUSA; LOBATO, 2007; SANTOS et al., 2018). Essas características associadas ao clima subtropical regional proporcionam boa

aptidão, com poucas limitações, portanto, de fácil solução à implantação de atividades agrícolas (LEPSCH et al., 2015).

Cabe ressaltar, que mesmo a sub-bacia apresentando condições física e climática que favoreçam o estabelecimento de atividades econômicas, como a agricultura, deve haver o manejo adequado para a utilização dessas terras, para que não haja seu esgotamento, principalmente quanto a perda de nutrientes e o surgimento de erosões, o que pode causar diminuição e/ou perdas na produção. Além disso, estes processos podem comprometer os recursos hídricos, prejudicando diretamente os ecossistemas aquáticos e as populações que deles dependem.

A Tabela 2 apresenta a correlação das métricas relacionadas à paisagem total da sub-bacia em análise.

Tabela 2 - Correlação entre as métricas da paisagem total da sub-bacia do Ribeirão da Boa Vista.

Correlação	Área		Tamanho e densidade			Borda		Forma		
	CA	%LAND	NumP	MPS	PSSD	TE	ED	MSI	AWMSI	MPAR
CA	1,00									
%LAND	1,00	1,00								
NumP	0,17	0,17	1,00							
MPS	0,89	0,89	-0,18	1,00						
PSSD	0,94	0,94	-0,07	0,96	1,00					
TE	0,78	0,78	0,69	0,48	0,61	1,00				
ED	0,78	0,78	0,69	0,48	0,61	1,00	1,00			
MSI	0,41	0,41	0,78	0,04	0,26	0,81	0,81	1,00		
AWMSI	0,08	0,08	0,64	-0,28	-0,09	0,49	0,49	0,78	1,00	
MPAR	-0,59	-0,59	0,26	-0,80	-0,71	-0,30	-0,30	0,01	0,20	1,00

Fonte: elaborado pelos autores, 2020.

Os resultados das métricas da paisagem total da sub-bacia em estudo (Tabela 1) e a correlação entre elas (Tabela 2) mostram que as métricas de área (CA e %LAND) da paisagem total apresentam alta correlação com as métricas de tamanho e densidade (MPS e PSSD) e borda (TE e ED). No mesmo sentido, a métrica de forma (MSI) possui alta correlação com as métricas de borda (TE e ED). Isso significa que quanto maior o tamanho das manchas e mais irregulares forem as suas formas, maiores serão as quantidades de bordas.

É possível observar que a ocupação antrópica, evidenciada pelas atividades agrícolas permanentes e temporárias, silvicultura e infraestruturas, apresentam métricas de forma (MSI) menores, ou seja, menos complexas e com menores quantidades de bordas. Isso mostra que

quando a sociedade ocupa o território, há uma tendência geométrica na ocupação de maneira mais regular, obedecendo demarcações de lotes/quarteirões, por exemplo.

A Tabela 3 apresenta os resultados das métricas calculadas para as classes dos fragmentos florestais, em que foram verificadas um total de 59 manchas, sendo: 39 consideradas pequenas, 14 médias e 6 grandes. Estes fragmentos correspondem à área total (TLA) de 676,82 ha, representando 14,76% da cobertura da sub-bacia.

Tabela 3 - Métricas dos fragmentos florestais da sub-bacia do Ribeirão da Boa Vista.

Fragmentos florestais	Área		Tamanho e densidade		
	CA (ha)	%LAND (%)	NumP	MPS (ha)	PSSD (ha)
Pequeno (< 5ha)	55,80	8,24	39	0,90	1,21
Médio (5 a 40ha)	227,35	33,60	14	12,76	9,89
Grande (> 40ha)	393,67	58,16	6	46,43	33,83
Fragmentos florestais	Borda		Forma		
	TE (m)	ED (m/ha)	MSI	AWMSI	MPAR(m/ha)
Pequeno (< 5ha)	25.440,90	37,59	1,67	1,71	666,62
Médio (5 a 40ha)	46.908,40	69,31	2,45	2,51	253,53
Grande (> 40ha)	60.157,36	88,88	3,55	3,63	166,20

Fonte: elaborado pelos autores, 2020.

Apesar dos fragmentos florestais pequenos se constituírem como os mais isolados (NumP = 39), ocupam apenas 8,24% da cobertura florestal, enquanto os grandes (NumP = 6), representam 58,16% da cobertura. À medida que se tem fragmentos florestais maiores, observa-se que a quantidade de bordas (TE e ED), o tamanho e a densidade (MPS e PSSD) aumentam, já as formas (MSI e AWMSI) se tornam mais complexas e a relação perímetro/área (MPAR) reduzem.

Análises semelhantes foram observadas por Juvanhol et al. (2011), Pirovani et al. (2014), Abdalla e Cruz (2015), Reis e Nishyama (2017), Santos et al. (2017) e essa correlação é comprovada na Tabela 4, onde todas as métricas relacionadas às classes de tamanho dos fragmentos florestais foram correlacionadas, em que os valores próximos de +1 significam forte correlação positiva, enquanto os valores próximos de -1 significam forte correlação negativa (inversamente proporcionais).

Tabela 4 - Correlação entre as métricas dos fragmentos florestais da sub-bacia do Ribeirão da Boa Vista.

Correlação	Área		Tamanho e densidade			Borda		Forma		
	CA	%LAND	NumP	MPS	PSSD	TE	ED	MSI	AWMSI	MPAR
CA	1,00									
%LAND	1,00	1,00								
NumP	-0,96	-0,96	1,00							
MPS	0,96	0,96	-0,85	1,00						
PSSD	0,96	0,96	-0,85	1,00	1,00					
TE	0,99	0,99	-0,99	0,92	0,92	1,00				
ED	0,99	0,99	-0,99	0,92	0,92	1,00	1,00			
MSI	0,99	0,99	-0,93	0,99	0,99	0,97	0,97	1,00		
AWMSI	0,99	0,99	-0,93	0,98	0,99	0,97	0,97	1,00	1,00	
MPAR	-0,94	-0,94	1,00	-0,81	-0,81	-0,98	-0,98	-0,90	-0,90	1,00

Fonte: elaborado pelos autores, 2020.

Quanto à forma dos fragmentos, diferentemente do que foi constatado para as métricas da paisagem total, observa-se uma maior complexidade, proporcionando maiores quantidades de bordas que elevam o nível de exposição dos fragmentos florestais à ação antrópica (REIS; NISHYAMA, 2017). Neste sentido, Viana e Pinheiro (1998) e Santos et al. (2017) afirmam que os fragmentos com formas mais complexas são mais susceptíveis aos efeitos de borda provocados pela vizinhança e isso pode causar uma significativa redução da biodiversidade (MARCANTONIO et al., 2013).

Por outro lado, apesar de alguns autores afirmarem essa relação entre as formas mais complexas e o efeito de borda, deve-se considerar que os fragmentos maiores, que é o caso deste estudo, são os que apresentam as bordas mais irregulares e que mesmo apresentando efeito de borda, são também os que apresentam a maior capacidade de proteção da área central e consequentemente para a manutenção do habitat. Segundo Fernandes e Fernandes (2017) os fragmentos maiores, que são os que apresentam os maiores núcleos, são os mais favoráveis à manutenção das condições adequadas a sobrevivência das espécies.

Nesse sentido pode-se afirmar que o tamanho pode compensar a forma do fragmento. Porém, é importante enfatizar, que de acordo com Rusca et al. (2017), fragmentos de mesmo tamanho podem ser bem distintos quanto a área central. Por isso, outros parâmetros também devem ser analisados para se ter uma boa avaliação das condições dos fragmentos e um deles é em relação a borda.

A borda evidencia o processo de fragmentação que a paisagem sofre ao longo dos anos (SILVA et al., 2015) e que deve ser considerada na ação de planejamento, uma vez que apresenta contato direto com a vizinhança (REIS; NISHYAMA, 2017). Portanto, qualquer

condição adversa dos fatores abióticos, pode influenciar diretamente na qualidade do habitat, contribuindo, por exemplo, para o surgimento de espécies exóticas (SILVA; SOUZA, 2014). Essa influência somente será menor quando os fragmentos florestais forem de tamanhos maiores, já que sua área central tende a estar mais protegida.

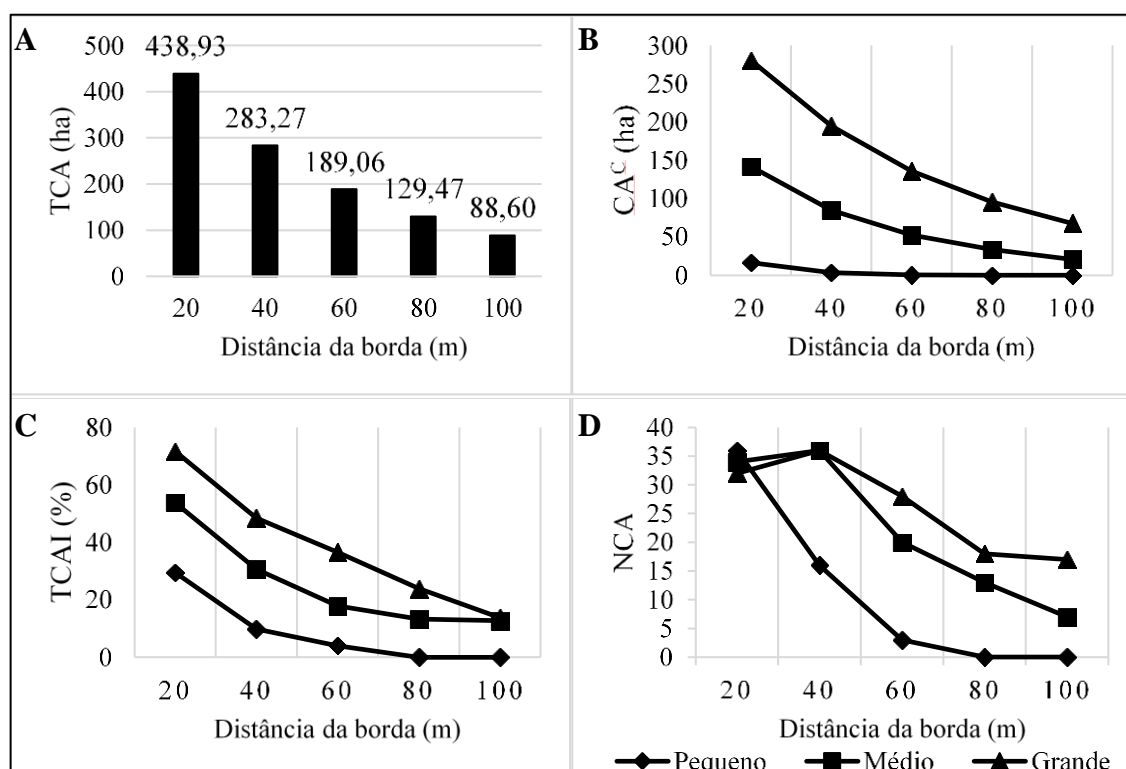
As métricas relacionadas à área central dos fragmentos florestais calculadas para diferentes distâncias de borda estão apresentadas na Tabela 5 e sua distribuição gráfica na Figura 4.

Tabela 5 - Métricas relacionadas à área central dos fragmentos florestais da sub-bacia do Ribeirão da Boa Vista.

Distância da borda (m)	Pequeno (< 5ha)			Médio (5 a 40ha)			Grande (> 40 ha)		
	CA ^c (ha)	TCAI (%)	NCA	CA ^c (ha)	TCAI (%)	NCA	CA ^c (ha)	TCAI (%)	NCA
20	16,66	29,52	36	141,90	53,83	34	280,38	71,67	32
40	3,48	9,87	16	84,95	30,68	36	194,84	48,43	36
60	0,41	4,05	3	52,59	17,93	20	136,06	36,63	28
80	0	0	0	33,57	13,25	13	95,90	23,92	18
100	0	0	0	20,87	12,68	7	67,73	13,79	17

Fonte: elaborado pelos autores, 2020.

Figura 4 - Métricas relacionadas à área central dos Fragmentos Florestais. **A:** TCA (ha) – total de áreas centrais; **B:** CA^c (ha) – soma da área central das classes; **C:** TCAI (%): índice total de área central; **D:** NCA – número de área central.



Fonte: elaborado pelos autores, 2020.

O total de área central diminui conforme ocorre o acréscimo da distância das bordas dos fragmentos florestais. A soma da área central das classes (CA^c) e o índice total da área central (TCAI) são maiores nos fragmentos grandes e vão diminuindo conforme o tamanho e distância das bordas.

Giulio et al. (2009) apresentam que a riqueza de espécies em fragmentos florestais menores é geralmente reduzida. Fernandes et al. (2017) acrescentam que os fragmentos florestais de menor tamanho são mais susceptíveis à perda de área central e isso é observado na área de estudo, onde os valores de distância da borda acima de 60m eliminam por completo os fragmentos florestais pequenos. Segundo os referidos autores, a principal consequência disso é o comprometimento da manutenção dos processos ecológicos como o fluxo gênico e a dispersão de espécies.

Observa-se maior número de áreas centrais disjuntas (NCA) em relação a quantidade de fragmentos florestais. Isso se deve às formas complexas e irregulares dos fragmentos, que dificultam a conectividade das áreas centrais existentes em um mesmo fragmento florestal. Em contrapartida, os fragmentos grandes possuem maior conectividade de área central e desse modo estão menos suscetíveis aos efeitos de borda, mesmo apresentando formas mais complexas (GONÇALVES et al., 2019).

5 Conclusão

Os dados provenientes do sensor remoto MSI, acoplado ao satélite Sentinel 2, possibilitaram o mapeamento do uso e cobertura da terra da sub-bacia do Ribeirão da Boa Vista de forma eficiente. Estes, processados no SIG permitiram o levantamento dos dados, a elaboração das métricas da paisagem e a representação cartográfica, o que contribuiu para o detalhamento e o aprofundamento do conhecimento acerca dos padrões espaciais presentes na sub-bacia.

A paisagem da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Boa Vista se mostra marcada por atividades antrópicas, sobretudo de culturas temporárias, que correspondem a aproximadamente 40% da área da sub-bacia, evidenciadas principalmente devido às características físicas e climáticas da região.

As métricas da paisagem total referentes às atividades antrópicas (agrícolas permanentes e temporárias, silvicultura e infraestruturas) se configuram como aquelas de menor complexidade, uma vez que apresentam um formato mais regular. Porém, as métricas referentes

apenas aos fragmentos florestais se mostraram mais complexas, o que possivelmente é resultante dos processos de transformação da paisagem, que mostram uma tendência de suprimir a vegetação nativa para atender as áreas que apresentam maior demanda socioeconômica.

Dessa forma, o estudo das métricas da paisagem se mostrou relevante para fins de diagnóstico e conhecimento da distribuição espacial, principalmente de fragmentos florestais. Além disso, possibilita o estabelecimento de estratégias de conservação e recuperação para esses remanescentes, bem como auxilia na identificação de áreas prioritárias para a preservação com o intuito de promover a manutenção da biodiversidade e restabelecer o equilíbrio ecológico.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Referências

ABDALLA, L. S.; CRUZ, C. B. M. Análise de fragmentação florestal no município de Silva Jardim, APA do Rio São João, RJ. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, n. 1, p. 169-184, 2015. Disponível em:

<<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44732/23746>>. Acesso em 20 de julho de 2020.

CARPENTER, S. R.; TUNER, M. G. At Last: A Journal Devoted to Ecosystem Science. **Ecosystems**, v. 1, p. 1-5, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1007/s100219900001>.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. São Paulo: Contexto, 1991. 147p.

Climate-data.ORG. **Dados Climatológicos**: Cerqueira César e Avaré. Dados de 1982 a 2012. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/sao-paulo-200/>>. Acesso em 04 de abril 2020.

CÓRDOVA-LEPE, F.; DEL VALLE, R.; RAMOS-JILIBERTO, R. The process of connectivity loss during habitat fragmentation and their consequences on population dynamics. **Ecological Modelling**, v. 376, p. 68-75, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.01.012>.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Programa Geologia do Brasil. **Mapa Geológico de São Paulo**. Escala 1:750.000. Breve descrição das unidades litoestratigráficas aflorantes no estado de São Paulo. 2006. Disponível em:

<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/2966/1/breve_descricao_unidades.pdf>. Acesso em 6 de abril de 2020.

DUBREUIL, V.; FANTE, K. P.; PLANCHON, O.; SANT'ANNA NETO, J. L. Les types de climats annuels au Brésil: une application de la classification de Köppen de 1961 a 2015. **EchoGéo**, v. 41, p. 01-27, 2017. DOI: <https://doi.org/10.4000/echogeo.15017>.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. **ArcGis** 10.3. 2014.

FERNANDES, M. M.; FERNANDES, M. R. M. Análise espacial da fragmentação florestal da bacia do Rio Ubá – RJ. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1429-1439, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509830330>.

FERNANDES, M.; FERNANDES, M.; ALMEIDA, A.; GONZAGA, M. I. S.; GONÇALVES, F. Ecologia da Paisagem de uma Bacia Hidrográfica dos Tabuleiros Costeiros do Brasil. **Floresta e Ambiente**, n. 24, e00025015, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.025015>.

FORMAN, R.T.T.; GODRON, M. **Landscape Ecology**. Now York: John Wiley & Sons, 1986. 640 p.

GIULIO, M.; HOLDEREGGER, R.; TOBIAS, S. Effects of habitat and landscape fragmentation on humans and biodiversity in densely populated landscapes. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 10, p. 2959-2968, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.05.002>.

GONÇALVES, A. L.; CRUZ, V. M. S.; SERRA, A. B. Fragmentação florestal na Região de Integração do Lago de Tucuruí, Pará, Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 62, p. 1-10, 2019. DOI: <https://doi.org/10.22491/rca.2019.3048>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Informações ambientais. Vegetação. Base de Dados Espacial 1:250.000, Brasil. **Mapa da Vegetação Brasileira**. 2019. Disponível em: <ftp://geofpt.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/vegetacao/vetores/escala_250_mil/versao_2019/>. Acesso em 06 de abril de 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de uso da terra**. 3ª edição. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 171p. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>>. Acesso em 13 de março de 2019.

INSTITUTO FLORESTAL. **Inventário florestal da vegetação natural do Estado de São Paulo**. São Paulo: SMA / IF IO / SP, 2005. 200p. Disponível em: <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutoflorestal/2005/03/inventario-florestal-da-vegetacao-natural-do-estado-de-sao-paulo/>>. Acesso em 08 de abril de 2020.

JUVANHOL, R. S.; FIEDLER, N. C.; SANTOS, A. R.; PIROVANI, D. B.; LOUZADA, F. L. R. O.; DIAS, H. M.; TEBALDI, A. L. C. Análise Espacial de Fragmentos Florestais: Caso dos Parques Estaduais de Forno Grande e Pedra Azul, Estado do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 4, p. 353-364, 2011. DOI: <https://doi.org/10.4322/loram.2011.055>.

LEPSCH, I. F.; ESPINDOLA, C. R.; VISCHI FILHO, O. J.; HERNANI, L. C.; SIQUEIRA, D.S. **Manual para levantamento utilitário e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 1a edição. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 170 p.

MARCANTONIO, M.; ROCCHINI, D.; GERI, F.; BACARO, G.; AMICI, V. Biodiversity, roads, & landscape fragmentation: Two Mediterranean cases. **Applied Geography**, v. 42, p. 63-72, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.05.001>.

MCGARIGAL, K; MARKS, B. J. **FRAGSTATS**: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 1995. 122 p. DOI: <https://doi.org/10.2737/PNW-GTR-351>.

NEVES, L. F. S.; NEVES, S. M. A. S.; NEVES, R. J. Geotecnologias e métricas aplicadas na análise da paisagem FERNANDES agem da bacia do Rio Aguapeí/M, Brasil. **Geo UERJ**, v. 2, n. 25, p. 397-418, 2014. DOI: <http://doi.org/10.12957/geouerj.2014.11739>.

PANIZZA, A.; FONSECA, F. Técnicas de interpretação visual de imagens. **GEOUSP Espaço e Tempo**, v. 15, n. 3, p. 30-43, 2011. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2011.74230>.

PIROVANI, D. B.; SILVA, A. G.; SANTOS, A. R.; CECÍLIO, R. A.; GLERIANI, J. M.; MARTINS, S. V. Análise espacial de fragmentos florestais na Bacia do Rio Itapemirim, ES. **Revista Árvore**, v. 38, n. 2, p.271-281, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000200007>.

REIS, L. N. G.; NISHYAMA, L. A estrutura espacial dos fragmentos de vegetação nativa da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari em Minas Gerais. **GEOSUL**, v. 32, n. 65, p. 30-48, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2017v32n65p30>.

REMPEL, R. S.; KAUKINEN, D.; CARR, A. P. **Patch Analyst and Patch Grid**. Ontario Ministry of Natural Resources. Centre for Northern Forest Ecosystem Research, Thunder Bay, Ontario. 2012. Disponível em: <<http://www.cnfer.on.ca/SEP/patchanalyst/>>. Acesso em 15 de março de 2018.

REX, F. E.; CORTE, A. P. D.; KAZAMA, V. S.; SANQUETTA, C. R. Análise métrica da cobertura florestal da bacia hidrográfica do Rio Pequeno – PR. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 3 n. 1 p. 184-192 2018. DOI: <https://doi.org/10.5380/biofix.v3i1.58382>.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo: FAPESP; IPT; USP; 1996. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 10, p. 41-58, 2011. DOI: <https://doi.org/10.7154/RDG.1996.0010.0004>.

ROSSI, M. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**: revisado e ampliado. São Paulo: Instituto Florestal, 2017. 118p. Disponível em: <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutoflorestal/2017/09/mapa-pedologico-do-estado-de-sao-paulo-revisado-e-ampliado/>>. Acesso em 07 de abril de 2020.

RUSCA, G. G.; MORAES, M. C. P.; VALENTE, R. A.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. Análise Espacial dos Fragmentos Florestais no Entorno de uma Unidade de Conservação de Proteção Integral. **RBCIAMB**, n.44, p. 85-94, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820170146>.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª edição, revisada e ampliada. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>>. Acesso em 09 de abril de 2020.

SANTOS, J. F. C.; MENDONÇA, B. A. F.; ARAÚJO, E. J. G.; ANDRADE, C. F. Fragmentação florestal na Mata Atlântica: o caso do município de Paraíba do Sul, RJ, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 15, n.3, p. 151-158, 2017. Disponível em <http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/view/3758/1367>>. Acesso em 05 de agosto de 2020.

SILVA, J. X. **Geoprocessamento para análise ambiental**. 1ª edição. Rio de Janeiro: D5 Produção Gráfica, 2001. 228 p.

SILVA, K. G.; SANTOS, A. R.; SILVA, A. G.; PELUZIO, J. B. E.; FIEDLER, N. C.; ZANETTI, S. S. Análise da Dinâmica Espaço -Temporal dos Fragmentos Florestais da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Alegre, ES. **Cerne**, v. 21, n. 2, p. 311-318, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01047760201521021562>.

SILVA, M. S. F.; SOUZA, R, M. Padrões Espaciais de Fragmentação Florestal na Flona do Ibura – Sergipe. **Mercator**, v. 13, n. 3, p. 121-137, 2014. DOI: <https://doi.org/10.4215/RM2014.1303.0009>.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Agência de Informação Embrapa. Bioma Cerrado. Solo. **Latossolos**. 2007. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html>. Acesso em 09 de abril de 2020.

TABARELLI, M.; GASCON, C. Lessons from Fragmentation Research: Improving Management and Policy Guidelines for Biodiversity Conservation. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 734-739, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00698.x>.

USGS. United States Geological Survey. Science for a changing world. **Earth Explorer – Home**. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 12 fev. 2019.

VIANA, V. M.; PINHEIRO, L. A. F. V. Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais. **Série Técnica IPEF**, São Paulo, v. 12, n. 32, p. 25-42, 1998. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr32/cap03.pdf>>. Acesso em 21 de julho de 2020.

YU, M.; HUANG, Y.; CHENG, X.; TIAN, J. An ArcMap plug-in for calculating landscape metrics of vector data. **Ecological Informatics**, v. 50, p. 207-219, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2019.02.004>.